



UnB

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**POTENCIAL NZEB EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS EM CLIMAS BRASILEIROS:
IMPACTO DA OBSTRUÇÃO URBANA NA PROTEÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA**

ISABELLA DIAS BOTELHO

BRASÍLIA

2025

ISABELLA DIAS BOTELHO

**POTENCIAL NZEB EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS EM CLIMAS BRASILEIROS:
IMPACTO DA OBSTRUÇÃO URBANA NA PROTEÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo na Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração: Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade (TAS)

Linha de Pesquisa: Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente Construído.

Orientadora: Prof^a Dr.^a Joara Cronemberger Ribeiro Silva

BRASÍLIA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Botelho, Isabella Dias

Potencial NZEB em Edifícios de Escritórios em Climas Brasileiros: Impacto da Obstrução Urbana na Proteção Solar Fotovoltaica – Brasília, 2025.

Nº de páginas: 335

Área de concentração: Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade (TAS)

Linha de pesquisa: Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente Construído

Orientador: Profª Dr.ª Joara Cronemberger Ribeiro Silva

Projeto de Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Ata de defesa de dissertação

Aos 19 dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte cinco instalou-se a banca examinadora de defesa de dissertação de mestrado da aluna Isabella Dias Botelho, matrícula 231102816. A banca examinadora foi presidida pela Dra. Joára Cronemberger Ribeiro Silva (presidente da banca examinadora/FAU-UnB) e composta pelos professores Dr. Edwin Rodriguez Ubiñas (membro externo, pertencente ao Dubai Electricity and Water Authority R&D Center); Dra. Cláudia Naves David Amorim (membro interno, pertencente ao PPG-FAU-UnB); e Dra. Juliana Andrade Borges de Sousa (membro suplente, pertencente ao PPG-FAU-UnB).

A discente apresentou o trabalho cujo título foi alterado para “Potencial NZEB em edifícios de escritórios em climas brasileiros: impacto da obstrução urbana na proteção solar fotovoltaica”.

Concluída a exposição, procedeu-se à arguição da candidata, e após as considerações dos examinadores o resultado da avaliação do trabalho foi:

- () Pela aprovação do trabalho;
- (X) Pela aprovação do trabalho, com revisão de forma, indicando o prazo de até 30 dias para apresentação definitiva do trabalho revisado;
- () Pela reformulação do trabalho, indicando o prazo de (nº de meses) para nova versão;
- () Pela reprovação do trabalho, conforme as normas vigentes na Universidade de Brasília.

Dra. Joára Cronemberger Ribeiro Silva
Presidente da banca examinadora

Dr. Edwin Rodriguez Ubiñas
Examinador externo - Dubai Electricity and Water Authority R&D Center

Profa. Dra. Cláudia Naves David Amorim
Examinador interno - PPG-FAU-UnB

Profa. Dra. Juliana Andrade Borges de Sousa
Suplente - PPG-FAU-UnB

Isabella Dias Botelho
Mestranda



Documento assinado eletronicamente por **Joara Cronemberger Ribeiro Silva, Professor(a) de Magistério Superior da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**, em 19/12/2025, às 15:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



Documento assinado eletronicamente por **Claudia Naves David Amorim, Professor(a) de Magistério Superior da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**, em 19/12/2025, às 17:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



Documento assinado eletronicamente por **ISABELLA DIAS BOTELHO, Usuário Externo**, em 26/12/2025, às 11:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



Documento assinado eletronicamente por **Edwin Rodriguez-Ubinas, Usuário Externo**, em 27/12/2025, às 05:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



Documento assinado eletronicamente por **Maria do Carmo de Lima Bezerra, Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**, em 13/01/2026, às 19:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.unb.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **13587026** e o código CRC **AE9B8B75**.

Dedico este trabalho a todos que plantaram em mim o encanto pelo conhecimento, o compromisso com o rigor, a admiração pela sustentabilidade e acreditaram na minha capacidade.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à **CAPES** pela concessão da bolsa de estudos, que tornou possível a minha permanência na pesquisa e contribuiu de forma decisiva para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha orientadora, **Prof.^a Joara Cronemberger**, registro minha profunda gratidão. Obrigada pela atenção constante, pelos valiosos conhecimentos compartilhados e pela paciência nos momentos mais desafiadores. Sua sensibilidade e acolhida nos momentos difíceis foram essenciais. Agradeço a sua disponibilidade constante, sobretudo nesta etapa final do trabalho, quando o tempo era tão escasso. Obrigada por ser inspiração e referência para mim.

Aos **membros da banca examinadora**, agradeço pelas valiosas contribuições realizadas durante a defesa, as quais foram fundamentais para o aprimoramento, amadurecimento crítico e fortalecimento científico desta pesquisa.

À **Universidade de Brasília**, instituição pública de excelência que me acolheu desde a graduação, expressei minha imensa gratidão e carinho pelas trocas de conhecimento, diversidade e pessoas admiráveis que marcaram minha trajetória na FAU e na pós-graduação.

Ao **LACAM** e a todo o seu time incrível de professores e alunos, agradeço pelas aprendizagens e pelos bons momentos compartilhados. Aos **membros do grupo de pesquisa**, pelo apoio constante, pelo desenvolvimento conjunto nesta caminhada. Agradeço pelo carinho, pela parceria e pela motivação.

Ao **Diego Capibaribe**, ex-estagiário e agora arquiteto, agradeço pela mensagem de reconhecimento, que reforçou em mim o desejo de seguir pelo caminho da docência e pesquisa.

Aos meus **amigos e familiares** queridos, obrigada pelo suporte emocional, pela escuta e pela presença que me fortaleceram ao longo desta jornada. Àqueles que souberam ser acolhimento e me fizeram bem nos momentos mais difíceis, deixo meu sincero agradecimento.

À minha amiga e sócia **Luísa Puntel**, meu muito obrigada. Se não fosse por você, eu sequer teria submetido o projeto de pesquisa que deu início a esta caminhada. Obrigada por acreditar tão profundamente no meu potencial e por ter sido peça fundamental para que eu chegasse até aqui.

Ao **Lucídio Avelino**, deixo meu profundo agradecimento. Não tenho palavras para expressar a gratidão pelo tanto que aprendi com você. Sua generosidade em compartilhar conhecimento, sua disponibilidade constante, a profundidade das discussões técnicas e a qualidade das trocas foram essenciais para a realização desta pesquisa. Obrigada por me ensinar a ferramenta que possibilitou todo este estudo e por estar presente em todas as etapas me dando tanto suporte acadêmico. Sua colaboração foi absolutamente fundamental. Obrigada também por ter contribuído para que os momentos difíceis se tornassem leves com a sua amizade.

Por fim, agradeço à minha **família**, e em especial à minha **mãe**. Obrigada por ser minha fonte de força, dedicação e inspiração. Pelo amor incondicional, pelo cuidado, pela preocupação, pela torcida constante. Por me acolher nos meus limites e me incentivar a continuar. Me emociono só de pensar em tudo que você representa para mim. Te amo infinitamente. Obrigada por tudo.

DECLARAÇÃO DE TECNOLOGIAS ASSISTIDAS POR IA NO PROCESSO DE ESCRITA

A ferramentas de inteligência artificial (IA) ChatGPT da OpenAI, foi utilizada para apoiar a preparação desta dissertação aprimorando a clareza, a organização e a precisão gramatical do material escrito, com atenção especial à reformulação de trechos para maior legibilidade.

Todas as contribuições assistidas por IA foram revisadas criticamente, validadas e editadas pela autora, que assume total responsabilidade pela precisão, integridade e confiabilidade deste trabalho.

Esta declaração está em conformidade com os padrões acadêmicos atuais de transparência e boas práticas de pesquisa responsável.

SUMÁRIO

RESUMO	18
ABSTRACT	19
RESUMEN	20
1 INTRODUÇÃO	24
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	24
1.2 OBJETIVO.....	29
2 REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1 CONCEITO NZEB	31
2.2 NZEB NO CONTEXTO BRASILEIRO	33
2.3 ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	45
2.4 DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO FOTOVOLTAICO - PVSDS.....	54
2.5 GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO CONTEXTO URBANO.....	70
3 MATERIAIS E MÉTODO	80
3.1 RESUMO DAS ETAPAS	81
3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	86
3.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE	92
3.4 ESCALA DO EDIFÍCIO	99
3.5 ESCALA URBANA	111
3.6 DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	113
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	121
4.1 COMPARAÇÃO CLIMÁTICA DAS CIDADES	121
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES QUANTO À DISPONIBILIDADE SOLAR	127
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES QUANTO AO CONSUMO DE ENERGIA E A CLASSIFICAÇÃO INI-C	160
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES QUANTO À GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E O POTENCIAL NZEB	176
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	197
5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O REFERENCIAL TEÓRICO E A METODOLOGIA	197
5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE SOLAR	198
5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA E A CLASSIFICAÇÃO INI-C	201
5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA E O POTENCIAL NZEB	203
5.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	205

REFERÊNCIAS	209
APÊNDICE 1 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE IRRADIAÇÃO SOLAR NOS PVSDS	222
APÊNDICE 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE IRRADIAÇÃO SOLAR NOS PVS	326
ANEXO 1 - TABELA A.1 E A.9 DA INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO (INI-C) RETIFICADA	334

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1: CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO DA COMPULSORIEDADE.	38
FIGURA 2.2: REPRESENTAÇÃO DO MODELO DE EDIFÍCIO COM AS DIFERENTES PROPORÇÕES DE PAF E PROTEÇÃO SOLAR PROPOSTAS POR WALTER COSTA, DAVID AMORIM E RIBEIRO SILVA (2020). ..	41
FIGURA 2.3: MODELO RENDERIZADO DO EDIFÍCIO LABZERO.	42
FIGURA 2.4: VISÃO GERAL DO MÉTODO DE ANDRÉ <i>ET AL.</i> (2022).	43
FIGURA 2.5: EDIFÍCIO ESPAÇO NZEB DO CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL), NO RIO DE JANEIRO.	45
FIGURA 2.6: MODELO INICIAL DE FORMA LIVRE E FORMAS OTIMIZADOS PARA A) TOCUMEN, B) YANGON E C) LAGOS.	52
FIGURA 2.7: DIFERENTES MODELOS DE ESCRITÓRIOS PESQUISADOS POR DIDONÉ (2014).	52
FIGURA 2.8: MODELOS DE EDIFÍCIOS COM DIFERENTES GEOMETRIAS.	53
FIGURA 2.9: MODELOS DE PVSDS APRESENTADOS NA REVISÃO DE ZHANG <i>ET AL.</i> (2018), SENDO DESTACADOS OS MODELOS MAIS ESTUDOS: O PAINEL INCLINADO SIMPLES E BRISES HORIZONTAIS ENTRE CAMADAS DUPLAS.	56
FIGURA 2.10: PERDA APROXIMADA DE EFICIÊNCIA PARA DIFERENTES ORIENTAÇÕES DE PV NO HEMISFÉRIO NORTE.	58
FIGURA 2.11: ESTUDOS DE CASO HORIZONTAL (H-SD) E VERTICAL (V-SD) PROPOSTOS NO ESTUDO DE ASFOUR (2018).	59
FIGURA 2.12: SISTEMA DE PERSIANAS COM 10 LÂMINAS, DISTRIBUIÇÃO VISUAL DO CDA E SEÇÃO TRANSVERSAL DO SISTEMA DE PERSIANAS DA SOLUÇÃO OTIMIZADA.	60
FIGURA 2.13: AS DIFERENTES CONFIGURAÇÕES PVSDS UTILIZADAS NAS SIMULAÇÕES DE MESCALOUB <i>ET AL.</i> (2020).	60
FIGURA 2.14: GEOMETRIA DO MODELO DE SALA DE ESCRITÓRIO OPEN-OFFICE (BESTEST CASE 600) UTILIZADO PARA A AVALIAÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS BIPV POR SKANDALOS E KARAMANIS (2021).	62
FIGURA 2.15: MODELO 3D INDICANDO AS VARIÁVEIS DA CONFIGURAÇÃO URBANA AVALIADAS, À ESQUERDA, E PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA ELÉTRICA VERSUS RAZÃO H/W, PARA OS TRÊS DIFERENTES ÂNGULOS DE PVSDS AVALIADOS, À DIREITA.	63
FIGURA 2.16: DIAGRAMAS DE CENÁRIOS DE PVSD ANALISADOS POR QADOURAH <i>ET AL.</i> (2025) E IMPLANTAÇÃO.	64
FIGURA 2.17: COMPARAÇÃO MULTICRITÉRIO POR RADAR DE CENÁRIOS PVSD.	65
FIGURA 2.18: VOLUMETRIA 3D DO MODELO, APLICAÇÃO DOS MÓDULOS BIPV E PLANTA BAIXA DO EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS PROPOSTO NO ESTUDO DE SORGATO, SCHNEIDER E RÜTHER (2018).	66
FIGURA 2.19: DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE PVSDS ANALISADAS NO ESTUDO DE PERES, CALILI E LOUZADA (2020).	67
FIGURA 2.20: MODELO 3D DOS ESTUDOS DE CASO COM A LOCALIZAÇÃO DOS SISTEMAS PV: CASOS SEM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (A E D), CASOS COM TELHADOS FOTOVOLTAICOS ORIENTADOS PARA NORTE (B E E) E CASOS COM DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO FOTOVOLTAICO ORIENTADOS PARA OESTE OU NORTE (C E F).	68
FIGURA 2.21: CONSUMO ANUAL DE ENERGIA EM TODOS OS ESTUDOS DE CASO (COM E SEM INTEGRAÇÃO FOTOVOLTAICA).	68
FIGURA 2.22: MODELO SIMPLIFICADO UTILIZADO COMO BASE NO ESTUDO ESTATÍSTICO DE MARTINS (2014).	72
FIGURA 2.23: GRÁFICO DE CAIXA PARA COMPARAÇÃO DO POTENCIAL SOLAR E DO CONSUMO DE ENERGIA COM PARÂMETROS URBANÍSTICOS.	74
FIGURA 2.24: TIPOLOGIAS DE QUADRAS URBANAS EMPREGADAS NAS ANÁLISES AMBIENTAIS.	75

FIGURA 2.25 RESULTADOS DO POTENCIAL PV MÉDIO DIÁRIO POR ÁREA (WH/M^2) PARA AS 4 ESTAÇÕES, EM 120 CIDADES AO REDOR DO MUNDO.	76
FIGURA 2.26 RESULTADOS DO POTENCIAL PV DIÁRIO EM FACHADAS POR ÁREA (WH/M^2) EM 120 CIDADES AO REDOR DO MUNDO.	77
FIGURA 3.1: DIAGRAMA GERAL DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	82
FIGURA 3.2: MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DAS CIDADES AVALIADAS (À ESQUERDA) E ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO CONFORME A ABNT NBR 15.220-3-1:2024 (À DIREITA).	87
FIGURA 3.3: MAPA DA IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL DO BRASIL.....	88
FIGURA 3.4: MAPA DA IRRADIÂNCIA GLOBAL HORIZONTAL DE BELÉM.	89
FIGURA 3.5: MAPA DA IRRADIÂNCIA GLOBAL HORIZONTAL DE BRASÍLIA.	89
FIGURA 3.6: MAPA DA IRRADIÂNCIA GLOBAL HORIZONTAL DE PORTO ALEGRE.	90
FIGURA 3.7: AMBIENTE DO GRASSHOPPER DESENVOLVIDO PARA ESTA PESQUISA.	94
FIGURA 3.8: GEOMETRIA DOS MODELOS SIMULADOS.	100
FIGURA 3.9: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DISTRIBUIÇÃO DAS ZONAS TÉRMICAS.....	101
FIGURA 3.10: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MODELO DE REFERÊNCIA VERSUS MODELO OTIMIZADO (“REAL”), COM 12 PAVIMENTOS E RESUMO DAS ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.	102
FIGURA 3.11: REPRESENTAÇÃO DA MORFOLOGIA DO QUARTEIRÃO URBANO E OS PARÂMETROS VARIÁVEIS, COM 9 PAVIMENTOS ($H=29,7M$) E 3 VARIAÇÕES DE AFASTAMENTOS ($W=6M, 18M$ E $33M$).....	112
FIGURA 3.12: REPRESENTAÇÃO DA PROFUNDIDADE DO PVSD E O ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO (AVS) ANALISADO EM CARTA SOLAR (EXEMPLO DE 41°).	114
FIGURA 3.13: EXEMPLO DA ANÁLISE DE IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE PARA DEFINIÇÃO DA ÁREA EFETIVA PARA PVSDS, NO MODELO COM 9 PAVIMENTOS ($H=29,7M$) E AFASTAMENTO DO ENTRONCO (W) DE $9M$, EM BELÉM.	116
FIGURA 3.14: CONFIGURAÇÃO DOS MÓDULOS PVS NA COBERTURA.	117
FIGURA 4.1: GRÁFICO DE IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL (GHI) COM BASE NOS DADOS DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS DAS CIDADES DE BELÉM, BRASÍLIA E PORTO ALEGRE.	122
FIGURA 4.2: GRÁFICOS DE COBERTURA DE NUVENS NO CÉU EM BELÉM, BRASÍLIA E PORTO ALEGRE, A PARTIR DOS DADOS DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS.	123
FIGURA 4.3: GRÁFICOS DE IRRADIAÇÃO DIRETA DIÁRIA E IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL DIÁRIA PARA BELÉM, BRASÍLIA E PORTO ALEGRE, A PARTIR DOS DADOS DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS.	124
FIGURA 4.4: GRÁFICOS POLARES DA DISTRIBUIÇÃO DE IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL, DIRETA E DIFUSA, EM KWH/M^2 , NAS CIDADES DE BELÉM, BRASÍLIA E PORTO ALEGRE.	125
FIGURA 4.5: GRÁFICO DAS TEMPERATURAS DE BULBO SECO (TBS), COM BASE NOS DADOS DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS DAS CIDADES DE BELÉM, BRASÍLIA E PORTO ALEGRE.	127
FIGURA 4.6: GRÁFICO DE CALOR (<i>HEAT MAP</i>) DA PERDA MÁXIMA DE IRRADIAÇÃO SOLAR PELO SOMBREAMENTO DO ENTORNO, POR ORIENTAÇÃO E CIDADE AVALIADA.	148
FIGURA 4.7: INFLUÊNCIA DO AUTOSSOMBREAMENTO NO ANTEPARO (PVSD) EM BELÉM.....	150
FIGURA 4.8: INFLUÊNCIA DO AUTOSSOMBREAMENTO NO ANTEPARO (PVSD) EM BRASÍLIA.	150
FIGURA 4.9: INFLUÊNCIA DO AUTOSSOMBREAMENTO NO ANTEPARO (PVSD) EM PORTO ALEGRE.	151
FIGURA 4.10: GRÁFICO DE CALOR (<i>HEATMAP</i>) DA PERDA DE IRRADIAÇÃO SOLAR PELO AUTOSSOMBREAMENTO, POR ORIENTAÇÃO E CIDADE AVALIADA.....	152
FIGURA 4.11: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO ARRANJO DE MÓDULOS PV OTIMIZADOS NA COBERTURA.....	159
FIGURA 4.12: DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DOS CENÁRIOS OTIMIZADOS (OTM)	160

FIGURA 4.13: GRÁFICO DA MÉDIA DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA COMPARANDO MODELOS DE REFERÊNCIA (REF) VERSUS MODELOS OTIMIZADOS (OTM), PARA CADA CONTEXTO CLIMÁTICO.....	163
FIGURA 4.14: MATRIZ DO CONSUMO DE REFRIGERAÇÃO DOS MODELOS DE REFERÊNCIA (REF) E OTIMIZADOS (OTM) – GRADIENTE DE COR ISOLADO PARA CADA CIDADE.	165
FIGURA 4.15: MATRIZ DO CONSUMO DE REFRIGERAÇÃO DOS MODELOS DE REFERÊNCIA (REF) E OTIMIZADOS (OTM) – GRADIENTE DE COR ISOLADO POR CENÁRIO DE AFASTAMENTO.	166
FIGURA 4.16: MATRIZ DA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA (RECCEP)	168
FIGURA 4.17: CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO POR CENÁRIOS ISOLADOS	169
FIGURA 4.18: GRÁFICOS DE LINHAS DA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA (REDCEP) EM FUNÇÃO DO AFASTAMENTO ENTRE EDIFÍCIOS DO ENTORNO E DO NÚMERO DE PAVIMENTOS PARA TRÊS CIDADES AVALIADAS.	170
FIGURA 4.19: RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INI-C PARA TODOS OS CENÁRIOS.....	171
FIGURA 4.20: RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO CENÁRIO REPRESENTATIVO, NA PLATAFORMA DEO.....	173
FIGURA 4.21: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA REDCEP EM FUNÇÃO DA RAZÃO H/W.	174
FIGURA 4.22: GERAÇÃO TOTAL DE ENERGIA EM PVSDS (KWH/ANO).	176
FIGURA 4.23: MÉDIA PERCENTUAL DE ÁREA EFETIVA DA PROTEÇÃO SOLAR ADOTADA PARA A GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	177
FIGURA 4.24: GERAÇÃO TOTAL DE ENERGIA EM MÓDULOS PVS NA COBERTURA (KWH/ANO).	178
FIGURA 4.25: GERAÇÃO DE ENERGIA POR ÁREA EFETIVA DE PVSD VERSUS MÓDULOS PVS NA COBERTURA (KWH/M ²).	178
FIGURA 4.26: CONTRIBUIÇÃO ANUAL DA GERAÇÃO EM PVSD NAS FACHADAS EM RELAÇÃO A GERAÇÃO TOTAL (%).	179
FIGURA 4.27: PARTICIPAÇÃO ANUAL MÉDIA RELATIVA DA GERAÇÃO DE ENERGIA EM PVSDS E PVS. ..	180
FIGURA 4.28 GRÁFICO DO CONSUMO DE ENERGIA ANUAL X GERAÇÃO DE ENERGIA ANUAL (KWH/ANO).	181
FIGURA 4.29: MATRIZ DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA (PG) – GRADIENTE DE COR APLICADO PARA O CONJUNTO DE DADOS DOS TRÊS CONTEXTOS CLIMÁTICOS AVALIADOS.	182
FIGURA 4.30: CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS OTIMIZADOS CONFORME BALANÇO ENERGÉTICO (SEM DISTINÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA).	184
FIGURA 4.31: POTENCIAL NZEB EM PERCENTUAL DE CASOS, SEM CONSIDERAR A CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (À ESQUERDA) E POTENCIAL NZEB CORRIGIDO PARA BELÉM (À DIREITA).	186
FIGURA 4.32: CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS OTIMIZADOS CONFORME BALANÇO ENERGÉTICO PARA BELÉM, AJUSTADO CONSIDERADO A CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA “A”.	186
FIGURA 4.33: CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS OTIMIZADOS CONFORME BALANÇO ENERGÉTICO, CONSIDERANDO GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EXCLUSIVA NA COBERTURA.	187
FIGURA 4.34: GRÁFICO DE DISPERSÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO PG EM FUNÇÃO DA RAZÃO H/W.	191
FIGURA 4.35: MATRIZ DE RAZÃO H/W E O POTENCIAL NZEB	193
FIGURA 4.36: POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA – PG (%) EM FUNÇÃO DO AFASTAMENTO ENTRE EDIFÍCIOS.	194

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1: PALAVRAS CHAVES ADOTADAS NAS BUSCAS BIBLIOGRÁFICAS.	81
TABELA 3.2: ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E ARQUIVOS CLIMÁTICOS ADOTADOS.....	91
TABELA 3.3: COEFICIENTE DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA DA CLASSIFICAÇÃO D PARA A (CRCPD-A), COM BASE NO FATOR DE FORMA (FF) E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA CORRESPONDENTE, PARA EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS.	97
TABELA 3.4: LIMITES DOS INTERVALOS DAS CLASSIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA GERAL DA EDIFICAÇÃO.	98
TABELA 3.5: CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA DOS MODELOS DE EDIFÍCIOS AVALIADOS.	100
TABELA 3.6: PARÂMETROS DE ENTRADA DOS MODELOS DE REFERÊNCIA E OTIMIZADOS.....	103
TABELA 3.7: RESUMO DOS CONJUNTOS CONSTRUTIVOS E SUAS RESPECTIVAS PROPRIEDADES TÉRMICAS.	106
TABELA 3.8: EFICIÊNCIA DE CONDICIONADORES DE AR DO TIPO VRF COM CONDENSAÇÃO A AR QUE OPERAM SOMENTE EM REFRIGERAÇÃO (SEM CICLO REVERSO) PARA A CLASSIFICAÇÃO “A”.	109
TABELA 3.9: PARÂMETROS ADOTADOS PARA CARACTERIZAR O SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.	119
TABELA 4.1: DADOS EXTRAÍDOS DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS DE BELÉM, BRASÍLIA E PORTO ALEGRE.	121
TABELA 4.2: EXEMPLO DE RESULTADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NOS PVSDS PARA BELÉM - ORIENTAÇÃO NORTE.	129
TABELA 4.3: EXEMPLO DE RESULTADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NOS PVSDS PARA BRASÍLIA - ORIENTAÇÃO NORTE.	130
TABELA 4.4: EXEMPLO DE RESULTADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NOS PVSDS PARA PORTO ALEGRE - ORIENTAÇÃO NORTE.	131
TABELA 4.5: MATRIZ DOS ÂNGULOS ÓTIMOS PARA OS PVSDS EM CADA CENÁRIO DE BELÉM.	132
TABELA 4.6: MATRIZ DOS ÂNGULOS ÓTIMOS PARA OS PVSDS EM CADA CENÁRIO DE BRASÍLIA.	133
TABELA 4.7: MATRIZ DOS ÂNGULOS ÓTIMOS PARA OS PVSDS EM CADA CENÁRIO DE PORTO ALEGRE.	134
TABELA 4.8: ÂNGULOS DE INCLINAÇÃO OTIMIZADOS PARA CADA ORIENTAÇÃO E SEUS RESPECTIVOS CONJUNTOS DE CENÁRIOS ADOTADOS, EM CADA CIDADE.	136
TABELA 4.9: IRRADIAÇÃO SOLAR E INCLINAÇÃO OTIMIZADA, SEM ENTORNO, PARA CADA CIDADE AVALIADA.	138
TABELA 4.10: COMPARAÇÃO DA INCLINAÇÃO OTIMIZADA COM X SEM ENTORNO, PARA CADA CIDADE AVALIADA.	139
TABELA 4.11: COMPARAÇÃO DA IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NOS PVSDS COM X SEM ENTORNO, PARA BELÉM.....	141
TABELA 4.12: COMPARAÇÃO DA IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NOS PVSDS COM X SEM ENTORNO, PARA BRASÍLIA.	142
TABELA 4.13: COMPARAÇÃO DA IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NOS PVSDS COM X SEM ENTORNO, PARA PORTO ALEGRE.	143
TABELA 4.14: PERDA DA IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NOS PVSDS PELO SOMBREAMENTO DO ENTORNO, EM BELÉM.	145
TABELA 4.15: PERDA DA IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NOS PVSDS PELO SOMBREAMENTO DO ENTORNO, EM BRASÍLIA.	146
TABELA 4.16: PERDA DA IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NOS PVSDS PELO SOMBREAMENTO DO ENTORNO, EM PORTO ALEGRE.	147

TABELA 4.17: DISPONIBILIDADE RELATIVA (%) DA IRRADIAÇÃO SOLAR POR ORIENTAÇÃO, SEM ENTORNO.	154
TABELA 4.18: DISPONIBILIDADE RELATIVA MÉDIA (%) DA IRRADIAÇÃO SOLAR POR ORIENTAÇÃO, COM ENTORNO.	155
TABELA 4.19: PERCENTUAL DE PERDA DA IRRADIAÇÃO SOLAR EM RELAÇÃO À MELHOR ORIENTAÇÃO SOLAR – COMPARATIVO ENTRE CENÁRIOS “SEM AUTOSSOMBREAMENTO” VERSUS “COM AUTOSSOMBREAMENTO”, EM CADA CIDADE.	157
TABELA 4.20: RECORTE DE RESULTADOS DA ANÁLISE DE IRRADIAÇÃO INCIDENTE NOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS (PVS) NA COBERTURA, PARA CADA CIDADE AVALIADA.	158
TABELA 4.21: ÂNGULOS DE INCLINAÇÃO E AFASTAMENTOS OTIMIZADOS PARA INSTALAÇÃO DE PVS NA COBERTURA.	160
TABELA 4.22: RESULTADOS DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (VALORES MÉDIOS).	161
TABELA 4.23: CARACTERÍSTICAS CENÁRIOS REPRESENTATIVOS SELECIONADOS PARA INSERÇÃO NA PLATAFORMA DEO.	173
TABELA 4.24: EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA CADA CIDADE EM FUNÇÃO DA RED_{CEP} E RAZÃO H/W.	175
TABELA 4.25: EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA CADA CIDADE EM FUNÇÃO DO PG E RAZÃO H/W.	191

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação de ciclo de vida

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

BIPV – *Building-Integrated Photovoltaics* (Fotovoltaicos Integrados à Edificação)

BEN – Balanço Energético Nacional

BEL – Belém

BSB – Brasília

cDA – *Continuous Daylight Autonomy* (Autonomia Contínua de Luz Natural)

COP – *Coefficient of Performance* (Coeficiente de Desempenho)

CRCEPD-A – Coeficiente de Redução do Consumo de Energia Primária da Classificação “D” para “A”

CT – Capacidade Térmica ($\text{kJ/m}^2 \cdot \text{K}$)

C/F – Relação Cobertura/Fachada

DHI – *Diffuse Horizontal Irradiation* (Irradiação Difusa Horizontal)

DNI – *Direct Normal Irradiation* (Irradiação Direta Normal)

DPE – Densidade de Potência de Equipamentos (W/m^2)

DPI – Densidade de Potência de Iluminação (W/m^2)

EEP – Edifícios de Energia Positiva

EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive* (Diretiva Europeia de Desempenho Energético de Edifícios)

EPW – *EnergyPlus Weather File* (Arquivo Climático do EnergyPlus)

FF – Fator de Forma

FS – Fator Solar

GD – Geração Distribuída

GHI – *Global Horizontal Irradiation* (Irradiação Global Horizontal)

H/W – Razão H/W (Altura/Largura), também chamada de Prospecto

INI-C – Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LCF – *Load Cover Factor*

LBT – *Ladybug Tools*

nZEB – *Nearly Zero Energy Building* (Edifício de Balanço Energético Quase Nulo)

OTM – Modelo Otimizado (neste trabalho, equivalente ao modelo “real”, segundo a INI-C)

PAF – Percentual de Aberturas na Fachada

PG – Potencial de Geração de Energia

POA – Porto Alegre

PV – *Photovoltaic* (Fotovoltaico)

PVSD – *Photovoltaic Shading Device* (Dispositivo de Sombreamento Fotovoltaico)

REF – Modelo de Referência (segundo INI-C)

STPV – *Semitransparent Photovoltaic* (Fotovoltaico Semitransparente)

U – Transmitância térmica ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)

Ucob – Transmitância térmica da cobertura ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)

Upar – Transmitância térmica da parede externa ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)

WWR – *Window-to-Wall Ratio* (Razão Janela-Parede, equivalente a PAF)

ZEB – *Zero Energy Building* (Edifício de Balanço Energético Nulo)

RESUMO

POTENCIAL NZEB EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS EM CLIMAS BRASILEIROS: IMPACTO DA OBSTRUÇÃO URBANA NA PROTEÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

A transição para edifícios de energia quase zero (nZEB) requer a integração simultânea entre estratégias de eficiência energética e a geração de energia renovável *in loco*. O sombreamento urbano, embora reduza a carga térmica interna, limita a disponibilidade de irradiação solar, afetando o aproveitamento da envoltória para geração fotovoltaica. Os dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs) poderiam responder a esse paradoxo, ao bloquear a irradiação indesejada nas superfícies envidraçadas e, simultaneamente, captar energia solar para a produção de eletricidade. Nesse sentido, esta pesquisa investiga o potencial de edifícios de escritórios em atingir a condição nZEB, avaliando o impacto da obstrução urbana no consumo de eletricidade e na disponibilidade de irradiação incidente em PVSDs. O método baseia-se em uma abordagem paramétrica aplicada a modelos hipotéticos de edifícios inseridos em malha urbana regular, avaliados por simulações computacionais de irradiação solar, consumo energético e geração fotovoltaica, considerando três climas brasileiros: Belém, Brasília e Porto Alegre. Foram adotadas como variáveis a altura (3 a 18 pavimentos) e o afastamento entre edifícios do entorno (6 a 33 m), totalizando 60 configurações. Os PVSDs foram modelados como anteparos horizontais fixos, cuja inclinação ideal foi definida a partir da análise de irradiação solar. A análise compara cenários de referência e otimizados (com estratégias de eficiência aplicadas), fundamentada na Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais (INI-C). Os resultados demonstraram que a obstrução urbana influencia diretamente na viabilidade nZEB, afetando tanto a demanda energética quanto o potencial de geração em PVSDs. A análise do consumo energético confirmou a eficácia das estratégias de eficiência adotadas, com reduções médias de 35% em Belém, 42% em Brasília e 39% em Porto Alegre, alcançando a classificação de eficiência energética “A” em todos os cenários, exceto em Belém, cujo clima quente e úmido intensificou a demanda por refrigeração. Edifícios mais baixos exibiram os menores consumos de refrigeração em todas as cidades, embora a relação entre altura e consumo não tenha sido linear em Brasília e Porto Alegre. Quanto à disponibilidade de irradiação solar, as perdas associadas ao entorno urbano variaram conforme clima e orientação, com médias de 11% em Belém, 13% em Brasília e 12% em Porto Alegre, chegando até 26% na orientação norte em Brasília. A maioria das proteções solares recebeu irradiação solar superior a 800kWh/m².ano, apesar das perdas por obstrução urbana e autossombreamento entre anteparos, este último com perda média de 20%. Estes resultados confirmam a elevada aptidão das superfícies de proteção solar para integração fotovoltaica, com áreas potencialmente efetivas para geração de 86% em Belém e Brasília, e 75% em Porto Alegre. A geração em PVSDs superou a geração em cobertura em todos os cenários, representando, em média, 79% da geração total em Belém, 78% em Brasília e 76% em Porto Alegre. O potencial nZEB mostrou-se fortemente condicionado pela razão H/W, nas três cidades. Edifícios mais baixos com maiores afastamentos do entorno apresentaram maior probabilidade de atingir a meta nZEB, enquanto tipologias mais altas com afastamentos reduzidos concentraram cenários “Não nZEB”. Brasília apresentou a maior viabilidade atingindo a meta nZEB em 97% dos cenários, seguida por Porto Alegre (87%) e Belém (67%). Os resultados reforçam o papel estratégico da geração fotovoltaica integrada em proteções solares (PVSDs), contribuindo com diretrizes projetuais, normativas e de planejamento urbano orientadas à eficiência energética.

Palavras-chave: Edifícios de Balanço Energético Quase Nulo (nZEB); Dispositivo de Sombreamento Fotovoltaico (PVSD); Obstrução Urbana; Razão H/W; INI-C.

ABSTRACT

NZEB POTENTIAL IN OFFICE BUILDINGS UNDER BRAZILIAN CLIMATES: THE IMPACT OF URBAN OBSTRUCTION ON PHOTOVOLTAIC SHADING DEVICES

The transition toward nearly Zero Energy Buildings (nZEB) requires the simultaneous integration of energy efficiency strategies and on-site renewable energy generation. Urban shading, while reducing internal thermal loads, limits solar irradiance availability, affecting the use of the building envelope for photovoltaic generation. Photovoltaic shading devices (PVSDs) may address this paradox by blocking undesired solar radiation on glazed surfaces while simultaneously harvesting solar energy for electricity production. In this context, this research investigates the potential of office buildings to achieve the nZEB condition by evaluating the impact of urban obstruction on electricity consumption and on the availability of solar irradiance incident on PVSDs. The method is based on a parametric approach applied to hypothetical building models inserted in a regular urban grid, assessed through computational simulations of solar irradiance, energy consumption, and photovoltaic generation, considering three Brazilian climates: Belém, Brasília, and Porto Alegre. Building height (3 to 18 stories) and spacing between surrounding buildings (6 to 33 m) were adopted as variables, resulting in 60 configurations. PVSDs were modeled as fixed horizontal shading elements, with optimal tilt angles defined based on solar irradiance analysis. The assessment compares reference and optimized scenarios (with applied energy efficiency strategies), grounded in the Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Classification of Commercial Buildings (INI-C). The results show that urban obstruction directly influences nZEB feasibility, affecting both energy demand and PVSD generation potential. The energy consumption analysis confirmed the effectiveness of the adopted efficiency strategies, with average reductions of 35% in Belém, 42% in Brasília, and 39% in Porto Alegre, achieving an “A” energy efficiency rating in all scenarios except Belém, where the hot and humid climate intensified cooling demand. Lower-rise buildings exhibited the lowest cooling energy consumption in all cities, although the relationship between height and consumption was not linear in Brasília and Porto Alegre. Regarding solar irradiance availability, losses associated with the urban surroundings varied according to climate and orientation, averaging 11% in Belém, 13% in Brasília, and 12% in Porto Alegre, reaching up to 26% on north-facing façades in Brasília. Most shading devices received solar irradiance above 800 kWh/m²-year, despite losses caused by urban obstruction and self-shading between shading elements, the latter presenting an average loss of 20%. These results confirm the high suitability of solar shading surfaces for photovoltaic integration, with potentially effective generation areas of 86% in Belém and Brasília and 75% in Porto Alegre. Photovoltaic generation from PVSDs exceeded rooftop generation in all scenarios, accounting on average for 79% of total generation in Belém, 78% in Brasília, and 76% in Porto Alegre. nZEB potential was strongly conditioned by the H/W ratio in all three cities. Lower-rise buildings with greater spacing from surrounding obstructions showed a higher probability of achieving the nZEB target, whereas taller typologies with reduced spacing concentrated “Non-nZEB” scenarios. Brasília presented the highest feasibility, achieving the nZEB target in 97% of the scenarios, followed by Porto Alegre (87%) and Belém (67%). The results reinforce the strategic role of photovoltaic generation integrated into solar shading devices (PVSDs), contributing to design, regulatory, and urban planning guidelines oriented toward energy efficiency.

Keywords: Nearly Zero Energy Buildings (nZEB); Photovoltaic Shading Device (PVSD); Urban Obstruction; H/W Ratio; INI-C.

RESUMEN

POTENCIAL NZEB EN EDIFICIOS DE OFICINAS EN CLIMAS BRASILEÑOS: IMPACTO DE LA OBSTRUCCIÓN URBANA EN PROTECCIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

La transición hacia edificios de energía casi nula (nZEB) requiere la integración simultánea de estrategias de eficiencia energética y la generación de energía renovable in situ. El sombreado urbano, aunque reduce la carga térmica interna, limita la disponibilidad de irradiación solar y afecta el aprovechamiento de la envolvente para la generación fotovoltaica. Los dispositivos de sombreado fotovoltaico (PVSDs) pueden responder a esta paradoja al bloquear la radiación solar no deseada sobre superficies acristaladas y, simultáneamente, captar energía solar para la producción de electricidad. En este contexto, esta investigación analiza el potencial de los edificios de oficinas para alcanzar la condición nZEB, evaluando el impacto de la obstrucción urbana sobre el consumo de electricidad y la disponibilidad de irradiación solar incidente en los PVSDs. El método se basa en un enfoque paramétrico aplicado a modelos hipotéticos insertos en una trama urbana regular, evaluados mediante simulaciones computacionales de irradiación solar, consumo energético y generación fotovoltaica, considerando tres climas brasileños: Belém, Brasíla y Porto Alegre. Se adoptaron como variables la altura del edificio (3 a 18 pisos) y el espaciamiento entre edificaciones del entorno (6 a 33 m), totalizando 60 configuraciones. Los PVSDs se modelaron como elementos horizontales fijos, con inclinación óptima definida a partir del análisis de irradiación solar. El análisis compara escenarios de referencia y optimizados, con estrategias de eficiencia aplicadas según la Instrucción Normativa del Inmetro para la Clasificación de la Eficiencia Energética de Edificios Comerciales (INI-C). Los resultados muestran que la obstrucción urbana influye directamente en la viabilidad nZEB, afectando la demanda energética y el potencial de generación en los PVSDs. Las estrategias de eficiencia resultaron en reducciones medias del 35% en Belém, 42% en Brasíla y 39% en Porto Alegre, alcanzando la clasificación “A” en todos los escenarios, excepto en Belém, debido al clima cálido y húmedo. Los edificios de menor altura presentaron los menores consumos de refrigeración, aunque la relación entre altura y consumo no fue lineal en Brasíla y Porto Alegre. Las pérdidas de irradiación asociadas al entorno urbano variaron según el clima y la orientación, con promedios del 11% en Belém, 13% en Brasíla y 12% en Porto Alegre, alcanzando hasta el 26% en la orientación norte en Brasíla. La mayoría de los dispositivos recibió irradiación superior a 800 kWh/m²·año, a pesar de las pérdidas por obstrucción urbana y por autosombreado entre elementos, este último con una pérdida media del 20%. Estos resultados confirman la alta aptitud de las protecciones solares para la integración fotovoltaica, con áreas efectivas de generación del 86% en Belém y Brasíla, y del 75% en Porto Alegre. La generación fotovoltaica en PVSDs superó la generación en cubierta en todos los escenarios, representando en promedio el 79% de la generación total en Belém, el 78% en Brasíla y el 76% en Porto Alegre. El potencial nZEB se mostró fuertemente condicionado por la razón H/W. Los edificios de menor altura y mayor separación del entorno urbano presentaron mayor probabilidad de alcanzar el objetivo nZEB, mientras que tipologías más altas concentraron escenarios “No nZEB”. Brasíla presentó la mayor viabilidad (97%), seguida de Porto Alegre (87%) y Belém (67%). Los resultados refuerzan el papel estratégico de la generación fotovoltaica integrada en protecciones solares (PVSDs), contribuyendo a directrices de diseño, normativas y de planificación urbana orientadas a la eficiencia energética.

Palabras clave: Edificios de Energía Casi Nula (nZEB); Dispositivo de Sombreado Fotovoltaico (PVSD); Obstrucción Urbana; Razón H/W; INI-C.



1 ▣ INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Ao longo das últimas duas décadas, as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) têm apresentado um aumento ascendente, atingindo níveis sem precedentes em comparação com qualquer período registrado anteriormente. De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), de 2023, esse aumento contribuiu para elevar a temperatura média global da superfície terrestre cerca de 1,15°C acima dos níveis pré-industriais (Calvin *et al.*, 2023).

Para frear esse aquecimento global, foi assinado o Acordo de Paris, em 2015, por mais de 190 países, com o objetivo de alcançar o balanço zero de emissões de gases de efeito estufa até 2050. Desde então, avanços políticos e tecnológicos têm contribuído para a redução das projeções de aumento da temperatura global. No entanto, ainda há um longo percurso a ser trilhado para alcançar a meta de limitar o aquecimento global a 1,5°C (Birol, 2022). Dentre as principais atividades humanas responsáveis pelo aumento dos GEE, se destaca a produção de energia não-renovável, principalmente a queima de combustíveis fósseis, responsável por aproximadamente 80% das emissões globais de gases de efeito estufa (Birol, 2022).

Em apoio ao enfrentamento deste desafio, a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil ao Acordo de Paris foi revisada e ratificada na última Conferência das Partes sobre as Mudanças Climáticas, a COP28, em 2023. O Brasil reafirmou o compromisso de mitigar as emissões líquidas de gases de efeito estufa (GEE), estabelecendo metas ambiciosas de redução: 48,4% (ou 1,24 GtCO₂e) até 2025 e 53,1% (ou 1,36 GtCO₂e) até 2030, em comparação com os níveis de 2005. Além disso, o país reiterou seu objetivo de alcançar a neutralidade de carbono até 2050 (Brasil, 2023).

Cabe destacar que a matriz energética brasileira é de origem predominantemente renovável, o que resulta em emissões significativamente menores de GEE comparadas às matrizes energéticas mundiais. De acordo com o mais recente Balanço Energético Nacional (EPE, 2025), 88% da eletricidade disponível internamente no Brasil provém de fontes renováveis, dos quais se destaca a energia hídrica, com uma contribuição de 56,8% da oferta interna de energia elétrica, seguida da fonte eólica, com 14,1% e a solar com 9,3%, dentre outras.

No cenário internacional, o crescimento populacional é um fator que pode intensificar o aquecimento global. De acordo com as projeções mais recentes das Nações Unidas, a população mundial deve alcançar aproximadamente 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,4 bilhões em 2100 (World Population Prospects, 2022). Esse quadro é agravado pelo aumento da urbanização: atualmente, mais de 55% da população global vive em áreas urbanas, e estima-se que esse percentual chegue a 68% até 2050 (World Urbanization Prospects, 2019).

No Brasil, a situação é semelhante, com expectativas de crescimento populacional nos próximos anos. Embora as projeções demográficas indiquem um ritmo desacelerado, a população atual de 203 milhões de habitantes (IBGE, Censo 2022) deve atingir 226 milhões em 2050 (Brasil, PNE 2050, 2020). Esse crescimento demográfico, aliado à tendência de redução do número de habitantes por domicílio (de 3,2 em 2015 para 2,3 em 2050), impulsionará a expansão das cidades (Brasil, PNE 2050, 2020). Como consequência desse panorama de concentração urbana, a demanda por infraestrutura e serviços sofrerá uma pressão para expansão, exigindo uma maior oferta de energia para suprir as necessidades urbanas.

Essa urbanização crescente é acompanhada por uma projeção de aumento substancial no consumo de energia per capita no Brasil até 2050, com previsão de quase triplicar em relação aos valores de 2015, apesar dos esforços em eficiência energética que visam mitigar esse crescimento (Brasil, PNE 2050, 2020). Esse aumento é impulsionado pelo crescimento econômico, pelas mudanças nos padrões de consumo energético e uma maior eletrificação em diversos setores da economia, intensificada pela urbanização (Brasil, PNE 2050, 2020). Portanto, embora a matriz energética brasileira seja predominantemente renovável, o cenário atual evidencia a necessidade urgente do governo implementar políticas voltadas à redução do consumo energético, à garantia de segurança energética e ao cumprimento dos compromissos firmados para mitigar as mudanças climáticas.

Entre os setores que mais consomem energia no mundo, a operação das edificações figura como responsável por 30% do consumo final de energia global e 26% das emissões de gases de efeito estufa (IEA, 2023). No Brasil, conforme o mais recente Balanço Energético Nacional, os edifícios residenciais e comerciais representam, juntos, 45,4% do consumo de energia elétrica (EPE, 2025). Essa relevância das edificações no consumo de energia elétrica e nos índices de emissões de GEE, aliada às evidências de que as demandas energéticas tendem a se intensificar no futuro, indicam um cenário preocupante para o desenvolvimento da sociedade. Este cenário reforça a urgência de adotar novas abordagens em projetos

arquitetônicos e na construção civil em direção a modelos energeticamente mais eficientes e sustentáveis.

Em resposta a essa demanda, os padrões mínimos de desempenho e os códigos de edificações estão se tornando mais rigorosos em diversos países (IEA, 2023). Nesse contexto, os Edifícios de Balanço Energético Quase Nulo (nZEBs) emergem como uma solução promissora para reduzir o consumo de energia no setor da construção e contribuir para o enfrentamento das mudanças climáticas. Os nZEBs são edifícios projetados com o objetivo de maximizar a eficiência energética, de modo que a sua baixa demanda de energia possa ser integralmente ou quase totalmente suprida a partir da produção local de energia renovável. Desta forma, o balanço final entre o consumo e geração de energia pelo edifício é zero ou próximo de zero, tendo um ano como base de cálculo. Entretanto, cabe destacar que ainda não há uma definição internacionalmente acordada sobre os nZEBs e tampouco uma metodologia comum unificada para avaliá-los (D'Agostino; Mazzarella, 2019; Feng *et al.*, 2019).

No âmbito nacional, a etiquetagem de eficiência energética de edificações conduzida pelo PBE Edifica (Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações) tornou-se obrigatória para edificações públicas federais em 2014. Em 2023, os regulamentos que orientam o método de avaliação, a Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e a Instrução Normativa Inmetro para Edificações Residenciais (INI-R), foram atualizados, incorporando oficialmente o conceito de Edificação de Energia Quase Zero (NZEB) ao cenário regulatório brasileiro. De acordo com essas normativas, considera-se Edificação de Energia Quase Zero (NZEB) um edifício energeticamente eficiente classificado em nível “A”, cuja geração de energia renovável produzida *in-loco* supre 50% ou mais de sua demanda anual (Brasil, 2022).

Recentemente, em 26 de setembro de 2025, o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) publicou as Resoluções nº 4/2025 e nº 5/2025 (Brasil, 2025) que representam um marco regulatório na política nacional de eficiência energética. Esses instrumentos normativos **instituem, pela primeira vez, critérios obrigatórios para o desempenho energético mínimo de novas edificações no país**, estabelecendo cronogramas e níveis mínimos de eficiência alinhados ao PBE Edifica. Entre as diretrizes definidas, destaca-se a exigência de que edificações públicas federais alcancem o nível **nZEB a partir de 2035**, sinalizando um avanço estratégico rumo à transição energética e à descarbonização do parque edificado brasileiro (Brasil, 2025).

Nesse contexto, torna-se essencial o desenvolvimento de estudos que avaliem e aprimorem a viabilidade prática do conceito de nZEBs em diferentes condições climáticas brasileiras, contribuindo para a adaptação do modelo às especificidades locais e para o avanço da sustentabilidade no setor da construção. Em especial, destaca-se a relevância da tipologia de edifícios de escritórios, que representa uma parcela significativa do patrimônio público e possui alta demanda energética, apresentando maiores desafios para atingir as metas nZEB. Esses fatores foram determinantes para a escolha dessa tipologia como objeto de estudo desta pesquisa.

A busca por maior eficiência energética em edificações, passo primordial para alcançar nZEBs, requer estudos de otimização de edifícios adaptados às condições climáticas brasileiras, visto que a maioria das diretrizes e informações disponíveis são provenientes de climas onde predomina a necessidade de aquecimento dos edifícios, sendo escassas as análises de estratégias de eficiência energética para edifícios em climas quentes (Costa, Amorim e Silva, 2020). A literatura indica que a geometria dos edifícios desempenha um papel relevante no consumo de energia, porém, os estudos apontam que essa influência deve ser melhor explorada em climas quentes, pois há indícios de que seu comportamento difere de climas frios, onde a compactidade é amplamente recomendada como estratégia para reduzir o consumo de energia.

A eficiência energética é uma abordagem abrangente que integra diversos fatores, como concepção de projeto, tecnologias empregadas, comportamento do usuário, políticas públicas e regulamentações. Todos esses aspectos são relevantes para reduzir o consumo de energia, seus impactos ambientais associados e garantir a segurança energética (Labaran *et al.*, 2024). No entanto, nesta pesquisa, o enfoque será direcionado principalmente às oportunidades de eficiência energética na concepção preliminar da forma arquitetônica. Adicionalmente, os componentes construtivos e os sistemas ativos da edificação também serão abordados, como parte da validação de estratégias de eficiência energética.

A geração de energia renovável in loco constitui o próximo passo para o alcance das metas nZEB. No Brasil, a elevada disponibilidade de irradiação solar favorece a implementação de geração fotovoltaica que já desponta como a principal fonte da geração distribuída (EPE, 2025). Embora as coberturas dos edifícios sejam a localização mais favorável para a instalação de módulos fotovoltaicos devido à alta incidência solar, estudos apontam que a geração exclusiva nas coberturas é insuficiente para atingir as metas nZEBs (Cronemberger; Caamaño-Martín e Sánchez, 2012; Didoné; Wagner e Pereira, 2014; Costa, 2018 e Barrutieta *et al.*, 2023).

Nesse sentido, uma forma arquitetônica com uma maior área exposta de envoltória pode ampliar o potencial de geração solar. Por outro lado, essa característica também intensifica as trocas térmicas, o que pode aumentar os ganhos de calor e impactar no desempenho energético do edifício. Esse comportamento dual ainda é influenciado pelo contexto urbano, onde o sombreamento causado por edifícios vizinhos, embora beneficie a redução da carga térmica, pode limitar a disponibilidade solar para geração de energia e dificultar a execução das metas nZEBs.

Conforme apontado por Martins (2014), o aproveitamento eficiente da geração de energia solar em edifícios pode levar à proposição de formas urbanas menos densas e mais dispersas, com o intuito de minimizar as obstruções causadas pelo entorno imediato. Contudo, esse modelo urbano mais disperso apresenta um paradoxo, pois tende a aumentar a carga térmica, devido à maior exposição direta das fachadas à irradiação solar.

Dessa forma, torna-se legítimo desenvolver pesquisas para resolver o **conflito energético inerente entre redução de consumo e aumento da geração**. Na busca por contornar esse paradoxo, as **proteções solares fotovoltaicas** surgem como uma alternativa promissora, na medida em que oferecem proteção solar para reduzir a carga térmica e ao mesmo tempo possibilitam a captação solar em ângulos mais favoráveis do que aplicação em fachadas verticais, atuando positivamente em ambas as direções, mitigando assim a dualidade.

No Brasil, os estudos sobre este tema ainda são escassos. Por esse motivo, ao invés de adotar a expressão “proteção solar fotovoltaica” conforme aponta a título desta dissertação, optou-se pelo termo **dispositivo de sombreamento fotovoltaico (PVSD)** que será empregado ao longo do texto por alinhar-se à terminologia consolidada na literatura internacional.

Seguindo uma abordagem semelhante aos estudos de Martins (2014), Birck (2017) e Góes (2024), esta pesquisa busca analisar simultaneamente o consumo energético e a geração de energia sob o prisma da morfologia urbana, ampliando a discussão para o cumprimento das metas nZEB em diferentes contextos climáticos. Espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam para o avanço do conhecimento relacionado ao planejamento urbano, oferecendo subsídios que possam auxiliar arquitetos e urbanistas na tomada de decisões durante as fases iniciais de projeto.

Por fim, justificam-se novas pesquisas que busquem contribuir com diretrizes e informações para apoiar o desenvolvimento de projetos energeticamente eficientes por meio da

implementação da INI-C, especialmente no contexto recente da agenda regulatória que direciona o país para edificações nZEB. Este trabalho, portanto, alinha-se à linha de pesquisa Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do Ambiente Construído, do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Brasília (PPGFAU – UnB), oferecendo contribuições relevantes para o avanço do conhecimento e para o cumprimento das metas climáticas.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa é avaliar o potencial de edifícios de escritórios alcançar o balanço energético quase nulo (nZEB), no contexto climático e normativo brasileiro, considerando os impactos da obstrução urbana no desempenho energético e na geração de energia elétrica de fonte renovável em dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs).

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a influência da obstrução do entorno urbano no consumo de energia elétrica e no potencial de geração renovável, para atingir a meta nZEB estabelecida pela INI-C;
- Investigar os efeitos da obstrução urbana no desempenho de PVSDs e definir os ângulos ótimos de inclinação para cada orientação solar;
- Validar estratégias de eficiência energética aplicadas a edifícios de escritório, com base na classificação da eficiência energética definida pela INI-C.



2 ■ REFERENCIAL TEÓRICO

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo inicialmente explora os conceitos fundamentais e o estado da arte relacionados a edifícios de balanço energético nulo (nZEB) no mundo e no Brasil, abrangendo a evolução da regulamentação brasileira, a inserção de geração distribuída e os estudos de caso e pesquisas locais que investigam esse tipo de edificação. Em seguida, é abordada a importância da eficiência energética como pilar central para alcançar as metas de nZEB, bem como a relação entre a geometria do edifício e o consumo de eletricidade, fatores que impactam diretamente o desempenho energético das construções. O capítulo também dedica uma seção aos dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSD), que combinam funções de sombreamento e geração de energia de fonte solar, discutindo seu potencial como uma solução eficaz para alcançar a meta nZEB. Por fim, discute-se a geração de eletricidade solar em áreas urbanas, considerando as particularidades e desafios inerentes à densidade urbana e às condições de sombreamento do entorno, aspectos cruciais para a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos em ambientes urbanos. A partir desses tópicos abordados, busca-se oferecer uma base teórica necessária para fundamentar as análises propostas nesta pesquisa.

2.1 CONCEITO NZEB

Diferentes denominações são adotadas para descrever edifícios que alcançam um equilíbrio entre o consumo e a produção de energia. Globalmente, as definições de Net Zero Energy Building a Nearly Zero Energy Building variam em cada país. Apesar de não haver uma definição única e consensual, estes conceitos compartilham um princípio comum: reduzir ou neutralizar os impactos ambientais das edificações (Attia, 2018). Apesar das discussões sobre edifícios de energia zero ter origem na década de 1970, o conceito ganhou destaque nos últimos anos como uma resposta imprescindível para o desenvolvimento sustentável e a neutralidade energética em edifícios (Feng *et al.*, 2019).

Na União Europeia (UE), o conceito de Edifício de Energia Quase Zero (nZEB) foi formalizado na Diretiva de Desempenho Energético de Edifícios (EPBD) em 2010, atualizada 2018. A definição abrange edificações de alto desempenho energético, cujo consumo de energia é suprido por fontes renováveis produzidas no local e/ou nas proximidades. Cada Estado-Membro tem autonomia para definir pormenores acerca dos edifícios NZEBs, refletindo as oportunidades e desafios das condições nacionais, regionais ou locais (D'Agostino; Mazzarella,

2019). Essa diretiva foi um marco crucial na ascensão de NZEBs na Europa ao estipular a obrigatoriedade de novos edifícios públicos serem nZEBs até 2018 e todos os novos edifícios até 2020 (EPBD, 2010).

As discussões sobre nZEBs abordam vários fatores, como o escopo físico, o período de balanço, o tipo de uso energético, a métrica, as fontes de energia renovável e a conexão com infraestruturas energéticas (European Commission. Joint Research Centre., 2016). O escopo físico determina a abrangência do balanço energético quanto a ser um único edifício ou múltiplos edifícios. O período do balanço energético pode considerar diferentes escalas temporais, como horária, diária, mensal, anual ou ao longo de todo o ciclo de vida do edifício. A maioria das definições de NZEBs pressupõe a conexão com as redes de utilidades como eletricidade, aquecimento e resfriamento distrital, gás ou biomassa, permitindo assim a importação e exportação de energia, evitando a necessidade de armazenamento local. Para edificações fora da rede, sistemas de armazenamento são necessários para gerenciar a energia durante picos de carga ou falta de disponibilidade de fontes renováveis (European Commission. Joint Research Centre., 2016).

Outro ponto de discussão é a métrica adotada para o cálculo do balanço energético, sendo a energia primária a unidade mais comum. Outros exemplos incluem emissões de CO₂ equivalentes e custo da energia. O tipo de uso de energia considerado no cálculo também é debatido. Algumas definições incluem apenas a energia operacional, como climatização, iluminação e aquecimento de água, e exclui a energia incorporada nos materiais de construção. As opções de fornecimento renovável discutidas podem ser no local, isto é, dentro do perímetro do terreno, ou fora do local, que abrange a importação ou a compra de energia renovável de terceiros (European Commission. Joint Research Centre., 2016).

As políticas de eficiência energética apresentam diferenças significativas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Enquanto os primeiros têm códigos e incentivos bem estabelecidos, muitos países em desenvolvimento ainda enfrentam desafios devido à falta de regulamentações abrangentes. Embora haja exemplos de NZEBs em várias partes do mundo, a maioria está concentrada na Europa e na América do Norte, com o desenvolvimento do conceito em diferentes estágios, dependendo da região (Resende; Monzón-Chavarrías; Corvacho, 2021).

Visando uma definição compartilhada, a Agência Internacional de Energia (IEA), em parceria com o Programa de Aquecimento e Resfriamento Solar (SHC) e o Programa de Energia

em Edifícios e Comunidades (EBC), criou a Task 40 e o Anexo 52 - "*Towards Net Zero Energy Solar Buildings*". No entanto, as discussões recentes indicam que um consenso global sobre a definição de NZEB é improvável, devido às diversas realidades nacionais e regionais. O consenso emergente é de que a definição deve ser flexível, considerando fatores como clima, custo, e disponibilidade de energia renovável. Neste sentido, estabelecer diferentes níveis de nZEB adaptados a distintos cenários pode ser uma estratégia eficaz para criar um roteiro que atenda às necessidades particulares de cada região. Como exemplo, países do sul da Europa, como Portugal, Espanha e Itália, em relação à meta de nZEB, concordam que pelo menos 50% da energia primária utilizada deve ser proveniente de fontes renováveis geradas localmente (Resende; Monzón-Chavarrías; Corvacho, 2021). O Brasil adota diretriz semelhante na INI-C, que igualmente estabelece o atendimento mínimo de 50% do consumo energético por geração renovável no local como critério para classificação nZEB.

Os altos custos iniciais e os longos prazos de retorno são algumas das barreiras mais significativas para a adoção de edifícios nZEBs em regiões em desenvolvimento. Feng *et al.* (2019) sugerem que, nesses contextos, deve-se priorizar o uso de estratégias passivas, que exigem menores investimentos iniciais, além de adotar abordagens com prazos de retorno mais curtos. Resende, Monzón-Chavarrías e Corvacho (2021) apontam que é fundamental desenvolver metodologias que ajudem os projetistas a identificarem combinações eficazes de soluções de projeto, buscando reduzir tanto os custos iniciais quanto os do ciclo de vida.

Enquanto os países em desenvolvimento seguem em passos lentos, a União Europeia já avança para novos conceitos. A nova versão da EPBD (EU/2024/1275), publicada em abril de 2024, introduz requisitos mais rigorosos para o desempenho energético, substituindo a exigência de "edifícios de energia quase zero" pela meta de "edifícios de emissão zero", com prazo até 2028 para novas construções públicas e 2030 para todas as demais. Esses edifícios devem apresentar um desempenho energético extremamente elevado e zero emissões locais de carbono, alinhando-se com os objetivos de neutralidade climática da UE até 2050.

2.2 NZEB NO CONTEXTO BRASILEIRO

2.2.1 HISTÓRICO DA REGULAMENTAÇÃO NZEB

O Brasil experimentou a primeira crise energética em 2001, devido a um longo período de estiagem e à sua dependência de usinas hidrelétricas, sem uma diversificação de fontes de

energia suficiente, o que culminou na promulgação da Lei nº 10.295, conhecida como Lei de Eficiência Energética. Posteriormente, em 2003, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) desenvolveu o PROCEL Edifica, programa específico para incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações brasileiras (PBE EDIFICA, 2024).

No âmbito do PROCEL Edifica, por meio de uma cooperação mútua entre o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), Eletrobras, e a academia brasileira, nasceu o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, o PBE Edifica. Em 2009, foi publicada a primeira versão do Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) que estabeleceu um método de classificação de edifícios quanto ao nível de eficiência energética. Em 2010, essa regulamentação foi expandida para incluir edifícios residenciais, com o lançamento do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). Essas iniciativas públicas ainda não contemplavam o conceito de Edifícios de Energia Quase Zero (nZEB) e tampouco incentivavam sua adoção (PBE EDIFICA, 2024).

As primeiras propostas para uma política de promoção de edifícios de energia zero no Brasil foram delineadas em 2013, por Pacheco, Ghisi e Lamberts (2013). Neste estudo, os autores apontam que o Brasil, sendo um país de clima majoritariamente tropical, com consideráveis áreas equatoriais, apresenta condições extremamente vantajosas para a geração de energia renovável de diferentes fontes. Além disso, o Brasil apresenta consumos médios menores que os verificados em países desenvolvidos, o que implica em uma maior facilidade para atingir o balanço energético nulo.

Pacheco, Ghisi e Lamberts (2013) argumentam ainda que o sucesso das transições de matriz energética para fontes renováveis depende fundamentalmente da eficácia de políticas governamentais, visto que as implementações concretas de edificações de energia zero nos Estados Unidos e na Europa se devem em grande medida à decorrência das políticas públicas de incentivo e apoio à efetivação de projetos de edificações energeticamente neutras.

Em 2014, o governo federal intensificou as ações para expandir o impacto dos programas de racionalização do uso de energia em edificações, tornando obrigatória a etiquetagem de eficiência energética para os edifícios da administração pública federal. A Instrução Normativa nº 02, promulgada pelo então Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG),

estabeleceu que todos os projetos de novas construções ou de reformas (*retrofit*) devem ser desenvolvidos ou contratados com o objetivo de obter, de forma compulsória, a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) com classificação Geral "A" (Brasil, 2014).

O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações - PROCEL EDIFICA, em parceria com o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), se dedicou ao aprimoramento dos regulamentos RTQ-C e RTQ-R. Esse processo de aperfeiçoamento foi impulsionado por diversos fatores, com destaque para a necessidade de aprimorar os indicadores de desempenho e garantir uma quantificação mais precisa das economias geradas pela adoção de estratégias de eficiência energética. Assim, em 2021, resultou na publicação da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que estabelece um novo método de etiquetagem, com alterações significativas em relação ao seu precursor, o RTQ-C. Em setembro de 2022, nova portaria foi publicada incluindo a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R), bem como o documento dos novos Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC).

Um dos principais avanços introduzidos pela INI-C foi a inclusão de parâmetros para Edificações de Energia Quase Zero (nZEB) e Edificações de Energia Positiva (EEP), sendo a primeira regulamentação brasileira a tratar diretamente desses conceitos. Segundo a INI-C, uma edificação nZEB é definida como uma edificação energeticamente eficiente, comprovada pela obtenção da classificação "A" de eficiência energética, devendo suprir 50% ou mais de sua demanda energética anual por meio de energia renovável gerada localmente. Para as Edificações de Energia Positiva (EEP), a geração de energia deve exceder o consumo total anual (Brasil, 2022).

Além das INI-C e INI-R, podem ser citadas outras iniciativas para a promoção das edificações nZEB no Brasil. A Certificação GBC Brasil Zero Energy, por exemplo, visa impulsionar construções que buscam o equilíbrio entre o consumo e a geração (GBC, 2020). Outra iniciativa relevante neste sentido foi a chamada pública Procel Edifica - NZEB Brasil, lançada em 2019, que premiou instituições para execução de quatro edificações modelos em diferentes regiões do Brasil. O objetivo desta chamada foi fomentar o conhecimento, aprimorar o desenvolvimento de projetos com a aplicação dos novos métodos de etiquetagem, além de avaliar a viabilidade técnica e financeira de edificações nZEB (Eletrobras, 2019).

Foi desenvolvida pela Eletrobrás, sob coordenação do PROCEL, a Análise de Impacto Regulatório (AIR) com o objetivo de avaliar um modelo de compulsoriedade da etiquetagem para os demais seguimentos cuja adesão ainda é voluntária. A primeira versão da Nota Técnica, publicada em 2021, apresentou quatro cenários de ação, abordando questões de governança e a abrangência da compulsoriedade, considerando um horizonte de 15 anos.

Este primeiro plano de compulsoriedade publicado está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), e com as metas firmadas no Acordo de Paris, em 2015 (Mitsidi, 2021). No entanto, há de se destacar que o relatório apresenta uma lacuna significativa no que se refere à promoção de edifícios nZEBs e EEPs, categorias que ainda carecem de incentivos no país, uma vez que não contemplou ações concretas para fomentar o desenvolvimento dessas edificações, tampouco trouxe projeções ou estratégias para aumentar gradualmente as exigências relativas ao conceito nZEB, a luz de regulamentações internacionais.

2.2.1.1 SITUAÇÃO ATUAL DA IMPLEMENTAÇÃO DO PBE EDIFICA

Com base na Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001), foi criado o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) que instituiu o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações (GT-Edificações), com a responsabilidade de propor procedimentos e indicadores para a avaliação da eficiência energética das edificações no país e assessorar o CGIEE.

O GT-Edificações publicou o Plano de Trabalho para o período de 2024-2026 que estabelece diretrizes estratégicas para a promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras. Este plano aborda o potencial do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) como ferramenta para reduzir o consumo de energia em edifícios, destacando o papel fundamental da etiquetagem no contexto das políticas de mitigação de mudanças climáticas e de combate às emissões de gases de efeito estufa (GEE). Atualmente, a etiquetagem é voluntária, mas o plano prevê a sua implementação progressiva e obrigatória, especialmente em edificações públicas, comerciais, de serviços e residenciais, com diferentes fases de adoção em níveis federais, estaduais e municipais.

Outro ponto abordado é a acreditação dos Organismos de Inspeção Acreditados (OIAS) e dos Profissionais Certificados, responsáveis por garantir a conformidade com os índices

mínimos de eficiência energética. No cenário proposto, os OIAs serão os responsáveis pela emissão das etiquetas de eficiência energética para edificações complexas, e a formação de novos OIAs será incentivada por meio da simplificação dos processos de acreditação e redução de barreiras burocráticas e financeiras, identificadas durante a análise do plano. Além disso, o GT-Edificações sugere o desenvolvimento de um programa de fomento para atrair novos OIAs, promovendo palestras e workshops para compartilhar experiências e apoiar a formação de novos organismos.

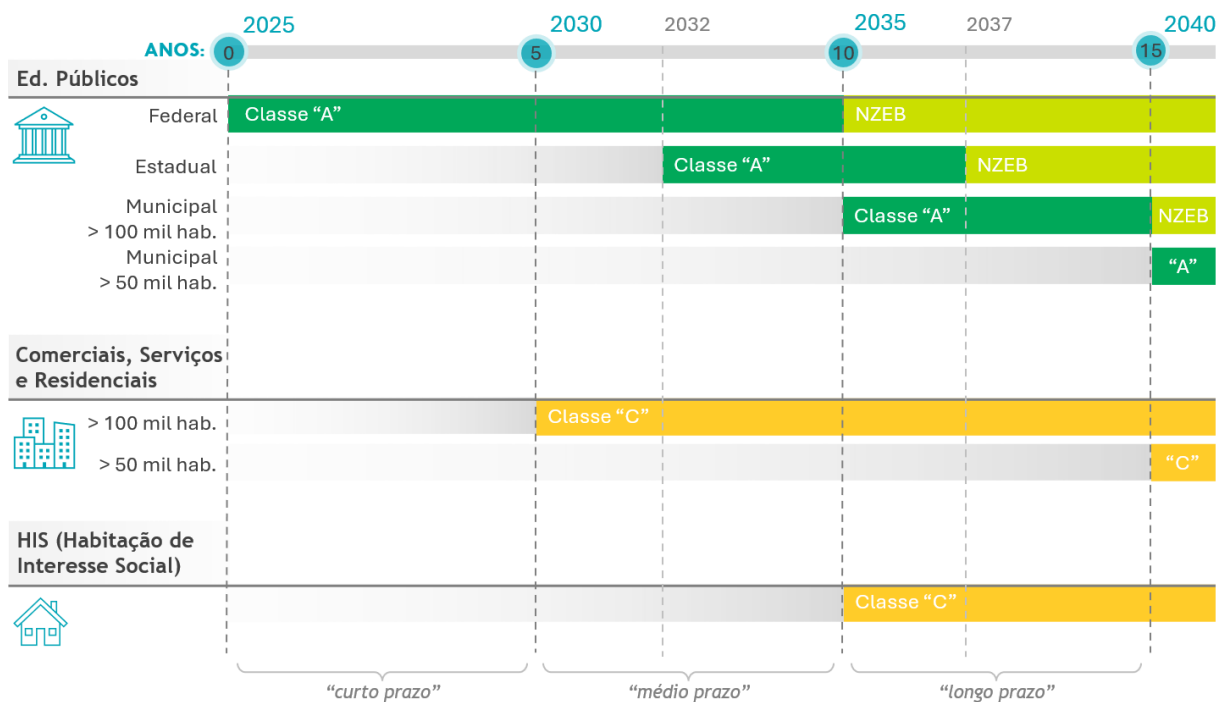
Os profissionais certificados, por sua vez, deverão ser credenciados por Organismos de Certificação de Pessoas (OPCs), que terão a responsabilidade de capacitar, avaliar e certificar esses profissionais. O GT-Edificações trabalhará em conjunto com o Inmetro para definir as competências e atribuições dos OPCs, além de desenvolver os materiais de apoio e processos de avaliação. O plano prevê também o desenvolvimento de normativas que regulem o controle e a atuação desses profissionais, com o objetivo de assegurar a qualidade e eficácia no processo de etiquetagem de edificações.

Em 26 de setembro deste mesmo ano, o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) publicou as Resoluções nº 4/2025 e nº 5/2025 (Brasil, 2025). Esses instrumentos normativos instituem, pela primeira vez, critérios obrigatórios para o desempenho energético mínimo de novas edificações no país, representando um ponto de inflexão na política nacional de eficiência energética no setor da construção civil. A resolução de nº4 introduz um cronograma escalonado de exigências, organizado conforme tipologia da edificação, esfera administrativa e porte populacional do município, conforme detalhado na Figura 2.1.

Entre os parâmetros estabelecidos, destaca-se a adoção progressiva dos níveis de eficiência classificados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica), incluindo a previsão de que edificações públicas federais deverão alcançar nZEB (Edificação de Energia Quase Zero) a partir de 2035 (Brasil, 2025).

Esse conjunto de medidas representa um avanço institucional significativo, reforçando o papel das edificações na redução do consumo de energia elétrica e emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Além de promover maior previsibilidade regulatória, este novo marco estabelece mecanismos complementares de operacionalização e governança do programa, incluindo atribuições institucionais, sistemas de monitoramento e instrumentos de fiscalização, fortalecendo a capacidade de implementação da política em âmbito nacional.

Figura 2.1: Cronograma de implementação da compulsoriedade.



Fonte: Adaptado da Resolução CGIEE nº4, 26 de setembro de 2025 (Brasil, 2025).

2.2.2 A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

Em paralelo aos avanços nas políticas públicas de incentivo à racionalização do consumo energético, as energias renováveis começam a ganhar destaque no cenário nacional. Embora a matriz energética brasileira seja majoritariamente limpa, devido à predominância de fontes renováveis como hidrelétricas, o impacto das mudanças climáticas, como o aumento de eventos extremos trazem preocupações sobre a disponibilidade energética. O agravamento de secas prolongadas pode afetar a capacidade de geração de energia no país, evidenciando a urgência de políticas e incentivos voltados não só para o uso eficiente da energia, mas também a diversificação das fontes de geração.

Apesar de não emergir com a finalidade direta de alcançar nZEB, sendo anterior às discussões sobre o tema no âmbito de políticas públicas, pode-se destacar como um dos principais estímulos rumo ao balanço zero em edifícios e um grande marco na geração fotovoltaica do país, a promulgação da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que estabeleceu a micro e minigeração distribuída (MMGD) e o sistema de compensação de energia elétrica (SCEE) (Brasil, 2012). Desde então, o consumidor pode gerar a sua própria energia de

fonte renovável e fornecer o excedente à rede de distribuição local, por meio de um sistema de compensação de energia conhecido como *net metering*.

Caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um “crédito de energia” que pode ser utilizado para abater o consumo nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade na área da mesma distribuidora. Entre os principais benefícios, além da redução do impacto ambiental, tem-se o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética (ANEEL, 2024).

Dentre as fontes de energia renovável, a energia solar se destaca como um dos recursos mais amplamente acessíveis para a produção de energia térmica e elétrica. Nos últimos anos, é notável que o aperfeiçoamento dos módulos fotovoltaicos, evidenciado pelo aumento da eficiência, versatilidade estética e o avanço na sua confiabilidade técnica, aliada à expressiva redução dos custos de instalação, tem resultado em um significativo aumento na implantação desses sistemas para a produção de energia renovável (Cronemberger, 2015).

Entre 2010 e 2019, os custos unitários da energia solar apresentaram uma redução significativa de 85%, acompanhada por um expressivo aumento na sua implantação. Essa evolução foi impulsionada por uma combinação de instrumentos de política, incluindo investimentos em pesquisa e desenvolvimento públicos, financiamento para projetos de demonstração e piloto, além de incentivos à demanda, como subsídios para implantação visando alcançar uma maior escala (Calvin *et al.*, 2023).

O Relatório do Balanço Energético Nacional de 2024, com dados referentes ao ano de 2023, destaca um crescimento expressivo na geração de energia solar fotovoltaica, superando significativamente outras fontes de energia. Em 2023, a geração solar fotovoltaica aumentou 68,1%, enquanto sua capacidade instalada teve uma expansão de 54,8% em comparação ao ano anterior (EPE, 2024). Esse avanço reflete a redução nos custos de implantação dessas tecnologias ao longo dos últimos anos, o aumento da confiança no sistema devido à robustez tecnológica comprovada em projetos com mais de três décadas de operação, além dos incentivos proporcionados pelas ações regulatórias no mercado nacional (Brasil, 2020).

Este atual panorama de crescimento acelerado da energia fotovoltaica, impulsionado pela regulamentação da geração distribuída e o sistema de compensação de energia (*net metering*), combinado ao alto potencial de integração dos módulos fotovoltaicos em diversas

superfícies urbanas e a elevada disponibilidade de irradiação solar no território brasileiro, cria um cenário favorável para a promoção de Edifícios de Energia Quase Zero (nZEB) no Brasil.

Diante desse cenário promissor, torna-se fundamental o desenvolvimento de pesquisas que analisem o potencial de transformação das edificações brasileiras para nZEB, considerando as particularidades locais, a fim de compreender os desafios e oportunidades que envolvem a implementação de nZEB no Brasil, permitindo a formulação de políticas públicas e incentivos adequados para acelerar essa transição.

2.2.3 NZEB EM PESQUISAS E ESTUDOS DE CASO BRASILEIROS

Nos últimos anos, o conceito de Edifícios de Energia Quase Zero (nZEB) tem ganhado relevância em pesquisas internacionais, impulsionado por legislações rigorosas em diversas regiões do mundo, como a Diretiva de Desempenho Energético de Edifícios (EPBD) da União Europeia. No contexto brasileiro, os estudos sobre nZEB ainda são escassos e emergentes, possivelmente devido à ausência de regulamentações nacionais que exijam a adoção obrigatória desse conceito. Porém, é fundamental explorar o cenário de pesquisas brasileiras sobre nZEB, para compreender o potencial de transformação do setor da construção em alcançar um balanço energético nulo, levando em consideração as condições climáticas, econômicas e sociais específicas do nosso país.

Uma das primeiras pesquisas brasileiras a abordar o tema foi o estudo de Didoné, Wagner e Pereira (2014). Os autores avaliaram o potencial de transformação de um edifício de escritório em edifício de energia zero por meio de simulações computacionais, considerando a localização dos edifícios em duas zonas bioclimáticas brasileiras (NBR 15220-3/2005): ZB 3, caracterizada por Florianópolis (latitude: -27°35'S) e ZB 8, caracterizada por Fortaleza (latitude: -3°44'S). O estudo consistiu na avaliação de um edifício de referência, seguido do desenvolvimento de um caso otimizado de acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e a aplicação de tecnologias de geração fotovoltaica integrada aos edifícios (BIPV). Os resultados demonstraram que na zona bioclimática mais quente (Fortaleza) foi necessária a integração de quantidade maior de módulos fotovoltaicos aos edifícios, em função do maior consumo energético dedicado à refrigeração.

Dávi *et al.* (2016) avaliaram a residência Ekó House, projetada por universidades brasileiras para a competição Solar Decathlon de 2012, realizada em Madrid. O principal objetivo desse estudo foi analisar o desempenho energético de uma casa com balanço energético positivo, equipada com um sistema fotovoltaico (PV) na cobertura, considerando a viabilidade técnico-econômica dessa instalação em quatro capitais brasileiras com diferentes condições climáticas. Os resultados mostraram que o sistema de compensação de energia fotovoltaica no Brasil é altamente lucrativo para os prosumidores. O tempo de retorno do investimento foi mais curto em cidades como Brasília e Belo Horizonte, devido às tarifas de eletricidade mais elevadas e ao alto Fator de Capacidade (CF). Esses resultados destacam a viabilidade e os benefícios econômicos de integrar sistemas PV em contextos urbanos brasileiros.

Walter Costa, David Amorim e Ribeiro Silva (2020) propuseram diretrizes de *retrofit* para atender a uma meta de balanço zero para edifícios de escritórios de quatro pavimentos (Figura 2.2) nas condições climáticas de Brasília (latitude: $-15^{\circ}47'S$). Os resultados indicaram uma redução de 46% no consumo total de energia final no modelo otimizado, que alcançou um consumo de $63\text{kWh/m}^2\text{ano}$. A geração de energia considerou a aplicação de módulos PV na cobertura e em superfícies opacas da fachada leste, oeste e norte. Foi demonstrado que é possível atingir a meta ZEB na tipologia estudada em contexto urbano e climático de Brasília, alcançando proporções de cobrimento da demanda de 95% a 112%.

Figura 2.2: Representação do modelo de edifício com as diferentes proporções de PAF e proteção solar propostas por Walter Costa, David Amorim e Ribeiro Silva (2020).



Fonte: Walter Costa, David Amorim e Ribeiro Silva (2020).

Amorim *et al.* (2021) apresentaram a experiência de concepção projetual de um edifício de balanço energético nulo, intitulado LabZERO|UnB, contemplado pela chamada pública NZEB Procel Edifica 2019, a ser construído no campus da Universidade de Brasília. A experiência projetual demonstrou que o processo de projeto integrado é eficiente e evidenciou a possibilidade de transposição das experiências de pesquisa para a prática de projetos. O edifício corresponde a um escritório colaborativo de 200m^2 cuja demanda foi estimada de $34,29\text{kWh/m}^2\text{ano}$ e conta com sistema fotovoltaico integrado, cuja geração estimada de energia foi superior à sua demanda.

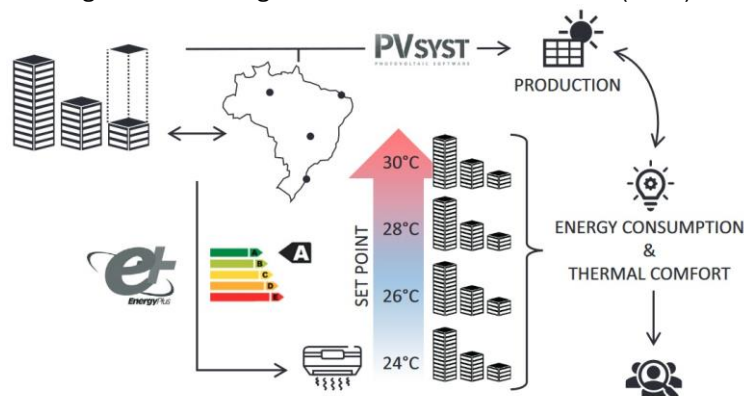
Figura 2.3: Modelo renderizado do edifício LabZERO.



Fonte: Cedido pelo LACAM.

A pesquisa de Resende, Monzón-Chavarrías e Corvacho (2021), desenvolvida antes da publicação da INI-C, oferece uma reflexão sobre os desafios e oportunidades de introduzir os conceitos de nZEB na regulamentação brasileira, baseando-se em práticas adotadas por países do sul da Europa. O estudo realizou simulações computacionais de uma residência unifamiliar de baixo padrão em três zonas climáticas brasileiras (NBR 15220-3/2005): Curitiba (ZB 1), São Paulo (ZB 3) e Manaus (ZB 8). Várias soluções de parede e cobertura foram testadas para avaliar o potencial de alcançar um balanço energético nulo. Os resultados indicaram que, em zonas climáticas mais amenas (ZB 1 e ZB 3), é possível alcançar conforto térmico com baixo consumo de energia, apresentando um grande potencial para atingir um balanço energético nulo. No entanto, em zonas climáticas de calor extremo, como Manaus (ZB 8), é necessário um alto consumo de energia para resfriamento a fim de proporcionar conforto térmico. Nesses casos, a implementação de um balanço energético quase nulo, representado pelo suprimento de 50% da demanda energética, pode ser mais viável.

O estudo de André *et al.* (2022) foi desenvolvido após a publicação da INI-C e abordou os conceitos de EEP e nZEB, conforme estabelecidos neste regulamento. Neste estudo, foram analisados os benefícios de uma operação de climatização em modo misto com ventiladores de mesa com o objetivo de transformar edifícios de escritórios de médio porte em nZEB em quatro cidades brasileiras: Florianópolis (latitude: -27°35'S), Brasília (latitude: -15°47'S), Fortaleza (latitude: -3°44'S) e Manaus (latitude: -3°06'S). Para tanto, foram realizadas simulações computacionais de um edifício modelo com três alturas diferentes (3, 6 e 12 pavimentos), conforme esquema metodológico indicado na Figura 2.4.

Figura 2.4: Visão geral do método de André *et al.* (2022).

Fonte: André *et al.* (2022).

O cenário proposto contemplou outras estratégias de eficiência aplicadas uniformemente para todas as cidades, como redução do PAF (40%), fator solar (0,29), absorvância de paredes (0,30) e coberturas (0,40), densidade de potência instalada para iluminação ($8,10\text{W/m}^2$) e aumento do COP (4,79). Os resultados mostraram que foi possível reduzir o consumo de energia em 52% (Florianópolis) a 56% (Brasília) em relação ao modelo de referência da INI-C, alcançando a classificação “A” em todos os cenários. Ao implementar a estratégia de uso dos ventiladores, ajustando o set point do sistema de climatização, atingiu-se economias entre 20 e 40% adicionais, reduzindo drasticamente o consumo de climatização. A produção de energia considerou a locação de módulos PVs em 90% da área de cobertura, orientados à norte com ângulo equivalente à latitude. Foi possível tornar os edifícios baixos EEPs e os edifícios médios nZEBs (cobertura superior a 50%), mesmo em cidades de clima quente como Fortaleza e Manaus.

O estudo de Triana *et al.* (2022) visa propor um roteiro para alcançar edifícios de energia quase zero e energia líquida positiva em Florianópolis (latitude: $-27^{\circ}35'S$), no Sul do Brasil, na Zona Bioclimática 3. O roteiro apresenta possíveis reduções de energia e emissões em nível municipal por meio de ações propostas, que incluem requisitos para edifícios comerciais e de serviços focados na envoltória, como paredes, coberturas e janelas. O estudo estimou o potencial de redução do consumo energético municipal até 2030, considerando três cenários distintos de inserção de geração renovável: 25%, 50% e 100%, sendo este último o cenário mais otimista. A pesquisa concluiu que critérios de eficiência energética não são suficientes para diminuir a tendência de crescimento do consumo de energia em edifícios e atender às metas nacionais de redução de emissões comprometidas na NDC ao Acordo de Paris, sendo fundamental a introdução da geração de energia renovável, tanto em novas construções como em *retrofits*.

Há poucos estudos de casos nZEB documentados no país. Um dos primeiros protótipos de edifícios de energia zero foi o Ekó House, projeto brasileiro que representou o Brasil na Solar Decathlon Europe 2012, uma competição universitária internacional com o objetivo de projetar casas inovadoras e energeticamente eficientes, abastecidas exclusivamente pela energia solar (Didoné, Wagner e Pereira, 2014). Alguns projetos universitários ainda estão em fase de implementação, como o CICS Living Lab da Universidade de São Paulo (USP) e o LabZero da Universidade de Brasília (UnB).

O Centro Sebrae de Sustentabilidade (CSS), localizado em Cuiabá, Mato Grosso, representa um marco nas construções sustentáveis no Brasil. Inaugurado em 2011, o CSS é autossuficiente em energia e é considerado vanguarda nas discussões sobre mudança climática e sustentabilidade. O edifício foi amplamente reconhecido, tendo recebido diversos prêmios, nacionais e internacionais, incluindo a etiqueta PBE Edifica de nível “A” e a certificação internacional BREEAM. A construção funciona como um "laboratório vivo", promovendo a aplicação e disseminação de boas práticas da construção sustentável, evidenciando o compromisso do Sebrae com a inovação e a sustentabilidade (SEBRAE, 2022).

A Galeria Laguna, inaugurada em 2022 em Curitiba, destaca-se como um dos edifícios mais sustentáveis do mundo, com reconhecimento internacional conferido pelo US Green Building Council (USGBC). Projetada pelo Estúdio 41, a Galeria conta com mais de 1.000 m² e é caracterizada pelo design biofílico, que integra a natureza ao ambiente interno e externo, promovendo bem-estar e conforto aos visitantes. Como diferenciais sustentáveis, o edifício alcançou uma redução de 34% no consumo energético em comparação a edifícios convencionais, conta com módulos fotovoltaicos que geram 100% da energia consumida e sistemas de tratamento e reuso de água pluvial que atendem toda a demanda hídrica não-potável. A Galeria Laguna recebeu os selos WELL Platinum, LEED Zero Energy, Zero Carbon, Zero Waste, e LEED Platinum, sendo este último conquistado com uma pontuação recorde de 103 pontos, o que posiciona o edifício como um marco global em construções sustentáveis (Construtora Laguna, 2022).

Um dos projetos contemplados na chamada pública NZEB Procel Edifica 2019, o Espaço nZEB, criado pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (Cepel), foi inaugurado em junho de 2024. Assim como o CSS, o edifício foi concebido para ser um laboratório vivo, dedicado à investigação de soluções tecnológicas e práticas construtivas que permitam a redução significativa do consumo de energia em edifícios. O projeto se destaca por sua abordagem

integrada entre arquitetura bioclimática, uso de sistemas de climatização eficientes e geração de energia solar fotovoltaica para suprir 100% do consumo de energia. Além disso, o Espaço nZEB integra sistemas de monitoramento em tempo real, permitindo a análise contínua do desempenho energético da edificação e servindo como uma plataforma de pesquisa para novas soluções tecnológicas (CNN Brasil, 2024).

Figura 2.5: Edifício Espaço nZEB do Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (Cepel), no Rio de Janeiro.



Fonte: <https://admin.cnnbrasil.com.br/wp-content/uploads/sites/12/2024/06/casa-sustentavel-divulgacao.jpeg?w=1200&h=900&crop=0>.

2.3 ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O primeiro passo para alcançar o balanço energético nulo em uma edificação é garantir altos níveis de eficiência energética. A Diretiva de Eficiência Energética 2012/27/EU (2012) e a Instrução Normativa Inmetro – INI-C (2021) definem eficiência energética como a relação entre o resultado, expresso em termos de desempenho, serviços, bens ou energia gerados, e a quantidade de energia utilizada para alcançá-lo. Em outras palavras, a eficiência energética refere-se à capacidade de produzir a mesma quantidade de energia (*output*) com menor consumo de recursos energéticos (*input*). Envolve a redução do uso de energia ao menor nível possível sem comprometer os padrões de vida, a qualidade da produção ou a rentabilidade (Labaran *et al.*, 2024).

No campo da arquitetura, a eficiência energética pode ser entendida como um atributo inerente à edificação que caracteriza seu potencial em prover conforto aos usuários com baixo consumo de energia (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014). Isso implica, sobretudo, na redução significativa da energia necessária para resfriamento, aquecimento e iluminação, sem sacrificar a qualidade ambiental interna ou o desempenho funcional da construção.

É senso comum que a eficiência energética é uma estratégia “limpa” e economicamente viável para reduzir a dependência energética e mitigar os impactos ambientais decorrentes da produção de energia. A Diretiva UE 2023/1791 destaca que a eficiência energética deve ser concebida como uma fonte de energia em si mesma, merecendo destaque e alta prioridade em todas as políticas, planejamentos e decisões de investimento (Diretiva 2023/1791/UE, 2023).

Alcançar a eficiência energética em edifícios começa com a implementação de uma arquitetura bioclimática. Esta abordagem consiste em projetar as edificações em consonância com o clima local, tirando o máximo proveito dos elementos naturais como a luz solar e o vento para minimizar a necessidade de resfriamento, aquecimento e iluminação artificiais. Exemplos de estratégias bioclimáticas incluem a adequada orientação solar, o uso de dispositivos de proteção solar, o dimensionamento das aberturas para uma adequada insolação e ventilação, o uso de materiais isolantes e de alta inércia térmica, adaptados às condições climáticas locais. Ao adotar os princípios da arquitetura bioclimática, os edifícios proporcionam ambientes confortáveis, elevando o bem-estar dos usuários, enquanto reduz o consumo de energia e os custos operacionais (Labaran *et al.*, 2024).

Para complementar as técnicas bioclimáticas, sistemas ativos, como o ar-condicionado e iluminação artificial, podem ser necessários para assegurar o conforto e a saúde dos ocupantes. Um dos métodos mais simples e eficazes para maximizar a economia de energia em sistemas ativos é a utilização de equipamentos com alta eficiência energética (Labaran *et al.*, 2024).

A implementação de estratégias passivas e ativas para reduzir o consumo de energia é fundamental para alcançar nZEB. Ao analisar 34 casos de edifícios nZEBs em climas quente e úmidos ao redor do mundo, o estudo de Feng *et al.* (2019) sintetizou as principais estratégias de projeto implementadas para maximizar o desempenho energético, tornando-se um recurso valioso para futuras investigações e o desenvolvimento de soluções sustentáveis adaptadas a diferentes contextos climáticos. De acordo com análise, a maioria das estratégias adotadas correspondem a soluções arquitetônicas passivas, evidenciando a relevância do papel da arquitetura na busca por melhorar o desempenho energético das edificações.

Entre as estratégias passivas mais destacadas, incluem-se a otimização das propriedades térmicas dos sistemas de vedação da envoltória, a ventilação natural, a redução do percentual de envidraçamento nas fachadas (PAF), o uso de dispositivos de proteção solar e

a aplicação de vidros com baixo fator solar, a fim de evitar o ganho de calor adicional através das janelas e o consequente aumento no consumo de energia com resfriamento. No que tange às estratégias ativas de maior potencial e mais implementadas, a pesquisa destaca os sistemas HVAC e de iluminação energeticamente eficientes. Quanto à iluminação, enfatiza o uso da tecnologia LED, combinada com sistemas de controle, que são essenciais para integrar a iluminação artificial à iluminação natural de forma eficiente (Feng *et al.*, 2019).

Reduzir o consumo de energia para resfriamento e aquecimento de forma passiva é uma das tarefas mais complexas no contexto da eficiência energética em edificações. Essa complexidade advém da diversidade de variáveis envolvidas na transferência de calor que correm nas diferentes superfícies da envoltória, influenciadas pelas condições climáticas externas, bem como a geração de calor interno, provenientes da ocupação humana, iluminação e uso de equipamentos eletrônicos. A pesquisa de Waschevicz *et al.* (2015) avalia a eficiência energética dos sistemas de climatização de edifícios situados nos contextos climáticos de Porto Alegre e Salvador, com foco na influência de diferentes materiais de isolamento térmico. O estudo comparou o consumo anual de energia de um escritório com fachada oeste composta por alvenaria, celulose e lã de vidro.

Os resultados desta pesquisa indicam que, em Porto Alegre, a alvenaria convencional apresentou melhor desempenho energético, enquanto em Salvador, as paredes com isolamento térmico reduziram o consumo de energia em aproximadamente 5%. Os achados demonstram que em Porto Alegre, onde há variações sazonais e diárias na temperatura externa, uma parede com maior condutividade e capacidade térmica permitiu as trocas de calor com o meio externo, ajudando a estabilizar as temperaturas internas, especialmente nos meses de inverno, quando o resfriamento artificial também se faz necessário, devido à alta carga térmica gerada pelos ocupantes, iluminação e equipamentos. Em contrapartida, em Salvador, que apresenta temperaturas elevadas e mais estáveis ao longo do ano, um material com menor capacidade térmica e maior resistência térmica se mostrou mais adequado, evitando a entrada de calor do meio externo (Waschevicz *et al.*, 2015).

Este princípio de viabilizar as trocas térmicas em climas temperados e evitá-las em climas quentes com temperaturas uniformes também foi confirmado em uma investigação que aborda as propriedades térmicas dos vidros em fachadas. Pinto e Westphal (2019) compararam o consumo de energia para resfriamento de modelos de escritório com vidro insulado e vidro laminado simples em nove cidades brasileiras representando diferentes climas. Os resultados

indicam que, em regiões de clima temperado, como Porto Alegre, Florianópolis e Curitiba, o vidro insulado ocasionou um consumo de energia de até 11% maior em relação ao vidro laminado. Em contraste, nas cidades de clima mais quente, como Cuiabá e Boa Vista, o uso de vidro insulado mostrou uma modesta redução no consumo energético, cerca de 4%, quando comparado ao vidro laminado simples. Pinto e Westphal (2019) também apontam que a escolha adequada do vidro é essencial para reduzir o consumo de energia, pois é através desta superfície que ocorrem as trocas de calor mais diretas e intensas.

Uma revisão da literatura realizada por Gupta e Deb (2023) indica diversas variáveis da envoltória que impactam no desempenho energético de edificações situadas entre os trópicos. Dentre as principais soluções promissoras apontadas, estão o isolamento térmico, as propriedades dos elementos transparentes, o percentual de aberturas em fachada (PAF) e a forma do edifício. Para maximizar a eficiência energética em climas onde a demanda por resfriamento é predominante, o sombreamento, particularmente em sistemas externos, é a solução mais eficaz para bloquear a irradiação solar. Entretanto, embora o sombreamento seja capaz de reduzir significativamente a demanda por resfriamento, ele também diminui a entrada de luz natural e pode ser contraproducente durante o inverno, ao reduzir a irradiação solar incidente. Por isso, torna-se essencial equilibrar o PAF, o sombreamento e as propriedades dos elementos envidraçados de acordo com a orientação do edifício para otimizar tanto o desempenho térmico quanto a iluminação natural ao longo do ano (Gupta; Deb, 2023).

O estudo de Neves, Melo e Rodrigues (2019) teve como objetivo avaliar como os parâmetros da envoltória influenciam o desempenho energético de edifícios de escritórios em modo misto (combinação da ventilação natural e sistemas de climatização mecânica), com a finalidade de identificar variáveis-chave de projeto. Para isso, foi estabelecido um modelo baseado em uma amostra de edifícios reais localizados na cidade de São Paulo (Zona Bioclimática 3). A análise demonstrou que a área efetiva de abertura das janelas, os dispositivos de sombreamento externos e o Fator Solar são as variáveis mais relevantes no desempenho energético. Principalmente em edifícios com ventilação mecânica, o parâmetro Percentual de Aberturas em Fachada (PAF) demonstrou exercer um impacto significativo no desempenho energético.

A absorvância solar da envoltória determina o impacto da irradiação solar na edificação, na medida que indica a proporção da energia solar incidente que é efetivamente absorvida pela envoltória, afetando diretamente o ganho de calor e, conseqüentemente, as temperaturas

internas da edificação (Givoni, 1998 apud Cândido; Dornelles; Lukiantchuki, 2023). A pesquisa de Cândido; Dornelles; Lukiantchuki (2023) analisa a influência da absorptância solar das superfícies externas de edificações no conforto térmico dos usuários em três diferentes zonas bioclimáticas brasileiras (ABNT NBR 15220-3/2005): Curitiba (ZB1), Maringá (ZB3) e Belém (ZB8). Através de simulações computacionais com o software EnergyPlus, o trabalho avalia o impacto de diferentes valores de absorptância de telhas e tintas sobre a carga térmica interna, considerando as variações sazonais de cada zona. Os resultados indicam que, em zonas mais quentes, como Belém, a utilização de telhas e tintas com baixa absorptância reduz significativamente as horas de desconforto por calor, enquanto em regiões mais frias, como Curitiba, valores elevados de absorptância contribuem para mitigar o desconforto por frio. Em áreas de clima intermediário, como Maringá, a escolha adequada da absorptância requer uma análise criteriosa, uma vez que tanto o desconforto por calor quanto por frio são significativos. O estudo ressalta a importância da escolha dos materiais de envoltória para otimizar o desempenho térmico das edificações, adaptando-os às características climáticas específicas de cada região.

A partir da revisão da literatura, nota-se que os autores demonstram que a eficiência energética é uma estratégia imprescindível para concretizar as metas de descarbonização do setor de edificações. Diversos estudos reforçam a importância da implementação de soluções de eficiência energética adaptados às diferentes zonas bioclimáticas, destacando o potencial de otimização da envoltória do edifício como uma estratégia eficaz para alcançar o equilíbrio entre conforto e o consumo energético. Embora grande parte das pesquisas evidenciem a relevância da arquitetura na promoção de edifícios nZEB, observou-se que frequentemente deixam de explorar o papel da geometria das edificações e seu potencial de integração com o ambiente urbano circundante. Westermann e Evins (2019) apontam essa lacuna como uma oportunidade para avanços futuros, sugerindo que a geometria do edifício, quando otimizada, pode contribuir ainda mais para a eficiência energética.

Diversos parâmetros têm sido adotados para descrever a forma dos edifícios. Entre os mais frequentemente mencionados na literatura, destaca-se o fator de forma, também conhecido como coeficiente de forma ou índice de compacidade (Chen *et al.*, 2020; Gupta; Deb, 2023). A seleção desse coeficiente baseia-se na simplicidade de seu uso pelos projetistas (Depecker *et al.*, 2001). No entanto, a literatura mostra que há divergências nos conceitos desses indicadores e, portanto, nem sempre são considerados sinônimos.

É notório que a geometria do edifício influencia diretamente na área total da superfície exposta ao ambiente externo, afetando, assim, as trocas térmicas da envoltória. Segundo Cao, Dai e Liu (2016), economias significativas de energia podem ser alcançadas se os edifícios forem projetados adequadamente a partir de geometrias favoráveis à redução do consumo energético.

Estudos de revisão da literatura indicam que a forma do edifício assume maior importância quando este está sujeito a condições climáticas extremas (Chen *et al.*, 2020; Gupta; Deb, 2023). Um exemplo que fortalece esse argumento é o estudo de Depecker *et al.* (2001), que investiga a relação entre o Fator de Forma e o consumo de energia para aquecimento em 14 modelos de edifícios paralelepípedicos, considerando os contextos climáticos de duas cidades francesas, uma com clima mais rigoroso e outra com clima mais ameno. A pesquisa revelou que, em climas frios, o consumo energético é inversamente proporcional à compacidade, indicando uma forte correlação entre o Fator de Forma e o consumo de energia. No entanto, em climas amenos, o Fator de Forma não demonstrou ser um parâmetro representativo, indicando que a recomendação de aumentar a compacidade dos edifícios é aplicável apenas em regiões com invernos rigorosos e baixa incidência solar.

Na revisão da literatura de Gupta e Deb (2023), foi observado que em climas frios o consumo de energia é proporcional ao coeficiente de forma. Em climas amenos, onde há longos períodos ensolarados, a transmissão de calor pelas paredes tem menor impacto, reduzindo a correlação com a forma. Edifícios compactos, isto é, com baixa relação superfície-volume, têm menor exposição à transmissão de calor, bem como uma reduzida capacidade de armazená-lo.

Diversos estudos em regiões de climas frios recomendam um formato compacto, sendo o cubo a forma ortogonal mais eficiente, para minimizar as perdas de calor da envoltória (Catalina; Virgone; Lordache, 2011; Chen *et al.*, 2020; Gupta; Deb, 2023). No entanto, esse design pode afastar da iluminação natural uma grande área útil do perímetro. Desta forma, um design hiper compacto pode não ser favorável do ponto de vista arquitetônico e do aproveitamento da luz natural, ocasionando um aumento no consumo de energia para iluminação artificial, especialmente em edifícios de escritórios (Catalina; Virgone; Lordache, 2011). Fang e Cho (2019) destacam que há uma escassez de estudos de otimização da geometria do edifício que examinem simultaneamente o desempenho da iluminação natural e seus potenciais de economia de energia. Sendo assim, eles propõem uma metodologia de otimização do desempenho de edifícios para auxiliar projetistas a avaliar simultaneamente a iluminação natural e o desempenho energético de várias opções de projeto, gerando um design otimizado.

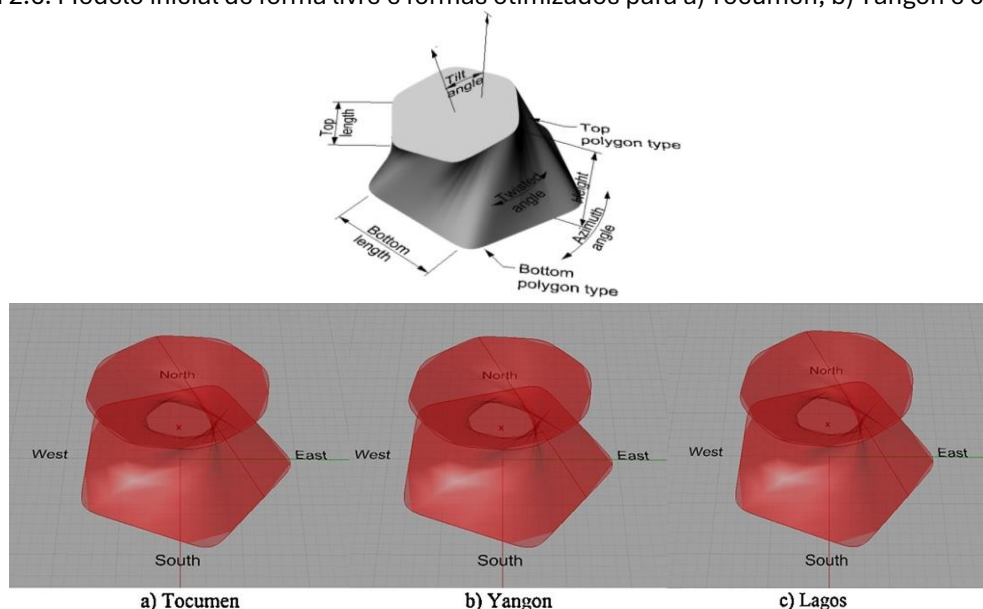
Poucos estudos na literatura abordaram casos reais para avaliar a influência da compactidade dos edifícios no consumo de energia. Compreender esta relação em exemplares de edifícios reais que atingem um balanço energético nulo ou positivo é ainda mais singular e esta foi uma das abordagens investigadas no estudo de Barrutieta *et al.* (2023). Os autores examinaram treze edifícios de escritórios altamente eficientes (nZEB, ZEB ou EEP), localizados em cidades europeias de clima temperado. Esses edifícios foram selecionados com base na disponibilidade de dados de energia medidos e/ou calculados e na capacidade de geração de energia fotovoltaica.

Todos os edifícios analisados apresentam formas compactas, com orientação e envoltória otimizadas para maximizar a eficiência energética. No entanto, surge um paradoxo. Uma alta compactidade é desejável neste clima, pois reduz o consumo de energia devido à menor área de superfície da envoltória, o que minimiza a perda de calor. Porém, essa mesma compactidade resulta em menos superfície disponível para geração de energia, limitando a integração de sistemas fotovoltaicos em coberturas e fachadas. Isso pode dificultar a obtenção de autossuficiência energética para alcançar as metas de edifícios de balanço energético nulo (ZEB). Seis dos treze edifícios avaliados possuem sistemas fotovoltaicos instalados nas fachadas, além da cobertura, destacando a necessidade de complementar a geração de energia em fachadas para alcançar a autossuficiência energética. A pesquisa revelou que edifícios com maior percentual de autossuficiência energética tendem a ter um valor de compactidade menor, embora demandem mais energia devido à maior superfície da envoltória (Barrutieta *et al.*, 2023).

A otimização da geometria de edificações também foi analisada por Jin e Jeong (2014), que estudaram o desempenho térmico de edifícios com formas geométricas livres em diversos contextos climáticos, incluindo regiões tropicais (Tocumen 9°7'N - Panamá, Yangon 16°48'N - Mianmar, Lagos 6°27'N - Nigéria). Nesse estudo, os autores aplicaram algoritmos genéticos para otimizar a forma dos edifícios com o objetivo de minimizar a carga térmica, demonstrando a aplicabilidade desse processo nas fases iniciais de projeto. Os resultados indicam que a otimização geométrica pode reduzir significativamente as cargas térmicas anuais, variando de acordo com o clima. Foi demonstrado que cidades situadas em zonas tropicais (baixa latitude) o impacto da otimização da forma é mais significativo em comparação com cidades localizadas em latitudes elevadas. O estudo destaca que formas otimizadas de edificações podem reduzir a carga térmica anual em até 60,4% em fase de concepção inicial. Essa redução expressiva reforça

a importância de considerar a geometria como um elemento-chave no projeto de edificações eficientes, especialmente em climas quentes.

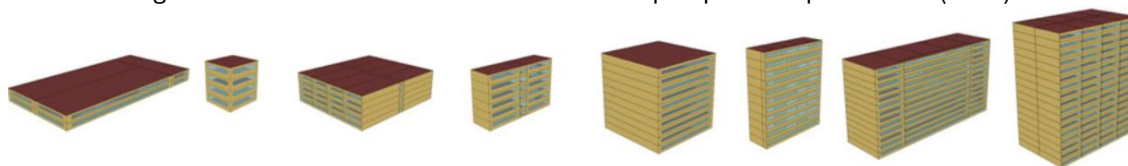
Figura 2.6: Modelo inicial de forma livre e formas otimizadas para a) Tocumen, b) Yangon e c) Lagos.



Fonte: Adaptado de Jin e Jeong (2014).

Alguns estudos brasileiros que relacionam a forma arquitetônica com a eficiência energética dos edifícios foram identificados nesta revisão da literatura. Didoné (2014) analisou oito protótipos de edifícios considerados representativos de escritórios brasileiros, baseados em modelos adotados para o desenvolvimento da etiquetagem brasileira de eficiência energética de edifícios (método RTQ-C).

Figura 2.7: Diferentes modelos de escritórios pesquisados por Didoné (2014).



Fonte: Didoné (2014).

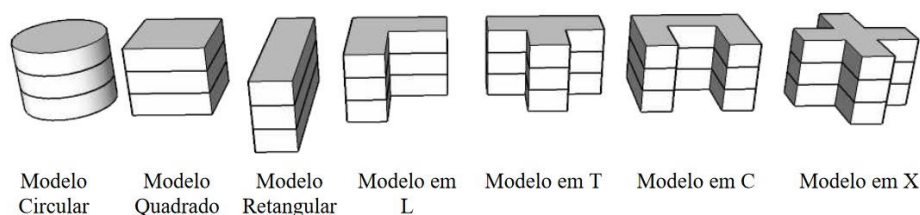
Esses protótipos foram usados como base para derivar novos modelos a fim de analisar suas características geométricas e obter uma regra geral para Edifícios de Energia Zero (ZEB). Para isso, andares foram adicionados ou subtraídos dos modelos básicos até chegarem a edifícios ZEB. A pesquisa considerou o clima de duas cidades brasileiras, escolhidas com base na sua localização geográfica e diferenças climáticas: Fortaleza (latitude: $-3^{\circ}44'S$) na Zona Bioclimática 8, e Florianópolis (latitude: $-27^{\circ}35'S$) na Zona Bioclimática 3. Para alcançar a energia zero, simulações computacionais foram realizadas considerando módulos fotovoltaicos

adicionados em todas as superfícies disponíveis e diferentes cenários urbanos com características uniformes e constantes no plano horizontal e características uniformes e variações aleatórias no plano vertical (elevações).

Um dos resultados dessa análise é a percepção de que a relação entre o consumo de energia do edifício, a energia gerada e a altura do edifício é linear. Quanto mais andares forem acrescentados com módulos fotovoltaicos, mais energia será gerada e utilizada. Predominantemente, os edifícios de poucos andares apresentam maior probabilidade de se tornarem Edifícios de Energia Zero (ZEB) do que os edifícios altos. No entanto, exceções foram constatadas, indicando que a altura do edifício não constitui necessariamente o fator mais determinante para alcançar o status de ZEB. De modo geral, o layout urbano e a relação entre a área útil e a potência fotovoltaica instalada também exerceram grande influência no potencial dos edifícios se tornarem ZEB (Didoné, 2014).

Tallmann, Carvalho e Galafassi (2019) também analisaram a influência de diferentes geometrias arquitetônicas no consumo energético, considerando edificações comerciais e o contexto climático de Florianópolis (Zona Bioclimática 3), na região Sul do Brasil. Nesse estudo, a geometria foi caracterizada com os indicadores de Fator de Forma ($FF = A_{env}/V_{tot}$) e o Fator Altura, conforme estabelecidos no RTQ-C, além do índice de compacidade (IC). Neste caso, esse indicador foi utilizado para avaliar o quanto o projeto de um espaço pode estar próximo ao perímetro mais econômico, determinado por suas paredes externas (Barth; Vefago; Vasconcelos, 2017).

Figura 2.8: Modelos de edifícios com diferentes geometrias.



Fonte: Tallmann, Carvalho e Galafassi (2019).

Tallmann, Carvalho e Galafassi (2019) constataram que aumentando o FF ou reduzindo o IC, o consumo energético cresce linearmente na maioria dos modelos analisados. No entanto, tal comportamento não se confirmou em todos os modelos de forma absoluta e, portanto, estes autores sugerem que sejam desenvolvidos outros estudos com dimensões variadas para avaliar esta hipótese em maior profundidade e explorar outros fatores que possam influenciar a performance energética dos edifícios.

Observa-se que a forma dos edifícios exerce uma influência significativa nos ganhos solares e, consequentemente, no consumo de energia. No entanto, a maioria dos estudos que relacionam a forma ao consumo de energia concentra-se em regiões de climas frios, onde as demandas por aquecimento são predominantes. Gupta e Deb (2023) evidenciam que há uma lacuna na literatura referente ao impacto das alterações na geometria no consumo de energia dos edifícios, especialmente em regiões tropicais. Os autores também ressaltam a necessidade de mais estudos que explorem o efeito combinado das variáveis de projeto e o contexto urbano no consumo energético dessas regiões climáticas.

Com base nas informações apresentadas nesta temática da revisão da literatura, foram selecionadas as estratégias de eficiência energética que serão testadas nesta dissertação, as quais se encontram detalhadas na seção de Materiais e Métodos.

2.4 DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO FOTOVOLTAICO - PVSDS

Aliada aos objetivos nZEBs, a tecnologia fotovoltaica vem sendo frequentemente explorada nos últimos anos, tanto pela redução dos custos, decorrente dos avanços tecnológicos do setor, quanto pela sua adaptabilidade e elevado potencial de integração em diversas superfícies urbanas (Freitas; Brito, 2019; Gholami; Nils Røstvik; Steemers, 2021).

As primeiras instalações de sistemas fotovoltaicos (PV) na paisagem urbana caracterizavam-se por serem exclusivamente destinadas à geração de energia elétrica, sem qualquer associação com a estética ou a funcionalidade arquitetônica das edificações nas quais eram empregadas. Contudo, a evolução da tecnologia dos módulos PV permitiu transcender essa limitação inicial, alcançando uma nova dimensão onde esses sistemas são integrados às edificações não apenas para produção de energia, mas também para cumprir funções arquitetônicas, substituindo materiais de construção convencionais em partes do edifício como fachada, janelas, brises e cobertura. Esses sistemas, denominados BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*), emergem como componentes inovadores que conferem singularidade às construções, incrementando seu apelo estético e possibilitando o atendimento a exigências de design mais sofisticados (Freitas; Brito, 2019; Gholami; Nils Røstvik; Steemers, 2021).

Embora as coberturas dos edifícios ofereçam uma localização ideal para a instalação de módulos fotovoltaicos devido à alta incidência solar, estudos como de Cronemberger; Caamaño-Martín e Sánchez (2012), Didoné; Wagner e Pereira (2014), Costa (2018) e Barrutieta et

al. (2023) apontam que a geração exclusiva nas coberturas tem se mostrado insuficiente para atingir as metas de nZEBs. Barrutieta *et al.* (2023) indicam que, em edifícios com relação cobertura/fachada inferior a 28%, a geração de energia nas fachadas é decisiva para alcançar um balanço energético positivo. Isso evidencia a necessidade de explorar soluções adicionais que possam maximizar a geração de energia renovável nos edifícios.

Os módulos PVs são considerados integrados ao edifício (BIPV – *Building Integrated Photovoltaics*), quando projetados para substituir um componente da envoltória da edificação (Kuhn *et al.*, 2021). Cabe destacar que ao integrar módulos fotovoltaicos em edifícios, nem sempre é possível adotar as condições otimizadas para atingir o seu maior potencial de geração, uma vez que os melhores ângulos de inclinação e orientação para implementação de um módulo BIPV são fatores influenciados pela arquitetura, função do edifício, condições do lote, regulamentos urbanos, sistemas construtivos, entre outros (Cronemberger; Caamaño-Martín; Sánchez, 2012).

As proteções solares, implementadas como solução para mitigar o superaquecimento dos ambientes internos, oferecem oportunidades de incorporação das tecnologias fotovoltaicas, transformando-as em sistemas multifuncionais que não apenas protegem contra a irradiação solar excessiva, mas também geram energia. Assim, surgem os chamados dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSD), que também são BIPVs, e têm ganhado destaque como uma solução eficaz e sustentável para o setor de construção, contribuindo para a descarbonização e a transição energética das cidades (Corti; Bonomo; Frontini, 2023). Uma vantagem significativa desses sistemas integrados é a capacidade de ajustar o ângulo de inclinação para maximizar a eficiência na produção elétrica, adaptando-se à localização geográfica do edifício, à intensidade da irradiação solar e às variações ao longo do dia (Freitas; Brito, 2019).

Uma ampla compreensão do papel dos PVSDs no contexto da eficiência energética foi consolidada por três revisões identificadas na literatura: Zhang *et al.* (2018), Corti, Bonomo e Frontini (2023) e Chen *et al.* (2024). Embora conduzidas em diferentes momentos, essas revisões convergem em pontos relevantes e demonstram tendências e lacunas para o avanço da área.

A revisão de Zhang *et al.* (2018) destaca duplo papel dos sistemas PVSDs: gerar energia ao transformar a irradiação solar indesejada e, simultaneamente, reduzir o consumo de energia para resfriamento dos edifícios. A revisão revela que há uma predominância de estudos de dois

tipos principais de PVSDs: painéis inclinados simples e brises horizontais aplicados entre camadas duplas, representados pelos modelos 4 e 21 na Figura 2.9. Esses dispositivos demonstraram maior eficiência na conversão da energia solar em eletricidade e na redução do ganho de calor solar, diminuindo a demanda de resfriamento nos edifícios.

Figura 2.9: Modelos de PVSDs apresentados na revisão de Zhang et al. (2018), sendo destacados os modelos mais estudados: o painel inclinado simples e brises horizontais entre camadas duplas.

Type NO.	01	02	03	04	05	06
Name	Horizontal single panel	Horizontal double panels	Horizontal multiple panels	Inclined single panel	Inclined double panels	Inclined multiple panels
Diagram						
Type NO.	07	08	09	10	11	12
Name	Vertical panel	Louvres in horizontal plane	Louvres in vertical plane	Unfilled eggcrate (Surrounding shading)	Full eggcrate	Full eggcrate with horizontal louvres
Diagram						
Type NO.	13	14	15	16	17	18
Name	Semi eggcrate	Semi eggcrate with louvres in horizontal plane	Semi eggcrate with louvres in vertical plane	Eggcrate with louvres in vertical plane	Vertical fin	Slanted vertical fin
Diagram						
Type NO.	19	20	21	22	23	24
Name	Horizontal louvres outwards	Horizontal louvres inwards	Horizontal louvres between double layers	Vertical louvres outward	Movable vertical panel	Moveable Diamond pattern
Diagram						

Fonte: Adaptado de Zhang et al. (2018).

Dos 43 artigos analisados, 73,3% focaram em edifícios de escritórios. Com base nessa amostra de artigos, os autores concluíram que esse tipo de edificação é particularmente adequado para a aplicação de PVSDs, devido ao alto consumo de energia, grandes superfícies de fachadas envidraçadas, além de um cronograma de operação que coincide com o período de maior geração de energia elétrica. No entanto, entre os principais obstáculos para a implementação de PVSDs apontados pelo estudo foi o corpo limitado de conhecimento e a escassez de produtos disponíveis no mercado. Nenhum artigo avaliado abordou regiões como América do Sul, Estados Unidos e Austrália, evidenciando a necessidade de pesquisas nessas regiões. A predominância de análises em orientações voltadas ao sul, observada em grande

parte dos estudos, resulta diretamente desse viés geográfico, já que, no hemisfério norte, essa é a orientação de maior exposição solar anual. Os autores concluem que os PVSDs são uma tecnologia promissora para a implementação em edifícios de Energia Quase Zero (nZEB) e reforçam a necessidade de mais pesquisas em países com grande potencial solar (Zhang *et al.*, 2018).

Corti, Bonomo e Frontini (2023) expandem essa análise, fornecendo uma abordagem baseada no desempenho de PVSDs em diferentes condições climáticas e estratégias de design inovadores. A pesquisa, baseada em uma análise sistemática de 75 artigos, aponta que, apesar do potencial considerável dos PVSDs, há uma escassez de pesquisas em climas diversificados e contextos urbanos distintos, sendo apenas 2 estudos realizados em clima brasileiro, até então. Este estudo também revela que o desempenho dos PVSDs depende de um design personalizado, que considere a inclinação, espaçamento e largura das lâminas para maximizar tanto a produção de energia quanto a eficiência energética. O ângulo de inclinação do PVSD que maximiza a produção de energia nem sempre garante os maiores benefícios na redução das cargas de resfriamento (Corti; Bonomo; Frontini, 2023). Em uma investigação de persianas fotovoltaicas, foi identificado que o desempenho quanto à geração de energia, em razão do sombreamento mútuo entre as lâminas, foi mais sensível ao espaçamento das lâminas do que o ângulo das persianas fotovoltaicas (Nicoletti; Cucumo; Arcuri, 2023).

A revisão sistemática mais recente de Chen *et al.* (2024) oferece um panorama abrangente sobre os sistemas fotovoltaicos integrados à edificação (BIPV), analisando aplicações em coberturas, fachadas, janelas e dispositivos de sombreamento. Os autores destacam que todas as tipologias contribuem simultaneamente para a geração de energia renovável e para a melhoria do desempenho passivo do edifício, sobretudo pela redução das cargas térmicas. O estudo evidencia um crescimento significativo da pesquisa científica na área: entre 2015 e 2022, o volume de publicações aumentou dezessete vezes em comparação ao período de 1995 a 2000, demonstrando o avanço e a consolidação do BIPV como tecnologia estratégica. Observa-se predominância asiática, principalmente China (24,4%) e Coreia do Sul (12,5%), países que concentram maior investimento e maturidade tecnológica.

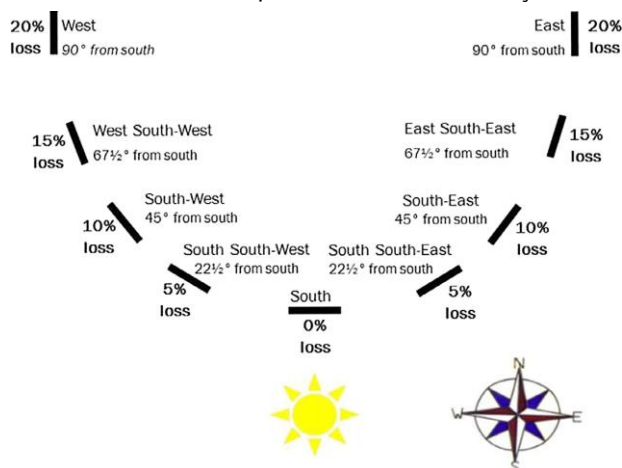
Entre as tipologias investigadas, os PVSDs se destacam como a categoria mais estudada (40%), seguidos pelos sistemas aplicados em janelas (36,9%), coberturas (15,6%) e fachadas opacas (7,5%). No caso específico dos dispositivos de sombreamento, três tipologias principais são identificadas: lâminas inclinadas, horizontais e verticais. As lâminas inclinadas são as mais

frequentes (40,6%), seguidas pelas horizontais e verticais (32,8%). Os autores apontam ainda que as simulações são o método mais utilizado (29,4%), reforçando o relevante papel de ferramentas computacionais na avaliação de desempenho térmico, energético e lumínico. Os módulos de silício monocristalino (c-Si) predominam nos estudos (45%) devido à sua elevada eficiência. Em termos de objetivos, a maior parte das pesquisas foca na melhoria do desempenho energético dos edifícios (54,7%), enquanto temas como conforto térmico (12,6%) e desempenho lumínico (5,7%) aparecem com menor ênfase.

De forma geral, estas revisões demonstram que os PVSDs constituem soluções promissoras para edificações energeticamente eficientes, desde que sua concepção considere de maneira integrada as particularidades climáticas, a geometria dos módulos e a interação com o ambiente construído. A eficácia desses sistemas depende dos parâmetros geométricos como inclinação, profundidade e espaçamento entre lâminas, os quais influenciam simultaneamente a quantidade de sombreamento gerado, o autossombreamento entre módulos e, conseqüentemente, o desempenho térmico e lumínico dos ambientes internos e a produção fotovoltaica.

Como regra geral, a orientação mais favorável para a geração fotovoltaica é aquela voltada para o equador, ou seja, para o sul no hemisfério norte e para o norte no hemisfério sul. Segundo Boxwell (2017), o afastamento em relação a essa orientação ideal resulta em uma redução média de aproximadamente 1,1% na geração a cada 5° de desvio angular. Assim, para superfícies orientadas a leste ou oeste, estima-se uma perda relativa em torno de 20% quando comparadas à orientação ótima, podendo chegar a aproximadamente 40% quando o módulo PV é instalado na direção diametralmente oposta à recomendada.

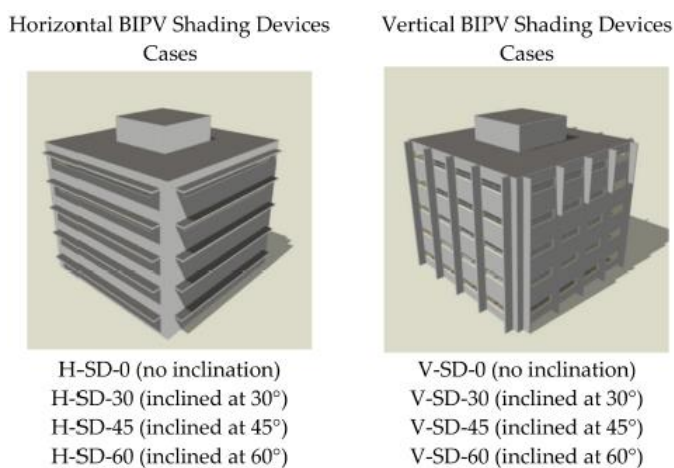
Figura 2.10: Perda aproximada de eficiência para diferentes orientações de PV no hemisfério norte.



Fonte: Boxwell (2017).

Buscando compreender as diferenças entre orientações e inclinações, o estudo de Asfour (2018) avalia o uso de PVSDs (Figura 2.11) em condições de clima quente e árido (Riyadh, latitude $24^{\circ}38'N$, Arábia Saudita). Foram analisadas a variação da irradiação recebida em superfícies fotovoltaicas para as orientações sul, leste e oeste, de acordo com o ângulo de inclinação (0° , 30° , 45° e 60°), bem como o efeito do autossombreamento, demonstrando que a geometria do anteparo tem influência direta na maximização do potencial energético. O autor identificou que inclinações intermediárias, próximas de 45° superaram configurações de 0° . Porém, cabe destacar que nenhum sombreamento ocasionado pelo entorno urbano foi levado em consideração na análise. O estudo concluiu que, em países caracterizados por altas latitudes solares e climas quentes e áridos, como a Arábia Saudita, dispositivos de sombreamento horizontais são eficazes para gerar eletricidade e fornecer o sombreamento necessário às janelas.

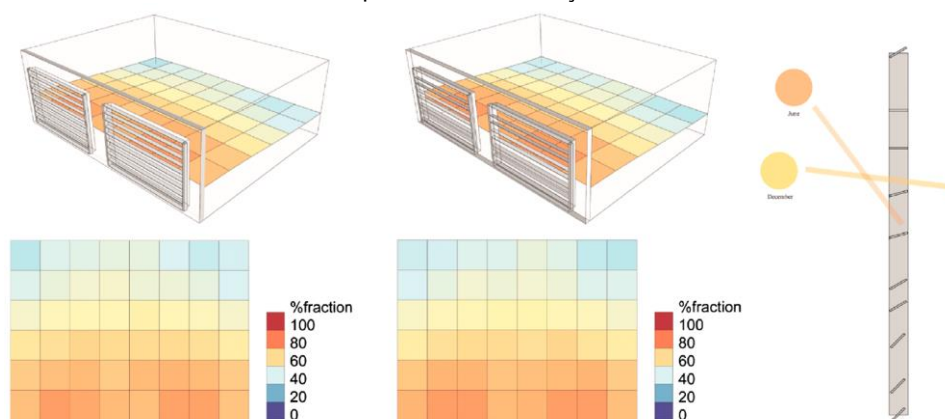
Figura 2.11: Estudos de caso horizontal (H-SD) e vertical (V-SD) propostos no estudo de Asfour (2018).



Fonte: Asfour (2018).

A pesquisa de Taveres-Cachat *et al.* (2019) reforça a importância de ajustar o número de lâminas e o ângulo de inclinação dos dispositivos para equilibrar o consumo, a geração de energia e a iluminação natural. Os autores propuseram uma metodologia de otimização multiobjetiva com algoritmos genéticos para melhorar o desempenho dos PVSDs fixos, equilibrando três diferentes objetivos: minimizar o consumo de energia, maximizar a energia convertida em eletricidade pelas células PVs e maximizar a autonomia contínua de luz natural (cDA). O estudo se concentra em uma sala de escritório (Bestest Case 600) em clima dominado pelo aquecimento (Oslo, Noruega – latitude: $59^{\circ}55'N$), e adota um modelo paramétrico utilizando o Rhinoceros e Grasshopper para ajustar a quantidade, o ângulo de inclinação e a disposição das lâminas de sombreamento, aplicadas na fachada sul.

Figura 2.12: Sistema de persianas com 10 lâminas, distribuição visual do cDA e seção transversal do sistema de persianas da solução otimizada.

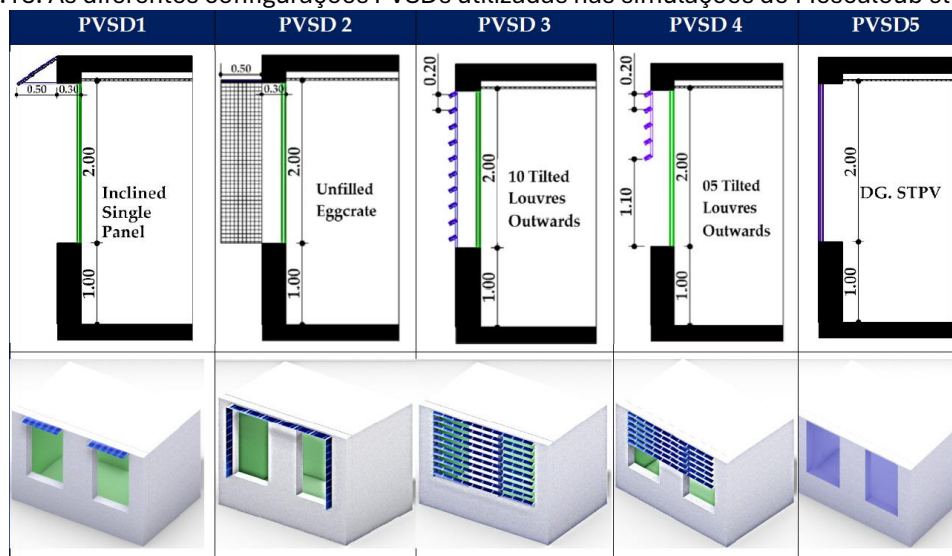


Fonte: Taveres-Cachat et al. (2019).

Os principais resultados indicam que sistemas com menos lâminas são mais eficazes para otimizar o desempenho geral, proporcionando um melhor equilíbrio entre a redução do consumo de energia, a iluminação natural e a geração de eletricidade. Por fim, apontam que a aplicação da otimização multiobjetiva é particularmente relevante para edifícios de energia quase zero (nZEB), onde o desempenho energético das fachadas integradas pode ser significativamente aprimorado.

Mescaloub *et al.* (2020) exploraram o desempenho energético e o conforto visual de diferentes configurações de dispositivos de sombreamento integrados com módulos fotovoltaicos (PVSDs) e semitransparentes (STPV), em um edifício de escritórios em clima desértico, na cidade de Ha'il, Arábia Saudita (latitude: 27°31'N) (Figura 2.13).

Figura 2.13: As diferentes configurações PVSDs utilizadas nas simulações de Mescaloub *et al.* (2020).



Fonte: Adaptado de Mescaloub *et al.* (2020).

Utilizando simulações paramétricas com EnergyPlus™ e DIVA-for-Rhino®, o estudo revelou que dispositivos como o modelo de proteção solar vertical e horizontal combinadas, ao redor da abertura (“eggcrate”) podem reduzir em até 42% o consumo anual de energia e melhorar a distribuição de luz natural nos espaços internos. O estudo destaca a importância de ajustar o ângulo de inclinação dos dispositivos e aponta o ângulo de 30° como o ideal, orientado para sul. Além disso, também ressalta as limitações dos módulos STPV, que apresentaram baixa eficiência energética e não atenderam adequadamente aos requisitos de conforto visual.

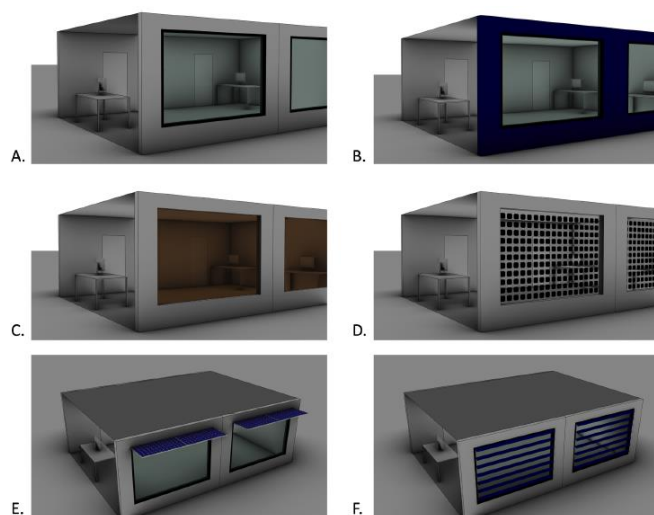
O estudo de Settino et al. (2020) realiza uma análise multiobjetiva de dispositivos sombreamento, em três diferentes zonas climáticas da Europa: Crotone (latitude: 39°08’N) e Milão (latitude: 42°28’N), na Itália, e Copenhague (latitude: 55°41’N), na Dinamarca. A pesquisa utiliza algoritmos genéticos para identificar configurações otimizadas das variáveis geométricas (profundidade, quantidade e inclinação das lâminas) e diferentes percentuais de aberturas em fachada (PAF entre 10% a 80%), para maximizar o aproveitamento da luz natural e minimizar as necessidades de energia. O modelo de simulação consistiu em uma geometria retangular de 10 x 6 x 4m, com aberturas em todas as orientações. Quanto à geometria, modelos com menos lâminas e maior profundidade (60cm) se mostram mais eficazes, sendo os ângulos ótimos de 40° e 45° para lâminas horizontais nas orientações leste e oeste. Houve maior variação nas orientações sul e norte, sendo adotado lâminas verticais para esta última, devido às diferenças na trajetória solar. Ressalta-se que o modelo considerou ausência de entorno urbano, descrevendo um cenário idealizado de exposição solar.

Quanto ao desempenho energético, os autores demonstraram que a configuração ideal dos dispositivos de sombreamento depende diretamente do clima local e do PAF, sendo as proteções solares mais eficazes em clima mais quente (Crotone), onde a economia de energia alcançou 42% em comparação com fachadas sem dispositivos de sombreamento, contra 10% em clima mais frio (Copenhague). Embora o trabalho mencione a possibilidade de integrar células fotovoltaicas às lâminas, a geração renovável não foi objeto da otimização.

O estudo de Skandalos e Karamanis (2021) investiga a otimização da integração de diferentes modelos de sistemas fotovoltaicos (PV) aplicados em fachadas, em três diferentes contextos climáticos: Praga (latitude: 50°5’N), Atenas (latitude: 37°58’N) e Dubai (latitude: 25°15’N). A pesquisa adotada o mesmo modelo de sala de escritório open-office (Bestest Case 600) anteriormente utilizado por Taveres-Cachat et al. (2019), para facilitar comparações (Figura 2.14). Com relação aos modelos PVSDs representados pelas letras “E” e “F” na Figura 2.14, o

estudo identificou que o ângulo ótimo de inclinação para maximizar a produção de energia em fachadas orientadas a sul diminui ao reduzir a latitude: 33°, 27,2° e 21° para Praga, Atenas e Dubai, respectivamente. Para o modelo de lâminas (letra F), foi identificado que o impacto do autossombreamento aumenta conforme a latitude diminui: 6% de área sombreada em Praga, 9,4% em Atenas e 15% em Dubai. Quanto ao desempenho energético, a geração anual foi maior para os sistemas horizontais e inclinados, superando os sistemas verticais (opacos e transparentes). O estudo demonstra que a geometria do dispositivo e a orientação relativa ao percurso solar desempenham papel mais determinante na produção de energia do que a própria eficiência nominal dos módulos. Dentre todos os modelos analisados, o beiral fotovoltaico com inclinação otimizada apresentou o melhor desempenho, alcançando uma redução no consumo anual de energia de cerca de 20% no clima frio de Praga, 73% em Atenas e aproximadamente 40% no clima árido quente de Dubai (Skandalos e Karamanis, 2021).

Figura 2.14: Geometria do modelo de sala de escritório open-office (Bestest Case 600) utilizado para a avaliação de diferentes sistemas BIPV por Skandalos e Karamanis (2021).



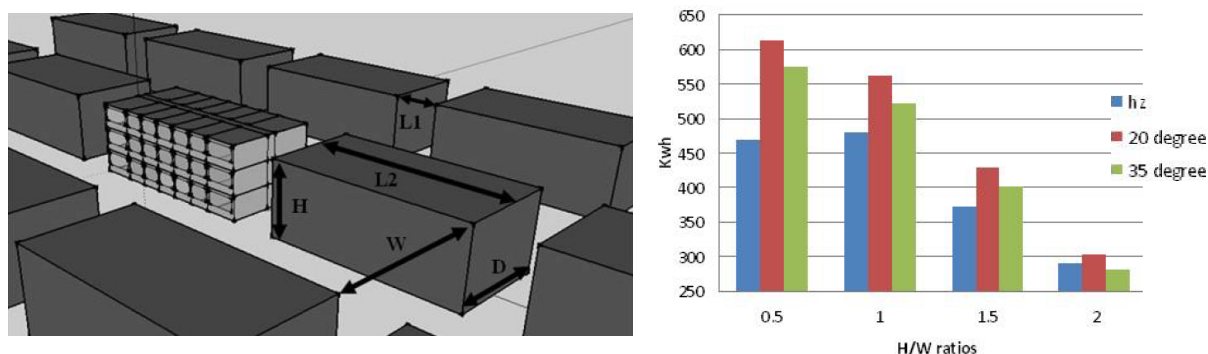
Fonte: Skandalos e Karamanis (2021).

A pesquisa de Yilmaz e Yilmaz (2023) propõe um modelo de suporte à decisão para a integração de PVSDs na fachada sul de um edifício de escritório em Istambul (latitude: 41°01'N), levando em consideração variáveis como o ângulo, a profundidade das superfícies de sombreamento e o impacto ambiental dos materiais utilizados. Os autores identificaram que as profundidades de superfícies de sombreamento intermediárias (entre 119 cm e 136 cm) oferecem o melhor desempenho global, equilibrando a geração de energia, o conforto térmico e o uso de iluminação natural. Apesar dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalinos apresentarem uma maior eficiência na geração de energia (20%), em comparação aos módulos

de silício policristalino (18%), este último se mostrou mais vantajoso, devido ao menor custo e menor quantidade de carbono incorporado.

Observa-se que a maior parte das pesquisas sobre BIPVs e PVSDs, operam sob a premissa de fachadas livres de obstrução, o que raramente corresponde às condições reais das cidades. Entre os estudos que incorporam explicitamente o efeito do sombreamento urbano, destaca-se o trabalho de Di Vincenzo, Kesten e Infield (2010), no qual os autores analisaram o desempenho energético de PVSDs em diferentes cenários urbanos, considerando o clima da cidade de Stuttgart (latitude: 48°46'N), na Alemanha, caracterizado por forte sazonalidade e grandes variações de altura solar ao longo do ano. O estudo combina simulações de demanda térmica e de iluminação com produção fotovoltaica, considerando os efeitos de sombreamento gerados pelas edificações do entorno. O estudo avalia 60 configurações urbanas definidas por três razões geométricas: H/W (altura/largura do corredor urbano), L1/L2 (distância entre edifícios/comprimento do edifício) e D/L2 (profundidade/comprimento do edifício) (Figura 2.15, à esquerda). Entre esses parâmetros, a razão H/W foi a variável com maior impacto na geração fotovoltaica, sendo responsável pelas maiores reduções de desempenho à medida que a altura das edificações vizinhas aumenta (Figura 2.15, à direita).

Figura 2.15: Modelo 3D indicando as variáveis da configuração urbana avaliadas, à esquerda, e produção anual de energia elétrica versus razão H/W, para os três diferentes ângulos de PVSDs avaliados, à direita.



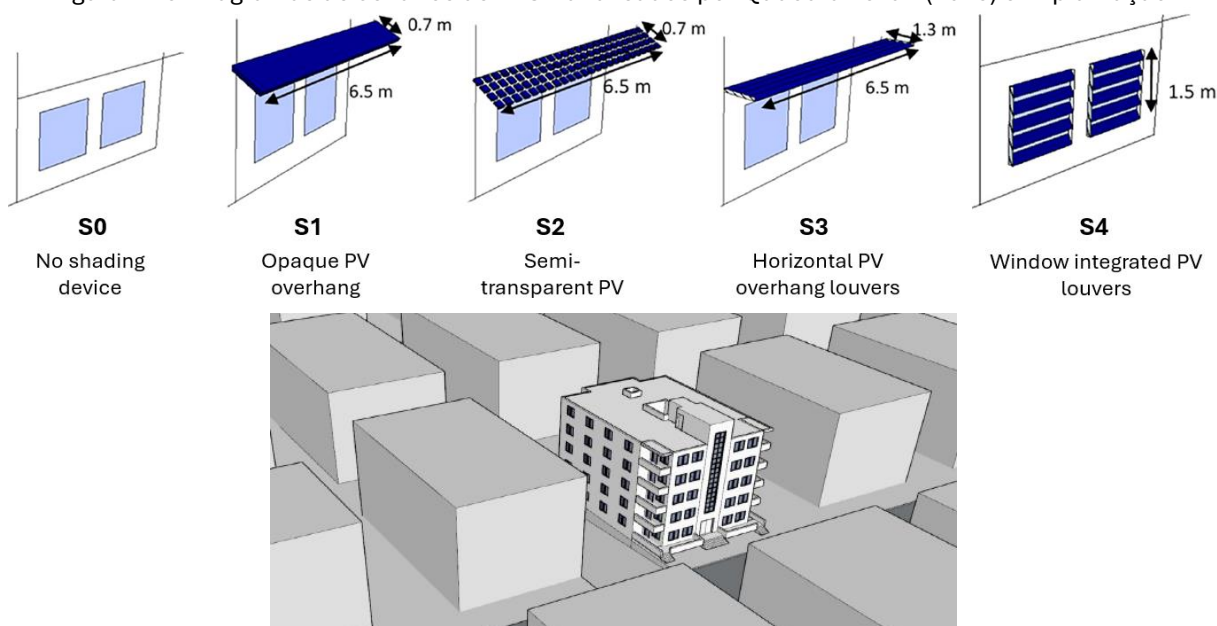
Fonte: Adaptado de Di Vincenzo, Kesten e Infield (2010).

Foram simulados três ângulos de inclinação do PVSD (0°, 20° e 35°) e observado que, embora o ângulo de 35° seja ideal a céu aberto, o desempenho em áreas urbanas densas é significativamente prejudicado pelo sombreamento do entorno. Em cenários com H/W elevado (≥ 2), o dispositivo com inclinação de 20° superou 35° em geração anual, demonstrando que a inclinação ideal depende mais da morfologia urbana do que do valor teórico isolado. Em síntese, o estudo demonstra que o desempenho de PVSDs depende significativamente do entorno

urbano, reforçando que decisões sobre inclinação e geometria só podem ser feitas considerando obstruções reais e a configuração espacial das edificações vizinhas.

O estudo recém publicado por Qadourah *et al.* (2025) apresenta uma avaliação bastante completa sobre dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs), também considerando a influência do entorno urbano. A pesquisa foi conduzida em fachadas residenciais na cidade de Amman (latitude: 31°57'N), na Jordânia. São investigados cinco cenários de fachada, incluindo brises opacos, beirais semitransparentes, venezianas horizontais e venezianas verticais (Figura 2.16). O diferencial desse trabalho reside na adoção de uma abordagem integrada que combina simulação energética, avaliação de ciclo de vida (ACV), análise econômica e critérios de integração arquitetônica. Conforme ilustrado na Figura 2.16, o modelo tridimensional inclui edificações adjacentes, respeitando afastamentos, alturas e volumetria típicos do zoneamento local. Dessa forma, os efeitos de sombreamento provocado pelo entorno são incorporados nas simulações conduzidas no DesignBuilder, garantindo maior realismo aos resultados.

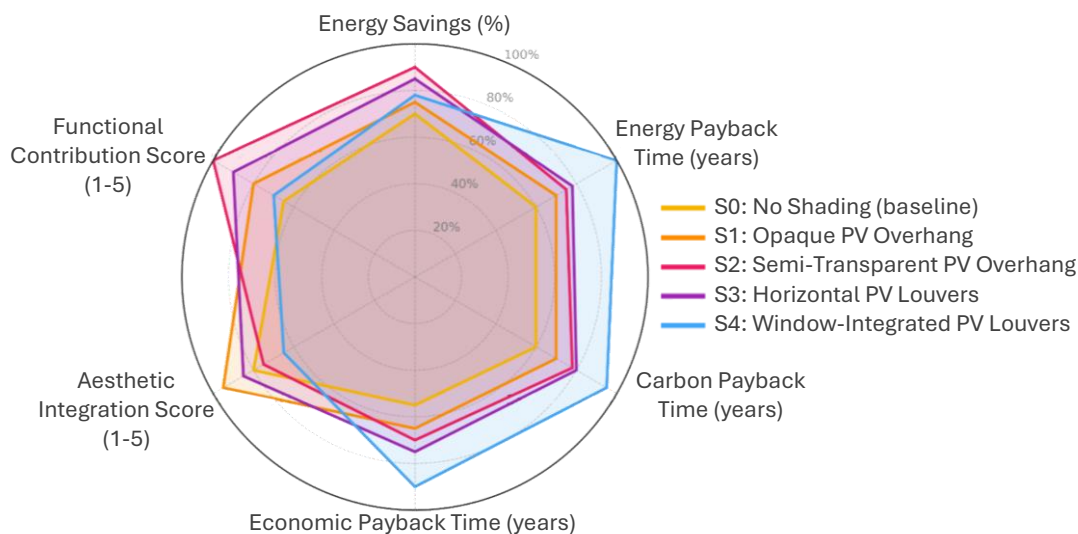
Figura 2.16: Diagramas de cenários de PVSD analisados por Qadourah *et al.* (2025) e implantação.



Fonte: Adaptado de Qadourah *et al.* (2025).

Os resultados apontam reduções significativas no consumo energético anual em todos os cenários integrados, com destaque para os beirais semitransparentes (S2), que alcançaram economia de 52,6 kWh/m²·ano, seguidos dos brises horizontais (S3). No entanto, S2 apresentou os maiores impactos ambientais incorporados. O beiral opaco (S1) demonstrou o melhor equilíbrio geral, combinando economia energética, menores impactos de ciclo de vida e o menor payback econômico entre os sistemas integrados (Figura 2.17).

Figura 2.17: Comparação multicritério por radar de cenários PVSD.



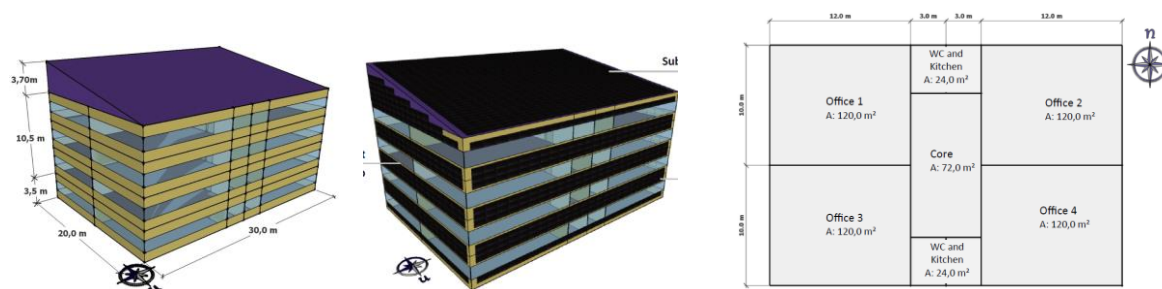
Fonte: Adaptado de Qadourah *et al.* (2025).

A análise de integração arquitetônica, baseada nos critérios do IEA SHC Task 41, mostrou que S1 e S3 foram as soluções mais coerentes visualmente, enquanto S2 se destacou pela funcionalidade. Por fim, os autores propõem uma matriz de decisão multi-criterial que evidencia os *trade-offs* entre energia, impactos ambientais, custo e estética, reforçando que o desempenho dos PVSDs depende do equilíbrio entre múltiplos critérios e de sua adequação ao contexto urbano real, incluindo o sombreamento por edificações vizinhas (Qadourah *et al.* 2025).

A literatura atual evidencia que as condições climáticas exercem significativo impacto sobre o desempenho dos dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs). Fatores como latitude, altura solar, nebulosidade e distribuição sazonal da irradiação influenciam tanto a eficiência de geração fotovoltaica quanto a efetividade do sombreamento proporcionado pelo dispositivo. Desta forma, a avaliação de PVSDs não pode ser dissociada do contexto climático em que são aplicados. Em climas tropicais, a literatura ainda é bastante escassa, sendo encontrados poucos estudos em contexto climático brasileiro, lacuna que reforça a relevância das investigações apresentadas a seguir.

Sorgato, Schneider e Rüther (2018) realizaram uma avaliação técnica e econômica da integração de módulos fotovoltaicos de filme fino de telureto de cádmio (CdTe) em edifício de escritório fictício de 20m x 30m, de 4 pavimentos, substituindo materiais convencionais de fachadas e telhados em seis cidades brasileiras de clima quente e ensolarado (Figura 2.18).

Figura 2.18: Volumetria 3D do modelo, aplicação dos módulos BIPV e planta baixa do edifício de escritórios proposto no estudo de Sorgato, Schneider e Rüther (2018).

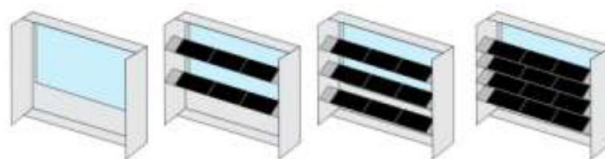


Fonte: Sorgato, Schneider e Rüther (2018).

A análise revelou que os módulos CdTe podem atender plenamente    demanda energética anual de edifícios comerciais de quatro pavimentos, com alta eficiência mesmo em climas de altas temperaturas, devido ao seu baixo coeficiente de temperatura, superando os módulos de silício cristalino. Telhados foram mais eficazes na gera  o de energia, enquanto fachadas contrib  iram com cerca de 30% do total. Para cinco das cidades avaliadas: Florianópolis (latitude: -27  35'S), Curitiba (latitude: -25  25'S), São Paulo (latitude: -23  33'S), Rio de Janeiro (latitude: -22  54'S) e Brasília (latitude: -15  47'S), o sistema fotovoltaico na cobertura foi suficiente para atender ao consumo de energia do edifício. Apenas Belém (latitude: -1  27'S) dependeu do sistema fotovoltaico instalado nas fachadas para atender ao consumo integral. No que diz respeito    viabilidade econ  mica, todos os cenários analisados mostraram-se economicamente viáveis. Embora a integra  o de sistemas fotovoltaicos nas fachadas tenha custos iniciais mais elevados, o retorno financeiro a longo prazo foi considerado favorável em compara  o com materiais convencionais de fachada, como o vidro arquitetônico e o alumínio composto (ACM), especialmente em cidades com altas tarifas de eletricidade.

O estudo brasileiro de Peres, Calili e Louzada (2020) demonstra a eficácia dos dispositivos de sombreamento fotovoltaico em reduzir a carga de resfriamento e gerar energia. A pesquisa foi conduzida por meio de simula  es computacionais, utilizando os softwares Rhinoceros 5.0, Honeybee e Ladybug, aplicados a uma sala de aula localizada no campus da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), em latitude -22  54'S. Conforme apresentado na Figura 2.19, os pesquisadores avaliaram diferentes configura  es de dispositivos de sombreamento fotovoltaico fixados a um ângulo de 28   para norte, variando o número de lâminas solares (entre dois, três e quatro) para investigar seus efeitos na gera  o de eletricidade e na carga térmica interna da edifica  o.

Figura 2.19: Diferentes composições de PVSDs analisadas no estudo de Peres, Calili e Louzada (2020).



Fonte: Peres, Calili e Louzada (2020).

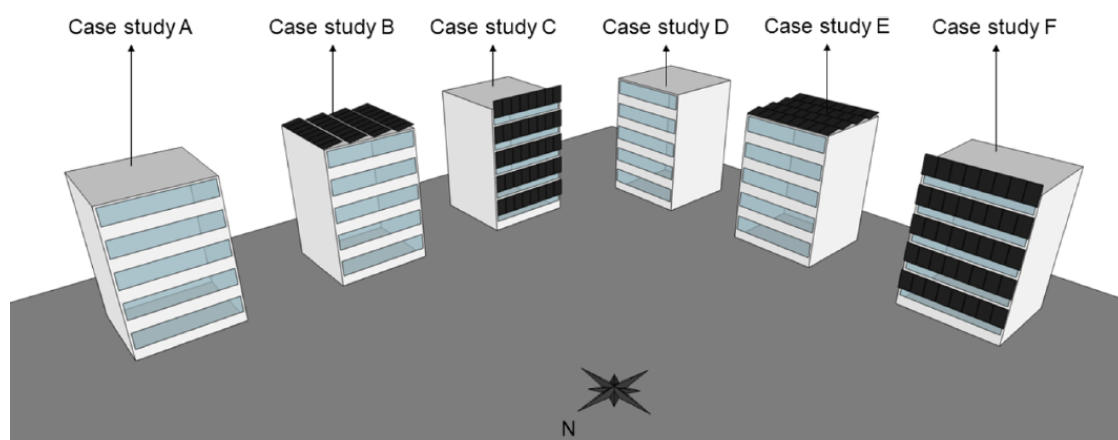
Os resultados indicaram que os PVSDs reduziram entre 14% e 19% a carga de resfriamento da sala de aula. Em termos de geração de eletricidade, os sistemas produziram entre 770 kWh e 989 kWh por ano, dependendo do número de módulos solares instalados e do tipo de célula fotovoltaica utilizado. O sistema com três painéis mostrou-se mais eficiente, gerando mais energia em comparação com os de quatro painéis, devido ao autossombreamento das lâminas, o que prejudica o desempenho dos módulos fotovoltaicos.

Além disso, a pesquisa destaca que a tecnologia mais eficiente encontrada foi a de células de silício monocristalino, que apresentou melhor desempenho na geração de eletricidade em comparação com as células de CIGS (Cobre, Índio, Gálio e Selênio) e CdTe (Telureto de Cádmio). O estudo conclui que a integração de dispositivos de sombreamento fotovoltaico pode reduzir em até 32% a demanda líquida de energia da edificação, considerando tanto a redução na necessidade de resfriamento quanto a geração de eletricidade (Peres; Calili; Louzada, 2020).

Ampliando a discussão para além do desempenho energético e incorporando questões de integração arquitetônica, a pesquisa de Custódio *et al.* (2022) introduz uma abordagem holística para avaliar sistemas fotovoltaicos (PV), considerando aspectos construtivos, funcionais e estéticos, em duas cidades brasileiras com diferentes características climáticas: Florianópolis (latitude: -27°35'S) e Belém (latitude: -1°27'S). O modelo avaliado corresponde a um trecho de edifício de escritórios de 10m x 10m e 5 pavimentos (15m de altura) (Figura 2.20).

A orientação dos sistemas fotovoltaicos foi definida com base nos maiores valores anuais de irradiação solar direta incidente em cada localidade: Belém orientado para oeste e Florianópolis para norte. Os resultados indicam que a integração de sistemas PV em coberturas e fachadas reduz o consumo de energia em edifícios ao fornecer sombreamento, o que diminui a carga térmica interna e, conseqüentemente, a demanda por resfriamento.

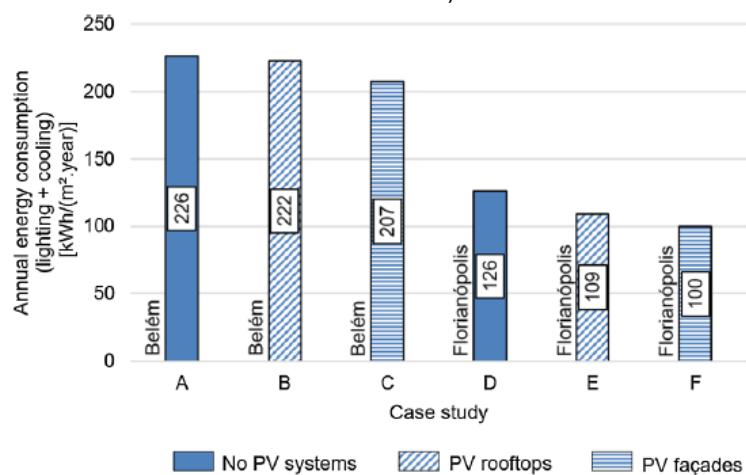
Figura 2.20: Modelo 3D dos estudos de caso com a localização dos sistemas PV: casos sem sistemas fotovoltaicos (A e D), casos com telhados fotovoltaicos orientados para norte (B e E) e casos com dispositivos de sombreamento fotovoltaico orientados para oeste ou norte (C e F).



Fonte: Custódio *et al.* (2022).

A redução no consumo anual variou entre 2% (caso B) e 21% (caso F), conforme apresentado na Figura 2.21. Além do efeito energético, os autores identificaram períodos de retorno do investimento inferiores a 10 anos, evidenciando a viabilidade econômica desses sistemas no contexto brasileiro.

Figura 2.21: Consumo anual de energia em todos os estudos de caso (com e sem integração fotovoltaica).



Fonte: Custódio *et al.* (2022).

O estudo também enfatiza a importância de equilibrar os aspectos estéticos e funcionais na integração de sistemas PV, especialmente em áreas de alta visibilidade. A avaliação estética utilizou o método LESO-QSV, que considera a geometria, materialidade e padrão modular dos sistemas PV em relação ao design arquitetônico do edifício. A abordagem holística proposta pelo estudo busca oferecer uma ferramenta útil para arquitetos e engenheiros avaliarem a integração

de sistemas PV em edifícios, levando em consideração aspectos técnicos, econômicos e visuais de forma equilibrada (Custódio *et al.*, 2022).

A partir da análise crítica dos achados apresentados nas pesquisas apresentadas, é possível identificar um conjunto de conclusões convergentes que fundamentam o estado da arte sobre dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs). Em termos gerais, confirma-se que esses dispositivos constituem soluções de elevado potencial para edifícios energeticamente eficientes, uma vez que integram de forma sinérgica o sombreamento das superfícies envidraçadas e a geração de energia elétrica, contribuindo simultaneamente para a redução das cargas térmicas internas e para o incremento do balanço energético das edificações.

Observa-se que a maior parte dos estudos se concentra em casos no hemisfério norte, o que limita a extrapolação direta de conclusões geométricas para contextos tropicais. Essa concentração regional reforça a necessidade de investigações específicas para o hemisfério sul e latitudes próximas ao equador, onde a distribuição angular da irradiação solar e os padrões climáticos diferem substancialmente dos cenários analisados na literatura internacional. Além disso, a maioria dos estudos concentra-se em superfícies orientadas para o sul (hemisfério norte), enquanto as orientações leste e oeste são pouco exploradas. Não foram identificadas pesquisas que investigassem orientações voltadas para o lado oposto ao equador.

A efetividade dos PVSDs está intrinsecamente ligada à morfologia urbana, que desempenha um papel significativo no potencial solar, influenciando diretamente tanto no consumo quanto na geração de energia dos edifícios (Freitas; Brito, 2019). Porém, é relevante destacar que, na maioria dos estudos analisados, particularmente nas pesquisas de Taveres-Cachat *et al.* (2019); Settino *et al.* (2020); Skandalos e Karamanis (2021); Yilmaz e Yilmaz (2023), bem como nos estudos brasileiros de Sorgato, Schneider e Rütther (2018), Peres, Calili e Louzada (2020) e Custódio *et al.* (2022), o impacto do sombreamento gerado por edificações no entorno urbano não foi considerado, assumindo-se, em suas análises, um entorno desobstruído. Em paisagens urbanas, a disponibilidade de espaço para instalações fotovoltaicas em coberturas é limitada, tornando as fachadas dos edifícios áreas estratégicas para a captação de energia solar. Assim, a ausência de investigações que considerem o contexto urbano nas análises evidencia uma importante lacuna na literatura, que merece ser explorada.

2.5 GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO CONTEXTO URBANO

A tecnologia fotovoltaica (PV) destaca-se como uma das fontes renováveis mais promissoras para promover nZEB, distinguindo-se como a única tecnologia de geração de energia que permite uma ampla integração com o ambiente urbano (Dávi *et al.*, 2016). Porém, a capacidade de captação de energia solar não é determinada apenas pelas tecnologias das células, módulos e sistemas fotovoltaicos, embora tenham sido feitos progressos consideráveis nas últimas décadas. Ela depende fundamentalmente da intensidade da insolação em um determinado contexto geográfico e climático, bem como da disponibilidade de espaços adequados para a implantação dos sistemas. Este último aspecto está intrinsecamente relacionado às estratégias de planejamento urbano e às soluções de projeto adotadas nos edifícios (Zhang *et al.*, 2019).

Em comparação com cidades de densidade construída baixa, as cidades de alta densidade enfrentam diversos desafios no aproveitamento da energia solar. A coleta de energia solar em um contexto urbano é bastante sensível à disponibilidade de áreas para instalação de PV e ao nível de obstrução causado pelas formas urbanas compactas. Edifícios em cidades de alta densidade apresentam sombreamento mútuo significativo, resultando em menos superfícies adequadas para a implantação de sistemas solares, como módulos PV em coberturas e sistemas fotovoltaicos integrados à construção (BIPV) (Zhang *et al.*, 2019).

Zhao *et al.* (2023) conduzem uma revisão sistemática da literatura para explorar o potencial solar de envoltórias em ambientes urbanos, com foco na aplicação de sistemas BIPV. O trabalho destaca a complexidade da integração de BIPVs em áreas urbanas densamente construídas, abordando desafios como o sombreamento causado por edifícios adjacentes, o impacto do microclima urbano, a influência na ilha de calor e as questões econômicas e estéticas envolvidas. O estudo enfatiza que, apesar do crescente interesse em BIPVs, pesquisas que abordam a complexidade da escala urbana ainda são limitadas. Os autores propõem um framework que integra dados técnicos de irradiação solar, morfologia urbana e características arquitetônicas, permitindo uma avaliação mais holística do potencial dos sistemas BIPV. Os resultados do estudo apontam que a eficiência dos BIPVs depende da orientação, inclinação e sombreamento das superfícies de instalação, assim como das propriedades dos materiais dos módulos fotovoltaicos.

Tipicamente, nos centros urbanos, observa-se uma redução no consumo de eletricidade em torno do meio-dia, período no qual a intensidade da irradiação solar atinge seu pico. Em contrapartida, ao entardecer, com o regresso das pessoas às suas residências, há um acréscimo na demanda por energia elétrica. Esta situação ilustra uma inadequação entre oferta e demanda de eletricidade: idealmente, a produção energética deveria alinhar-se com os períodos de maior consumo, visando minimizar as flutuações da carga líquida na rede elétrica (Freitas; Brito, 2019).

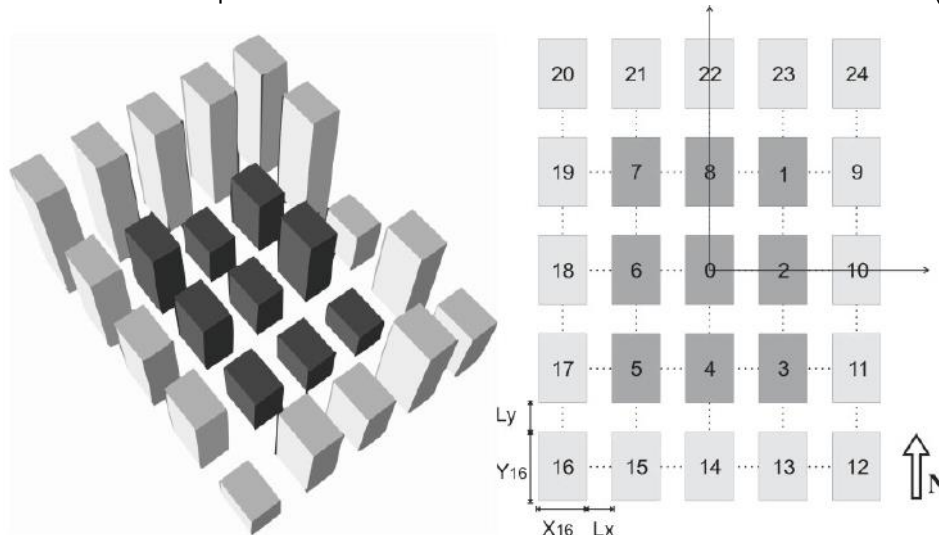
Os níveis totais de irradiação solar que atingem as fachadas dos edifícios têm dois picos: um nas horas mais cedo do dia e outro nas horas mais tardias do dia. Ao contrário, os telhados horizontais terão um pico muito pronunciado em torno do meio-dia solar. Assim, a contribuição das fachadas dos edifícios que enfrentam orientações mais próximas do Leste e Oeste pode ser significativa para cobrir o aumento no consumo de eletricidade pela manhã e à tarde. (Freitas; Brito, 2019)

Pesquisas apontam preocupações sobre o impacto dos sistemas BIPV no agravamento do efeito de ilhas de calor urbanas. Estudos sugerem que os BIPV podem intensificar esse fenômeno ao reter maior quantidade de calor nas áreas urbanas. A revisão da literatura de Elhabodi *et al.* (2023) aponta que a implementação de BIPV exige planejamento criterioso para mitigar possíveis externalidades negativas, como a amplificação das ilhas de calor urbanas. Estratégias como a combinação de materiais de alta refletividade e a integração com elementos vegetativos são recomendadas para equilibrar os benefícios energéticos e minimizar os impactos térmicos no espaço urbano.

Martins (2014) analisa a interação entre morfologia urbana e desempenho energético em ambientes tropicais, com foco na cidade de Maceió (latitude: -9°41'S), no Brasil. A pesquisa explora o impacto da forma urbana sobre o aproveitamento de energia solar e as implicações para o conforto ambiental, consumo energético e eficiência térmica. Através da utilização de modelos paramétricos e algoritmos genéticos (NSGA-II), a autora avalia mais de 80 mil configurações de quadras urbanas, considerando variáveis como o albedo, a densidade e o coeficiente de forma, além de parâmetros normativos locais (Figura 2.22). Os resultados destacam a importância da proporção entre altura dos edifícios e largura das vias (razão H/W), chamada no estudo de “Prospecto médio”, e do albedo das superfícies na definição do potencial solar de fachadas e coberturas. Tipologias urbanas otimizadas apresentaram ganhos significativos em termos de produção de energia solar e redução da carga térmica em fachadas. Por fim, a tese sugere que estratégias de otimização podem não apenas mitigar conflitos

energéticos, mas também abrir novas possibilidades de planejamento urbano, promovendo a integração de critérios energéticos no planejamento das cidades.

Figura 2.22: Modelo simplificado utilizado como base no estudo estatístico de Martins (2014).



Fonte: Martins (2014).

O estudo de Didoné (2014) evidencia que o sombreamento causado por edifícios vizinhos pode comprometer significativamente o potencial de geração de energia solar em BIPV, especialmente em áreas de alta densidade urbana. Por meio de simulações computacionais, o trabalho analisou diferentes cenários urbanos em 2(duas) zonas bioclimáticas brasileiras, ZB-3 Florianópolis (latitude: -27°35'S) e ZB-8 Fortaleza (latitude: -3°44'S), variando a altura e a disposição de edifícios adjacentes, bem como a orientação das fachadas. Os resultados demonstram que, em regiões tropicais, as fachadas leste e oeste apresentaram maior potencial de geração de energia solar, devido à maior exposição direta à irradiação ao longo do dia, com destaque para a fachada oeste, que apresentou a maior geração. Já em regiões subtropicais, a fachada norte se mostrou a mais favorável para a captação solar. A autora sugere que o planejamento urbano deve incorporar estratégias que considerem a relação entre a forma urbana e o potencial solar, como o aumento da distância entre edifícios ou a adoção de formas arquitetônicas que minimizem obstruções.

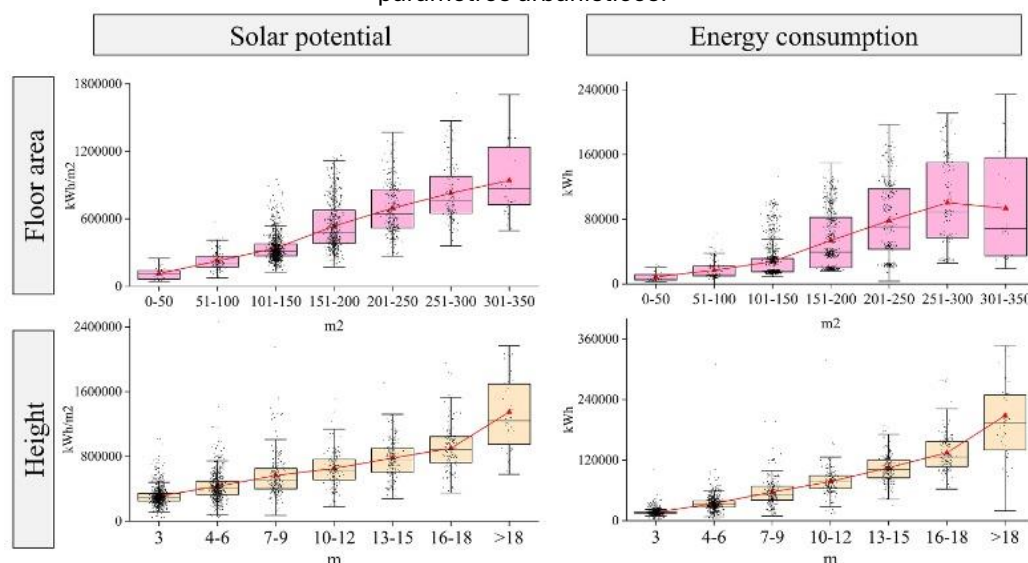
A pesquisa de Birck e Amorim (2020) discute como a forma urbana influencia no acesso dos edifícios à energia solar, afetando os níveis de irradiação e iluminação natural, além do potencial de produção energética. O estudo foca em otimizar formas urbanas no contexto do Distrito Federal, para maximizar a irradiância na cobertura e minimizar a irradiância nas fachadas, garantindo níveis satisfatórios de iluminância. O método aplicado é uma adaptação

do trabalho de A.L. Martins; Adolphe; E.G. Bastos (2014). Os principais achados do estudo indicam a dificuldade de atingir níveis satisfatórios de iluminância em lotes pequenos e próximos com alta taxa de ocupação. Foram identificadas sete formas urbanas otimizadas, ressaltando a necessidade de revisão dos parâmetros da Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) do Distrito Federal. Os autores concluem que o desenho dos lotes (tamanho, afastamentos, orientação) e sua integração com os parâmetros de ocupação (taxa de ocupação e número de pavimentos) são cruciais para a otimização do uso da energia solar e da iluminação natural.

Os resultados do estudo de Rostami, Nasrollahi e Khodakarami (2024) para a cidade de Ilam (latitude 33°38'N), no Iran, demonstram a importância da proporção altura/largura (H/W) das vias do entorno em relação ao sombreamento. À medida que a relação H/W aumenta, a irradiação solar diminui em cânions urbanos. Os autores destacam que o sombreamento por árvores certamente justifica uma investigação mais aprofundada em cânions com alta vegetação para aprimorar a previsão da irradiação solar. Embora a relação H/W possa prever a irradiação, a heterogeneidade nos dados (fatores como sombreamento de árvores) revela a interação complexa dos fatores morfológicos. A relação H/W está fortemente associada à redução da irradiação solar, mas a precisão da previsão pode melhorar considerando outros fatores morfológicos, como a vegetação. Em média, as coberturas receberam 65% da irradiação solar total e as fachadas 35% da irradiação total dos edifícios. A fachada sul recebeu a maior irradiação solar, representando 14%. Em contraste, a fachada norte experimentou a menor irradiação solar, com uma parcela de 4% ao longo do ano em comparação com outras fachadas e as fachadas leste e oeste representaram 9% cada uma igualmente. Estudos anteriores demonstram que as fachadas leste e oeste são mais sensíveis à morfologia urbana (Rostami; Nasrollahi; Khodakarami, 2024).

Rostami, Nasrollahi e Khodakarami (2024) também relacionaram o potencial solar e consumo de energia à parâmetros morfológicos das edificações (Figura 2.23). Os autores apontam que à medida que a área de piso aumenta, os níveis de fachada e cobertura também crescem, resultando em maior incidência de irradiação solar e maior consumo de energia. Também foi constatado um aumento contínuo de ambos esses fatores à medida que a altura dos edifícios aumenta de 3m para mais de 18m. Esses ganhos mostram que a relação entre área de fachada e exposição solar depende da altura do edifício.

Figura 2.23: Gráfico de caixa para comparação do potencial solar e do consumo de energia com parâmetros urbanísticos.



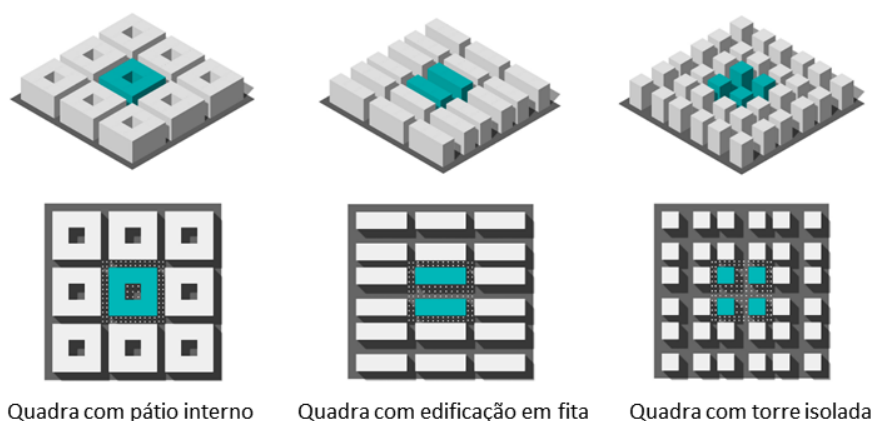
Fonte: Adaptado de Rostami, Nasrollahi e Khodakarami (2024).

É essencial realizar um planejamento meticuloso da instalação de sistemas BIPV em fachadas urbanas, devido à sua maior susceptibilidade ao sombreamento, que pode afetar significativamente a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. A estratégia de otimizar a localização dos sistemas PV em coberturas e fachadas, promovendo assim um suporte à rede elétrica e a diminuição dos picos de demanda locais, está se tornando uma abordagem inovadora no desenvolvimento de projetos fotovoltaicos. A diversidade de superfícies edificadas, apresentando variadas inclinações e direções, oferece um potencial ampliado para a geração fotovoltaica que, se devidamente explorado, pode melhorar a sincronização entre a produção de energia local e as necessidades de consumo, aprimorando assim a correspondência entre a oferta e a demanda de energia no âmbito local (Freitas; Brito, 2019).

Góes (2024) apresenta uma metodologia para avaliar o desempenho ambiental de tipologias urbanas no contexto do clima tropical de altitude, com foco específico em Brasília. A pesquisa busca compreender o potencial de diferentes morfologias urbanas para alcançar o padrão de edifícios com balanço energético nulo (ZEB), por meio de simulações ambientais e otimização multiobjetivo. A tese analisa três tipologias de quadras residenciais urbanas: torres isoladas, edifícios em fita e quadras com pátio interno, avaliando seu desempenho em relação a três critérios principais: conforto térmico urbano (índice de sombra), iluminação natural (sUDI) e balanço energético (*Load Cover Factor* - LCF). Para isso, o autor emprega ferramentas computacionais como Grasshopper, Ladybug Tools e o plugin Opossum, aplicando algoritmos de otimização para maximizar os indicadores de desempenho. Os resultados indicam que as

quadras com pátio interno apresentam o melhor desempenho geral, equilibrando sombreamento eficaz, aproveitamento de iluminação natural e geração de energia, alcançando um LCF de 34%. Já as quadras com torres isoladas demonstraram menor eficiência devido à sua alta exposição solar e maior consumo energético.

Figura 2.24: Tipologias de quadras urbanas empregadas nas análises ambientais.



Fonte: Góes (2024), adaptado de Ibrahim *et al.*, 2021.

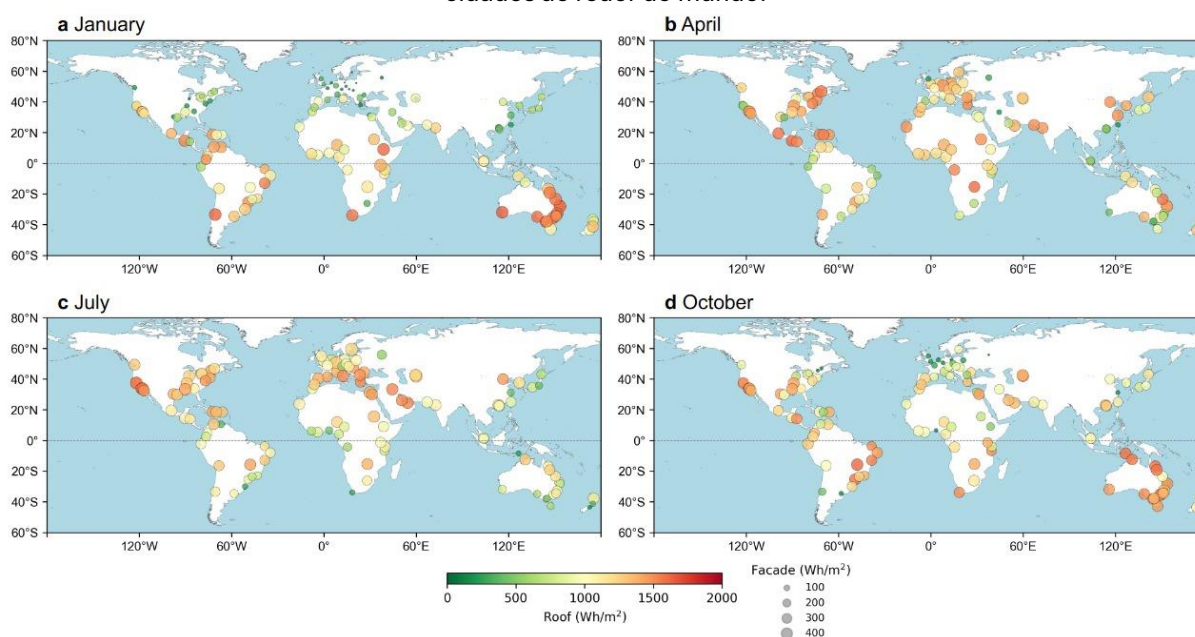
A pesquisa destaca a importância de considerar variáveis morfológicas como altura das edificações, profundidade e dimensões das quadras, que influenciam diretamente os indicadores avaliados. Por exemplo, para o indicador *Load Cover Factor* (LCF) os únicos indicadores com forte correlação foram o Número de Andares e a Razão da Área de Cobertura pela Área de Fachada, com valores de -0,904 e 0,868 respectivamente. A análise dos melhores cenários revelou que edificações mais baixas favorecem o balanço energético, enquanto proporções intermediárias entre largura e profundidade das quadras otimizam a iluminação e o sombreamento. A tese também propõe diretrizes projetuais para o desenho urbano, sugerindo que a integração de princípios de eficiência energética na escala urbana pode contribuir para cidades mais resilientes e sustentáveis (Góes, 2024).

Em áreas urbanas densamente construídas ou com configurações urbanas que limitam a exposição ao sol, como ruas estreitas ladeadas por edifícios altos, os edifícios podem sombrear uns aos outros, limitando a capacidade de suas fachadas captarem energia solar. A métrica da razão altura/largura (H/W), é frequentemente utilizada em estudos sobre a forma urbana, para avaliar seu impacto tanto no consumo de energia quanto no potencial solar (Czachura *et al.*, 2022).

O estudo de Yu *et al.* (2025) propõe uma abordagem integrada para estimar o potencial energético de sistemas fotovoltaicos integrados às fachadas e coberturas de edifícios,

abrangendo 120 cidades ao redor do mundo, considerando diferentes morfologias urbanas e condições climáticas. O modelo desenvolvido considerou uma malha com área de 1 km² em cada cidade e as análises foram realizadas para 4 meses representativos do comportamento sazonal: janeiro, abril, julho e outubro (Figura 2.25).

Figura 2.25 Resultados do potencial PV médio diário por área (Wh/m²) para as 4 estações, em 120 cidades ao redor do mundo.



Fonte: Yu *et al.* (2025).

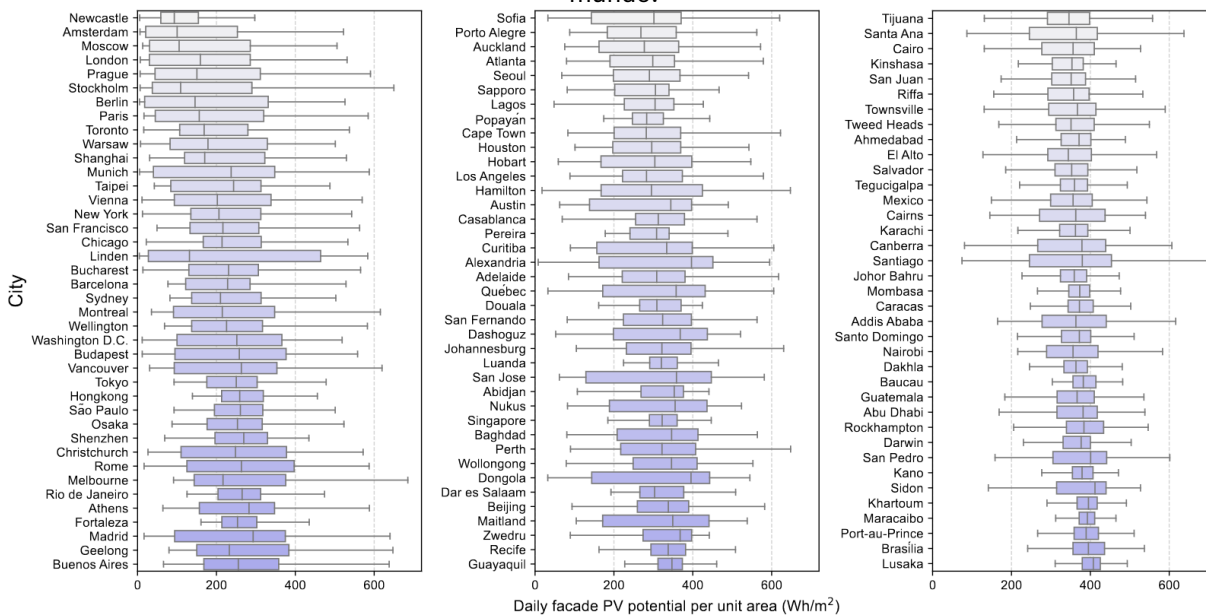
Os resultados revelam que o potencial fotovoltaico nas fachadas em plano vertical representa, em média, 68,2% do potencial das coberturas, sendo que em aproximadamente 35,9% das localidades avaliadas o potencial PV em fachadas superou o das coberturas, destacando o potencial pouco explorado das superfícies verticais na geração de energia solar urbana. A morfologia urbana e a localização geográfica mostraram-se variáveis bastante relevantes: o índice de aproveitamento do solo (Floor Area Ratio - FAR) foi identificado como o fator mais influente para o potencial fotovoltaico em fachadas, apresentando correlação predominantemente negativa.

Segundo os autores, a latitude desempenha papel fundamental: regiões de baixa latitude apresentaram alto potencial ao longo do ano (como cidades da América do Sul, África e Sudeste Asiático), enquanto regiões de alta latitude exibem potencial relativamente menor, com grande variação sazonal, sendo o potencial maior no verão do que no inverno. Superfícies verticais apresentam ângulos menores de incidência durante os períodos de maior irradiação, o que reduz sua eficiência na captação direta. Por outro lado, à medida que a latitude aumenta e a irradiação

diminui, o ângulo de incidência torna-se mais favorável, ampliando a eficiência de captação nas fachadas. Assim, de acordo com o estudo, em latitudes de até 40°, o potencial fotovoltaico em fachadas apresenta dispersão significativa, evidenciando a complexidade da sua análise.

Com base na distribuição do potencial diário de geração fotovoltaica em fachadas por unidade de área (Wh/m^2) apresentada para as 120 cidades avaliadas ao redor do mundo (Figura 2.26), observa-se que Brasília destaca-se entre os centros urbanos com melhor desempenho para aplicação de sistemas fotovoltaicos integrados a fachadas (BIPV), alcançando maiores valores de irradiância disponível em superfícies verticais, combinados com uma menor variabilidade diária ao longo do ano, caracterizando um regime de insolação bastante favorável para BIPV.

Figura 2.26 Resultados do potencial PV diário em fachadas por área (Wh/m^2) em 120 cidades ao redor do mundo.



Fonte: Yu *et al.* (2025).

Este trabalho fornece uma base quantitativa robusta para a consideração estratégica do BIPV em fachadas no contexto do desenvolvimento de cidades energeticamente eficientes. De acordo com os autores, pesquisas futuras são necessárias para explorar com maior profundidade as interrelações entre clima, localização geográfica e morfologia urbana.

Martins (2014) aponta que a busca por maior aproveitamento solar em ambientes urbanos poderia conduzir a formas menos densas para minimizar sombras entre edifícios. No entanto, essa menor densidade aumenta a exposição solar direta nas fachadas, elevando a carga térmica e o consumo energético. Assim, emerge uma dualidade intrínseca ao

planejamento urbano que evidencia a necessidade de um equilíbrio cuidadoso no desenho das formas urbanas, visando compatibilizar a eficiência energética e a geração de energia renovável. Nesse contexto, os dispositivos de sombreamento fotovoltaico ganham relevância, na medida que combinam proteção solar e geração de energia, atenuando simultaneamente os ganhos térmicos e ampliando a superfície disponível para captação solar.

Tendo como base essa discussão, a presente pesquisa busca examinar de forma integrada a influência de parâmetros urbanos, com ênfase na razão H/W, sobre o consumo energético e o potencial de geração em dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs). A investigação é conduzida em um cenário urbano hipotético e uniforme, considerando três diferentes condições climáticas em latitudes distintas, com o objetivo de avaliar a viabilidade de atendimento à meta nZEB.



3 ▯ MATERIAIS E MÉTODO

3 MATERIAIS E MÉTODO

O presente capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados para investigar o impacto da obstrução urbana no consumo energético e no potencial de geração fotovoltaica em PVSDs aplicados em edifícios de escritórios, em diferentes contextos climáticos brasileiros.

Do ponto de vista epistemológico, com base nas classificações de pesquisas científicas de Gil (2002), o estudo adota o método dedutivo, partindo de referenciais teóricos sobre nZEB, sombreamento urbano e geração fotovoltaica para, em seguida, testar hipóteses e relações por meio de simulações computacionais. A natureza dessa pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois busca produzir conhecimento relacionado à viabilidade de alcançar metas nZEB, com potencial aplicação prática no campo da concepção de projetos de edifícios e planejamento urbano.

Quanto aos objetivos, configura-se como uma pesquisa exploratória e explicativa: exploratória ao investigar estratégias de eficiência energética para alcançar nZEB e as aplicações de PVSDs nas diferentes orientações solares, considerando o sombreamento urbano, temas ainda pouco examinados no contexto brasileiro; e explicativa ao buscar compreender como os parâmetros morfológicos do entorno urbano (a altura e o afastamento entre as edificações) influenciam simultaneamente o consumo energético e a capacidade de geração fotovoltaica.

A abordagem utilizada é predominantemente quantitativa, uma vez que se fundamenta na modelagem paramétrica, no cálculo de indicadores numéricos e na comparação sistemática de resultados provenientes de simulações computacionais. No entanto, inclui também elementos qualitativos de interpretação, sobretudo na análise dos resultados e padrões de comportamento observados entre os cenários.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa combina: (i). pesquisa bibliográfica, realizada previamente (Etapa 0), visando compreender o estado da arte sobre nZEB, eficiência energética, PVSDs e morfologia urbana; e (ii). simulações computacionais, estruturadas em três etapas: parametrização geométrica (Etapa 1), simulações de irradiação solar (Etapa 2) e simulações termo energéticas e de geração fotovoltaica (Etapa 3).

3.1 RESUMO DAS ETAPAS

O estudo foi estruturado em uma etapa preliminar, denominada “Etapa 0”, que consistiu na realização de uma revisão da literatura, com o objetivo de aprofundar os conhecimentos sobre os temas relacionados ao propósito do trabalho. Em seguida, foram desenvolvidas três etapas, interconectadas, para avaliar o desempenho energético e o potencial de geração renovável dos protótipos com o objetivo de alcançar a meta nZEB. A Figura 3.1 apresenta um diagrama geral que resume os principais procedimentos metodológicos da pesquisa.

3.1.1 RESUMO DA ETAPA 0: REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura constituiu a etapa inicial e teve como finalidade construir a base teórica necessária para subsidiar as decisões metodológicas, a definição dos parâmetros de análise e a estruturação do problema investigado.

O processo iniciou-se pela definição da base de dado a ser utilizada. Optou-se pela *Scopus*, em razão da ampla cobertura temática. Foi estabelecido um recorte temporal das publicações, priorizando-se estudos publicados a partir de 2017, de modo a incorporar avanços mais recentes relacionados ao conceito nZEB, às estratégias de eficiência energética, tecnologias de integração fotovoltaica e abordagens contemporâneas sobre morfologia urbana.

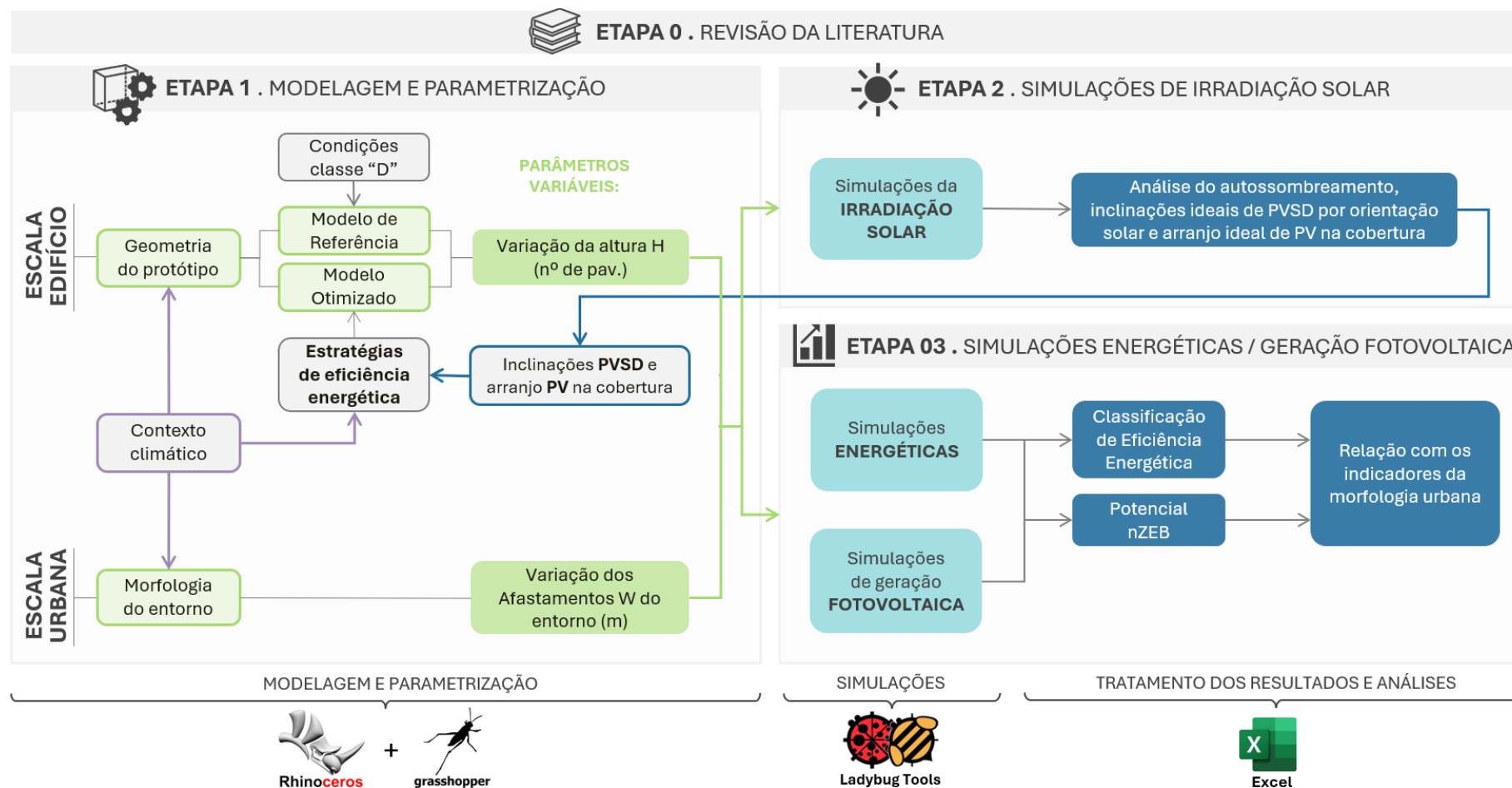
Em seguida, definiu-se as palavras-chave (Tabela 3.1) utilizadas nas buscas bibliográficas, cujas combinações foram estruturadas com operadores booleanos (“AND”, “OR”), permitindo buscas refinadas e alinhadas aos objetivos da pesquisa. Para assegurar abrangência e precisão, os termos foram selecionados e correlacionados entre si, com base na natureza do problema investigado.

Tabela 3.1: Palavras chaves adotadas nas buscas bibliográficas.

Palavras chaves
<i>“energy efficiency”, “energy performance”, “energy consumption”, “hot climate”, “hot-humid climate”, “warm climate”, “tropics”, “tropical” “NZEB”, “ZEB” “nearly zero energy building”, “office”</i>
<i>“building envelope”, “building form”, “form factor”, “urban morphology”, “urban form”, “urban density”, “urban planning”, “urban block”, “neighborhood scale”</i>
<i>photovoltaic”, “PV”, PVSD”, “PV integrated shading devices”, “PV shading devices”, “facade”, “building-integrated photovoltaics”, “BIPV”, “solar potential”, “solar energy potential”, “solar access”, “solar radiation”, “solar irradiation”</i>

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.1: Diagrama geral dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Autoria própria.

Após a obtenção dos resultados brutos, procedeu-se à exclusão de documentos que não correspondiam ao formato de artigo científico, como anais de congresso, notas editoriais ou relatórios técnicos. Em seguida, realizou-se uma triagem preliminar por meio da leitura dos títulos afim de selecionar aqueles alinhados à problemática da investigação. Os artigos pré-selecionados foram analisados qualitativamente por meio de leitura integral ou parcial (resumo e conclusão), conforme a relevância de cada estudo para os temas abordados.

Esse processo foi complementado por novas buscas direcionadas sempre que lacunas específicas eram identificadas durante a leitura dos artigos selecionados, possibilitando o aprofundamento de tópicos para o fortalecimento do arcabouço teórico da pesquisa.

Ao final desta etapa, o conjunto de publicações selecionadas permitiu consolidar uma visão abrangente e integrada dos principais conceitos, abordagens e desafios relacionados aos temas investigados, servindo de base para a formulação das hipóteses, para a definição das variáveis de análise e para o desenvolvimento das etapas subsequentes da dissertação.

3.1.2 RESUMO DA ETAPA 1: MODELAGEM E PARAMETRIZAÇÃO

Nesta etapa, foi realizado o desenvolvimento da modelagem paramétrica em duas escalas: a escala do edifício e a escala urbana. O primeiro passo consistiu na modelagem do edifício, parametrizando-se a geometria quanto ao número de pavimentos. Na escala urbana, foi considerado um quarteirão configurado como uma malha homogênea, de altura uniforme. O afastamento entre os edifícios foi parametrizado para caracterizar diferentes cenários de obstrução do entorno.

O contexto climático também foi estabelecido nesta etapa. Três diferentes zonas bioclimáticas brasileiras (ZB 6A - Belém, ZB 3B - Brasília e ZB 2R - Porto Alegre) foram selecionadas para avaliar a influência de variáveis climáticas e geográficas nas análises propostas.

Com base na revisão da literatura e no contexto climático, foram traçadas estratégias de eficiência energética para caracterizar o modelo otimizado. Estratégias passivas que aprimoraram o comportamento energético da edificação foram incorporadas ao modelo otimizado, com base em parâmetros de isolamento térmico (U), capacidade térmica (CT), percentual de aberturas em fachadas (PAF), fator solar (FS), e dispositivos de sombreamento. Também foram incorporadas estratégias ativas, a partir de parâmetros como a densidade de

potência instalada para iluminação (DPI) e o coeficiente de performance (COP) de equipamentos de climatização e a geração fotovoltaica, a partir da integração fotovoltaica aos dispositivos de sombreamento (PVSDs) e instalação de módulos fotovoltaicos (PVs) na cobertura.

As características geométricas básicas dos PVSDs, assim como a área destinada a aplicação dos módulos PVs na cobertura, foram definidas nesta etapa de modelagem. Entretanto, a fim de maximizar a captação solar, a definição dos ângulos de inclinação dos PVSDs, para cada orientação, e do arranjo dos PVs (incluindo o afastamento entre fileiras) foram tratados de forma pormenorizada, por meio de uma análise específica de irradiação solar nessas superfícies. Devido à relevância desse procedimento para o estudo, sobretudo por sua influência no potencial de geração fotovoltaica, esta análise foi estruturada como uma etapa independente, correspondente à Etapa 2.

3.1.3 RESUMO DA ETAPA 2: SIMULAÇÕES DE IRRADIAÇÃO SOLAR PARA DEFINIÇÃO DE CONDIÇÕES ÓTIMAS PARA MAXIMIZAR A GERAÇÃO EM SUPERFÍCIES PVS.

Esta etapa da pesquisa consistiu no desenvolvimento de simulações da irradiação solar, com o propósito de identificar as inclinações ótimas dos PVSDs e PVs instalados na cobertura, em cada cidade analisada, de modo a maximizar a captação solar.

Buscou-se compreender a influência da obstrução urbana sobre a disponibilidade de irradiação incidente nos PVSDs, por meio da comparação entre cenários com e sem entorno edificado, o que permitiu quantificar as perdas associadas ao sombreamento urbano para cada orientação solar (norte, sul, leste e oeste). Também foi analisado o impacto do autossombreamento decorrente da disposição vertical dos anteparos (PVSDs), comparando-se a irradiação recebida pelo dispositivo superior, livre de interferências, com aquela registrada pelo anteparo imediatamente inferior, sujeito ao sombreamento do elemento acima, possibilitando mensurar essa influência por orientação. Por fim, avaliou-se a contribuição relativa de cada orientação solar para o total de irradiação disponível, por meio da comparação dos valores incidentes nas quatro orientações, com o objetivo de identificar aquelas com maior potencial de aproveitamento energético.

As simulações consideraram um limiar de irradiação de 800 kWh/m² (Didoné, 2014; Natanian; Luca; Naboni, 2022; Góes, 2024), como critério para definição da área efetiva de aplicação fotovoltaica nas superfícies PVs. Os resultados dessa análise serviram de base para a

parametrização dos ângulos de inclinação e definição do arranjo fotovoltaico sobre a cobertura, para cada cidade, adotados nas simulações subsequentes efetuadas na Etapa 3.

3.1.4 RESUMO DA ETAPA 3: SIMULAÇÕES TERMOENERGÉTICAS, GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E ANÁLISE DE RESULTADOS

A metodologia de análise energética e a definição do potencial nZEB foram baseadas na Instrução Normativa Inmetro – INI-C, que estabelece o método brasileiro de etiquetagem de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas.

Esta última etapa foi subdividida em duas análises principais: simulações para avaliar o desempenho energético dos modelos de referência (REF) e otimizados (OTM), e simulações de geração de energia renovável em PVSDs nas fachadas e PVs na cobertura para avaliar o potencial de atendimento à meta nZEB.

Foram conduzidas 180 simulações energéticas, sendo 60 cenários avaliados para cada cidade, tanto do modelo de referência (REF) quanto do modelo otimizado (OTM). Os resultados dos consumos de energia elétrica foram analisados de forma separada pelos principais usos finais em edifícios de escritórios: refrigeração, iluminação e equipamentos, a fim de compreender a eficácia das soluções de efficientização adotadas. Uma vez que os consumos de iluminação e equipamentos são mantidos constantes para todas as localidades, o consumo de refrigeração foi analisado de forma individualizada, para compreender a influência das condições climáticas e morfologia urbana no desempenho termo energético dos cenários simulados.

A partir dos resultados obtidos, foi calculada a Redução do Consumo de Energia Primária (REDcep) dos modelos otimizados (OTM) em relação aos modelos de referência (REF), conforme metodologia estabelecida pela Instrução Normativa Inmetro (INI-C). Esse indicador foi utilizado para determinar a classificação de eficiência energética de cada cenário, conforme descrito no item 3.3.2. Além disso, o consumo de energia do cenário com resultado médio foi comparado ao benchmarking de eficiência energética proposto pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), permitindo avaliar a eficácia das medidas de otimização frente a parâmetros nacionais de referência.

Além da verificação do potencial nZEB, as simulações de geração de energia renovável tiveram como objetivo quantificar a contribuição relativa dos PVSDs instalados nas fachadas em comparação aos PVs aplicados na cobertura, permitindo identificar a relevância de cada

estratégia de integração fotovoltaica no total de energia gerada para cada cidade e configuração urbana analisada.

Com base na combinação dos resultados de consumo e geração, foi determinado o Potencial de Geração de Energia (PG), indicador que expressa o percentual da energia primária consumida pela edificação suprido por fontes renováveis locais. Esse parâmetro permitiu classificar os cenários quanto ao atendimento à meta nZEB, conforme os critérios estabelecidos pela INI-C.

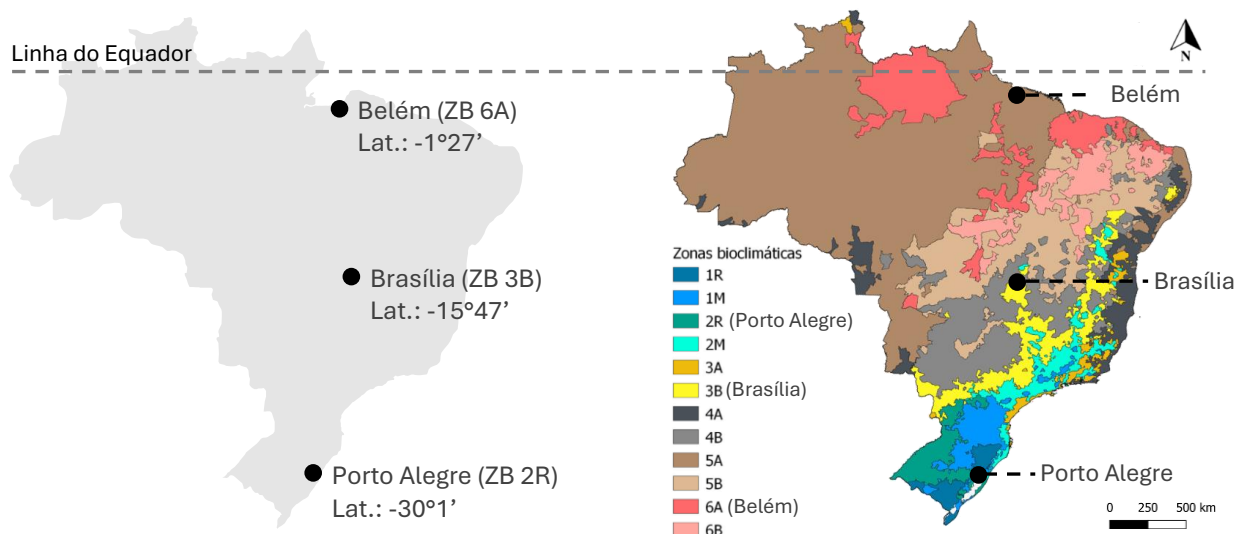
Por fim, os dados resultantes das simulações foram correlacionados às variáveis altura das edificações (H) e afastamento entre edifícios (W), bem como ao parâmetro que sintetizada esta relação, a razão H/W, considerada um dos indicadores morfológicos urbanos mais relevantes para avaliar o potencial solar na geração e consumo de energia (Martins *et al.*, 2016; Rostami; Nasrollahi; Khodakarami, 2024). As informações foram organizadas em matrizes de correlação específicas para cada cidade. Essa abordagem permitiu identificar tendências e padrões de comportamento entre as variáveis morfológicas e aos indicadores de desempenho, consolidando a análise integrada proposta nesta pesquisa.

3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

As condições climáticas em que uma edificação se insere representam um fator chave na análise do desempenho de edifícios nZEB e EEP (Barrutieta *et al.*, 2023). Para contemplar a diversidade climática e a vasta extensão territorial do Brasil, a análise considerou três cidades representativas: Belém, no extremo norte (latitude: $-1^{\circ}27'$), Brasília, na região central (latitude: $-15^{\circ}47'$) e Porto Alegre, no extremo sul (latitude: $-30^{\circ}1'$) (Figura 3.2).

De acordo com a recém atualizada classificação climática brasileira, estabelecida pela ABNT NBR 15.220-3-1:2024, o zoneamento bioclimático brasileiro é composto por seis zonas principais, cada uma subdividida em outras seis subzonas, definidas conforme características específicas de latitude, temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar. Nesse contexto, as três cidades selecionadas situam-se em zonas distintas: Belém corresponde à Zona Bioclimática 6A, caracterizada por clima muito quente e úmido; Brasília enquadra-se na Zona Bioclimática 3B, de características mistas e secas; e Porto Alegre localiza-se na Zona Bioclimática 2R, definida por clima frio e invernos rigorosos (Figura 3.2).

Figura 3.2: Mapa com a localização das cidades avaliadas (à esquerda) e Zoneamento Bioclimático Brasileiro conforme a ABNT NBR 15.220-3-1:2024 (à direita).



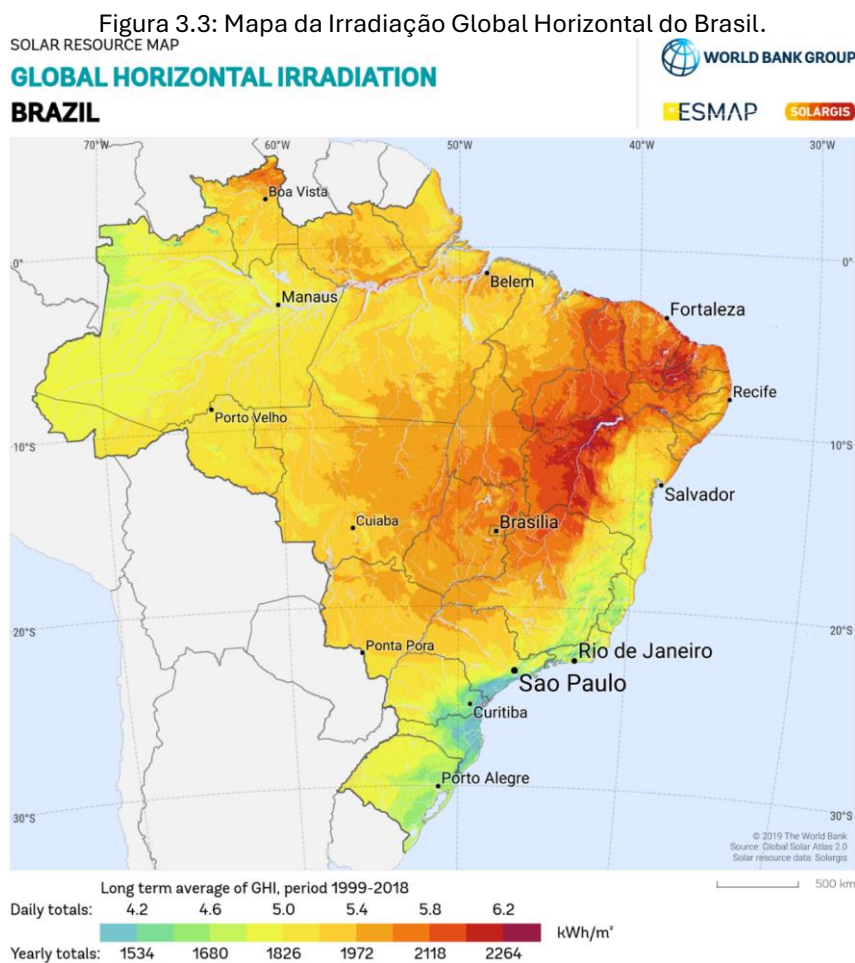
Fonte: Autoria própria (à esquerda) e adaptado de ABNT NBR 15.220-3-1:2024 (à direita).

Como a presente pesquisa se fundamenta na Instrução Normativa INI-C, cuja versão vigente ainda faz referência à classificação bioclimática estabelecida pela edição anterior da ABNT NBR 15220-3 (2005), torna-se necessário indicar também a correspondência das zonas segundo essa norma: Belém enquadra-se na Zona Bioclimática 8, Brasília na Zona Bioclimática 4 e Porto Alegre na Zona Bioclimática 3.

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006), as cidades de Belém, Brasília e Porto Alegre possuem os seguintes tipos de clima (KÖPPEN BRASIL, 2024):

- Belém: Classificação **Am** (Clima Tropical de Monção);
- Brasília: Classificação **Aw** (Clima Tropical de Savana);
- Porto Alegre: Classificação **Cfa** (Clima Subtropical Úmido).

O mapa representado na Figura 3.3 apresenta a Irradiação Solar Global Horizontal (GHI) para o Brasil, representando a média de irradiação solar ao longo de um período de 1999 a 2018. Observando as cidades de Belém, Brasília e Porto Alegre, é possível identificar as diferenças regionais na disponibilidade de irradiação solar com base na cor associada a cada área.

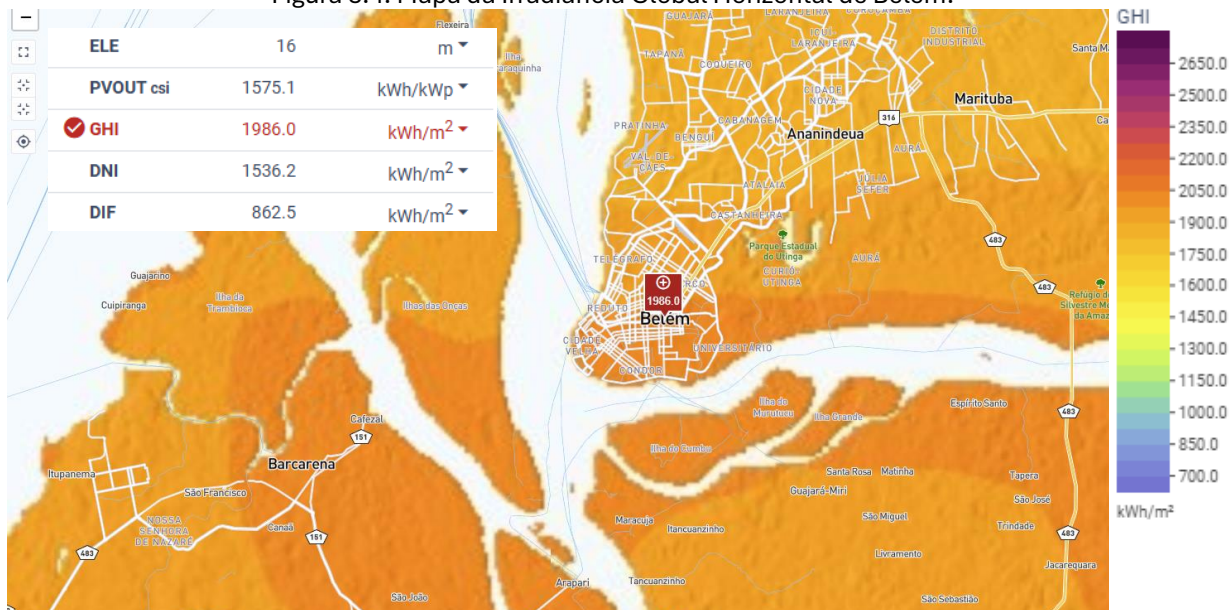


Fonte: Solar resource map © 2021 Solargis. <https://solargis.com>.

3.2.1 O CLIMA DE BELÉM (BEL)

Localizada na região Norte, Belém (BEL) possui clima tropical de monção, caracterizado por temperaturas elevadas ao longo do ano, e uma breve estação seca com chuvas intensas durante todo o resto do ano. Essa caracterização é típica de regiões próximas ao clima equatorial, mas que sofrem influência de monções, resultando em uma pequena sazonalidade na precipitação. A precipitação é abundante, com média anual de 2.900mm, e a variação térmica é pequena, com mínimas de 25,7°C e máximas de 27°C, sendo a amplitude térmica anual de apenas 1,3°C entre o mês mais quente e o mais frio. A nebulosidade é elevada, com céu encoberto durante a estação chuvosa e parcialmente encoberto na breve estação seca. A umidade relativa do ar é alta, em torno de 80 a 90%, durante todo o ano. A irradiância solar média anual é de 1.986 kWh/m² (Figura 3.4), relativamente constante devido à proximidade com o Equador, embora influenciada pela umidade e nuvens típicas do clima equatorial.

Figura 3.4: Mapa da Irradiância Global Horizontal de Belém.

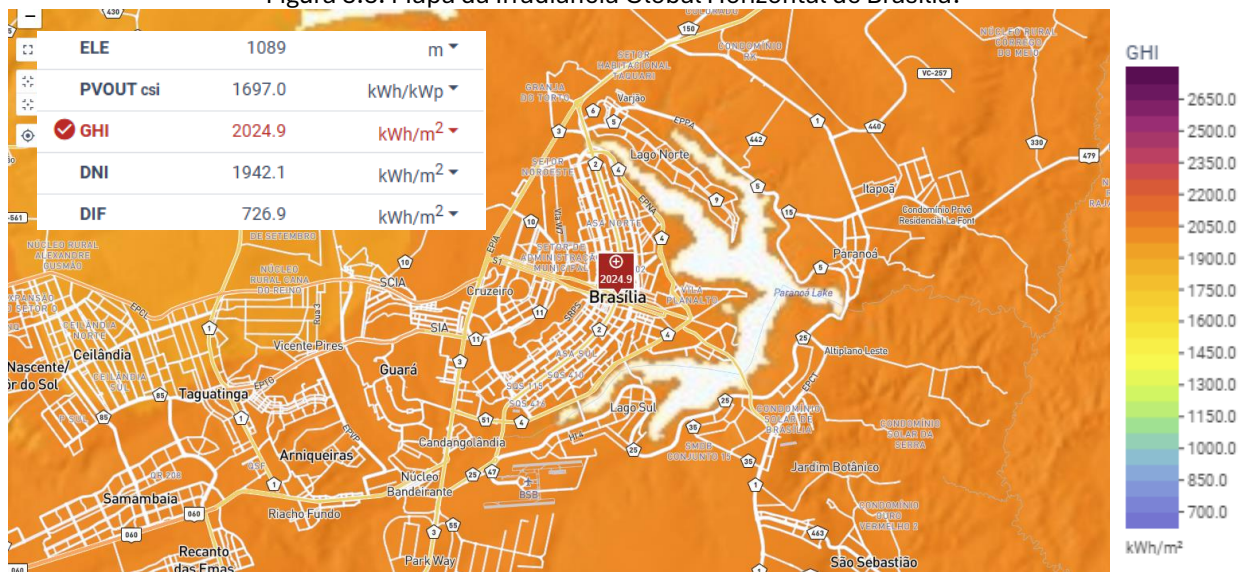


Fonte: Solar resource map © 2021 Solargis. <https://solargis.com>

3.2.2 O CLIMA DE BRASÍLIA (BSB)

Localizada a 1.136 metros de altitude, na região central do país, Brasília (BSB) possui um clima tropical de altitude, típico de regiões de planalto, com temperaturas amenas e amplitude térmica diária bastante elevada. A temperatura média anual é de 22°C, com máximas de 29°C na primavera e mínimo de 12°C no inverno. O regime de precipitação é bem definido: uma estação chuvosa, de outubro a março, com cerca de 70% da precipitação anual, e uma estação seca com um céu quase sem nuvens, de abril a setembro.

Figura 3.5: Mapa da Irradiância Global Horizontal de Brasília.



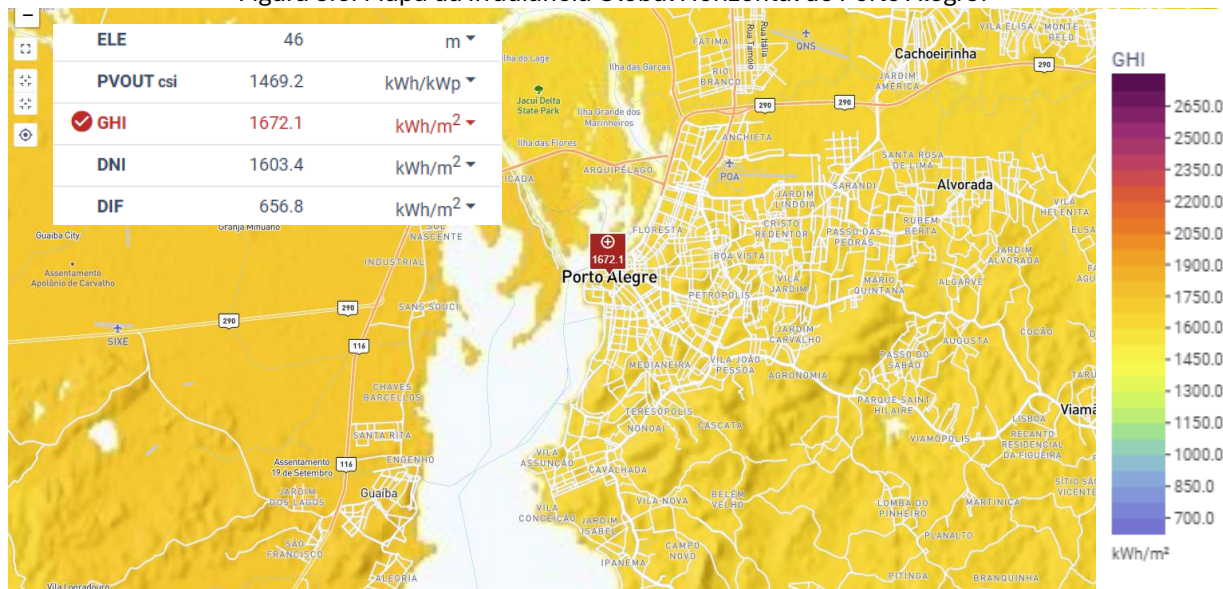
Fonte: Solar resource map © 2021 Solargis. <https://solargis.com>.

Nos meses mais quentes de agosto e setembro, a umidade relativa do ar abaixa significativamente, chegando a valores típicos de deserto, entorno de 12% (Weatherspark, 2024). A irradiância solar global é de 2.024,9 kWh/m²ano (Figura 3.5), bastante elevada devido a sua estação seca pronunciada, o que torna Brasília favorável para o aproveitamento da energia solar. Segundo Domingos et al. (2014), é uma das cidades brasileiras mais adequadas para a implantação de edifícios NZEB, considerando as condições de temperatura, irradiância solar e umidade.

3.2.3 O CLIMA DE PORTO ALEGRE (POA)

Localizada em uma região de baixa altitude, a 46 metros, Porto Alegre (POA) possui um clima subtropical úmido, com verões quentes (acima de 30°C) e invernos amenos, com quedas bruscas de temperatura. A precipitação é bem distribuída ao longo do ano, e a umidade relativa é alta devido à proximidade com o mar. A nebulosidade é moderada, com céu parcialmente encoberto na maior parte do ano (Weatherspark, 2024). A irradiância solar global é de 1.672,1 kWh/m²ano (Figura 3.6), a mais baixa entre as três cidades analisadas, refletindo o clima subtropical com estações bem definidas e uma maior incidência de dias nublados no inverno.

Figura 3.6: Mapa da Irradiância Global Horizontal de Porto Alegre.



Fonte: Solar resource map © 2021 Solargis. <https://solargis.com>.

3.2.4 ARQUIVOS CLIMÁTICOS

O desempenho energético de uma edificação está diretamente relacionado às condicionantes externas do tempo, o que torna a precisão dos dados climáticos um fator crítico

nas simulações computacionais. Arquivos climáticos ineficazes podem ocasionar erros nos resultados das simulações, comprometendo as análises e a tomada de decisões. Uma das principais dificuldades enfrentadas na área de simulação termo energética de edificações é a disponibilidade e a qualidade dos dados climáticos (Scheller *et al.*, 2015).

Diversos tipos de arquivos climáticos são utilizados para simulações, cada um com suas especificidades e metodologias. Entre eles, destacam-se o *Test Reference Year* (TRY), *Typical Meteorological Year* (TMY), *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), *International Weather for Energy Calculations* (IWECC) e os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que são medidos nas estações automáticas do INMET e possuem extensão .epw (Scheller *et al.*, 2015).

A Instrução Normativa Inmetro (INI-C) recomenda a utilização de arquivos climáticos fornecidos pelo INMET, mas também indica que podem ser adotados arquivos SWERA, TMY ou TRY. Scheller *et al.* (2015) efetuaram um estudo comparativo entre diferentes tipos de arquivos climáticos para diversas cidades brasileiras, incluindo Belém, Brasília e Porto Alegre. Os autores identificaram que os dados do arquivo INMET apresentaram valores subestimados de irradiância global horizontal em relação ao Atlas Brasileiro de Energia Solar de Pereira *et al.* (2003, *apud* Scheller *et al.*, 2015) e Atlas Global IRENA (2014, *apud* Scheller *et al.*, 2015) na maioria das cidades. O estudo apontou também que os arquivos INMET estão sendo revisados e corrigidos.

Portanto, com o objetivo de melhor representar as condições reais de irradiação solar e garantir uma maior acurácia nos resultados das simulações, dada a relevância deste dado para os objetivos desse estudo, optou-se por adotar arquivos climáticos do tipo TMY (*Typical Meteorological Year*), que representam as condições meteorológicas típicas das cidades estudadas, evitando extremos que possam distorcer as análises. Essa escolha também foi baseada na disponibilidade de dados mais atuais, uma vez que foram gerados a partir de medições mais recentes, publicados em julho de 2024, abrangendo um período de 15 anos, entre 2009 e 2023. A Tabela 3.2 a seguir indica as estações meteorológicas e os arquivos climáticos (.epw) das respectivas cidades investigadas.

Tabela 3.2: Estações Meteorológicas e Arquivos Climáticos adotados.

Cidade:	Estação:	Arquivo epw (TMY):
Belém (BEL)	816800	BRA_PA_Belem.816800_TMYx.2009-2023.epw
Brasília (BSB)	867150	BRA_DF_Brasilia.867150_TMYx.2009-2023.epw
Porto Alegre (POA)	869880	BRA_RS_Porto.Alegre.869880_TMYx.2009-2023.epw

Fonte: Autoria própria.

Estes arquivos climáticos supracitados foram obtidos a partir do repositório Climate Onebuilding (Lawrie; Crawley, 2022), que disponibiliza dados climáticos desenvolvidos especificamente para simulações de desempenho energético em edifícios. O conjunto de dados TMYx (Typical Meteorological Year) foi elaborado pelos próprios autores da plataforma, gerados a partir de dados horários utilizando metodologias padronizadas pela norma ISO 15927-4:2005 para seleção de anos meteorológicos típicos. Esses arquivos são amplamente utilizados como uma base confiável e precisa das condições climáticas para simulações de edificações.

Dado que a compreensão das condições climáticas locais é importante para orientar a definição das estratégias de eficiência energética para cada cidade, combinada à relevância dos arquivos climáticos na precisão e confiabilidade das simulações computacionais, será realizada uma análise comparativa dos arquivos climáticos das cidades avaliadas: Belém, Brasília e Porto Alegre. Essa análise será conduzida a partir da coleta e interpretação dos dados convertidos para planilhas Excel e gráficos gerados com as ferramentas do Ladybug Tools e Climate Consultant 6.0. Essa abordagem permitirá identificar as diferenças nas condições climáticas que podem influenciar os resultados das simulações, como variações na irradiação solar, temperaturas médias, máximas e mínimas, dentre outros. Os resultados dessa análise comparativa serão apresentados no Capítulo 4.1.

3.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE

3.3.1 PROGRAMAS ADOTADOS

Para desenvolver as simulações computacionais desta pesquisa, a geometria do edifício e o entorno urbano foram modelados de forma parametrizada, utilizando as ferramentas do Grasshopper, integrado ao software de modelagem 3D Rhinoceros, versão 7. Desenvolvido pela Robert McNeel & Associates, o Rhinoceros inclui o Grasshopper, uma linguagem de programação visual bastante popular para a criação de algoritmos generativos, que tem sido amplamente adotada em diversas pesquisas ao longo da última década (Zhao *et al.*, 2023; Rostami; Nasrollahi; Khodakarami, 2024). A relativa simplicidade do Grasshopper permite a criação de algoritmos e modelos paramétricos sem a necessidade de conhecimentos avançados em programação.

Diferentemente do modelo tradicional, que se concentra na criação direta do objeto, o design paramétrico enfatiza a análise e manipulação das relações entre as propriedades e

dimensões do objeto a ser desenvolvido (Barrios, 2005). Segundo Weisstein (2003, *apud* David, 2013, p. 31), o design paramétrico pode ser descrito como "um conjunto de equações que define informações sobre a configuração de um sistema informacional arquitetônico, apresentando-as como funções explícitas de uma série de parâmetros".

É comum que as ferramentas de desenho e de análises ambientais não sejam integradas entre si, o que compromete o fluxo de trabalho dos projetistas e dificulta a tomada de decisões com base em melhores estratégias ainda em fase de concepção inicial. No entanto, o Grasshopper oferece uma vantagem significativa nesse aspecto, pois seu ambiente é bastante flexível e permite a integração de diversas outras ferramentas em uma única interface gráfica, facilitando a exploração de múltiplas análises simultâneas. Essa capacidade de integração foi um dos principais fatores que motivaram a escolha da ferramenta Rhino/Grasshopper nesta pesquisa. Desta forma, o processo de modelagem e de análises ambientais ficam conectadas dentro do mesmo ambiente do Grasshopper.

As análises energética, de irradiação e de geração fotovoltaica foram realizadas com as ferramentas do Ladybug Tools (LBT). O Ladybug Tools é um conjunto de plugins para o Grasshopper que propicia análise de dados meteorológicos e reúne diferentes motores de simulação já consagrados no meio profissional e acadêmico, como o Radiance e o EnergyPlus, viabilizando a integração dos resultados de análises climáticas e simulações energéticas de maneira otimizada. Estas funcionalidades tornam o Rhino/Grasshopper, juntamente com o Ladybug Tools, ferramentas ideais para a fase inicial de projeto.

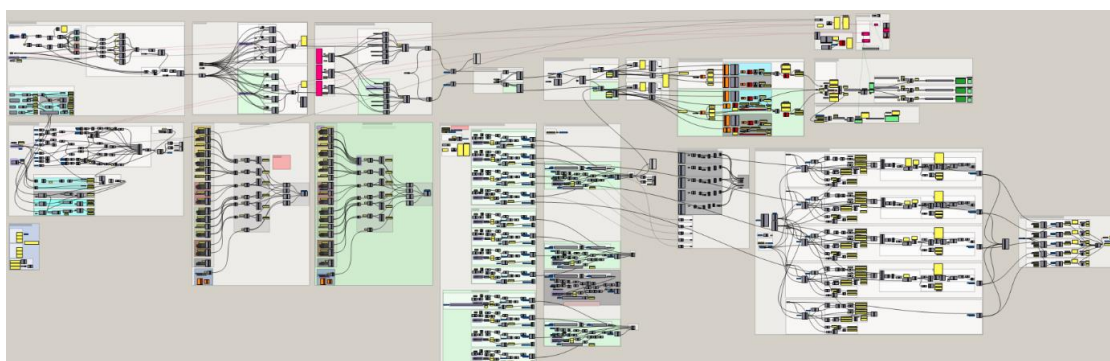
Além disso, a capacidade de atualização e melhoria contínua do código aberto também tem atraído a atenção da comunidade de pesquisa. Desde sua criação, o Ladybug Tools se tornou uma das ferramentas mais utilizadas para simulações de irradiação solar em escala urbana (Vartholomaios, 2021; Zhao et al., 2023; Rostami; Nasrollahi; Khodakarami, 2024). O estudo de Rostami, Nasrollahi e Khodakarami (2024) demonstrou um forte alinhamento entre as estimativas de irradiação solar do Ladybug Tools e dados medidos, confirmando a acurácia do software em comparação com medições reais.

Dentro do conjunto de ferramentas do Ladybug Tools, o Honeybee é um subconjunto especializado em simulações detalhadas de iluminação natural e termodinâmica. As simulações de iluminação natural e irradiação utilizam o motor de cálculo Radiance, enquanto as simulações energéticas adotam o EnergyPlus. O EnergyPlus, desenvolvido com o apoio do

Departamento de Energia dos EUA, é amplamente reconhecido e utilizado no meio acadêmico e no setor de engenharia devido à sua abrangência e precisão nas simulações energéticas.

Para o cálculo da geração de energia fotovoltaica, também foram utilizadas ferramentas do Honeybee. Um conjunto de componentes dedicados à modelagem de fotovoltaicos foi recém disponibilizado em março de 2024, na versão LBT 1.8.0. Estes componentes permitem definir e atribuir propriedades detalhadas de módulos fotovoltaicos, como eficiência de conversão e fração de perdas. A Figura 3.7 a seguir mostra o ambiente do Grasshopper desenvolvido para esta pesquisa.

Figura 3.7: Ambiente do Grasshopper desenvolvido para esta pesquisa.



Fonte: Autoria própria.

Todos os resultados obtidos das análises foram registrados utilizando o componente Data Recorder do Grasshopper, que permite monitorar a variação de valores durante as iterativas simulações, pois ele captura e armazena cada entrada sucessiva, criando uma lista de valores históricos. Em seguida, os dados desse histórico foram planilhados em Excel para análise e elaboração dos gráficos apresentados neste trabalho.

3.3.2 INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO - INI-C

Para estimar o consumo de energia e o potencial nZEB dos modelos de edifícios, utilizou-se o método para a classificação da eficiência energética nacional, estabelecido pela Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Conforme a INI-C, a classificação compara o consumo energético do edifício proposto (“real”) com um modelo de referência equivalente em geometria e orientação solar, classificado como “D” (Brasil, 2022).

A análise seguiu o procedimento de simulação computacional termo energética descritos no Anexo C.I da INI-C. Para garantir a consistência dos resultados, o entorno da

edificação foi considerado idêntico tanto na condição real quanto na condição de referência (Brasil, 2022).

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foi publicada uma atualização da INI-C, através da Nota Técnica nº 01, incorporando correções e melhorias para alinhar o PBE Edifica com novas práticas normativas e de mercado, promovendo a evolução contínua do programa (CB3E, 2023).

Entre as principais correções introduzidas pela NT 01, e que impactaram esta pesquisa, destaca-se a revisão das equações utilizadas no cálculo da redução do consumo de energia primária (RedCEP) entre as condições “real” e de “referência”. Essa mudança eliminou a influência do consumo energético dos equipamentos no cálculo final, proporcionando uma classificação mais precisa da eficiência energética das edificações. Como consequência, as escalas de classificação foram ajustadas, afetando os coeficientes de redução de consumo de energia primária que determinam a progressão entre a classificação “D” e “A” (CRCEPD-A).

Embora o consumo de energia dos equipamentos tenha sido eliminado da equação de cálculo da redução do consumo de energia primária (RedCEP), ele ainda é considerado nas estimativas de consumo de energia primária tanto para a condição real quanto para a de referência ($C_{EE,real}$ e $C_{EE,ref}$). O objetivo permanece o de aproximar essas estimativas ao consumo real das edificações em operação, conforme refletido nos valores apresentados na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e nas faturas de energia.

A NT nº01 também trouxe atualizações importantes nas condições de referência, incluindo a definição das propriedades térmicas dos sistemas de piso e paredes internas, ausentes na versão anterior da INI-C. A mudança mais relevante, no entanto, foi a elevação do Coeficiente de Performance (COP) de referência, que passou de 2,60 para 3,24, aumentando o nível de eficiência do modelo de referência (classificação “D”). Desta forma, pode-se dizer que a NT nº01 tornou mais desafiador alcançar a classificação “A”, exigindo maior eficiência energética dos edifícios para obter a nota máxima.

Essas alterações impactaram diretamente o desenvolvimento desta pesquisa, invalidando os primeiros resultados obtidos. Contudo, optou-se por ajustar o método para garantir que a pesquisa estivesse alinhada às atualizações mais recentes, que foram pertinentes e essenciais para aprimorar a avaliação de eficiência energética.

3.3.2.1 CÁLCULO DA CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DA INI-C, CONFORME NT 01.

Considerando a tipologia de edificações de escritórios adotada para esta pesquisa, o consumo total de energia elétrica da edificação em sua condição real (CEE_{real}) e condição de referência (CEE_{ref}) será calculado pela soma dos consumos de refrigeração (CR_{real} e ref), iluminação (CIL_{real} e ref), e consumo de equipamentos (CEQ), conforme descrito na equação a seguir. Por se tratar de edifícios de escritório, o consumo de aquecimento de água ($CAAE_{real}$ e ref) foi desprezado. Conforme estabelecido na INI-C, o consumo de equipamentos para a edificação real e sua condição de referência será o mesmo.

$$CEE_{real \text{ ou } ref} = CR_{real \text{ ou } ref} + CIL_{real \text{ ou } ref} + CEQ$$

Onde:

- CEE é o consumo total de energia elétrica da edificação real (CEE_{real}) ou condição de referência (CEE_{ref}) (kWh/ano);
- CR é o consumo de refrigeração do sistema de condicionamento de ar da edificação real (CR_{real}) ou condição de referência (CR_{ref}) (kWh/ano);
- CIL é o consumo do sistema de iluminação da edificação real (CIL_{real}) ou condição de referência (CIL_{ref}) (kWh/ano);
- CEQ é o consumo de equipamentos (kWh/ano).

De acordo com a INI-C, para a condição de referência, deve-se calcular a carga térmica de refrigeração anual total da edificação ($CgTR$), adotando um sistema de carga ideal (“ideal loads”) no programa de simulação (INMETRO, 2022). Para calcular o consumo de refrigeração total na condição de referência, deve-se dividir a carga térmica de refrigeração e aquecimento anual total ($CgTR$) pelo COP (Coeficiente de Performance) de 3,24 W/W, que é o valor do coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração (CEE_R) definido para a edificação de referência (INMETRO, 2022).

O consumo de energia primária é definido multiplicando o consumo de energia elétrica pelo fator de conversão (f_{CE}) estabelecido pela INI-C como sendo 1,6.

$$CEP_{real} = (CEE_{real} \cdot f_{CE}) \text{ e } CEP_{ref} = (CEE_{ref} \cdot f_{CE})$$

Onde:

- CEP_{real} é o consumo de energia primária da edificação real (kWh/ano);
- CEE_{real} é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);
- CEP_{ref} é o consumo de energia primária da edificação de referência (kWh/ano);
- CEE_{ref} é o consumo total de energia elétrica da edificação de referência (kWh/ano);
- f_{CE} é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária = 1,6.

A classificação de eficiência energética geral da edificação deve ser determinada com base no percentual de redução do consumo de energia primária (RedCEP) da edificação real em comparação com a mesma edificação em sua condição de referência. O percentual de redução deve ser calculado com base na equação a seguir:

$$\text{RedCEP} = \{[(\text{CEP}_{\text{refD}} - (\text{CEQ} \cdot \text{fCE})) - (\text{CEP}_{\text{real}} - (\text{CEQ} \cdot \text{fCE}))] / (\text{CEP}_{\text{refD}} - (\text{CEQ} \cdot \text{fCE}))\} \cdot 100$$

Onde:

- RedCEP é o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e a condição de referência (%);
- CEP_{refD} é o consumo de energia primária da edificação de referência (kWh/ano);
- CEP_{real} é o consumo de energia primária da edificação real (kWh/ano).
- CEQ é o consumo de equipamentos (kWh/ano);
- fCE é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

Para determinar a escala de eficiência energética para as classificações de A a E, é calculado o coeficiente de redução de consumo de energia primária entre as classes D e A (CRCEPD-A). Este coeficiente depende da tipologia da edificação, do Fator de Forma (FF) e da Zona Bioclimática (antiga ABNT NBR 15220-3/2005). O Fator de Forma (FF) é definido com a razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação. A Tabela 3.3 a seguir apresenta os coeficientes de redução para escritórios, com base no Fator de Forma, na qual destacam-se os dados para a classificação climática das cidades selecionadas:

Tabela 3.3: Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A (CRCEPD-A), com base no fator de forma (FF) e classificação climática correspondente, para edifícios de escritórios.

Classificação Climática	Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a classificação A (CRCEPD-A)			
	FF ≤ 0,20	0,20 < FF ≤ 0,30	0,30 < FF ≤ 0,40	FF > 0,40
ZB 1	0,52	0,52	0,53	0,55
ZB 2	0,50	0,50	0,52	0,53
ZB 3 (POA)	0,51	0,51	0,53	0,54
ZB 4 (BSB)	0,54	0,54	0,56	0,58
ZB 5	0,49	0,50	0,51	0,53
ZB 6	0,50	0,50	0,52	0,53
ZB 7	0,40	0,41	0,42	0,44
ZB 8 (BEL)	0,46	0,47	0,48	0,49

Fonte: Adaptado da INI-C (INMETRO, 2022).

Os intervalos de classificação, baseados no percentual de redução do consumo de energia primária, são obtidos pela variável “i”, determinada pela equação:

$$i = (\text{CRCEPD-A} \cdot 100) / 3$$

Onde:

- i é o valor calculado que representa o intervalo entre as classes, em %;
- CRCEPD-A é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

A Tabela 3.4 a seguir apresenta os limites dos intervalos de classificação de eficiência energética geral:

Tabela 3.4: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral da edificação.

Classificação de Eficiência	A	B	C	D	E
	$\text{RedCEP} > 3i\%$	$3i\% \geq \text{RedCEP} > 2i\%$	$2i\% \geq \text{RedCEP} > i\%$	$i\% \geq \text{RedCEP} \geq 0\%$	$\text{RedCEP} < 0\%$

Fonte: Adaptado da INI-C (INMETRO, 2022).

A classificação geral é determinada comparando-se o percentual de redução de energia primária da edificação real e os intervalos calculados. Caso o valor de RedCEP seja negativo, a classificação geral da edificação será “E” (INMETRO, 2022).

3.3.2.2 CÁLCULO DO BALANÇO ENERGÉTICO E A CLASSIFICAÇÃO NZEB

Edificações energeticamente eficientes que possuam sistemas de geração de energia renovável instalados localmente, podem ser classificados como “Edificações de Energia Quase Zero” (nZEB) ou “Edificações de Energia Positiva” (EEP), seguindo os critérios apresentados no Anexo D da INI-C (Brasil, 2022).

O Potencial de Geração de Energia (PG), que representa o percentual da energia primária consumida pela edificação atendido por fontes renováveis geradas localmente, é obtido por meio da equação (Brasil, 2022):

$$\text{PG} = (\text{GEE} \cdot f_{cE} / (\text{CEE}_{\text{real}} \cdot f_{cE}) + (\text{CET}_{\text{real}} \cdot f_{cT})) \cdot 100$$

Onde:

- PG é o potencial de geração de energia (%);
- GEE é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);
- CEE_{real} é o consumo total de energia elétrica da edificação na condição real (kWh/ano);
- CET_{real} é o consumo total de energia térmica da edificação na condição real (kWh/ano);
- f_{cE} é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária = 1,6;
- f_{cT} é o fator de conversão de energia térmica (GN ou GLP) em energia primária = 1,1.

Se o potencial de geração de energia (PG) for igual ou superior a 50%, a edificação é classificada como uma edificação de energia quase zero (nZEB). Se o PG exceder 100%, ela é considerada uma edificação de energia positiva (EEP). No entanto, para obter a classificação nZEB ou EEP, a edificação deve alcançar a classificação A de eficiência energética, comprovando sua eficiência (Brasil, 2022).

3.4 ESCALA DO EDIFÍCIO

3.4.1 DESCRIÇÃO DO MODELO ENERGÉTICO

3.4.1.1 USO DA EDIFICAÇÃO

Na escala do edifício, foi definido o uso da edificação como escritório, por ser caracterizado pela significativa geração de calor interno, proveniente tanto da ocupação humana quanto do uso intensivo de equipamentos eletrônicos, como computadores, impressoras e outros aparelhos essenciais ao ambiente de trabalho. Esse perfil de ocupação gera uma elevada demanda de eletricidade para iluminação e, especialmente, para climatização, cuja demanda tende a aumentar ainda mais com as mudanças climáticas e o aumento da frequência das ondas de calor.

Além disso, a relativa padronização de uso dessa tipologia, que possui horários e dias de operação mais bem definidos, permite uma maior previsibilidade do consumo, o que contribui para obtenção de resultados mais consistentes na pesquisa. Uma vantagem adicional é a simultaneidade entre os horários de maior demanda de eletricidade e os períodos de maior geração de energia fotovoltaica (PV), o que permite uma integração mais eficiente entre geração e consumo, maximizando o aproveitamento da eletricidade gerada localmente por módulos fotovoltaicos (PVs).

3.4.1.2 GEOMETRIA

Uma revisão dos padrões típicos de construção de edifícios de escritórios revelou que 89% da amostra apresenta uma forma retangular (Neves; Melo; Rodrigues, 2019). Portanto, adotar modelos de geometria regular para a análise de escritórios confere um grau de veracidade à pesquisa, refletindo um grupo morfológico de alta representatividade no campo da construção (Depecker *et al.*, 2001).

Assim, foram definidos modelos hipotéticos paralelepípedicos, sem compartimentação interna (planta livre). Esta escolha baseia-se no fato de que o estudo visa traçar diretrizes projetuais para uma fase preliminar (conceitual) de projeto, quando cerca de 80% das decisões que influenciam o desempenho energético de um edifício são tomadas (IEA Task 41, 2012) e detalhes mais específicos ainda não estão estabelecidos. Além disso, a simplificação do modelo facilita a parametrização e permite um foco direcionado nas variáveis investigadas.

A projeção básica em planta foi estabelecida na proporção de 1:1, com largura fixada em 15m, com base na pesquisa de André *et al.* (2022). Considerando que a altura de piso a teto em edifícios de escritório geralmente é de 2,70m (Neves; Melo; Rodrigues, 2019), a altura de piso a piso foi fixada em 3,30m, adicionando-se 60cm para representar a espessura estimada da estrutura e o espaço de *plenum* entre teto e forro (Figura 3.8).

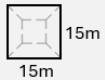
A altura total do edifício corresponde ao parâmetro variável da geometria e foi estabelecida com base na quantidade de pavimentos. Para obter uma amostra representativa de diferentes alturas e indicadores da geometria do edifício, como Fator de Forma, Fator Altura e Relação Cobertura/Fachada, definiu-se a quantidade de pavimentos variando de 3 a 18, em intervalos de 3 pavimentos: 3, 6, 9, 12, 15 e 18, totalizando 6 padrões de altura, de 9,9m a 59,40m (Figura 3.8). Assim, considerando os 6 modelos de diferentes alturas, a amostra abarca edificações de pequeno a médio porte, com área construída variando de 675m² a 4.050m². A Tabela 3.5 apresenta detalhadamente os dados que caracterizam cada geometria.

Figura 3.8: Geometria dos modelos simulados.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 3.5: Caracterização geométrica dos modelos de edifícios avaliados.

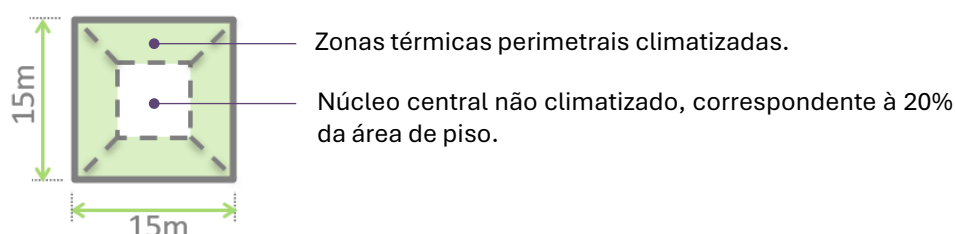
Projeção básica		Numero de pavimentos	Altura (m)	Área Construída (m ²)	Área de Fachada (m ²)	Área Total da Envoltória (m ²)	Volume (m ³)	Fator de Forma / Compacidade	Fator Altura	Relação Cobertura por Fachada
Projeção básica 1:1 (15x15m)		3	9,90	675	594	819	2.228	0,37	0,33	38%
Largura (m):	15	6	19,80	1.350	1.188	1.413	4.455	0,32	0,17	19%
Comprimento (m):	15	9	29,70	2.025	1.782	2.007	6.683	0,30	0,11	13%
Relação Comprimento/Largura:	1,0	12	39,60	2.700	2.376	2.601	8.910	0,29	0,08	9%
Área de Projeção / Cobertura (m ²):	225	15	49,50	3.375	2.970	3.195	11.138	0,29	0,07	8%
Altura de piso a piso (m):	3,3	18	59,40	4.050	3.564	3.789	13.365	0,28	0,06	6%

Fonte: Autoria própria.

3.4.1.3 ZONAS TÉRMICAS

Em edifícios de escritórios, é comum a presença de ambientes de permanência transitória não climatizados, como sanitários, áreas técnicas, halls e circulações horizontais e verticais. Esses ambientes geralmente são localizados no núcleo dos edifícios, permitindo que as áreas periféricas, consideradas mais nobres, sejam destinadas às atividades de escritório, otimizando o aproveitamento de vistas e iluminação natural. Com base nessa organização espacial, o modelo foi dividido em cinco zonas térmicas distintas: quatro zonas térmicas periféricas e um núcleo central (Figura 3.9). O núcleo central foi considerado como 20% da área total do pavimento e configurado como ambiente não climatizado, a fim de representar as áreas comuns de permanência transitória.

Figura 3.9: Representação gráfica distribuição das zonas térmicas.



Fonte: Autoria própria.

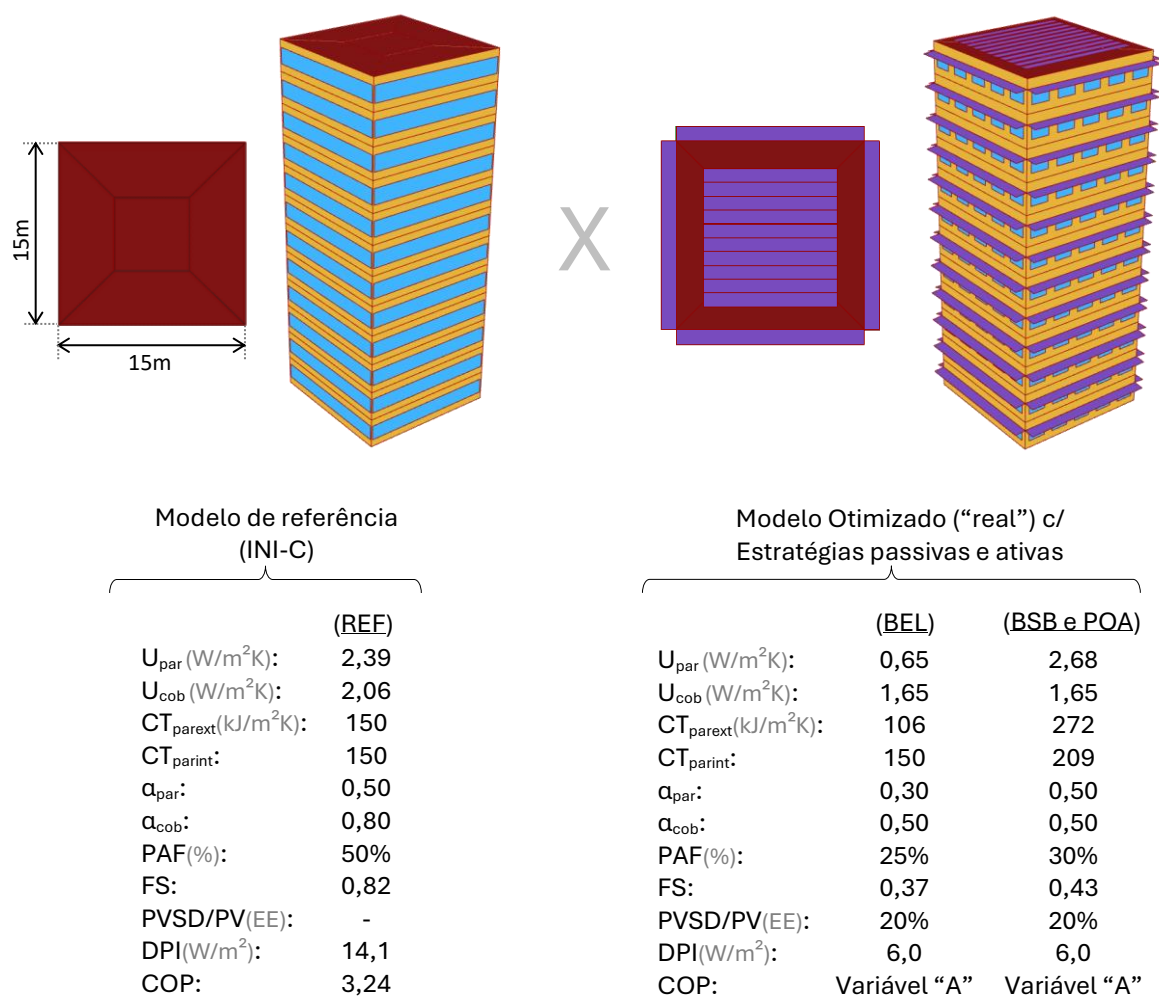
3.4.2 ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

De acordo com a INI-C, para alcançar a classificação de eficiência energética de nível “A”, o modelo “real” deve ser otimizado para superar a eficiência do modelo de “referência” que corresponde a classificação “D”. Para configuração das características do modelo na condição de referência, foram adotados os parâmetros estabelecidos no Anexo A, Tabela A.1 e Tabela A.9, da INI-C (Brasil, 2022, p. 63 e 79), apresentadas no Anexo 1 deste documento.

É amplamente reconhecido que as estratégias passivas devam ser planejadas de forma singular, considerando as particularidades do local de implantação e as respectivas condições climáticas. No entanto, em consonância com o caráter desta pesquisa que trata da fase conceitual de projeto, algumas estratégias de eficiência energética serão uniformizadas entre as cidades para simplificar a análise. Optou-se por aplicar um mesmo conjunto de estratégias passivas para Brasília e Porto Alegre, que compartilham maior semelhança climática e adotar diferentes estratégias passivas para Belém, onde a diferença climática é mais acentuada.

Com base nos estudos de Feng et al. (2019); Klaus (2020); Costa, Amorim, Cronemberger (2020); Lohwanitchai e Jareemit (2021) foram definidos os focos das estratégias de aprimoramento energético para traçar as características do modelo otimizado, a fim de avaliar se as soluções serão suficientes para alcançar a classificação “A”. A Figura 3.10 e a Tabela 3.6 apresentam um resumo dos parâmetros adotados para os modelos de “referência” e modelos otimizados (“real”) para cada cidade.

Figura 3.10: Representação gráfica do modelo de referência versus modelo otimizado (“real”), com 12 pavimentos e resumo das estratégias de eficiência energética.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 3.6: Parâmetros de entrada dos modelos de referência e otimizados.

Parâmetros	Modelo de "Referência" (REF) Classe "D"	Modelo "real" Otimizado (BEL) Meta Classe "A"	Modelo "real" Otimizado (BSB e POA) Meta Classe "A"
ESTRATÉGIAS PASSIVAS			
Cobertura			
Ucob - Transmitância térmica da cobertura (W/(m ² .K))	2,06	1,65	
acob - Absortância da cobertura	0,8	0,5	
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/(m ² .K))	233	343	
Parede Externa			
Upar - Transmitância da parede externa (W/(m ² .K))	2,39	0,65	2,68
qpar - Absortância da parede	0,50	0,30	0,50
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/(m ² .K))	150	106	272
Parede Interna			
Upar - Transmitância térmica da parede interna (W/(m ² .K))		1,96	2,23
qpar - Absortância da parede		0,50	0,50
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/(m ² .K))		150	209
Piso interno			
Upis - Transmitância térmica do piso (W/(m ² .K))	2,06	1,68	
qpis - Absortância do piso	0,8	0,5	
CTpis - Capacidade térmica do piso (kJ/(m ² .K))	233	343	
Piso em contato com o solo			
Upis - Transmitância térmica do piso sobre solo (W/(m ² .K))		6,36	
qpis - Absortância do piso sobre solo		0,8	
CTpis - Capacidade térmica do piso sobre solo (kJ/(m ² .K))		220	
Vidro (simples incolor)			
FS – Fator solar do vidro	0,82	0,37	0,43
Uvid - Transmitância do vidro (W/(m ² .K))	5,7	5,6	
PAF - Percentual de área de abertura na fachada (%)	50%	25%	30%
Dispositivos de Proteção Solar PVSD			
Profundidade	Não há	Brise horizontal	
Inclinação		1,2m	
		Variável*	
Sombreamento por módulos PV na cobertura			
Inclinação	Não há	50% da área	
		Variável*	
* Ver tópico da geração de energia fotovoltaica			
ESTRATÉGIAS ATIVAS			
Cargas Internas			
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	14,1	6 W/m ²	
Climatização			
COP - Coeficiente de performance (W/W)	2,6	VRF variável - nível "A"***	
Temperatura setpoint (°C)		24	
***Variável conforme a capacidade do sistema, tomando como referência condicionadores de ar do tipo VRF com condensação a ar, sem ciclo reverso, tabela 7.3 da INI-C, para nível "A".			

Geração de Energia Fotovoltaica	Não há	Monocristalino
Limiar de irradiação para aplicação de PVSD/PV		800 kWh/m² ano
Eficiência		20%
Fração da área ativa		0,90
Fração de perda		14%
Eficiência inversor - <i>Default 96%</i>		0,96
Fator de conversão DC para AC - <i>Default 1,1</i>		1,10
OUTROS PARÂMETROS DE ENTRADA		
Cargas Internas		
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)		15
Cronogramas de operação		
Ocupação (m ² /pessoa)		10
Horas de ocupação (horas)		10
Dias de ocupação (N ano)		260
Renovação de ar		
Taxa de ventilação por pessoa (m ³ /s)		0,0075
Infiltração por área de fachada (m ³ /s) - <i>Default leaky building</i>		0,0006
Edifícios do entorno		
Altura e afastamentos uniformes	Mesmo contexto urbano	
Refletância do material		0,5

Fonte: Autoria própria.

3.4.2.1 ESTRATÉGIAS PASSIVAS

Em cidades onde a demanda por resfriamento é predominante, uma das estratégias mais eficazes para diminuir o ganho térmico da envoltória consiste na redução do percentual de aberturas das fachadas (PAF). No modelo de referência da INI-C, o PAF é de 50%. Costa, Amorim e Cronemberger (2020) recomendam um PAF de 30% para Brasília, valor que foi implementado nesta pesquisa para os modelos otimizados em Brasília e Porto Alegre. Em Belém, onde o clima apresenta temperaturas mais elevadas, optou-se por adotar um PAF um pouco menor, de 25%.

O sombreamento das aberturas também é uma das soluções passivas mais recomendadas para climas quentes. Nesta pesquisa, dispositivos de sombreamento foram incorporados nos modelos otimizados em todas as localidades avaliadas (Belém, Brasília e Porto Alegre). Esses dispositivos foram integrados com módulos fotovoltaicos (PVSD), a fim de bloquear a irradiação solar direta e ao mesmo tempo gerar energia, complementando a geração por módulos PV na cobertura. As características dos PVSD/PVs estão descritas no tópico 3.6.

Para minimizar ainda mais os ganhos térmicos pelas aberturas, as características dos vidros também foram ajustadas no modelo otimizado. Enquanto o modelo de referência apresenta vidros comuns, no modelo otimizado, o Fator Solar (FS) foi reduzido para 0,43 (Costa;

Amorim; Cronemberger, 2020) em Brasília e Porto Alegre, e para 0,37 em Belém, em resposta às condições climáticas mais severas.

Quanto aos sistemas construtivos de vedação da envoltória, as propriedades térmicas dos materiais utilizados no modelo otimizado foram detalhadas na Tabela 3.7. Em regiões cujo o clima é quente o ano todo, vedações com um maior isolamento térmico são mais recomendadas (Waschevycz *et al.*, 2015). Assim, nas paredes externas do modelo otimizado em Belém, foi aplicado um sistema de menor transmitância térmica (U), utilizando tijolo cerâmico e isolante térmico, resultando em uma transmitância térmica (U) de 0,65 W/m²K, comparada aos 2,39 W/m²K do modelo de referência.

Seguindo o princípio de viabilizar as trocas térmicas em climas mais amenos (Waschevycz *et al.*, 2015; Pinto; Westphal, 2019), aproveitando-se dos benefícios de uma maior amplitude térmica diária, nos modelos otimizados em Brasília e Porto Alegre, adotou-se um sistema de vedação com maior capacidade térmica. Nas paredes externas e internas foram aplicados blocos de concreto, resultando em uma capacidade térmica de 272kJ/(m².K) e 209kJ/(m².K), respectivamente, comparados aos 140 kJ/(m².K) do modelo de referência.

Embora a cobertura seja a superfície da envoltória mais exposta à irradiação solar direta, sua influência na carga térmica é reduzida com o aumento do número de pavimentos. Uma vez que a cobertura vai acomodar módulos fotovoltaicos (PV) para geração de energia renovável, esta superfície será em parte sombreada por estes elementos. Para facilitar a instalação dos módulos PV na inclinação ideal a fim de maximizar a geração de energia, as coberturas dos modelos otimizados foram previstas como lajes planas impermeabilizadas, solução que foi aplicada nos três contextos climáticos avaliados. Quanto às propriedades térmicas, foi considerado um sistema construtivo com menor transmitância térmica, composto por uma laje de concreto armado e um *plenum* entre a laje e o forro.

A absorptância solar da envoltória também foi um parâmetro ajustado na otimização dos modelos. Com base nas análises de Cândido; Dornelles e Lukiantchuki (2023), a absorptância solar das coberturas foi reduzida de 0,80 para 0,50 em todos os contextos climáticos avaliados. Quanto às fachadas, em Belém, devido às condições climáticas mais severas, a absorptância solar foi reduzida de 0,50 para 0,30. A absorptância solar de 0,50 é compatível com um reboco aparente (ABNT NBR 15220-2:2005), enquanto a absorptância de 0,30 compatível com uma cor clara, como o branco gelo (Dornelles, 2008).

É importante destacar que o método de cálculo adotado pelo EnergyPlus para determinar o desempenho térmico organiza os materiais constituintes dos sistemas construtivos em camadas dispostas em série. Essa abordagem pode resultar em perda de informações quando a geometria do componente é heterogênea, como nos casos em que há materiais superpostos em camadas perpendiculares às faces do elemento construtivo (exemplo: argamassa de assentamento e blocos furados). Nessas situações, é necessário ajustar a configuração dos materiais para uma quantificação energética mais precisa (Weber *et al.* 2017).

Com base no método de Weber *et al.* (2017) para modelagem de componentes construtivos heterogêneos, esta pesquisa adotou as propriedades térmicas dos componentes construtivos considerando materiais equivalentes, conforme detalhado na Tabela 3.7. Essa adaptação visa simular com maior precisão a resistência e a capacidade térmica dos materiais, assegurando maior consistência e aplicabilidade dos resultados obtidos.

Tabela 3.7: Resumo dos conjuntos construtivos e suas respectivas propriedades térmicas.

COBERTURA		esp. (m)	λ (W/m.K)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kg.K)	R (m²K/W)	U (W/(m².K))	C _T (kJ/(m².K))
Modelo de Referência (REF)	Descrição do sistema: Contrapiso, laje de concreto maciço e forro de gesso acartonado							
	Exterior	Resistência Superficial Externa:				0,040		
	Telha de fibrocimento	0,008	0,950	1900	0,84	0,0084		
	Câmara de ar	0,250	1,190	-	-	0,210	2,06	233
	Laje de concreto	0,100	1,750	2200	1,00	0,0571		
	Interior	Resistência Superficial Interna:				0,170		
Modelo Otimizado (BEL, BSB e POA)	Descrição do sistema: Proteção mecânica, laje de concreto maciço e forro de gesso acartonado							
	Exterior	Resistência Superficial Externa:				0,040		
	Proteção mecânica	0,050	1,150	2000	1,00	0,0435		
	Laje de concreto	0,100	1,750	2200	1,00	0,0571		
	Câmara de ar	0,250	1,190	-	-	0,210	1,65	343
	Gesso	0,030	0,350	900	0,87	0,086		
	Interior	Resistência Superficial Interna:				0,170		
PAREDE EXTERNA		esp. (m)	λ (W/m.K)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kg.K)	R (m²K/W)	U (W/(m².K))	C _T (kJ/(m².K))
Modelo de Referência (REF)	Descrição do sistema: Bloco cerâmico de 6 furos de 9x14x24cm com argamassa cimentícia interna e externa							
	Exterior	Resistência Superficial Externa:				0,040		
	Argamassa externa	0,0250	1,150	2000	1,00	0,022		
	Bloco cerâmico	0,0134	0,900	1600	0,92	0,015		
	Câmara de ar	0,0632	0,361	-	-	0,175	2,39	150
	Bloco cerâmico	0,0134	0,900	1600	0,92	0,015		
	Argamassa interna	0,0250	1,150	2000	1,00	0,022		
	Interior	Resistência Superficial Interna:				0,130		

Modelo Otimizado (BEL)	Descrição do sistema: Bloco cerâmico de 9 furos de 14x19x29cm com isolante térmico EPS e argamassa cimentícia interna e externa							0,65	106
	Exterior		Resistência Superficial Externa:				0,040		
	Argamassa externa	0,0250	1,150	2000	1,00	0,022			
	Isolante térmico EPS	0,0400	0,040	35	1,40	1,000			
	Bloco cerâmico	0,0165	0,900	1600	0,92	0,018			
	Câmara de ar	0,1070	0,360	-	-	0,297			
	Bloco cerâmico	0,0165	0,900	1600	0,92	0,018			
	Argamassa interna	0,0250	1,150	2000	1,00	0,022			
	Interior		Resistência Superficial Interna:				0,130		
Modelo Otimizado (BSB e POA)	Descrição do sistema: Bloco de concreto de 2 furos de 14x19x39cm com argamassa cimentícia interna e externa							2,68	272
	Exterior		Resistência Superficial Externa:				0,040		
	Argamassa externa	0,0250	1,150	2000	1,00	0,022			
	Concreto	0,0300	1,750	2400	1,00	0,017			
	Câmara de ar	0,0800	0,636	-	-	0,126			
	Concreto	0,0300	1,750	2400	1,00	0,017			
	Argamassa interna	0,0250	1,150	2000	1,00	0,022			
	Interior		Resistência Superficial Interna:				0,130		
	PAREDE INTERNA		esp. (m)	λ (W/m.K)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kg.K)	R (m²K/W)		
Modelo de Referência e Modelo Otimizado (REF e BEL)	Descrição do sistema: Bloco cerâmico de 6 furos de 9x14x24cm com argamassa cimentícia interna e externa							1,96	150
	Interior		Resistência Superficial Interna:				0,130		
	Argamassa externa	0,0250	1,150	2000	1,00	0,022			
	Bloco cerâmico	0,0134	0,900	1600	0,92	0,015			
	Câmara de ar	0,0632	0,361	-	-	0,175			
	Bloco cerâmico	0,0134	0,900	1600	0,92	0,015			
	Argamassa interna	0,0250	1,150	2000	1,00	0,022			
	Interior		Resistência Superficial Interna:				0,130		
	Modelo Otimizado (BSB e POA)	Descrição do sistema: Bloco de concreto de 2 furos de 9x19x39cm com argamassa cimentícia interna e externa							
Interior		Resistência Superficial Interna:				0,130			
Argamassa externa		0,0250	1,150	2000	1,00	0,022			
Concreto		0,0173	1,750	2400	1,00	0,010			
Câmara de ar		0,0554	0,443	-	-	0,125			
Concreto		0,0173	1,750	2400	1,00	0,010			
Argamassa interna		0,0250	1,150	2000	1,00	0,022			
Interior		Resistência Superficial Interna:				0,130			
PISO INTERNO		esp. (m)	λ (W/m.K)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kg.K)	R (m²K/W)	U (W/(m².K))	C _T (kJ/(m².K))	
Modelo de Referência (REF)	Descrição do sistema: Laje de concreto maciço							3,89	220
	Interior		Resistência Superficial Interna:				0,100		
	Laje de concreto maciço (10 cm)	0,100	1,750	2200	1,00	0,0571			
	Interior		Resistência Superficial Interna:				0,100		
Modelo Otimizado (BEL, BSB e POA)	Descrição do sistema: Contrapiso, laje de concreto maciço e forro de gesso acartonado							1,68	343
	Interior		Resistência Superficial Interna:				0,100		
	Contrapiso	0,050	1,150	2000	1,00	0,0435			

	Laje de concreto maciço (10 cm)	0,100	1,750	2200	1,00	0,0571		
	Câmara de ar	0,250	1,190	-	-	0,210		
	Gesso	0,030	0,350	900	0,87	0,086		
	<i>Interior</i>	<i>Resistência Superficial Interna:</i>				<i>0,100</i>		
PISO EM CONTATO C/ SOLO		esp. (m)	λ (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kg.K)	R (m ² K/W)	U (W/(m ² .K))	C _T (kJ/(m ² .K))
Modelo de Referência e Modelo Otimizado (REF, BEL, BSB e POA)	Descrição do sistema: Laje de concreto maciço							
	<i>Interior</i>	<i>Resistência Superficial Interna:</i>				<i>0,100</i>		
	Laje de concreto maciço (10 cm)	0,100	1,750	2200	1,00	0,0571	6,36	220

Legenda: e: espessura (m); λ : condutividade térmica (W/m.°C); ρ : peso específico aparente (kg/m³); c: calor específico (kJ/kgK); R: resistência térmica total (m².°C/W); U: transmitância térmica total (W/m².°C) e C_T: capacidade térmica total (kJ/m².°C), conforme definições da ABNT NBR 15220-2:2005.

Fonte: Autoria própria.

3.4.2.2 ESTRATÉGIAS ATIVAS

Para maximizar a economia de energia, foram adotadas estratégias ativas focadas na utilização de equipamentos de alta eficiência energética, reconhecidas como uma das abordagens mais eficazes para aprimorar o desempenho energético de edificações (Labaran et al., 2024). Estas estratégias foram aplicadas uniformemente nas três cidades avaliadas.

No sistema de iluminação, a Densidade de Potência Instalada de Iluminação (DPLI) foi reduzida de 14,1W/m² no modelo de referência, para 6,0W/m² no modelo otimizado, para alinhar com o limite da norma ASHRAE 90.1-2022 para escritórios de planta livre, refletindo a adoção de luminárias LED como prática consolidada de projeto. Esse valor otimizado de 6,0 W/m² também atende aos critérios para a classificação "A" da INI-C, que exige uma DPLI inferior a 8,5 W/m², valor este que está alinhado a uma versão mais antiga da norma ASHRAE 90.1, de 2016. Nesta análise, a ativação da iluminação artificial foi configurada de forma estática, independentemente da disponibilidade de luz natural. Portanto, não foi considerado o uso de dimerização, que ajustaria a intensidade da luz para o aproveitamento de luz natural, apesar dos benefícios dessa estratégia para a redução do consumo de energia.

Quanto ao sistema de climatização, tomou-se como base condicionadores de ar do tipo VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) para definir o Coeficiente de Performance (COP) do modelo otimizado. Essa tipologia é reconhecida pela alta eficiência energética, cada vez mais popular em escritórios pela sua flexibilidade de instalação em edifícios com múltiplas zonas térmicas, permitindo um controle individualizado, evitando desperdício de energia (Wang et al., 2024).

De acordo com a INI-C, para a configuração do sistema de climatização do modelo de referência, deve-se adotar um sistema de condicionamento ideal (“*ideal loads*”) para calcular as cargas anuais de resfriamento. O consumo energético é determinado dividindo-se a carga total anual pelo COP do sistema, definido como 3,24 W/W (atualização da Nota Técnica nº01).

Dado o caráter simplificado da análise que representa uma fase de projeto preliminar, a configuração do sistema de climatização nos modelos otimizados seguiu o mesmo princípio do sistema de condicionamento ideal aplicado ao modelo de referência. Entretanto, o COP foi parametrizado de forma variável, ajustado conforme a capacidade do sistema de cada modelo, com base na eficiência mínima exigida para a classificação “A” em sistemas VRF com condensação a ar, operando somente em refrigeração, sem ciclo reverso, indicada na Tabela 7.3 da INI-C (Brasil, 2022, p. 30). Estes valores foram replicados na Tabela 3.8 a seguir. Tanto nos modelos de referência quanto nos otimizados, o acionamento do sistema foi ajustado para controle automático com temperatura de *setpoint* fixada em 24°C, durante os horários de ocupação. Em razão dos valores irrelevantes de carga térmica de aquecimento obtidos apenas nos modelos de Porto Alegre, ela foi desprezada. Apesar dos enormes benefícios da ventilação natural, essa característica não foi considerada nesta análise.

Tabela 3.8: Eficiência de condicionadores de ar do tipo VRF com condensação a ar que operam somente em refrigeração (sem ciclo reverso) para a classificação “A”.

Capacidade	Eficiência mínima "A"
< 19 kW	3,81 SCOP
≥ 19 kW e < 40 Kw	4,54 ICOP
≥ 40 kW e < 70 kW	4,37 ICOP
≥ 70 kW	4,07 ICOP

Fonte: Adaptado da INI-C (Brasil, 2022, p. 30).

3.4.3 OUTROS PARÂMETROS DE ENTRADA

3.4.3.1 CRONOGRAMAS

A quantidade de horas ocupadas seguiu a diretriz da INI-C, que estabelece 10 horas de ocupação diária, durante 260 dias do ano, calculados com base na média de dias de semana por ano, excluindo-se os finais de semana (Brasil, 2022, p. 63). Uma vez que a INI-C não estabelece um cronograma horário de ocupação, foi considerada a ocupação no horário de expediente convencional, das 08:00 às 18:00, de segunda à sexta-feira, sem ocupação nos finais de semana. Quanto às cargas de iluminação e equipamentos, estas foram consideradas 100% ligadas durante todo o horário ocupado.

3.4.3.2 CARGAS INTERNAS

A taxa metabólica adotada para cada pessoa em ambos os modelos, otimizado e de referência, foi estabelecida em 130W por pessoa, considerando uma atividade de trabalho moderado em escritório, conforme a Tabela 1, Capítulo 18, do ASHRAE Handbook of Fundamentals (2021), que indica as taxas representativas de calor e umidade liberados por seres humanos em diferentes estados de atividade (ASHRAE, 2021). A ocupação é de 10 pessoas/m² de áreas construída, conforme estabelecido na Tabela A.1 da INI-C, que apresenta os valores de referência para edificações de escritório (Brasil, 2022, p. 63).

A densidade de potência de equipamentos foi definida invariável para ambos os modelos, otimizado e de referência, equivalente a 15 W/m², valor estabelecido na Tabela A.1 da INI-C, para edificações de escritório (Brasil, 2022, p. 63). A fração radiante dos equipamentos foi considerada de 50% (Mazzaferro, 2021).

Cabe destacar que os consumos relacionados a bombas hidráulicas, elevadores e iluminação externa não foram incluídos na análise deste estudo.

3.4.3.3 RENOVAÇÃO DE AR

A renovação do ar foi incluída nos modelos considerando uma taxa mínima de 27m³ por pessoa por hora, conforme estipulado pela Resolução nº 09, de 16 de janeiro de 2003, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA.

A infiltração é o fluxo de ar não intencional de uma zona térmica, geralmente causado por frestas em portas e janelas ou até mesmo em quantidades muito pequenas através de elementos de construção. Foi adotado o coeficiente típico sugerido no próprio Honeybee, para edifícios com baixa vedação (*“leaky building”*), equivalente a 0,0006 m³/s por área de fachada, considerando que esta é a condição mais comum das construções brasileiras.

3.4.3.4 CONFIGURAÇÕES DE SIMULAÇÃO

O período das simulações compreendeu as 8.760 horas, correspondente aos 365 dias do ano. O intervalo de cálculo base (*“timestep”*) foi de 4 vezes por hora. A distribuição solar foi definida como externa com reflexões (*“FullExteriorWithReflections”*), seguindo o padrão de simulações energéticas do Honeybee, para otimizar o tempo de simulação. Nesta opção, os

padrões de sombra nas superfícies externas causados por sombreamento de reentrâncias, abas, saliências e outras superfícies externas são computados. Porém, não considera reflexões internas. Toda a irradiação solar direta que entra na zona é assumida como caindo no piso, onde é absorvida de acordo com a absortância solar dessa superfície. A irradiação refletida pelo piso é adicionada à irradiação difusa refletida, que é assumida como uniformemente distribuída em todas as superfícies internas (US. Department of Energy, 2021).

3.5 ESCALA URBANA

Para avaliar a influência da obstrução urbana tanto no consumo de energia quanto no potencial de geração de energia em dispositivos de sombreamento (PVSD), e, conseqüentemente, no alcance da meta nZEB, foi proposto um cenário hipotético de quarteirão urbano configurado como uma malha homogênea, cujos edifícios apresentam dimensões em planta e altura equivalentes ao edifício modelo (Figura 3.11). Embora esta abordagem não represente uma condição realista da diversidade de configurações urbanas existentes, busca-se assim obter dados mais generalistas que permitam a extrapolação dos resultados para diferentes contextos.

Nesta investigação, em todos os cenários avaliados, o edifício modelo foi localizado no centro da malha urbana, composta por 25 edifícios (Martins, 2014). Foram estabelecidas como variáveis da morfologia urbana o afastamento entre cada edifício da malha e suas alturas, que foram mantidos uniformes em cada cenário simulado. Desta forma, busca-se examinar o desempenho energético do edifício modelo com a aplicação de PVSDs em um contexto urbano teórico homogêneo.

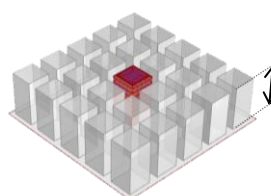
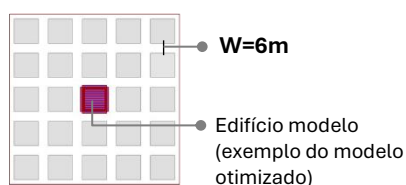
Para a configuração de cada cenário urbano, o afastamento entre os edifícios foi parametrizado, variando de 6 a 33 metros, em intervalos de 3 metros, totalizando 10 possibilidades. Essa parametrização teve como referência o estudo de Martins (2014), que adotou em seu modelo urbano afastamentos variáveis entre edificações considerando o intervalo de 3 a 30 metros, com o objetivo de analisar a influência dos principais fatores tipo-morfológicos urbanos na disponibilidade de irradiação solar e de iluminação natural nas fachadas de edifícios. Segundo a autora, a adoção de valores extremos, representativos dos limites possíveis de serem encontrados no ambiente urbano, teve como finalidade compor um espaço de busca estatístico o mais abrangente possível, permitindo capturar de forma consistente a sensibilidade das variáveis analisadas. Nesse sentido, de maneira análoga ao

procedimento adotado por Martins (2014), a definição dos afastamentos neste trabalho foi realizada a despeito de boas práticas ou códigos urbanos, a fim de compor uma amostra uniforme, permitindo uma análise mais precisa da sensibilidade de cada variável nos resultados obtidos.

Conforme apontado na descrição do edifício modelo, a sua altura foi parametrizada variando de 3 a 18 pavimentos (9,90m a 59,40m de altura), em intervalos de 3 pavimentos, resultando em 6 variações de altura possíveis. Desta forma, a análise compreende uma população de 60 cenários. A Figura 3.11 apresenta três exemplos de cenários simulados.

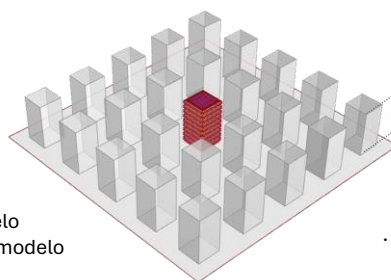
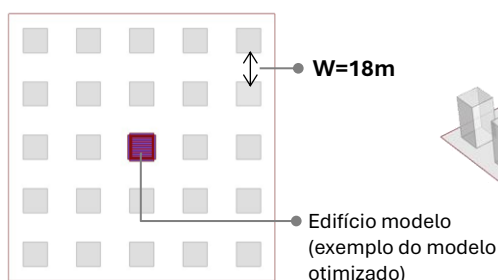
Figura 3.11: Representação da morfologia do quarteirão urbano e os parâmetros variáveis, com 9 pavimentos ($H = 29,7\text{m}$) e 3 variações de afastamentos ($W = 6\text{m}$, 18m e 33m).

Afastamento (W) = 6m | 9 pavimentos ($H = 29,7\text{m}$)



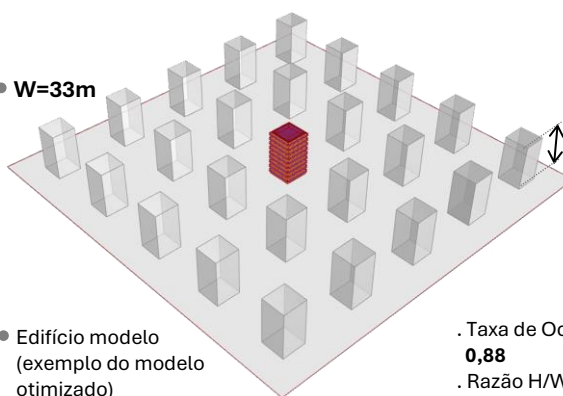
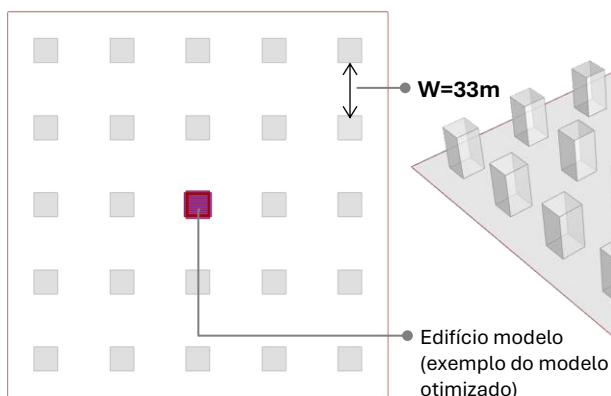
$H = 29,7\text{m}$ (9pav.)
 . Taxa de Ocupação do Solo (TO):
4,59
 . Razão H/W (Prospecto):
4,95

Afastamento (W) = 18m | 9 pavimentos ($H = 29,7\text{m}$)



$H = 29,7\text{m}$ (9pav.)
 . Taxa de Ocupação do Solo (TO):
1,86
 . Razão H/W (Prospecto):
1,65

Afastamento (W) = 33m | 9 pavimentos ($H = 29,7\text{m}$)



$H = 29,7\text{m}$ (9pav.)
 . Taxa de Ocupação do Solo (TO):
0,88
 . Razão H/W (Prospecto):
0,90

Fonte: Autoria própria.

Para a caracterizar a obstrução urbana, foi adotada a "razão H/W" (também denominada "Prospecto"), que se refere à relação entre a altura dos edifícios e a distância entre eles, sendo um dos parâmetros morfológicos urbanos mais relevantes para avaliar o potencial solar na geração e consumo de energia (Martins *et al.*, 2016; Rostami; Nasrollahi; Khodakarami, 2024).

A geometria do entorno foi modelada no grasshopper como superfícies de sombra, utilizadas para representar obstruções externas ou dispositivos de sombreamento que influenciam a incidência solar nos edifícios. Estas superfícies foram caracterizadas com uma refletância solar de 0,50, que representa uma textura urbana similar a um reboco aparente (ABNT NBR 15220-2:2005) com a modalidade de reflexão do tipo difusa (como uma parede pintada).

3.6 DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

3.6.1 DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO FOTOVOLTAICO - PVSDS

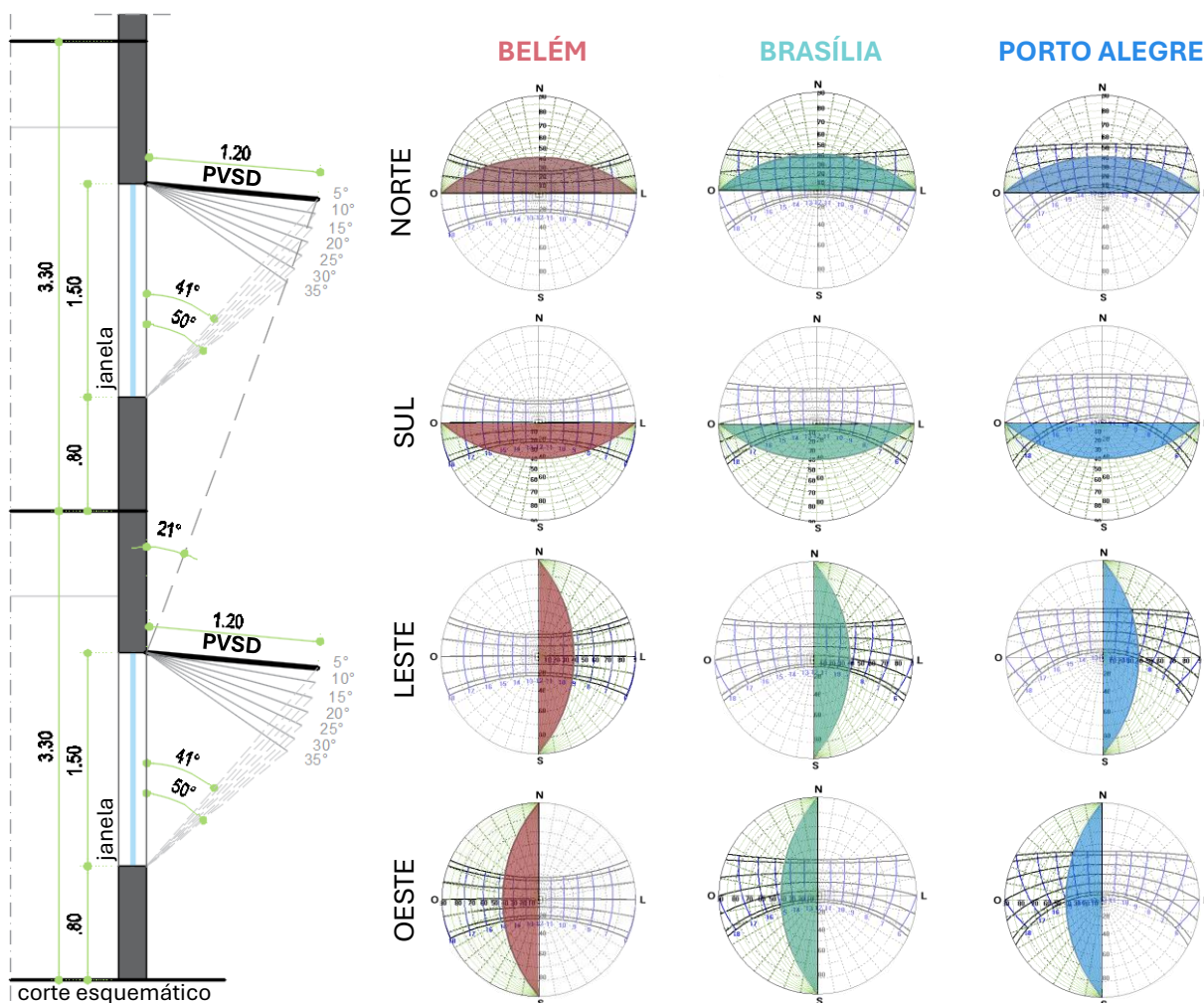
Para bloquear a incidência de irradiação solar direta nas aberturas e ao mesmo tempo produzir energia renovável, foram propostos dispositivos de proteção solar externo horizontal associados a sistemas de geração fotovoltaica (PVSD). A solução adotada corresponde ao brise horizontal, tipologia amplamente investigada na literatura, conforme apontado na revisão de Zhang *et al.* (2018), sendo reconhecida como uma das configurações mais eficientes na conversão da energia solar em eletricidade e na redução da carga térmica. Visando maximizar os benefícios da redução do ganho de calor e entender o potencial da geração em cada orientação, essa solução foi considerada aplicada em todas as fachadas e pavimentos. Porém, para a produção de energia, foram consideradas superfícies efetivas somente aquelas que recebem valores anuais de irradiação iguais ou superiores a 800 kWh/m²ano, conforme o critério proposto por Didoné (2014), Natanian, Luca e Naboni (2022), e Góes (2024). Tal critério tem como objetivo delimitar as áreas efetivamente viáveis para a geração de energia fotovoltaica, restringindo a análise às regiões dos dispositivos de sombreamento (brises) nas quais se verifica potencial compatível com o desempenho esperado dos sistemas PVSDs.

Os elementos de sombreamento foram modelados em formato retangular horizontal, posicionados no topo das aberturas e em toda a extensão da fachada. A profundidade do brise horizontal foi definida com base em estudo do ângulo vertical de sombreamento (AVS) utilizando a carta solar, por meio do software Analysis SOL-AR (LabEEE, 2009) (Figura 3.12). O objetivo foi estabelecer um tamanho de anteparo que fosse proporcionalmente adequado para as diferentes

orientações e localidades, sem comprometer a razoabilidade estrutural, de modo a viabilizar a fixação em uma única extremidade. Desta maneira, considerando que a altura das janelas foi fixada em 1,50 metros, a profundidade do brise foi estabelecida de 1,20 metros (Figura 3.12).

Para gerar os valores de irradiação de cada setor da abóboda solar, foi adotada uma matriz acumulativa de céu, baseada no método de subdivisão de Peter Tregenza, que divide o céu em 145 segmentos. O albedo do solo associado à matriz do céu foi mantido conforme o valor *default*, de 0,20 (Martins, 2014). O modelo de distribuição de irradiância no céu empregado foi o modelo de Perez, que, com base no clima local, calcula a distribuição da irradiação solar em diferentes condições de céu, desde céu claro a totalmente nublados. Para o cálculo da irradiação incidente na geometria, a superfície é subdividida em uma malha, cujo tamanho do grid foi estabelecido de 30cm, visando obter uma boa resolução sem comprometer o tempo computacional.

Figura 3.12: Representação da profundidade do PVSD e o ângulo vertical de sombreamento (AVS) analisado em carta solar (exemplo de 41°).



Fonte: Autoria própria (à esquerda) e gráficos adaptados do Analysis SOL-AR (à direita).

Os dispositivos de sombreamento foram modelados como superfícies de sombra no Grasshopper, com os ângulos de inclinação ideais parametrizados. A superfície do anteparo foi simulada com inclinações variando de 5° a 35° graus, considerando intervalos de 5° graus, totalizando 7 diferentes ângulos avaliados em cada um dos 60 cenários (combinação do número de pavimentos dos edifícios - de 3 a 18, e afastamento entre os edifícios do entorno - de 3 a 33 metros), resultando em 420 simulações para cada orientação solar (norte, sul, leste e oeste), sendo, portanto, 1.680 simulações para cada cidade avaliada, totalizando 5.040 cenários simulados. Os resultados obtidos indicam a quantidade de irradiação solar anual acumulada (em kWh/m²) incidente sobre cada anteparo, possibilitando a identificação do ângulo de inclinação que maximiza a captação solar em cada cenário. Estes resultados foram apresentados e discutidos no Capítulo 4.2.

Com base nos resultados obtidos, foram identificados os ângulos de inclinação ideais para cada orientação e para cada contexto de afastamento urbano simulado. A parametrização das inclinações dos anteparos para as simulações da Etapa 3 (simulação energética e geração fotovoltaica) foi definida a partir da implementação de uma lógica condicional do tipo “SE”. Para estabelecer essa configuração, foram analisadas as condições em que os cenários com inclinações otimizadas apresentaram comportamentos semelhantes, sendo observada maior correspondência entre os cenários com o mesmo número de pavimentos. A partir dessa constatação, foi selecionado um ângulo otimizado representativo para cada grupo de cenários com igual número de pavimentos, o que viabilizou a aplicação da lógica “SE”, conforme apresentado na Tabela 4.8, no Capítulo 4.2.

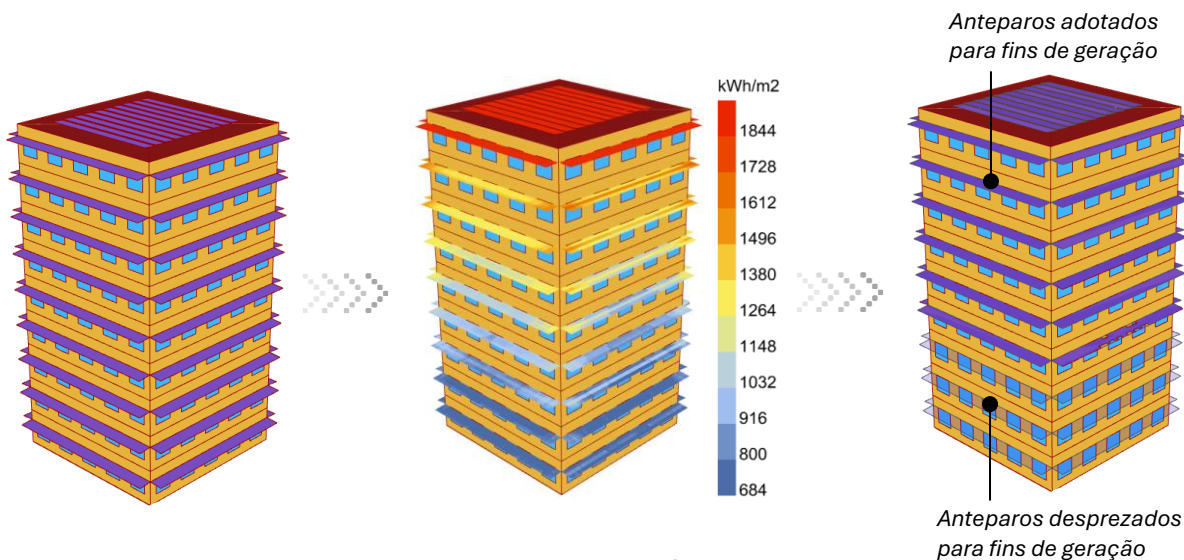
3.6.1.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA EFETIVA PARA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Conforme mencionado, para a produção de energia, foram selecionadas as superfícies dos brises que receberam valores anuais de irradiação iguais ou superiores a 800 kWh/m²ano (Didoné, 2014; Natanian; Luca; Naboni, 2022; Góes, 2024). Desta forma, devido a presença de sombreamentos, especialmente provenientes do entorno, que ocorre sobretudo nos pavimentos mais baixos, esse limiar de irradiação não é alcançado em todas as áreas dos dispositivos de proteção solar. Em vista disso, faz-se necessário efetuar uma filtragem dos trechos da malha da superfície que atendem ao limiar, resultando em uma malha fragmentada.

Esta malha fragmentada eventualmente ocasiona erro na interpretação do brise como uma superfície pelo software de simulação. Para contornar essa limitação, a filtragem foi

ajustada para considerar as superfícies cujo limiar de $800\text{kWh/m}^2\text{ano}$ seja alcançado em pelo menos 80% da área de cada anteparo, constituindo assim, superfícies mais uniformes, menos fragmentadas. Essa abordagem também se alinha à suposição de que, na prática, a instalação de módulos fotovoltaicos (PVs) em áreas dispersas e pequenas dos dispositivos de sombreamento é menos viável. Desta forma, considera-se que os módulos PVs serão aplicados apenas nos dispositivos de sombreamento em que estas condições são satisfeitas, isto é, onde pelo menos 80% da superfície atinge uma irradiação anual de 800 kWh/m^2 . Dispositivos que não atendem a esse critério foram excluídos da análise para a finalidade de geração de energia, conforme representado no esquema abaixo (Figura 3.13).

Figura 3.13: Exemplo da análise de irradiação solar incidente para definição da área efetiva para PVSDs, no modelo com 9 pavimentos (H=29,7m) e afastamento do entrono (W) de 9m, em Belém.



Fonte: Autoria própria.

3.6.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS (PVs) NA COBERTURA

Uma vez que a disponibilidade de irradiação solar é mais favorável nas coberturas, a geração de energia fotovoltaica também foi incluída nesta superfície. Dada a recorrente ocorrência de obstruções nos telhados com equipamentos de infraestrutura e a necessidade de área de circulação para manutenção dos módulos, a área disponível para a implantação do sistema foi estimada em 50% da área total. A geometria dos módulos fotovoltaicos (PVs) foi modelada como superfície de sombra e parametrizada no Grasshopper de modo a ocupar apenas 50% da área da cobertura em todos os modelos avaliados.

Em instalações reais, os módulos fotovoltaicos são montados com um espaçamento em relação à superfície da cobertura para permitir a circulação de ar, o que evita o

superaquecimento das placas. Esse afastamento ajuda a manter a temperatura dos módulos mais baixa, aprimorando seu desempenho e contribuindo para a extensão de sua vida útil. Em consonância com essas práticas recomendadas, a modelagem da superfície dos módulos PV nesta análise foi considerada com uma elevação de 15 cm acima da cobertura.

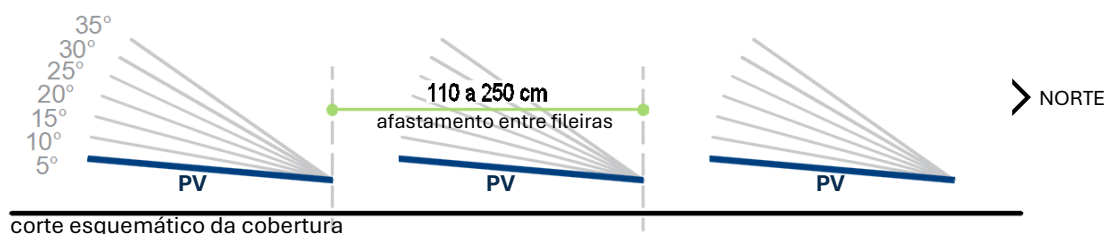
3.6.2.1 DEFINIÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO E AFASTAMENTO ÓTIMOS PARA PVS

Para a avaliação do potencial de geração de energia fotovoltaica na cobertura, os módulos fotovoltaicos foram locados de modo a representar a sua implantação ideal, isto é, orientados para norte e com a angulação mais favorável a fim de maximizar a captação solar, para obter o maior potencial de geração de energia possível.

Para determinar a angulação e o afastamento otimizado entre as fileiras afim de evitar o autossombreamento entre os módulos PVs, foi efetuada uma análise de irradiação solar incidente na superfície de sombra, utilizando as mesmas ferramentas do Ladybug tools (LBT) e premissas de cálculo adotadas na análise da inclinação ideal dos PVSDs.

As superfícies correspondentes aos módulos fotovoltaicos foram modeladas no Grasshopper como superfície de sombra, de forma segmentada em faixas com largura fixa de 1,10 metros, medida comum de módulos disponíveis no mercado. Essas faixas foram simuladas com variações de ângulo de 5° a 35° graus (Figura 3.14), com intervalos de 5° graus, e variações no espaçamento entre elas de 1,10m a 2,50m, a cada 10cm, com o objetivo de encontrar a configuração que proporcionasse a maior geração de energia. Estas variações resultaram em 105 (7x15) cenários possíveis para cada cidade avaliada, totalizando 315 cenários.

Figura 3.14: Configuração dos módulos PVs na cobertura.



Fonte: Autoria própria.

A partir dos resultados alcançados, foram estabelecidos os ângulos de inclinação e afastamentos ideais entre fileiras para cada cidade, conforme apresentados na Tabela 4.21 do capítulo 4 - Resultados e Discussões. Uma vez que nenhum tipo de sombreamento na cobertura

foi considerado nesta análise, um único cenário otimizado foi estabelecido para cada cidade, em todas as simulações efetuadas.

3.6.3 CONFIGURAÇÕES DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Para estimar a produção de eletricidade dos módulos fotovoltaicos, foram utilizadas ferramentas “*HB Photovoltaic Properties*” e “*HB Generation Loads*” do Honeybee, disponibilizadas em março de 2024. Tanto para os dispositivos de sombreamento fotovoltaicos (PVSDs) quanto para os módulos fotovoltaicos (PV) aplicados na cobertura, foram considerados módulos fotovoltaicos de silício monocristalino cuja eficiência nominal foi estabelecida de 20%, valor que atualmente é amplamente encontrado nos módulos PV comercializados no mercado nacional. O tipo de módulo selecionado influencia na determinação dos coeficientes de temperatura utilizadas na simulação dos módulos fotovoltaicos pelo componente “*HB Photovoltaic Properties*”.

A fração ativada dos módulos foi considerada de 90%, refletindo a proporção entre a área total do módulo PV e as células solares ativas, uma vez que a estrutura do painel reduz a área efetiva de captação. Quanto ao tipo de montagem, foi selecionada a opção “*FixedOpenRack*”, que representa uma instalação em que o ar circula livremente ao redor dos módulos, favorecendo a dissipação de calor e a eficiência do sistema. As perdas associadas a fatores como acúmulo de sujeira, perdas na fiação e conexões elétricas, defeitos ou tolerâncias de fabricação, inconsistências nas características das células, disponibilidade da rede elétrica e degradação ao longo do tempo, podem variar dependendo das condições de instalação e manutenção. Para esta pesquisa, foi considerada uma perda estática de 14%, seguindo o padrão do Honeybee.

A eficiência do inversor para converter a energia DC gerada nos módulos fotovoltaicos para energia AC foi definida em 96%, conforme o padrão do Honeybee. Geralmente, os inversores não são dimensionados para converter a produção máxima teórica sob condições de teste padrão (STC), uma vez que essas condições raramente ocorrem na prática, o que evita superdimensionamento e custos adicionais com inversor, portanto, um fator de conversão de 1,1 foi adotado, sendo considerado adequado para a maioria dos sistemas fotovoltaicos.

A Tabela 3.9 a seguir apresenta o resumo de todos os parâmetros adotados para caracterizar o sistema de geração fotovoltaica.

Tabela 3.9: Parâmetros adotados para caracterizar o sistema de geração fotovoltaica.

SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	
Tipo de módulo considerado:	Monocristalino
Limiar de irradiação para aplicação de PVSD/PV:	800 kWh/m ² ano
Eficiência dos módulos:	20%
Fração da área ativa:	0,90
Fração de perda (<i>Default 14%</i>):	0,14
Eficiência inversor (<i>Default 96%</i>):	0,96
Fator de conversão DC para AC (<i>Default 1,1</i>):	1,10

Fonte: Autoria própria.



4 ▯ RESULTADOS E DISCUSSÕES

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas etapas de simulação e discute-os à luz dos conceitos e autores tratados no referencial teórico abordado no Capítulo 2, articulando-os com os objetivos estabelecidos no Capítulo 1. A organização segue a lógica metodológica apontada no Capítulo 3, abordando inicialmente a comparação climática (Seção 4.1), e em seguida as simulações de irradiação solar (Seção 4.2), consumo de energia (Seção 4.3) e, por fim, a geração fotovoltaica, associada ao atendimento da meta nZEB (seção 4.4). As discussões sobre a influência da forma urbana, elemento central desta pesquisa, permeiam todas as análises e são tratadas de maneira integrada ao longo dos três blocos principais de resultados.

4.1 COMPARAÇÃO CLIMÁTICA DAS CIDADES

A Tabela 4.1 sintetiza as principais características climáticas das três cidades analisadas, com base nos arquivos meteorológicos TMYx adotados nas simulações. Esses indicadores evidenciam diferenças climáticas significativas entre as localidades, que influenciam diretamente tanto o comportamento térmico dos edifícios quanto o potencial de geração fotovoltaica, justificando a necessidade de análises comparativas aqui apresentadas.

Tabela 4.1: Dados extraídos dos arquivos climáticos de Belém, Brasília e Porto Alegre.

	BELÉM	BRASÍLIA	PORTO ALEGRE
 Arquivo climático:			
Arquivo tipo TMY em formato .epw, período de 2009 a 2023	BRA_PA_Belem. 816800_TMYx. 2009-2023.epw	BRA_DF_Brasilia. 867150_TMYx. 2009-2023.epw	BRA_RS_Porto.Alegre. 869880_TMYx. 2009-2023.epw
Fonte: Repositorio Climate Onebuilding (Lawrie; Crawley, 2022)			
 Localização:			
Latitude	1° 27' 21" Sul	15° 47' 38" Sul	30° 1' 59" Sul
 Temperatura:			
Temperatura média (°C)	26,99°C	21,50°C	19,73°C
Temperatura média das máximas (°C)	32,10°C	26,88°C	24,69°C
Temperatura média das mínimas (°C)	23,84°C	16,86°C	15,81°C
Temperatura máxima (°C)	35,50°C	33,00°C	37,50°C
Temperatura mínima (°C)	21,50°C	8,20°C	5,20°C
 Irradiação Solar:			
Irradiação Solar Global Horizontal (GHI) média diária kWh/m ² dia	5,13	5,61	4,65
Irradiação Solar Global Horizontal (GHI) anual kWh/m ² ano	1.873,44	2.046,12	1.695,45
Irradiação Solar Direta Normal (DNI) anual kWh/m ² ano	1.762,64	2.136,09	1.812,47
Irradiação Solar Difusa Horizontal anual (DHI) kWh/m ² ano	592,60	551,99	529,33
Média de horas efetivas de irradiação por dia (h)	10,05	10,15	9,34

LEGENDA:

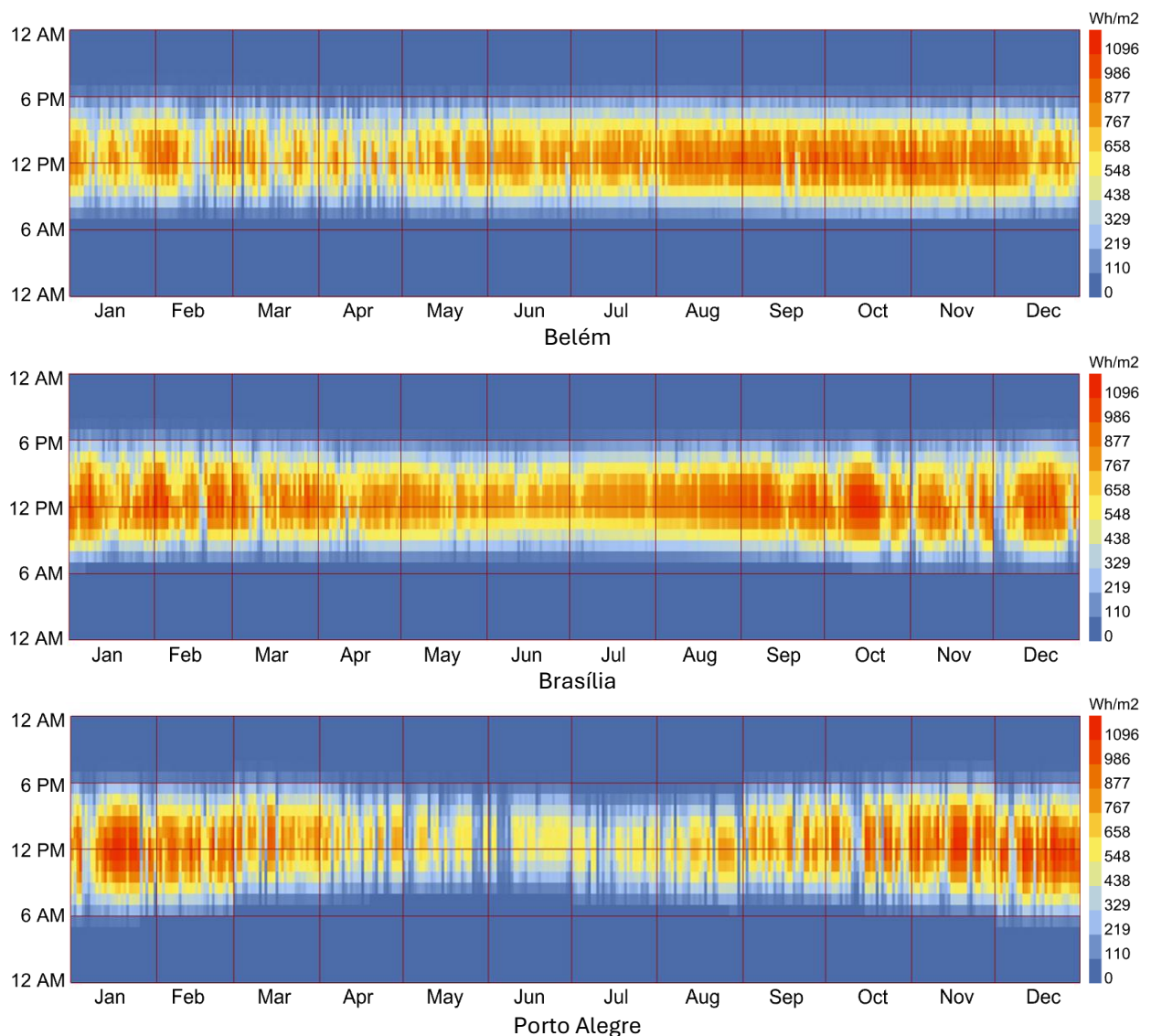
Irradiação Solar Global Horizontal (GHI): Radiação solar total incidente por unidade de área sobre uma superfície horizontal na Terra. $GHI = DHI + DNI \cdot \cos(\alpha_{zenith})$

Irradiação Solar Direta Normal (DNI): Parcela da radiação solar que atinge a superfície terrestre diretamente a partir do disco solar medida em plano perpendicular (normal) aos raios solares.

Irradiação Solar Difusa Horizontal (DHI): Fração da radiação solar que chega à superfície após sofrer múltiplos processos de espalhamento na atmosfera.

Fonte: Autoria própria.

Figura 4.1: Gráfico de Irradiação Global Horizontal (GHI) com base nos dados dos arquivos climáticos das cidades de Belém, Brasília e Porto Alegre.



Fonte: Autoria própria, utilizando a ferramenta Ladybug Tools e os dados dos arquivos climáticos.

A Figura 4.1 apresenta gráficos de irradiação solar global horizontal (GHI) ao longo do ano, com base nos dados dos arquivos climáticos das três cidades brasileiras, adotados nas simulações: Belém, Brasília e Porto Alegre. Os gráficos são representados por mapa de cores

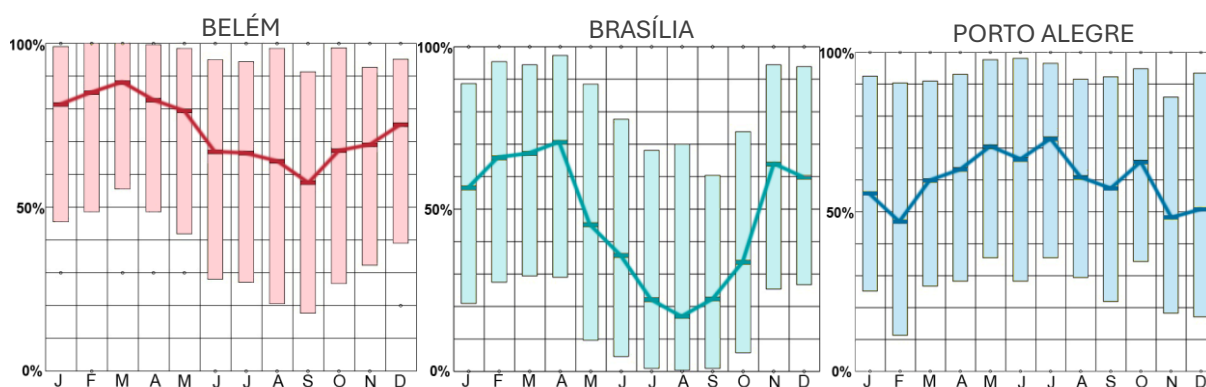
que destacam os valores de irradiância em função do horário do dia e do mês do ano, utilizando a escala de cores para indicar intensidades em Wh/m^2 .

Diferenças nos padrões de irradiação solar global horizontal (GHI) podem ser observadas entre as cidades de Belém, Brasília e Porto Alegre, destacando a influência de fatores climáticos e geográficos em cada local. Em termos de intensidade máxima de irradiância, Brasília se sobressai, especialmente durante a estação seca, quando os níveis de irradiância são elevados devido à predominância de céu claro (Figura 4.2). Porto Alegre apresenta valores intermediários e Belém apresenta os menores picos de irradiância, reflexo da alta nebulosidade típica de seu clima equatorial.

A distribuição temporal dos níveis de GHI também varia de forma relevante. Belém, por exemplo, apresenta uma distribuição mais uniforme ao longo do ano, resultado de sua constância climática, ao passo que Porto Alegre apresenta uma maior sazonalidade, com níveis mais altos de irradiância nos meses de verão e redução significativa no inverno devido à sua latitude mais elevada.

A análise comparativa da cobertura de nuvens (Figura 4.2) nas cidades de Belém, Brasília e Porto Alegre revela padrões climáticos distintos, que influenciam diretamente na composição da irradiação solar incidente, especialmente a proporção entre irradiação direta e difusa.

Figura 4.2: Gráficos de cobertura de nuvens no céu em Belém, Brasília e Porto Alegre, a partir dos dados dos arquivos climáticos.



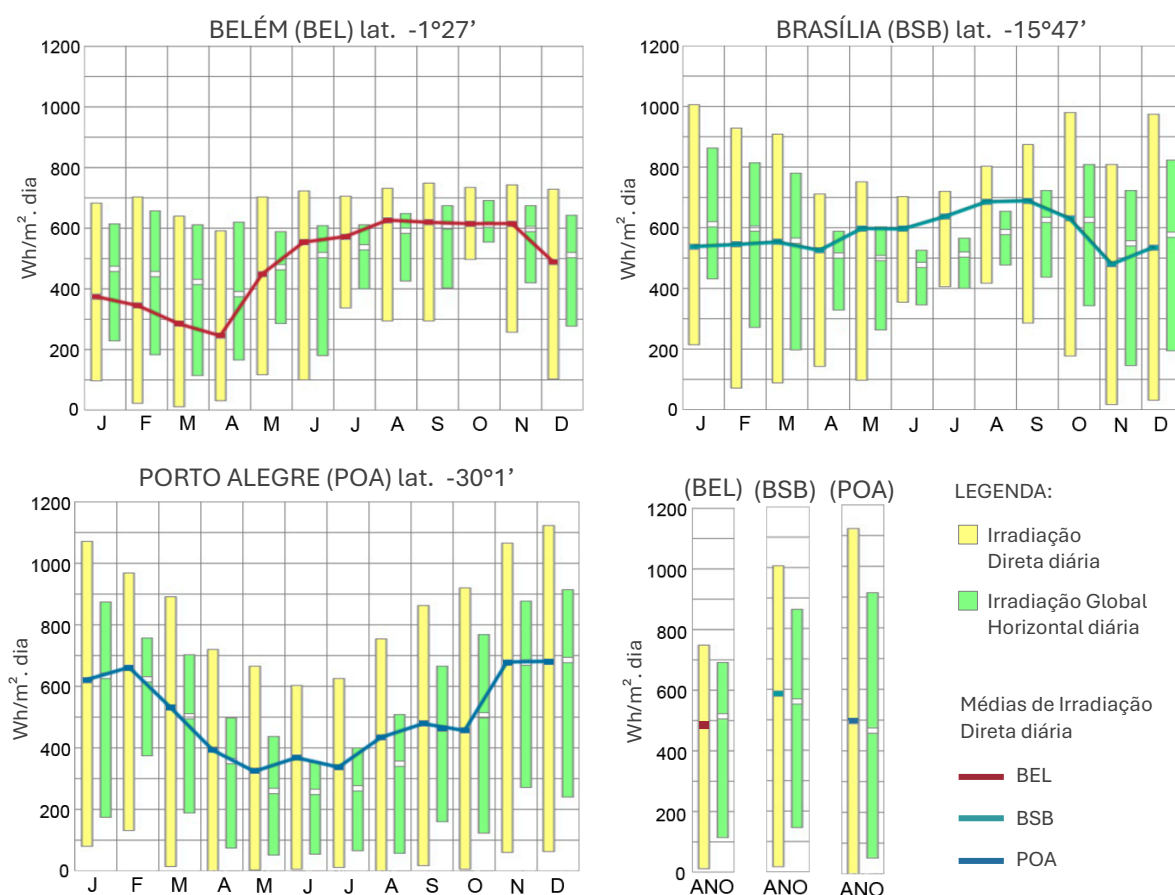
Fonte: Autoria própria, utilizando a ferramenta Climate Consultant 6.0.

Belém evidencia níveis de nebulosidade consistentemente elevados. Essa condição acarreta uma maior participação relativa da irradiação difusa na composição da irradiância global, ainda que prevaleça a dominância da irradiação direta. O gráfico de Brasília revela um comportamento oposto ao de Belém, caracterizado por alta amplitude sazonal na cobertura de

nuvens. Durante os meses de seca, os níveis de nebulosidade caem significativamente, o que implica que Brasília possui períodos prolongados em que a irradiação direta é altamente dominante. Porto Alegre apresenta uma cobertura de nuvens relativamente alta, com variações sazonais moderadas, sendo maior durante o inverno.

A distribuição anual dos componentes da irradiação direta diária e irradiação global horizontal diária (Figura 4.3) reforçam as observações sobre a cobertura de nuvens (Figura 4.2). O período de maior nebulosidade em Belém configura as menores médias de irradiação direta. Em Brasília, as máximas de irradiação direta coincidem justamente com o período mais seco. Por sua vez, Porto Alegre exibe a maior sazonalidade, característica de latitudes mais altas.

Figura 4.3: Gráficos de irradiação direta diária e irradiação global horizontal diária para Belém, Brasília e Porto Alegre, a partir dos dados dos arquivos climáticos.

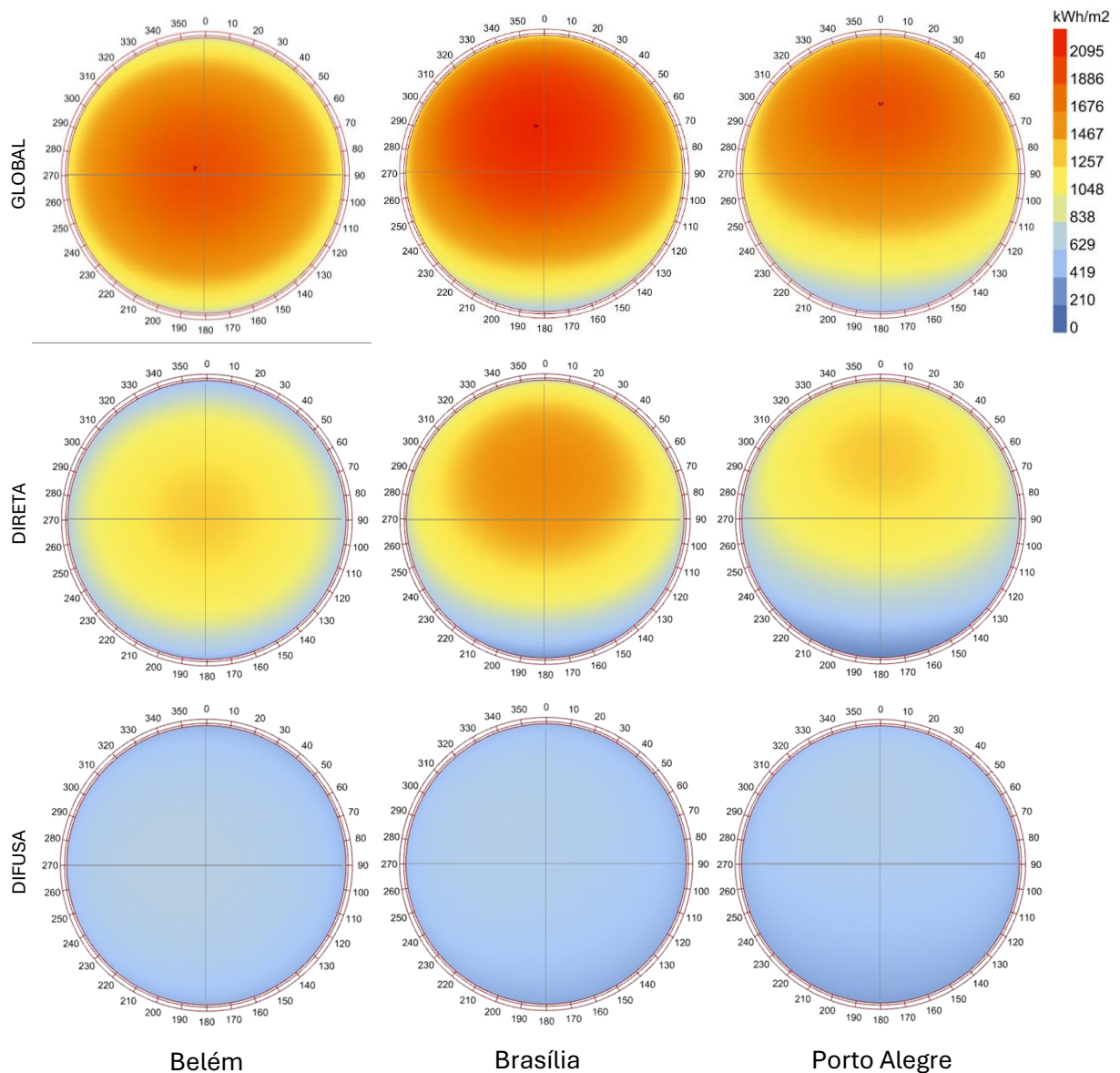


Fonte: Autoria própria, utilizando a ferramenta Climate Consultant 6.0.

Complementando essa leitura, os gráficos polares da irradiação solar global, bem como de suas componentes direta e difusa (Figura 4.4), permitem compreender como a latitude de cada cidade influencia diretamente na direção predominante da irradiação. Isso pode ser

observado pelo deslocamento da concentração da irradiação em relação ao zênite solar (centro do gráfico).

Figura 4.4: Gráficos polares da distribuição de Irradiação Solar Global, Direta e Difusa, em kWh/m², nas cidades de Belém, Brasília e Porto Alegre.



Fonte: Autoria própria, utilizando a ferramenta Ladybug Tools e os dados dos arquivos climáticos.

Em Belém (latitude: -1°27'S), a distribuição da irradiação solar é bastante uniforme e concentra-se próxima ao zênite, indicando que o sol frequentemente atinge alturas elevadas no céu, resultando em uma maior uniformidade ao longo do ano, com alta intensidade de irradiação. Embora sutil na escala de cores, Belém apresenta a maior contribuição da irradiação difusa entre as três cidades, consistente com a elevada nebulosidade (Figura 4.2).

No caso de Brasília, situada em uma latitude intermediária ($-15^{\circ}47'S$), nota-se um deslocamento moderado da concentração da irradiação em direção ao norte. Mesmo assim, a irradiação direta no zênite permanece elevada. A maior intensidade de irradiação em comparação com as demais cidades, pode ser atribuída a menor nebulosidade da cidade (Figura 4.2), que aumenta a disponibilidade da irradiação direta.

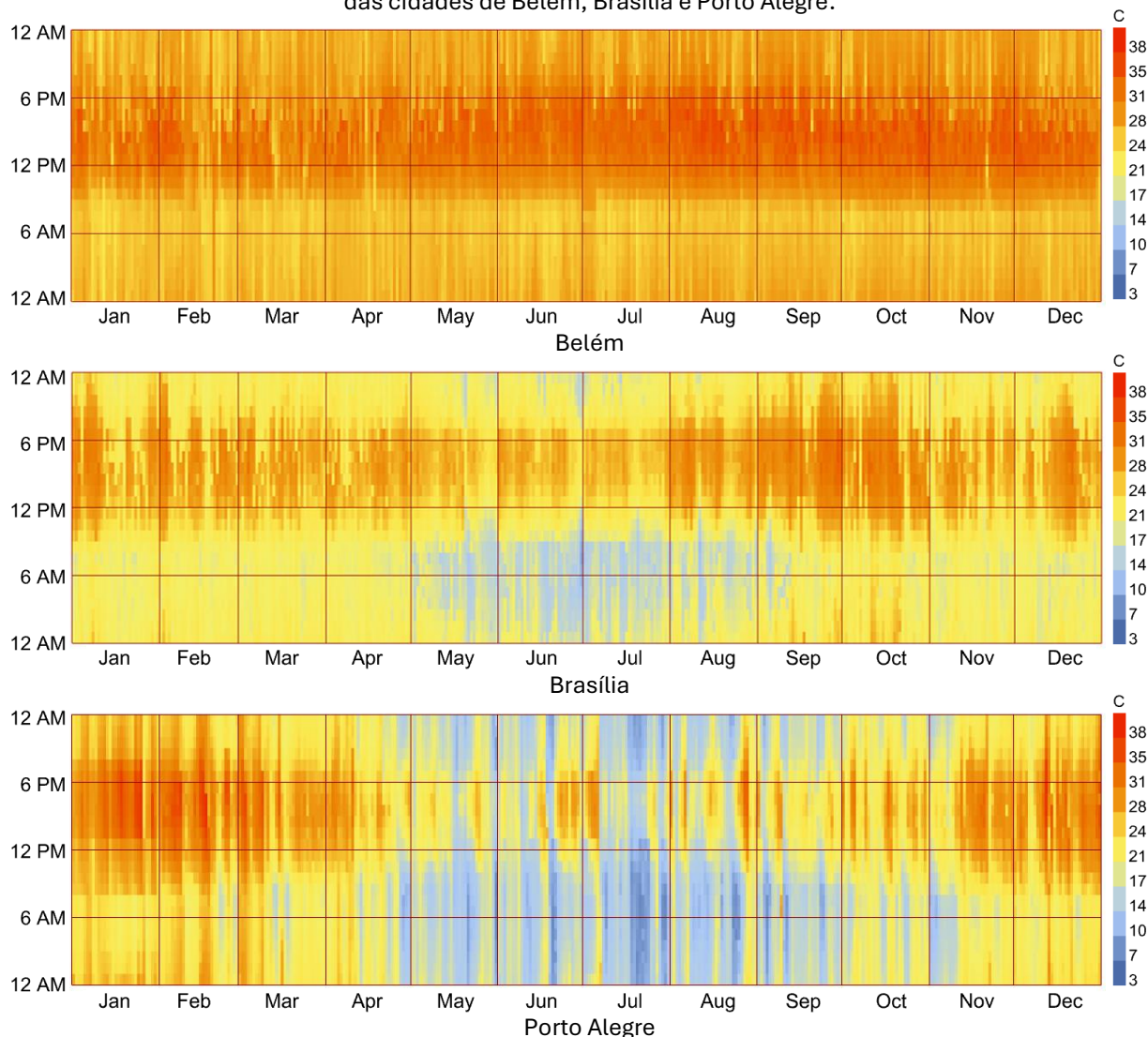
Já em Porto Alegre (latitude: $-30^{\circ}1'S$), o deslocamento da concentração da irradiação para o norte é mais acentuado, evidenciando a menor altura solar associada às latitudes mais elevadas. Os níveis mais baixos de irradiação solar são atribuídos à maior inclinação solar especialmente no período de inverno, que combinada com a maior prevalência de cobertura de nuvens durante essa estação (Figura 4.2), reforçando a sazonalidade observada na Figura 4.3.

Avaliando-se a Temperatura de Bulbo Seco (TBS) apresentada na Figura 4.5 observa-se as variações térmicas ao longo do ano para as cidades analisadas. A análise comparativa permite identificar padrões térmicos sazonais e diários que influenciam diretamente no desempenho energético de edificações.

Em Belém, as temperaturas são bastante elevadas e relativamente constantes ao longo do ano. A ausência de variações sazonais expressivas é característica do clima equatorial úmido. O calor constante combinado com a alta umidade aumenta o desconforto, exigindo estratégias passivas de resfriamento e ventilação. Brasília, apresenta uma maior variação sazonal nas temperaturas de bulbo seco. Durante os meses secos, especialmente de maio a agosto, as temperaturas mínimas são mais baixas. A amplitude térmica diária e sazonal exige estratégias que equilibrem o aquecimento durante as noites mais frias e o resfriamento durante os períodos mais quentes. Em Porto Alegre, o gráfico evidencia a maior variação sazonal entre as cidades analisadas. A presença de períodos frios no inverno e quentes no verão reflete o clima subtropical úmido da cidade.

De acordo com E Silva Machado *et al.* (2024), a temperatura de bulbo seco representa o indicador climático mais sensível para o desempenho energético das edificações. Portanto, essas diferenças apresentadas, refletem a necessidade de soluções arquitetônicas passivas adaptadas ao contexto climático de cada cidade. Em Belém, o sombreamento é essencial para reduzir o calor. Em Brasília e Porto Alegre, estratégias híbridas são importantes para lidar com a amplitude térmica diária e sazonal. Esta análise orientou as definições das estratégias de eficiência energética apresentadas no Capítulo 3, Seção 3.4.2.

Figura 4.5: Gráfico das Temperaturas de Bulbo Seco (TBS), com base nos dados dos arquivos climáticos das cidades de Belém, Brasília e Porto Alegre.



Fonte: Autoria própria, utilizando a ferramenta Ladybug Tools e os dados dos arquivos climáticos.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES QUANTO À DISPONIBILIDADE SOLAR

4.2.1 INCLINAÇÃO IDEAL PARA OS PVSDS

A partir da análise da irradiação solar incidente nos dispositivos de sombreamento, foram identificadas as inclinações ótimas dos anteparos que maximizam a captação solar, resultando nos maiores valores de irradiação anual acumulada (em kWh/ano) para cada orientação solar e para cada cidade avaliada. Conforme estabelecido no capítulo referente ao método, esta análise considera exclusivamente os valores anuais de irradiação em superfícies cuja captação é igual ou superior a 800 kWh/m².ano (Didoné, 2014; Natanian; Luca; Naboni, 2022; Góes, 2024), uma

vez que somente nas áreas de brises em que esta condição é confirmada será considerada a produção de energia (PVSDs). Esta irradiação anual acumulada que atinge ou supera o referido limiar foi chamada de irradiação efetiva neste trabalho. Para fins de exemplificação no corpo desta dissertação, são apresentadas as Tabela 4.2 (Belém), Tabela 4.3 (Brasília) e Tabela 4.4 (Porto Alegre) contendo parte dos resultados da orientação norte para as três cidades. Estas tabelas permitem compreender a estrutura de organização dos dados e os critérios de comparação adotados, enquanto os dados completos dos 5.040 cenários simulados estão disponíveis no Apêndice 1 - , para consulta detalhada.

Nas tabelas, cada linha representa um cenário com determinada combinação de altura da edificação (número de pavimentos) e afastamento entre os edifícios do entorno, sendo comparados os resultados obtidos para diferentes ângulos de inclinação dos PVSDs (5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30° e 35°). É apresentado o valor correspondente à irradiação efetiva anual incidente sobre o plano do anteparo, bem como indicada a porcentagem relativa em comparação com o cenário de melhor desempenho (100%) entre as diferentes angulações. As cores aplicadas aos dados da irradiação efetiva auxiliam na visualização qualitativa dos resultados, destacando os melhores desempenhos em tons quentes (vermelho e laranja) e os menores em tons frios (amarelo e verde). Essa representação visual favorece a identificação rápida do ângulo mais promissor para os PVSDs em cada cenário. Além disso, as tabelas também apresentam as áreas totais dos antepeiros cuja irradiação anual atinge ou ultrapassa o limiar de 800 kWh/m².ano e o percentual que esta área efetiva para geração fotovoltaica representa em relação à área total dos antepeiros em cada orientação.

Os melhores cenários de inclinação dos PVSDs foram destacados na tabela em negrito com uma faixa de fundo cinza escuro. Além deles, os cenários cuja variação da irradiação em relação ao melhor cenário foi inferior a 0,5% também foram demarcados, com uma faixa de fundo cinza claro. Por fim, os cenários selecionados para configuração do modelo no Grasshopper os quais não correspondem às condições otimizadas mencionadas, foram marcados com a grafia em vermelho.

Com base na análise dos dados completos apresentados no Apêndice 1 - , os ângulos de inclinação que maximizam a captação anual de energia nos dispositivos PVSDs foram organizados em matrizes, relacionando o número de pavimentos e os afastamentos do entorno, conforme ilustrado nas Tabela 4.5 (Belém, lat.: -1°27'S), Tabela 4.6 (Brasília, lat.: -15°47'S) e Tabela 4.7 (Porto Alegre, lat.: -30°1'S).

Tabela 4.2: Exemplo de resultados de irradiação solar nos PVSDs para Belém - orientação norte.

BELÉM (Lat: -1°27') - EXEMPLO DE ALGUNS RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO NORTE								
Ângulo (°)	Afastamento (m)	Nº de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
5°	6	3	77.574	97%	1.436,56	54	54	100%
10°	6	3	79.777	100%	1.477,36	54	54	100%
15°	6	3	76.641	96%	1.419,27	54	54	100%
20°	6	3	74.853	94%	1.386,17	54	54	100%
25°	6	3	71.047	89%	1.315,69	54	54	100%
30°	6	3	70.254	88%	1.301,00	54	54	100%
35°	6	3	66.388	83%	1.229,41	54	54	100%
5°	9	6	138.521	100%	1.282,60	108	108	100%
10°	9	6	138.464	100%	1.282,08	108	108	100%
15°	9	6	137.295	99%	1.271,25	108	108	100%
20°	9	6	134.395	97%	1.250,65	107	108	100%
25°	9	6	131.276	95%	1.231,94	107	108	99%
30°	9	6	123.647	89%	1.197,78	103	108	96%
35°	9	6	113.636	82%	1.136,82	100	108	93%
5°	12	9	190.375	100%	1.218,48	156	162	96%
10°	12	9	189.563	100%	1.222,67	155	162	96%
15°	12	9	186.284	98%	1.228,14	152	162	94%
20°	12	9	181.609	95%	1.211,94	150	162	93%
25°	12	9	176.359	93%	1.209,59	146	162	90%
30°	12	9	166.548	87%	1.169,00	142	162	88%
35°	12	9	147.940	78%	1.127,93	131	162	81%
5°	15	12	236.006	100%	1.225,37	193	216	89%
10°	15	12	236.102	100%	1.217,52	194	216	90%
15°	15	12	231.900	98%	1.217,71	190	216	88%
20°	15	12	221.052	94%	1.180,83	187	216	87%
25°	15	12	213.561	90%	1.171,22	182	216	84%
30°	15	12	203.127	86%	1.149,75	177	216	82%
35°	15	12	183.321	78%	1.128,27	162	216	75%
5°	18	15	285.085	100%	1.216,29	234	270	87%
10°	18	15	282.927	99%	1.220,83	232	270	86%
15°	18	15	283.098	99%	1.223,62	231	270	86%
20°	18	15	264.481	93%	1.163,83	227	270	84%
25°	18	15	253.371	89%	1.161,56	218	270	81%
30°	18	15	245.301	86%	1.135,65	216	270	80%
35°	18	15	225.487	79%	1.112,53	203	270	75%
5°	21	18	339.328	100%	1.198,83	283	324	87%
10°	21	18	340.332	100%	1.196,54	284	324	88%
15°	21	18	337.168	99%	1.193,09	283	324	87%
20°	21	18	321.283	94%	1.140,51	282	324	87%
25°	21	18	305.004	90%	1.160,33	263	324	81%
30°	21	18	288.671	85%	1.112,54	259	324	80%
35°	21	18	267.572	79%	1.100,58	243	324	75%

Legenda: **00** Melhores cenários, adotados prioritariamente.
00 Cenários cuja variação foi menor que 0,5% em relação ao melhor cenário, adotados secundariamente.
00 Cenários que fogem das caracterizações supracitadas, adotados para simplificação do cálculo.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4.3: Exemplo de resultados de irradiação solar nos PVSDs para Brasília - orientação norte.

BRASÍLIA (Lat.: -15°47') - EXEMPLO DE ALGUNS RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO NORTE								
Ângulo (°)	Afastamento (m)	Nº de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Percentual de Área efetiva (%)	Area total proteções solares (m²)
5°	6	3	81.010	94%	1.500,19	54	54	100%
10°	6	3	85.740	100%	1.587,78	54	54	100%
15°	6	3	83.523	97%	1.546,72	54	54	100%
20°	6	3	82.698	96%	1.531,44	54	54	100%
25°	6	3	79.349	93%	1.469,42	54	54	100%
30°	6	3	81.259	95%	1.504,79	54	54	100%
35°	6	3	78.604	92%	1.455,63	54	54	100%
5°	9	6	128.436	92%	1.357,82	95	108	88%
10°	9	6	133.733	96%	1.374,16	97	108	90%
15°	9	6	136.590	98%	1.400,07	98	108	90%
20°	9	6	136.380	98%	1.401,79	97	108	90%
25°	9	6	139.367	100%	1.421,54	98	108	91%
30°	9	6	135.155	97%	1.391,77	97	108	90%
35°	9	6	125.611	90%	1.368,31	92	108	85%
5°	12	9	173.199	94%	1.315,40	132	162	81%
10°	12	9	176.283	96%	1.342,50	131	162	81%
15°	12	9	182.958	99%	1.364,95	134	162	83%
20°	12	9	183.026	99%	1.363,93	134	162	83%
25°	12	9	184.583	100%	1.393,61	132	162	82%
30°	12	9	182.881	99%	1.355,58	135	162	83%
35°	12	9	169.044	92%	1.337,79	126	162	78%
5°	15	12	222.062	95%	1.321,56	168	216	78%
10°	15	12	227.981	98%	1.330,19	171	216	79%
15°	15	12	233.070	100%	1.345,05	173	216	80%
20°	15	12	227.911	98%	1.311,42	174	216	80%
25°	15	12	227.813	98%	1.330,84	171	216	79%
30°	15	12	230.313	99%	1.315,02	175	216	81%
35°	15	12	218.666	94%	1.320,44	166	216	77%
5°	18	15	273.060	94%	1.293,81	211	270	78%
10°	18	15	281.196	97%	1.319,61	213	270	79%
15°	18	15	289.751	100%	1.349,69	215	270	80%
20°	18	15	274.838	95%	1.291,78	213	270	79%
25°	18	15	277.480	96%	1.307,14	212	270	79%
30°	18	15	279.727	97%	1.301,54	215	270	80%
35°	18	15	269.661	93%	1.304,98	207	270	77%
5°	21	18	323.635	95%	1.269,90	255	324	79%
10°	21	18	334.092	98%	1.289,08	259	324	80%
15°	21	18	341.406	100%	1.312,29	260	324	80%
20°	21	18	331.888	97%	1.262,03	263	324	81%
25°	21	18	338.379	99%	1.299,61	260	324	80%
30°	21	18	331.093	97%	1.262,90	262	324	81%
35°	21	18	319.823	94%	1.291,27	248	324	76%

Legenda: **00** Melhores cenários, adotados prioritariamente.
 00 Cenários cuja variação foi menor que 0,5% em relação ao melhor cenário, adotados secundariamente.
 00 Cenários que fogem das caracterizações supracitadas, adotados para simplificação do cálculo.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4.4: Exemplo de resultados de irradiação solar nos PVSDs para Porto Alegre - orientação norte.

PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1') - EXEMPLO DE ALGUNS RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO NORTE								
Ângulo (°)	Afastamento (m)	Nº de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Área total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
5°	6	3	58.891	93%	1.284,71	46	54	85%
10°	6	3	63.468	100%	1.384,55	46	54	85%
15°	6	3	61.950	98%	1.358,56	46	54	84%
20°	6	3	61.588	97%	1.368,62	45	54	83%
25°	6	3	61.832	97%	1.296,27	48	54	88%
30°	6	3	62.837	99%	1.337,52	47	54	87%
35°	6	3	57.974	91%	1.334,59	43	54	80%
5°	9	6	90.310	89%	1.216,78	74	108	69%
10°	9	6	92.594	92%	1.243,54	74	108	69%
15°	9	6	97.999	97%	1.262,22	78	108	72%
20°	9	6	100.423	99%	1.266,52	79	108	73%
25°	9	6	100.887	100%	1.307,51	77	108	71%
30°	9	6	101.173	100%	1.274,53	79	108	73%
35°	9	6	91.092	90%	1.277,94	71	108	66%
5°	12	9	121.572	88%	1.195,39	102	162	63%
10°	12	9	126.643	92%	1.217,95	104	162	64%
15°	12	9	131.115	95%	1.234,61	106	162	66%
20°	12	9	134.498	97%	1.240,19	108	162	67%
25°	12	9	136.933	99%	1.267,20	108	162	67%
30°	12	9	137.963	100%	1.244,26	111	162	68%
35°	12	9	124.875	91%	1.238,84	101	162	62%
5°	15	12	159.173	90%	1.183,53	134	216	62%
10°	15	12	164.787	93%	1.204,06	137	216	63%
15°	15	12	170.245	96%	1.217,77	140	216	65%
20°	15	12	173.296	97%	1.179,13	147	216	68%
25°	15	12	175.787	99%	1.201,47	146	216	68%
30°	15	12	177.798	100%	1.205,33	148	216	68%
35°	15	12	164.468	93%	1.230,31	134	216	62%
5°	18	15	195.598	90%	1.152,13	170	270	63%
10°	18	15	202.983	93%	1.182,89	172	270	64%
15°	18	15	212.150	97%	1.223,47	173	270	64%
20°	18	15	210.328	97%	1.170,83	180	270	67%
25°	18	15	216.181	99%	1.193,45	181	270	67%
30°	18	15	217.625	100%	1.197,06	182	270	67%
35°	18	15	205.318	94%	1.211,75	169	270	63%
5°	21	18	230.385	86%	1.144,65	201	324	62%
10°	21	18	242.231	91%	1.166,98	208	324	64%
15°	21	18	253.801	95%	1.190,21	213	324	66%
20°	21	18	254.217	95%	1.165,28	218	324	67%
25°	21	18	267.057	100%	1.195,53	223	324	69%
30°	21	18	259.692	97%	1.174,39	221	324	68%
35°	21	18	244.133	91%	1.210,26	202	324	62%

Legenda: **00** Melhores cenários, adotados prioritariamente.
00 Cenários cuja variação foi menor que 0,5% em relação ao melhor cenário, adotados secundariamente.
00 Cenários que fogem das caracterizações supracitadas, adotados para simplificação do cálculo.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4.5: Matriz dos ângulos ótimos para os PVSDs em cada cenário de Belém.

BELÉM (Lat.: -1°27'): ÂNGULOS ÓTIMOS DE PVSDS PARA CADA CENÁRIO										
ORIENTAÇÃO NORTE:										Selecionados:
3	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
6	5/10°	5/10°	10/5°	10/5/15°	10/5/15°	10/5/15°	10/5/15°	10/5/15°	10/5/15°	10/5/15°
9	5°	5°	5/10°	5/10/15°	5/10°	5/10°	5/10°	5/10/15°	5/10/15°	10/5/15°
12	5°	5°	10/5°	10/5°	5/10°	5/10°	10/5°	5/10/15°	10/5/15°	10/5/15°
15	5/10°	5°	5°	5°	5°	5/10/15°	15/10/5°	15/10/5°	15/10/5°	15/10°
18	5°	5°	5/15°	5/15°	5°	10/5°	10/5°	5/10°	10/5°	10/5/15°
ORIENTAÇÃO SUL:										
3	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
6	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
9	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
12	5/10°	10°	5/10°	10°	10/5°	10/5°	10/5°	5/10°	10/5°	10/5°
15	5°	5°	5°	10/5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
18	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
ORIENTAÇÃO LESTE:										
3	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
6	5°	5°	5°	5°	5°	5/10°	5/10°	5/10°	5/10°	5/10°
9	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
12	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5/10°	5/10°	5/10°	5°
15	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5/10°	5°	5°	5°
18	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
ORIENTAÇÃO OESTE:										
3	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
6	5°	5°	5°	5°	5°	5/10°	5/10°	5/10°	5/10°	5/10°
9	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
12	10/5°	5°	5°	5°	5°	5°	5/10°	5/10°	5/10°	5/10°
15	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
18	5°	5°	10	5°	5°	5°	5°	5/10°	5/10°	5/10°
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
Afastamento entre edifícios (m)										
	00°	Cenários com ângulo ótimo selecionado.								
	00°	Cenários cujo ângulo selecionado não corresponde aos melhores resultados de irradiação.								

Fonte: Autoria própria.

Em cada cenário de pavimento x afastamento do entorno, foram registrados os ângulos ótimos e todos aqueles cuja variação foi menor que 0,5%, separados por uma barra (/). Essa organização visa facilitar a identificação visual de padrões entre os cenários simulados, bem como auxiliar na comparação entre diferentes orientações solares e entre as cidades avaliadas.

A partir da análise dessas tabelas, foi possível agrupar cenários com inclinações otimizadas semelhantes, o que viabilizou a implementação de uma configuração com lógica condicional do tipo “SE” (Tabela 4.8) no ambiente paramétrico do Grasshopper, permitindo a automação das simulações na Etapa 3 do estudo (simulação energética e de geração fotovoltaica). Observou-se que os agrupamentos mais consistentes ocorreram nas linhas que

representam o número de pavimentos. Com base nessa observação, foi selecionado um ângulo representativo por grupo de cenários de mesmo pavimento (coluna “selecionados”).

Tabela 4.6: Matriz dos ângulos ótimos para os PVSDs em cada cenário de Brasília.

BRASÍLIA (Lat.: -15°47'): ÂNGULOS ÓTIMOS DE PVSDS PARA CADA CENÁRIO										
ORIENTAÇÃO NORTE:										Selecionados:
3	10°	10°	10°	10/20/30°	10/20/30°	30/10/20/15°	30/20/10°	30/20°	30/20°	10°
6	15°	25°	25°	25°	25°	25/30°	25/30°	25/30°	25/30°	25°
9	15/25°	15/20/25°	25°	25°	25°	25°	25/30°	25/30°	25/30°	25°
12	15°	15°	15°	15°	15°	15/25°	25/15/30	25/30/15	25/30°	15°
15	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15/25/30°	15°
18	10°	25°	15°	25°	25/15°	15°	15°	25/15°	25°	25°
ORIENTAÇÃO SUL:										
3	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
6	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
9	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
12	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
15	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
18	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
ORIENTAÇÃO LESTE:										
3	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
6	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
9	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
12	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
15	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
18	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
ORIENTAÇÃO OESTE:										
3	10°	10/5°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
6	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
9	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
12	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
15	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
18	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
Afastamento entre edifícios (m)										
00	Cenários com ângulo ótimo selecionado.									
00	Cenários cujo ângulo selecionado não corresponde aos melhores resultados de irradiação.									

Fonte: Autoria própria.

Os cenários nos quais o ângulo ótimo obtido diferiu do valor selecionado para o grupo de mesmo número de pavimentos foram destacados nas matrizes com grafia em vermelho, indicando que, nesses casos, a simulação paramétrica na Etapa 3 não considerará a inclinação ótima absoluta, mas sim um valor aproximado para fins de automação. Contudo, observa-se que essa divergência ocorreu exclusivamente na orientação norte, nas cidades de Brasília e Porto Alegre, justamente onde se verificou maior variabilidade nos ângulos otimizados. Em contraste, para todas as demais orientações e em todos os cenários simulados para a cidade de Belém, os

ângulos adotados na Etapa 3 correspondem à configuração ótima com variação menor que 0,5% identificada nas simulações de irradiação.

Tabela 4.7: Matriz dos ângulos ótimos para os PVSDs em cada cenário de Porto Alegre.

PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1'): ÂNGULOS ÓTIMOS DE PVSDS PARA CADA CENÁRIO										
ORIENTAÇÃO NORTE:										Selecionados:
3	10°	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°
6	25°	30/25°	30/25°	25/30°	30/25°	30/25°	30°	30°	30°	30°
9	25°	30/25°	30/25°	25/30°	30/25°	30/25°	30°	30°	30°	30°
12	15°	25°	25/30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°
15	15°	15°	15/25	25°	30°	30°	30°	30°	30°	30°
18	25°	25°	25°	25°	25°	25°	25°	25/30°	25/30°	25/30/35°
ORIENTAÇÃO SUL:										
3	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
6	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
9	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
12	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
15	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
18	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
ORIENTAÇÃO LESTE:										
3	5°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
6	5°	5°	5°	5°	5°	5/10°	5°	5/10°	5°	5/10°
9	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
12	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
15	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5/10°	5°
18	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
ORIENTAÇÃO OESTE:										
3	5°	10/5°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
6	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
9	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
12	10°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
15	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
18	10°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5°
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
Afastamento entre edifícios (m)										
00	Cenários com ângulo ótimo selecionado.									
00	Cenários cujo ângulo selecionado não corresponde aos melhores resultados de irradiação.									

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar os casos destacados em vermelho nas Tabela 4.5 a Tabela 4.7, que correspondem aos cenários também destacados em vermelho no Apêndice 1 - , constata-se que, mesmo nesses cenários em que o ângulo ótimo não foi adotado, a perda de desempenho é marginal. Nas cidades de Brasília e Porto Alegre, a pior condição demarcada representou 98% da irradiação solar anual acumulada do cenário ótimo, evidenciando que a simplificação adotada não compromete a precisão dos resultados das simulações da Etapa 3.

No que se refere à análise dos ângulos otimizados por orientação solar, destaca-se que, na orientação norte, observou-se a maior variabilidade nos ângulos otimizados e uma tendência de aumento do ângulo ótimo com o aumento da latitude geográfica. Este comportamento demonstra consistência com a pesquisa de Skandalos e Karamanis (2021). Embora esses autores tenham examinado fachadas orientadas a sul no hemisfério norte, condição oposta à orientação norte no hemisfério sul, foi identificado que, em latitudes mais elevadas, onde a trajetória solar é mais baixa ao longo do ano, inclinações mais acentuadas tendem a maximizar a incidência direta de irradiação sobre o dispositivo.

Na cidade de Brasília (latitude: $-15^{\circ}47'S$), onde se constatou a maior dispersão nos ângulos otimizados para a orientação norte, os valores variaram entre 10° , 15° , 20° , 25° e 30° , sendo que o agrupamento por pavimento permitiu a adoção de três ângulos representativos: 10° , 15° e 25° . Em Porto Alegre (latitude: $-30^{\circ}1'S$), a variação foi ligeiramente menor, com valores de 10° , 25° e 30° , sendo possível agrupar os cenários com apenas dois ângulos: 25° e 30° . Por sua vez, na cidade de Belém (latitude: $-1^{\circ}27'S$), situada próxima à linha do Equador, a variação foi a mais reduzida entre as três localidades, com ângulos otimizados de 10° para os cenários de 3 e 6 pavimentos e 5° para os demais. Infere-se que essa uniformidade esteja associada à trajetória solar de Belém, mais elevada e constante ao longo do ano.

Os resultados referentes às inclinações otimizadas dos PVSDs nas orientações leste e oeste revelaram um comportamento homogêneo entre as três cidades avaliadas. Foi identificado um ângulo ótimo de 10° para os cenários com edificações de 3 pavimentos, e de 5° para os demais cenários, independentemente do afastamento entre os edifícios. Essas orientações são caracterizadas por maiores variações na altura solar ao longo do dia, o que sugere uma maior sensibilidade ao sombreamento provocado pelo entorno urbano. Nesses contextos, os resultados demonstraram que a adoção de inclinações reduzidas contribui para maximizar a captação da fração de irradiação direta, proveniente dos horários de maior altura solar, isto é, final da manhã e início da tarde.

Infere-se que a persistência da angulação maior, de 10° nos cenários de 3 pavimentos, seja justificada pela maior participação do anteparo superior, que se beneficia de maior porção do céu desobstruído, resultando em uma angulação maior para favorecer a captação de irradiação solar direta.

Nas cidades de Brasília e Porto Alegre, a orientação sul, que recebe menor incidência de irradiação solar direta em relação às demais orientações, também se beneficia de uma menor inclinação dos dispositivos, para aproveitar a porção desobstruída do céu, de modo a aumentar a captação da irradiação direta mais próxima do zênite. Como resultado, foi identificada uma inclinação otimizada de 5° em todos os cenários simulados para essas duas cidades, independentemente da altura dos edifícios ou da distância em relação ao entorno.

No caso de Belém, a orientação sul apresentou resultados semelhantes à orientação norte. A predominância de baixos ângulos de inclinação para ambas as orientações pode ser atribuída à sua localização em baixa latitude, onde a altura solar permanece elevada e relativamente constante ao longo do ano. Na orientação sul dessa cidade, os cenários correspondentes a edificações com 3 e 12 pavimentos apresentaram inclinação otimizada de 10°, enquanto os demais resultaram em ângulo ótimo de 5°.

Os dados obtidos a partir dessa análise foram utilizados para a parametrização da angulação dos PVSDs no modelo computacional, permitindo a configuração automatizada e adaptada a cada orientação solar a partir do agrupamento de cenários urbanos, assegurando a adequação dos dispositivos às condições de insolação mais representativas de cada contexto. Dessa forma, o valor ótimo não foi aplicado individualmente a todos os cenários, porém, a diferença entre a irradiação solar anual acumulada do cenário ótimo e aquela do cenário adotado foi inferior a 2%, conforme demonstrado nos resultados, indicando que a simplificação adotada não comprometeu a representatividade dos dados. A Tabela 4.8 apresenta os valores adotados para a parametrização dos ângulos, organizados por orientação solar e cidade, com base no agrupamento de cenários definido.

Tabela 4.8: Ângulos de inclinação otimizados para cada orientação e seus respectivos conjuntos de cenários adotados, em cada cidade.

INCLINAÇÕES OTIMIZADAS PARA PVSDS E FÓRMULA CONDICIONAL APLICADA NO GRASSHOPPER		
Orientação	Inclinações adotadas	Descrição dos conjuntos de cenários adotados
BELÉM (BEL) Lat: -1°27'		
Norte:	5° e 10°	Para 3 e 6 pav. = 10°; para todos os demais cenários = 5°
Fórmula condicional:		SE(Número pav ≤ 6,10,5)
Sul:	5° e 10°	Para 3 e 12 pav. = 10°; para todos os demais cenários = 5°
Fórmula condicional:		SE(Número pav = 3, 10, (SE(Número pav = 12, 10, 5)))
Leste:	5° e 10°	Para 3 pav. = 10°; para todos os demais cenários = 5°
Fórmula condicional:		SE(Número pav ≤ 3,10, 5)
Oeste:	5° e 10°	Para 3 pav. = 10°; para todos os demais cenários = 5°
Fórmula condicional:		SE(Número pav ≤ 3,10, 5)

Orientação	Inclinações adotadas	Descrição dos conjuntos de cenários adotados
BRASÍLIA (BSB) Lat: -15°47'		
Norte:	15°, 25° e 30°	Para 3 pav. = 10°; para 6, 9 e 18 pav. = 25°; para 12 e 15 pav. = 15°
Fórmula condicional:		SE(Número pav = 3, 10, SE(Número pav ≤ 9, 25, SE(Número pav ≤ 15, 15, 25)))
Sul:	5°	Para todos os cenários = 5°
Fórmula condicional:		-
Leste:	5° e 10°	Para 3 pav. = 10°; para todos os demais cenários = 5°
Fórmula condicional:		SE(Número pav ≤ 3, 10, 5)
Oeste:	5° e 10°	Para 3 pav. = 10°; para todos os demais cenários = 5°
Fórmula condicional:		SE(Número pav ≤ 3, 10, 5)
PORTO ALEGRE (POA) Lat: -30°1'		
Norte:	25° e 30°	Para 18 pav. = 25°; para todos os demais cenários = 30°
Fórmula condicional:		SE(Número pav ≤ 18, 25, 30)
Sul:	5°	Para todos os cenários = 5°
Fórmula condicional:		-
Leste:	5° e 10°	Para 3 pav. = 10°; para todos os demais cenários = 5°
Fórmula condicional:		SE(Número pav ≤ 3, 10, 5)
Oeste:	5° e 10°	Para 3 pav. = 10°; para todos os demais cenários = 5°
Fórmula condicional:		SE(Número pav ≤ 3, 10, 5)

Fonte: Autoria própria.

Cabe destacar que, na prática projetual, a adoção dos ângulos de inclinação considerados ideais nem sempre é viável. A integração de módulos fotovoltaicos à envoltória depende de uma série de condicionantes arquitetônicos e urbanos, como forma do edifício, função dos ambientes, características do lote e exigências regulamentares, que frequentemente limitam a aplicação das configurações geométricas mais eficientes (Cronemberger; Caamaño-Martín; Sánchez, 2012). Dessa forma, o desempenho final dos PVSDs constitui sempre um compromisso entre eficiência funcional, estética e viabilidade arquitetônica, reforçando a importância de análises contextualizadas para embasar decisões de projeto.

4.2.2 INFLUÊNCIA DO ENTORNO URBANO NOS PVSDS

Para compreender a influência do entorno urbano sobre a disponibilidade de irradiação solar incidente nos PVSDs, em cada orientação (Norte, Sul, Leste e Oeste), os 6 cenários de alturas diferentes também foram simulados sem a presença de edificações no entorno. Além disso, buscou-se identificar os ângulos de inclinação que maximizam a captação solar (ângulos ótimos) para estes cenários sem entorno, a fim de investigar se a presença do entorno urbano altera significativamente essa otimização para cada orientação.

4.2.2.1 ANÁLISE COMPARATIVA DA INCLINAÇÃO IDEAL DOS CENÁRIOS COM E SEM ENTORNO URBANO

A Tabela 4.9 apresenta os resultados de irradiação solar incidente nos PVSDs dos cenários sem entorno urbano, para cada orientação e cada cidade avaliada, assim como os ângulos de inclinação que resultaram nos maiores valores de irradiação (ângulos ótimos). Além da inclinação ideal, foram também indicadas as demais inclinações que apresentaram desempenho equivalente, com variação inferior a 0,5% em relação à inclinação ótima, as quais foram apresentadas separadas por uma barra (/).

Tabela 4.9: Irradiação solar e inclinação otimizada, sem entorno, para cada cidade avaliada.

BELÉM (Lat.: -1°27'): IRRADIAÇÃO SOLAR E INCLINAÇÃO OTIMIZADA SEM ENTORNO								
	NORTE:		SUL:		LESTE:		OESTE:	
	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)
3	1.608,66	10°	1.556,01	10°	1.621,92	10°	1.608,43	10°
6	1.516,57	15°/10°	1.502,40	5°	1.538,96	10°/5°	1.551,40	10°/15°/5°
9	1.498,65	10°/5°/15°	1.476,93	5°/10°	1.529,15	5°	1.523,70	15°/10°/20°/5°
12	1.487,39	10°/15°/5°	1.461,38	10°/5°	1.513,96	5°	1.527,44	10°
15	1.488,59	15°	1.458,93	5°	1.513,13	5°	1.518,58	10°/15°/5°
18	1.478,64	5°/10°/15°	1.455,10	5°/10°	1.512,56	5°	1.518,74	10°
BRASÍLIA (Lat.: -15°47'): IRRADIAÇÃO SOLAR E INCLINAÇÃO OTIMIZADA SEM ENTORNO								
	NORTE:		SUL:		LESTE:		OESTE:	
	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)
3	1.829,11	30°	1.596,84	5°	1.777,27	10°	1.764,46	10°
6	1.770,76	30°/25°	1.552,44	5°	1.697,14	5°/10°	1.708,54	5°/10°
9	1.751,31	30°/25°	1.521,36	5°	1.685,71	5°	1.685,03	5°/10°
12	1.732,60	30°	1.499,43	5°	1.671,96	5°/10°	1.676,45	5°/10°
15	1.728,73	30°	1.498,95	5°	1.669,83	5°	1.673,55	5°/10°/15°
18	1.717,34	30°/25°	1.494,27	5°	1.668,35	5°	1.670,49	10°/5°
PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1'): IRRADIAÇÃO SOLAR E INCLINAÇÃO OTIMIZADA SEM ENTORNO								
	NORTE:		SUL:		LESTE:		OESTE:	
	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)	kWh/m ² .ano	Ângulo (°)
3	1.647,81	30°	1.331,47	5°	1.495,27	10°	1.465,49	10°
6	1.603,37	30°	1.298,12	5°	1.430,14	10°/15°/5°	1.426,16	5°/10°
9	1.588,56	30°	1.274,92	5°	1.419,31	5°/10°/15°	1.408,35	5°
12	1.573,50	30°	1.258,46	5°	1.409,78	10°/5°/15°	1.401,60	5°/10°
15	1.568,71	30°	1.257,94	5°	1.409,44	15°/5°/10°	1.399,04	5°/10°
18	1.559,26	30°	1.254,44	5°	1.405,82	5°/10°	1.392,19	10°/5°

Fonte: Autoria própria.

Na sequência, os ângulos ótimos obtidos nos cenários sem entorno foram comparados aos ângulos selecionados para os cenários com entorno urbano. A Tabela 4.10 sintetiza a comparação entre os ângulos otimizados nos cenários com e sem entorno. Os valores

divergentes entre as duas condições foram destacados em vermelho para evidenciar as situações em que a presença de edificações vizinhas resultou em alteração da inclinação ideal.

Tabela 4.10: Comparação da inclinação otimizada com x sem entorno, para cada cidade avaliada.

BELÉM (Lat.: -1°27'): COMPARAÇÃO DA INCLINAÇÃO OTIMIZADA COM X SEM ENTORNO								
Nº de pavimentos	■ NORTE:		■ SUL:		■ LESTE:		■ OESTE:	
	c/ entorno	s/ entorno	c/ entorno	s/ entorno	c/ entorno	s/ entorno	c/ entorno	s/ entorno
3	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
6	10°	15°/10°	5°	5°	5°	10°/5°	5°	10°/15°/5°
9	5°	10°/5°/15°	5°	5°/10°	5°	5°	5°	15°/10°/20°/5°
12	5°	10°/15°/5°	10°	10°/5°	5°	5°	5°	10°
15	5°	15°	5°	5°	5°	5°	5°	10°/15°/5°
18	5°	5°/10°/15°	5°	5°/10°	5°	5°	5°	10°
BRASÍLIA (Lat.: -15°47'): COMPARAÇÃO DA INCLINAÇÃO OTIMIZADA COM X SEM ENTORNO								
Nº de pavimentos	■ NORTE:		■ SUL:		■ LESTE:		■ OESTE:	
	c/ entorno	s/ entorno	c/ entorno	s/ entorno	c/ entorno	s/ entorno	c/ entorno	s/ entorno
3	30°	30°	5°	5°	10°	10°	10°	10°
6	25°	30°/25°	5°	5°	5°	5°/10°	5°	5°/10°
9	25°	30°/25°	5°	5°	5°	5°	5°	5°/10°
12	15°	30°	5°	5°	5°	5°/10°	5°	5°/10°
15	15°	30°	5°	5°	5°	5°	5°	5°/10°/15°
18	25°	30°/25°	5°	5°	5°	5°	5°	10°/5°
PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1'): COMPARAÇÃO DA INCLINAÇÃO OTIMIZADA COM X SEM ENTORNO								
Nº de pavimentos	■ NORTE:		■ SUL:		■ LESTE:		■ OESTE:	
	c/ entorno	s/ entorno	c/ entorno	s/ entorno	c/ entorno	s/ entorno	c/ entorno	s/ entorno
3	30°	30°	5°	5°	10°	10°	10°	10°
6	30°	30°	5°	5°	5°	10°/15°/5°	5°	5°/10°
9	30°	30°	5°	5°	5°	5°/10°/15°	5°	5°
12	30°	30°	5°	5°	5°	10°/5°/15°	5°	5°/10°
15	30°	30°	5°	5°	5°	15°/5°/10°	5°	5°/10°
18	25°	30°	5°	5°	5°	5°/10°	5°	10°/5°

Fonte: Autoria própria.

A análise comparativa evidencia que a presença do entorno urbano não provocou alterações substanciais nos ângulos de inclinação considerados ótimos para os PVSDs, contrariando a hipótese inicial. As divergências observadas foram pontuais e, em sua maioria, concentradas na orientação Norte, sobretudo em cenários com maior número de pavimentos, destacados em vermelho na Tabela 4.10. Nesta orientação, as inclinações ótimas dos cenários sem entorno tenderam a valores ligeiramente maiores. No caso de Belém e Brasília, mesmo na ausência do entorno urbano, a regra geral que recomenda a adoção de inclinações equivalentes à latitude geográfica local para a produção energética anual ideal (Martín Chivelet; Kapsis; Frontini, 2024), não se confirmou, enquanto para Porto Alegre, a aplicação dessa regra mostrou-se coerente. Sugere-se que esse comportamento pode estar associado ao fato de que maiores inclinações reduzem o autossombreamento entre fileiras, levando a favorecer ângulos um pouco

mais elevados nos casos de Belém e Brasília. Em Porto Alegre, a variação foi praticamente inexistente, o que é coerente com a menor altura solar local, que reduz o potencial de autossombreamento.

Estes resultados contrastam com parte das conclusões de Di Vincenzo, Kesten e Infield (2010), que identificaram forte dependência da inclinação ótima dos PVSDs em relação à obstrução urbana. Nesse estudo, os dispositivos voltados para sul (hemisfério norte) com uma inclinação menor (20°) superaram a geração anual daqueles com inclinação teoricamente ideal (35°). Em vista disso, os autores destacaram que decisões sobre inclinação e geometria devem ser feitas considerando obstruções reais e a configuração espacial das edificações vizinhas.

As orientações leste e oeste se mantiveram praticamente constantes, com valores de inclinação baixos para todos os cenários, reforçando que nestas orientações as inclinações reduzidas permitem aproveitar de forma mais eficiente a parcela de irradiação direta incidente nos momentos em que o sol atinge maiores elevações (final da manhã e início da tarde). De modo análogo, a orientação sul resultou invariável, também com ângulos baixos. Neste caso, este padrão corrobora com a interpretação previamente discutida, de que nesta orientação, a inclinação ótima busca valorizar a porção desobstruída do céu, maximizando a captação da irradiação direta de maior altura solar, próxima do zênite, independentemente da presença ou ausência do entorno.

Com base nesses resultados, conclui-se que o sombreamento causado por edificações vizinhas não se mostrou determinante na definição do ângulo de inclinação otimizado para os PVSDs. A orientação solar da fachada foi o fator predominante na inclinação ideal dos anteparos fotovoltaicos, independentemente da presença de obstruções no entorno, sendo a orientação norte a mais influenciada pela latitude.

Desta forma, os achados desta análise trazem implicações interessantes para o projeto de dispositivos de sombreamento com fins fotovoltaicos. A possibilidade de padronização de inclinações por orientação pode ser viável e eficaz, mesmo em contextos urbanos densos, desde que respeitadas as particularidades da orientação solar e da localização geográfica. Em síntese, a análise sugere que a presença de sombreamento urbano não constitui, por si só, um fator decisivo para a definição do ângulo de instalação dos PVSDs, o qual deve ser preferencialmente estabelecido com base na orientação da fachada e latitude do local de implantação.

4.2.2.2 ANÁLISE COMPARATIVA DA DISPONIBILIDADE DE IRRADIAÇÃO SOLAR COM X SEM ENTORNO URBANO

Acerca da disponibilidade solar nos dispositivos de sombreamento fotovoltaicos, os valores de irradiação incidente nos cenários com e sem a presença de obstruções do entorno foram comparados, permitindo avaliar a influência do sombreamento urbano sobre o potencial de geração de energia nos PVSDs. Para esta avaliação comparativa, foram consideradas as angulações otimizadas previamente determinadas nos cenários sem entorno urbano. As Tabela 4.11 a Tabela 4.13 sintetizam os resultados da simulação de irradiação solar incidente (em kWh/m².ano) sobre os anteparos fotovoltaicos em ambas as condições (com x sem entorno), separados por orientação, para cada cidade avaliada.

Tabela 4.11: Comparação da irradiação solar incidente nos PVSDs com x sem entorno, para Belém.

BELÉM (Lat.: -1°27'): COMPARAÇÃO DA IRRADIAÇÃO SOLAR (kWh/m².ano) INCIDENTE NOS ANTEPAROS COM ENTORNO X SEM ENTORNO													
NºPAV		ÂNGULO	SEM ENTORNO:	COM ENTORNO (kWh/m².ano):									
NORTE:	3	10°	1.608,66	1.477,36	1.539,29	1.562,20	1.578,55	1.582,63	1.595,70	1.595,70	1.598,52	1.599,95	1.601,01
	6	10°	1.516,57	1.263,63	1.282,08	1.357,05	1.402,74	1.430,70	1.447,17	1.461,94	1.471,10	1.479,75	1.487,06
	9	10°	1.498,65	1.292,28	1.253,90	1.222,67	1.283,95	1.331,19	1.365,18	1.394,55	1.417,41	1.443,15	1.443,15
	12	10°	1.487,39	1.278,38	1.254,90	1.236,82	1.217,52	1.244,68	1.288,91	1.331,06	1.361,90	1.383,60	1.403,22
	15	15°	1.488,59	1.322,20	1.273,16	1.249,52	1.235,64	1.223,62	1.224,92	1.273,84	1.316,09	1.344,17	1.369,43
	18	5°	1.478,64	1.302,28	1.260,30	1.234,85	1.212,74	1.215,47	1.198,83	1.209,02	1.263,95	1.298,20	1.329,36
SUL:	3	10°	1.556,01	1.418,44	1.481,02	1.505,46	1.523,18	1.527,83	1.533,34	1.541,94	1.544,77	1.546,31	1.547,48
	6	5°	1.502,40	1.303,75	1.289,36	1.352,17	1.395,24	1.422,29	1.438,45	1.452,30	1.460,99	1.468,77	1.474,77
	9	5°	1.476,93	1.281,59	1.245,78	1.233,43	1.280,18	1.322,99	1.353,63	1.380,92	1.402,91	1.415,02	1.425,30
	12	10°	1.461,38	1.292,55	1.239,05	1.213,47	1.194,11	1.225,54	1.268,58	1.308,17	1.338,84	1.358,45	1.377,36
	15	5°	1.458,93	1.282,19	1.240,87	1.201,90	1.183,36	1.182,71	1.200,23	1.249,93	1.292,79	1.316,74	1.339,11
	18	5°	1.455,10	1.264,90	1.256,55	1.237,49	1.203,03	1.187,81	1.174,28	1.195,61	1.247,53	1.279,09	1.308,16
LESTE	3	10°	1.621,92	1.425,68	1.520,45	1.550,20	1.588,80	1.593,22	1.597,56	1.606,96	1.613,40	1.614,13	1.614,72
	6	10°	1.538,96	1.222,94	1.254,54	1.321,16	1.394,72	1.431,05	1.464,20	1.477,52	1.494,23	1.499,62	1.509,38
	9	5°	1.529,15	1.268,67	1.228,25	1.218,44	1.280,90	1.341,67	1.392,32	1.419,62	1.447,34	1.462,13	1.477,53
	12	5°	1.513,96	1.223,74	1.240,95	1.226,61	1.220,16	1.255,04	1.314,85	1.355,65	1.392,61	1.411,80	1.430,24
	15	5°	1.513,13	1.288,45	1.201,63	1.201,88	1.213,50	1.207,68	1.246,19	1.299,30	1.343,45	1.370,34	1.394,95
	18	5°	1.512,56	1.249,73	1.254,59	1.199,62	1.194,89	1.206,15	1.208,06	1.240,71	1.296,12	1.329,68	1.358,25
OESTE	3	10°	1.608,43	1.373,43	1.474,84	1.515,34	1.560,21	1.566,44	1.572,21	1.586,32	1.594,02	1.595,18	1.596,25
	6	10°	1.551,40	1.256,13	1.243,42	1.316,43	1.390,40	1.429,27	1.462,34	1.478,39	1.496,86	1.503,76	1.513,94
	9	10°	1.523,70	1.219,99	1.195,65	1.189,76	1.245,42	1.308,67	1.360,57	1.392,48	1.423,12	1.438,87	1.456,07
	12	10°	1.527,44	1.303,25	1.235,53	1.203,89	1.197,90	1.231,20	1.293,49	1.338,86	1.379,73	1.401,58	1.420,53
	15	10°	1.518,58	1.230,74	1.211,81	1.195,46	1.183,52	1.172,62	1.210,45	1.269,26	1.317,80	1.347,22	1.372,28
	18	10°	1.518,74	1.251,21	1.243,28	1.191,24	1.197,26	1.172,63	1.171,74	1.209,66	1.268,31	1.304,13	1.333,35
(SEM ENTORNO)			6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
			Afastamento entre edifícios (m)										

Fonte: Autoria própria.

Para cada linha horizontal de cenários com a mesma quantidade de pavimentos, uma escala de cores foi aplicada aos dados da irradiação, destacando os maiores valores em tons quentes (vermelho e laranja) e os menores em tons frios (amarelo e verde). Essa representação cromática tem como objetivo evidenciar visualmente o impacto do afastamento do entorno na

irradiação solar. As cores apresentadas nas tabelas revelam um padrão semelhante entre as diferentes orientações solares, sendo as variações mais pronunciadas entre as cidades analisadas. A partir da verificação do padrão cromático, identificou-se um aspecto recorrente e inesperado na matriz de resultados: os menores valores de irradiação, destacados em verde nas tabelas, não ocorrem nos cenários de menor afastamento, como intuitivamente esperado. Em vez disso, estes valores mínimos se distribuem ao longo de uma diagonal descendente nas tabelas, deslocando-se progressivamente para maiores afastamentos conforme aumenta a altura dos edifícios. Este comportamento foi identificado nas três cidades, embora com variações no deslocamento da diagonal.

Tabela 4.12: Comparação da irradiação solar incidente nos PVSDs com x sem entorno, para Brasília.

BRÁSILIA (Lat.: -15°47'): COMPARAÇÃO DA IRRADIAÇÃO SOLAR (kWh/m².ano) INCIDENTE NOS ANTEPAROS COM ENTORNO X SEM ENTORNO													
NºPAV		ÂNGULO	SEM ENTORNO:	COM ENTORNO (kWh/m².ano):									
NORTE:	3	30°	1.829,11	1.504,79	1.679,12	1.727,18	1.762,49	1.771,72	1.779,47	1.794,24	1.804,17	1.808,72	1.811,64
	6	30°	1.770,76	1.440,02	1.391,77	1.474,95	1.578,79	1.627,64	1.654,65	1.678,67	1.693,68	1.709,12	1.720,48
	9	30°	1.751,31	1.439,98	1.390,72	1.355,58	1.390,69	1.471,40	1.534,30	1.584,48	1.619,93	1.646,59	1.667,27
	12	30°	1.732,60	1.420,75	1.350,19	1.322,22	1.315,02	1.328,33	1.382,77	1.458,12	1.516,73	1.563,01	1.596,93
	15	30°	1.728,73	1.493,49	1.396,28	1.332,41	1.313,56	1.301,54	1.299,63	1.354,66	1.422,08	1.480,65	1.532,68
	18	30°	1.717,34	1.401,31	1.379,87	1.334,89	1.307,64	1.285,84	1.262,90	1.276,11	1.323,16	1.388,62	1.451,90
SUL:	3	5°	1.596,84	1.463,23	1.521,61	1.546,71	1.563,29	1.569,87	1.576,43	1.583,84	1.586,40	1.587,72	1.589,03
	6	5°	1.552,44	1.271,93	1.343,56	1.398,51	1.442,12	1.469,04	1.487,44	1.501,80	1.511,42	1.518,62	1.524,49
	9	5°	1.521,36	1.252,17	1.244,14	1.261,27	1.324,71	1.365,23	1.398,81	1.425,71	1.448,14	1.459,74	1.469,41
	12	5°	1.499,43	1.217,74	1.200,36	1.184,34	1.225,46	1.263,79	1.307,14	1.345,33	1.378,76	1.395,36	1.414,33
	15	5°	1.498,95	1.260,25	1.212,20	1.188,65	1.201,40	1.216,70	1.242,93	1.288,58	1.329,94	1.350,44	1.372,63
	18	5°	1.494,27	1.241,65	1.232,57	1.216,50	1.216,93	1.209,73	1.215,51	1.232,22	1.278,35	1.309,69	1.337,12
LESTE	3	10°	1.777,27	1.553,21	1.662,28	1.699,07	1.740,73	1.745,67	1.750,56	1.760,45	1.767,78	1.768,61	1.769,30
	6	5°	1.697,14	1.331,51	1.365,32	1.466,70	1.546,83	1.589,65	1.620,35	1.636,53	1.654,30	1.660,88	1.660,88
	9	5°	1.685,71	1.346,01	1.312,98	1.312,86	1.393,55	1.467,54	1.528,42	1.559,65	1.591,89	1.609,97	1.628,01
	12	5°	1.671,96	1.319,98	1.337,16	1.323,67	1.320,00	1.356,75	1.429,74	1.480,28	1.526,02	1.550,31	1.573,32
	15	5°	1.669,83	1.356,03	1.286,27	1.301,67	1.308,70	1.300,19	1.342,77	1.402,03	1.457,15	1.492,16	1.524,07
	18	5°	1.668,35	1.334,31	1.340,73	1.293,56	1.291,98	1.307,02	1.307,02	1.331,20	1.389,36	1.434,53	1.472,70
OESTE	3	10°	1.764,46	1.496,25	1.613,44	1.661,36	1.713,14	1.719,72	1.725,89	1.741,33	1.749,53	1.750,61	1.751,58
	6	10°	1.708,54	1.347,14	1.342,24	1.437,43	1.525,56	1.570,05	1.607,72	1.625,48	1.646,18	1.653,51	1.664,88
	9	10°	1.685,03	1.306,63	1.282,17	1.278,98	1.354,22	1.429,89	1.490,76	1.527,40	1.563,02	1.581,89	1.601,76
	12	10°	1.676,45	1.390,48	1.321,70	1.288,12	1.290,62	1.328,90	1.400,15	1.456,43	1.506,18	1.532,88	1.556,01
	15	10°	1.673,55	1.309,18	1.295,94	1.277,01	1.271,26	1.266,35	1.297,75	1.362,63	1.423,68	1.461,92	1.493,63
	18	10°	1.670,49	1.323,03	1.317,20	1.271,86	1.285,90	1.263,21	1.265,99	1.291,56	1.350,64	1.398,72	1.437,93
(SEM ENTORNO)				6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
				Afastamento entre edifícios (m)									

Fonte: Autoria própria.

Sugere-se que essa diagonalidade dos piores desempenhos seja explicada pelo efeito combinado de sombreamento do entorno e redução de ganhos por reflexão das fachadas. Estas superfícies não atuam apenas como receptoras passivas da irradiação direta, mas desempenham papel ativo no balanço da irradiação urbana, fenômeno discutido na literatura sobre cânions urbanos (Oke, 1988; Robinson e Stone, 2004). Em edificações mais altas e

afastamentos muito pequenos (como 6 m), embora a irradiação direta seja severamente bloqueada, ainda há uma contribuição da irradiação difusa e refletida entre fachadas. Estudos de Oke (1988) e Allegrini *et al.* (2015) sobre o balanço da irradiação em ambientes urbanos apontam que a contribuição da irradiação refletida é particularmente significativa em contextos densos, em função do efeito de aprisionamento radiativo. Já nos afastamentos intermediários (como 12 a 18 m), a geometria da cena urbana configura uma condição em que parte do céu está obstruído pelos edifícios do entorno, mas sem a proximidade necessária para favorecer a reflexão lateral das fachadas. Nesses cenários, os anteparos deixam de receber tanto a irradiação direta (ainda significativamente bloqueada) quanto parte da refletida, resultando nos menores valores anuais de irradiação.

Tabela 4.13: Comparação da irradiação solar incidente nos PVSDs com x sem entorno, para Porto Alegre.

PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1'): COMPARAÇÃO DA IRRADIAÇÃO SOLAR (kWh/m².ano) INCIDENTE NOS ANTEPAROS COM ENTORNO X SEM ENTORNO														
NºPAV ÂNGULO			SEM ENTORNO:	COM ENTORNO (kWh/m².ano):										
NORTE:	3	30°	1.647,81	1.337,52	1.439,83	1.515,11	1.572,88	1.584,91	1.593,67	1.610,13	1.620,93	1.625,75	1.628,85	
	6	30°	1.603,37	1.322,55	1.274,53	1.290,78	1.362,13	1.415,52	1.461,26	1.490,86	1.513,06	1.530,10	1.546,76	
	9	30°	1.588,56	1.322,53	1.276,21	1.244,26	1.245,36	1.291,10	1.334,59	1.384,59	1.423,40	1.456,50	1.485,95	
	12	30°	1.573,50	1.321,03	1.243,06	1.211,95	1.205,33	1.206,11	1.235,23	1.279,97	1.321,53	1.363,57	1.402,52	
	15	30°	1.568,71	1.378,72	1.289,88	1.236,65	1.208,42	1.197,06	1.191,43	1.216,79	1.255,39	1.291,26	1.337,47	
	18	30°	1.559,26	1.314,97	1.256,38	1.234,85	1.218,49	1.190,77	1.174,39	1.167,10	1.198,59	1.230,85	1.272,48	
SUL:	3	5°	1.331,47	1.208,17	1.260,66	1.283,30	1.299,00	1.305,24	1.311,35	1.318,86	1.321,38	1.322,66	1.324,02	
	6	5°	1.298,12	1.165,90	1.152,37	1.168,19	1.197,10	1.221,08	1.238,19	1.250,79	1.259,11	1.265,94	1.271,68	
	9	5°	1.274,92	1.149,00	1.126,82	1.123,30	1.133,13	1.142,76	1.159,58	1.182,92	1.202,78	1.214,25	1.224,59	
	12	5°	1.258,46	1.125,01	1.105,57	1.100,60	1.093,01	1.092,98	1.106,22	1.122,02	1.138,48	1.154,84	1.174,61	
	15	5°	1.257,94	1.157,92	1.132,81	1.114,96	1.098,40	1.089,41	1.086,89	1.087,96	1.106,38	1.114,33	1.130,86	
	18	5°	1.254,44	1.134,16	1.128,33	1.127,90	1.118,82	1.105,67	1.098,70	1.088,02	1.090,49	1.087,40	1.100,11	
LESTE	3	10°	1.495,27	1.282,70	1.368,05	1.409,64	1.452,95	1.458,75	1.464,22	1.474,90	1.483,52	1.484,53	1.485,44	
	6	10°	1.430,14	1.212,95	1.170,19	1.202,13	1.251,55	1.295,75	1.335,85	1.351,51	1.373,05	1.379,60	1.392,06	
	9	5°	1.419,31	1.211,69	1.207,94	1.176,33	1.174,32	1.190,87	1.241,06	1.275,14	1.310,80	1.330,25	1.351,05	
	12	10°	1.409,78	1.170,16	1.179,43	1.178,96	1.184,41	1.163,45	1.172,54	1.193,18	1.232,88	1.258,89	1.283,15	
	15	15°	1.409,44	1.248,80	1.210,80	1.190,03	1.187,38	1.167,04	1.162,13	1.161,68	1.179,98	1.194,62	1.224,40	
	18	5°	1.405,82	1.211,69	1.198,69	1.197,66	1.174,79	1.147,60	1.152,23	1.147,00	1.152,02	1.159,03	1.187,59	
OESTE	3	10°	1.465,49	1.234,73	1.327,92	1.373,00	1.419,48	1.426,15	1.431,56	1.444,89	1.453,06	1.454,04	1.454,89	
	6	5°	1.426,16	1.210,88	1.221,48	1.212,24	1.266,72	1.310,33	1.342,79	1.358,83	1.377,61	1.385,02	1.395,67	
	9	5°	1.408,35	1.218,60	1.199,61	1.178,89	1.188,94	1.193,20	1.242,50	1.274,14	1.307,27	1.324,90	1.344,85	
	12	5°	1.401,60	1.228,70	1.199,50	1.180,75	1.165,32	1.163,92	1.177,27	1.190,92	1.236,49	1.262,12	1.287,43	
	15	5°	1.399,04	1.260,22	1.216,75	1.194,36	1.171,51	1.156,71	1.154,50	1.149,61	1.170,58	1.197,71	1.229,71	
	18	10°	1.392,19	1.196,97	1.184,18	1.186,44	1.157,01	1.146,77	1.143,99	1.123,76	1.128,06	1.131,25	1.153,61	
			(SEM ENTORNO)	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
				Afastamento entre edifícios (m)										

Fonte: Autoria própria.

Estes menores valores caracterizam uma condição crítica de menor desempenho solar nos cenários simulados. A irradiação direta é a componente mais sensível às obstruções físicas, sofrendo um bloqueio abrupto sempre que o anteparo se encontra na sombra projetada de edificações adjacentes. Já a irradiação refletida, bastante significativa em contextos urbanos

densos com fachadas próximas, perde influência à medida que o afastamento entre os edifícios aumenta. A irradiação difusa cresce com o aumento do céu visível, mas não de forma linear, pois sua contribuição depende da distribuição angular da irradiância no céu, com maior intensidade nas regiões do zênite (Perez *et al.*, 1990). Assim, a condição crítica configura-se como um intervalo de afastamento em que o anteparo não recebe irradiação direta plena, tem poucos ganhos adicionais de irradiação difusa pelo maior acesso ao céu distante do zênite e já perdeu os benefícios da reflexão entre fachadas, resultando em uma condição de baixa irradiação solar.

Ressalta-se que essa interpretação constitui uma hipótese explicativa baseada na análise integrada dos resultados simulados e na literatura existente, não sendo possível, a partir deste estudo, isolar quantitativamente a contribuição individual de cada componente da irradiação. Investigações futuras que explorem explicitamente a decomposição da irradiação em parcelas direta, difusa e refletida poderiam aprofundar a compreensão desse comportamento em dispositivos fotovoltaicos integrados ao ambiente urbano.

A inclinação e o alongamento da diagonal observada nas matrizes podem ser correlacionados com a latitude das cidades analisadas. Em Porto Alegre (latitude: $-30^{\circ}1'$), os menores valores ocorrem com maior deslocamento na matriz, ou seja, exigem maiores afastamentos para que os anteparos escapem da zona crítica de sombreamento. Em latitudes mais elevadas, o ângulo solar é mais baixo, o que aumenta o comprimento das sombras projetadas pelos edifícios. Assim, para um mesmo número de pavimentos, a distância necessária para liberar o campo de visão do céu é maior em Porto Alegre do que em Brasília (latitude: $-15^{\circ}47'$) ou Belém (latitude: $-1^{\circ}27'$), o que possivelmente justifica a diagonal mais prolongada nessa cidade. Em Porto Alegre (Tabela 4.13), no caso dos cenários de edifícios mais altos (15 e 18 pavimentos) os melhores resultados de irradiação ocorreram em afastamentos reduzidos, sugerindo que a reflexão provocada pelas fachadas se torna ainda mais relevante, beneficiando-se de um entorno denso, sendo necessário afastamentos ainda maiores para reduzir as perdas pelo sombreamento.

Como esperado, observa-se uma tendência de redução da irradiação solar incidente ($\text{kWh/m}^2\text{ano}$) nos PVSDs à medida que se aumenta o número de pavimentos das edificações. Infere-se que esse comportamento está diretamente associado ao efeito do autossombreamento vertical, decorrente da sobreposição entre as fileiras de anteparos instaladas em diferentes níveis da fachada. Em edificações mais altas, o número de fileiras de PVSDs é maior, ampliando o efeito do autossombreamento entre os próprios dispositivos. Já em

edifícios mais baixos, a contribuição da última fileira de anteparos, que permanece exposta à irradiação solar sem sofrer sombreamento superior, torna-se proporcionalmente mais significativa para o total de irradiação captada. Essa relação também foi observada por Asfour (2018), que comparou a irradiação incidente no anteparo superior ao dos pavimentos tipos. Assim, quanto menor o número de pavimentos, menor o impacto relativo do autossombreamento, o que se reflete em níveis mais elevados de irradiação anual incidente nos dispositivos.

Tabela 4.14: Perda da irradiação solar incidente nos PVSDs pelo sombreamento do entorno, em Belém.

BELÉM (Lat.: -1°27'): PERDA (%) DA IRRADIAÇÃO SOLAR NO ANTEPARO PELO SOMBREAMENTO DO ENTORNO												
Nº PAV	ÂNGULO	PERDA EM PERCENTUAL (%) PELO SOMBREAMENTO DO ENTORNO										
NORTE:	3	10°	8%	4%	3%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	0%
	6	10°	17%	15%	11%	8%	6%	5%	4%	3%	2%	2%
	9	10°	14%	16%	18%	14%	11%	9%	7%	5%	4%	4%
	12	10°	14%	16%	17%	18%	16%	13%	11%	8%	7%	6%
	15	15°	11%	14%	16%	17%	18%	18%	14%	12%	10%	8%
	18	5°	12%	15%	16%	18%	18%	19%	18%	15%	12%	10%
Maior perda: 19% em 18 pav. e 24 m de afastamento												
SUL:	3	10°	9%	5%	3%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%
	6	5°	13%	14%	10%	7%	5%	4%	3%	3%	2%	2%
	9	5°	13%	16%	16%	13%	10%	8%	7%	5%	4%	3%
	12	10°	12%	15%	17%	18%	16%	13%	10%	8%	7%	6%
	15	5°	12%	15%	18%	19%	19%	18%	14%	11%	10%	8%
	18	5°	13%	14%	15%	17%	18%	19%	18%	14%	12%	10%
Maior perda: 19% em 18 pav. e 24 m de afastamento												
LESTE	3	10°	12%	6%	4%	2%	2%	2%	1%	1%	0%	0%
	6	10°	21%	18%	14%	9%	7%	5%	4%	3%	3%	2%
	9	5°	17%	20%	20%	16%	12%	9%	7%	5%	4%	3%
	12	5°	19%	18%	19%	19%	17%	13%	10%	8%	7%	6%
	15	5°	15%	21%	21%	20%	20%	18%	14%	11%	9%	8%
	18	5°	17%	17%	21%	21%	20%	20%	18%	14%	12%	10%
Maior perda: 21% em 18 pav. e 15 m de afastamento												
OESTE	3	10°	15%	8%	6%	3%	3%	2%	1%	1%	1%	1%
	6	10°	19%	20%	15%	10%	8%	6%	5%	4%	3%	2%
	9	10°	20%	22%	22%	18%	14%	11%	9%	7%	6%	4%
	12	10°	15%	19%	21%	22%	19%	15%	12%	10%	8%	7%
	15	10°	19%	20%	21%	22%	23%	20%	16%	13%	11%	10%
	18	10°	18%	18%	22%	21%	23%	23%	20%	16%	14%	12%
Maior perda: 23% em 18 pav. e 21 m de afastamento												
			6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
Afastamento entre edifícios (m)												

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, foram calculadas as perdas percentuais de irradiação solar em cada cenário com entorno, em comparação aos respectivos cenários sem entorno. As Tabela 4.14 a Tabela 4.16 sintetizam essas perdas relativas, permitindo uma análise quantitativa mais precisa do

impacto do sombreamento urbano sobre a eficiência potencial dos sistemas fotovoltaicos integrados às fachadas.

Tabela 4.15: Perda da irradiação solar incidente nos PVSDs pelo sombreamento do entorno, em Brasília.

BRASÍLIA (Lat.: -15°47'): PERDA (%) DA IRRADIAÇÃO SOLAR NO ANTEPARO PELO SOMBREAMENTO DO ENTORNO												
NºPAV	ÂNGULO	PERDA EM PERCENTUAL (%) PELO SOMBREAMENTO DO ENTORNO										
NORTE:	3	30°	Maior perda: 26% em 18 pav. e 21 m de afastamento									
	6	30°	18%	8%	6%	4%	3%	3%	2%	1%	1%	1%
	9	30°	19%	21%	17%	11%	8%	7%	5%	4%	3%	3%
	12	30°	18%	21%	23%	21%	16%	12%	10%	8%	6%	5%
	15	30°	18%	22%	24%	24%	23%	20%	16%	12%	10%	8%
	18	30°	14%	19%	23%	24%	25%	25%	22%	18%	14%	11%
SUL:	3	5°	18%	20%	22%	24%	25%	26%	26%	23%	19%	15%
	6	5°	8%	5%	3%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	0%
	9	5°	18%	13%	10%	7%	5%	4%	3%	3%	2%	2%
	12	5°	18%	18%	17%	13%	10%	8%	6%	5%	4%	3%
	15	5°	19%	20%	21%	18%	16%	13%	10%	8%	7%	6%
	18	5°	16%	19%	21%	20%	19%	17%	14%	11%	10%	8%
LESTE	3	10°	17%	18%	19%	19%	19%	19%	18%	14%	12%	11%
	6	5°	Maior perda: 21% em 12 pav. e 12 m de afastamento									
	9	5°	13%	6%	4%	2%	2%	2%	1%	1%	0%	0%
	12	5°	22%	20%	14%	9%	6%	5%	4%	3%	2%	2%
	15	5°	20%	22%	22%	17%	13%	9%	7%	6%	4%	3%
	18	5°	21%	20%	21%	21%	19%	14%	11%	9%	7%	6%
OESTE	3	10°	19%	23%	22%	22%	22%	20%	16%	13%	11%	9%
	6	10°	20%	20%	22%	23%	22%	22%	20%	17%	14%	12%
	9	10°	Maior perda: 23% em 15 pav. e 9 m de afastamento									
	12	10°	15%	9%	6%	3%	3%	2%	1%	1%	1%	1%
	15	10°	21%	21%	16%	11%	8%	6%	5%	4%	3%	3%
	18	10°	22%	24%	24%	20%	15%	12%	9%	7%	6%	5%
			6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
			Afastamento entre edifícios (m)									

Fonte: Autoria própria.

De modo geral, os resultados indicam que o sombreamento do entorno exerce influência relevante sobre a disponibilidade de irradiação solar incidente nos anteparos. O estudo de Di Vincenzo, Kesten e Infield (2010), também chega a conclusão semelhante, ao analisar o desempenho de PVSDs aplicados em fachadas sul no hemisfério norte, porém, em latitude bastante superior: 48°46'N (Stuttgart, Alemanha), alcançando reduções de geração de energia bastante expressivas, próximas a 50%, em razão da presença de edifícios adjacentes.

Observa-se uma tendência nas três localidades avaliadas, de que a perda percentual de irradiação diminui à medida que se amplia o afastamento entre edificações, sobretudo nos edifícios de menor altura, independentemente da orientação solar. O afastamento progressivo entre os edifícios mitiga os efeitos do sombreamento, mas na maioria dos casos não os elimina totalmente, sendo o afastamento máximo simulado (33 metros) insuficiente para atingir os valores de irradiação sem entorno, especialmente nos cenários de edifícios mais altos.

Tabela 4.16: Perda da irradiação solar incidente nos PVSDs pelo sombreamento do entorno, em Porto Alegre.

PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1'): PERDA (%) DA IRRADIAÇÃO SOLAR NO ANTEPARO PELO SOMBREAMENTO DO ENTORNO												
NºPAV	ÂNGULO	PERDA EM PERCENTUAL (%) PELO SOMBREAMENTO DO ENTORNO										
NORTE: 	3	30°	Maior perda: 25% em 18 pav. e 24 m de afastamento									
	6	30°	19%	13%	8%	5%	4%	3%	2%	2%	1%	1%
	9	30°	20%	23%	19%	15%	12%	9%	7%	6%	5%	4%
	12	30°	20%	23%	22%	22%	19%	16%	13%	10%	8%	6%
	15	30°	20%	25%	23%	23%	23%	21%	19%	16%	13%	11%
	18	30°	16%	22%	21%	23%	24%	24%	22%	20%	18%	15%
SUL: 	3	5°	Maior perda: 13% em 18 pav. e 30 m de afastamento									
	6	5°	9%	5%	4%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%
	9	5°	10%	11%	10%	8%	6%	5%	4%	3%	2%	2%
	12	5°	10%	12%	12%	11%	10%	9%	7%	6%	5%	4%
	15	5°	11%	12%	13%	13%	13%	12%	11%	10%	8%	7%
	18	5°	8%	10%	11%	13%	13%	14%	14%	12%	11%	10%
LESTE: 	3	10°	Maior perda: 18% em 18 pav. e 24 m de afastamento									
	6	10°	14%	9%	6%	3%	2%	2%	1%	1%	1%	1%
	9	10°	15%	18%	16%	12%	9%	7%	5%	4%	4%	3%
	12	5°	15%	15%	17%	17%	16%	13%	10%	8%	6%	5%
	15	10°	17%	16%	16%	16%	17%	17%	15%	13%	11%	9%
	18	15°	11%	14%	16%	16%	17%	18%	18%	16%	15%	13%
OESTE: 	3	5°	Maior perda: 19% em 18 pav. e 24 m de afastamento									
	6	5°	14%	15%	15%	16%	18%	18%	18%	18%	18%	16%
	9	10°	16%	9%	6%	3%	3%	2%	1%	1%	1%	1%
	12	5°	15%	14%	15%	11%	8%	6%	5%	3%	3%	2%
	15	5°	13%	15%	16%	16%	15%	12%	10%	7%	6%	5%
	18	10°	12%	14%	16%	17%	17%	16%	15%	12%	10%	8%
			6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
			Afastamento entre edifícios (m)									

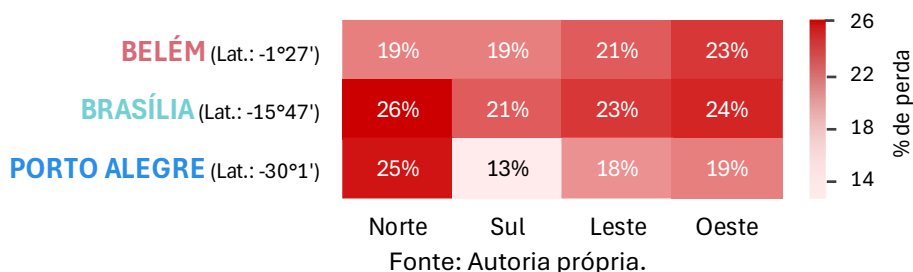
Fonte: Autoria própria.

Os edifícios mais altos apresentam perdas relativas mais elevadas, uma vez que a contribuição da última fileira de PVSDs torna-se menor com o aumento do número de

pavimentos. Em cenários de edificações mais baixas, essa fileira mais exposta representa parcela significativa da superfície de captação, o que explica as perdas percentuais mais modestas e que se reduzem mais rapidamente com o aumento do afastamento.

O gráfico de calor (*heat map*) apresentado na demonstra as perdas máximas (pior caso) para cada cidade e orientação solar. Verifica-se que, em Brasília e Porto Alegre, os percentuais de perda mais expressivos se concentram na fachada norte. Em contraste, em Belém, os maiores impactos foram observados nas fachadas Leste e Oeste, mais vulneráveis ao sombreamento lateral.

Figura 4.6: Gráfico de calor (*heat map*) da perda máxima de irradiação solar pelo sombreamento do entorno, por orientação e cidade avaliada.



O pior cenário geral foi identificado em Brasília, com perda máxima de 26% na orientação Norte, em edifício de 18 pavimentos e afastamento de 21 metros. As orientações Leste e Oeste também apresentaram perdas elevadas, com máximas de 23% e 24%, respectivamente. Em Porto Alegre, a maior perda registrada foi de 25%, também na orientação Norte, para edifício de 18 pavimentos e afastamento de 24 metros. Na orientação Sul, cuja incidência solar direta é mais limitada, as perdas foram mais discretas, sendo a máxima de 13%, mesmo em edifício alto, indicando que essa orientação é menos afetada pelo sombreamento do entorno.

Em Belém, cidade de baixa latitude, de modo geral, as perdas foram menores e apresentaram menores variações entre as orientações. A maior perda foi de 23% na orientação Oeste, seguida da orientação Leste com 21%. As orientações Norte e Sul apresentaram perdas máximas equivalentes, de 19%. Ainda assim, as perdas em Belém tendem a decair mais rapidamente com o aumento do afastamento, sugerindo uma maior eficiência na recuperação da irradiação, em função da elevada altura solar ao longo do ano.

Comparando as três cidades, nota-se que Brasília foi a localidade mais sensível ao sombreamento urbano, com os maiores percentuais de perda, alcançando uma média de 13%, contrariando a hipótese inicial de que locais de maior latitude sofreriam perdas mais

expressivas. Essa diferença pode ser explicada pela predominância de irradiação direta, componente mais sensível ao sombreamento. Brasília apresenta irradiação direta normal mais elevada no período entre maio e outubro, quando a altura solar está mais baixa (Figura 4.3). Porto Alegre apresentou perdas intermediárias, com média de 12%, onde destaca-se a orientação Norte, em edifícios mais altos. Embora a latitude seja maior, sugere-se que a maior participação relativa da irradiação difusa em Porto Alegre torna o impacto do entorno menos pronunciado, reduzindo a perda percentual observada. Belém, por sua vez, foi a cidade com as menores perdas absolutas, alcançando uma média de 11%. Além de contar com altura solar mais elevada ao longo do ano, possui maior nebulosidade (Figura 4.2), minimizando a sensibilidade ao sombreamento provocado pelo entorno. Esse comportamento evidencia uma possível vantagem de regiões de baixa latitude para a adoção de sistemas fotovoltaicos em fachadas.

Por fim, nota-se que, embora existam variações entre as cidades em função das latitudes e características climáticas específicas, o comportamento geral das perdas é bastante semelhante. Os resultados reforçam a necessidade de considerar o contexto urbano na viabilidade de soluções fotovoltaicas integradas à fachada, corroborando com as constatações de Freitas e Brito (2019) e Gholami, Nils Røstvik e Steemers (2021). Projetos que não levem em conta o sombreamento do entorno tendem a superestimar a geração de energia.

4.2.3 AUTOSSOMBREAMENTO NOS PVSDS

Para compreender o impacto causado exclusivamente pelo autossombreamento dos anteparos, em razão da sua disposição sequencial, a partir das simulações sem o entorno urbano, foram comparados os resultados da irradiação solar incidente no anteparo mais alto, localizado no último pavimento e, portanto, desprovido de sombreamento superior, com a irradiação solar incidente no anteparo intermediário, que sofre influência da sombra projetada pelo anteparo imediatamente acima.

As Figura 4.7, Figura 4.8 e Figura 4.9 sintetizam os resultados dessa análise para cada orientação solar e para as três cidades avaliadas. Observa-se que o autossombreamento provoca perdas médias na ordem de 18% a 20% na irradiação solar disponível nos anteparos. Apesar de relativamente semelhantes, essas perdas apresentaram variações coerentes com a latitude de cada localidade.

Figura 4.7: Influência do autossombreamento no anteparo (PVSD) em Belém.

BELÉM (Lat.: -1°27'): INFLUÊNCIA DO AUTOSOMBREAMENTO NO ANTEPAROIrradiação Global Horizontal (GHI): **1.873 kWh/m².ano** (arquivo climático)

Orientação	Ângulo (°)	Irradiação (kWh/m ² .ano) sem autossombreamento	Irradiação (kWh/m ² .ano) com autossombreamento	Perda (%) pelo autossombreamento:
NORTE	10°	1.830,44	1.460,81	20%
SUL	5°	1.832,71	1.428,11	22%
LESTE	5°	1.830,22	1.481,53	19%
OESTE	10°	1.836,57	1.494,37	19%
Médias:		1.832,49	1.466,20	20%

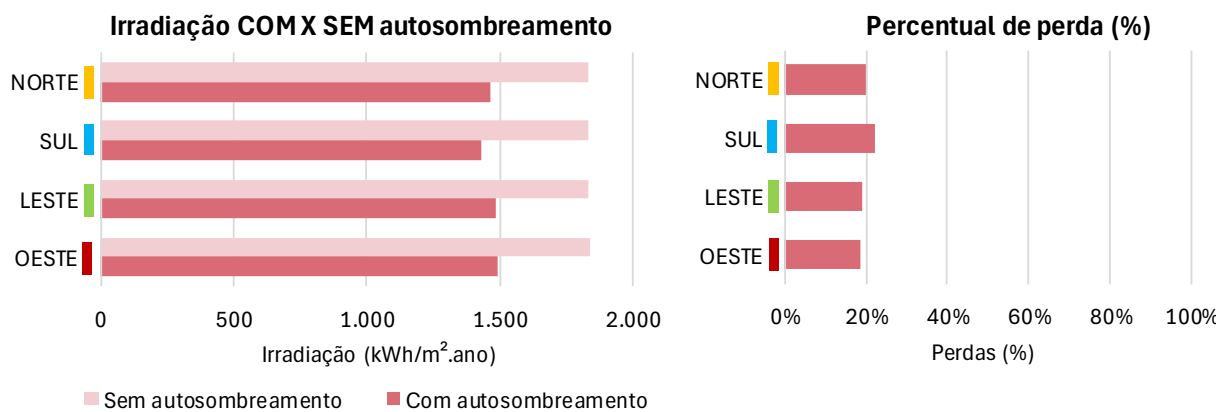


Figura 4.8: Influência do autossombreamento no anteparo (PVSD) em Brasília.

BRASÍLIA (Lat.: -15°47'): INFLUÊNCIA DO AUTOSOMBREAMENTO NO ANTEPAROIrradiação Global Horizontal (GHI): **2.046 kWh/m².ano** (arquivo climático)

Orientação	Ângulo (°)	Irradiação (kWh/m ² .ano) sem autossombreamento	Irradiação (kWh/m ² .ano) com autossombreamento	Perda (%) pelo autossombreamento:
NORTE	30°	2.062,48	1.712,42	17%
SUL	5°	1.956,99	1.461,78	25%
LESTE	5°	1.976,47	1.644,47	17%
OESTE	5°	2.008,99	1.639,95	18%
Médias:		2.001,23	1.614,66	19%

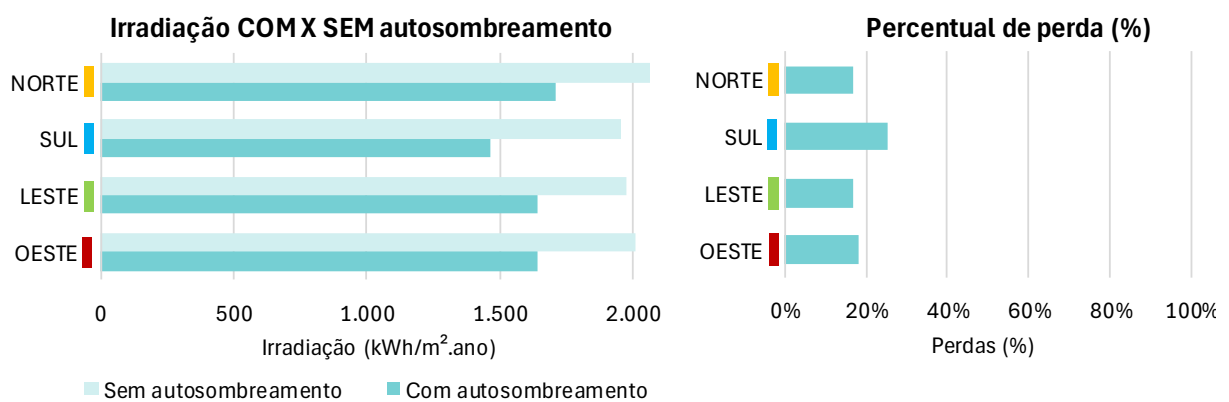
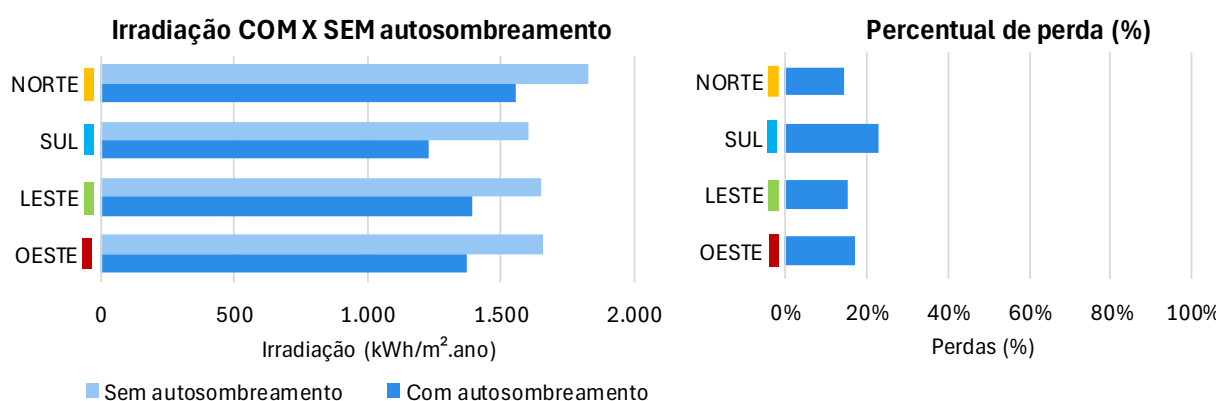


Figura 4.9: Influência do autossombreamento no anteparo (PVSD) em Porto Alegre.

PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1'): INFLUÊNCIA DO AUTOSSOMBREAMENTO NO ANTEPAROIrradiação Global Horizontal (GHI): **1.695 kWh/m².ano** (arquivo climático)

Orientação	Ângulo (°)	Irradiação (kWh/m ² .ano) sem autossombreamento	Irradiação (kWh/m ² .ano) com autossombreamento	Perda (%) pelo autossombreamento:
NORTE	30°	1.826	1.559	15%
SUL	5°	1.601	1.230	23%
LESTE	10°	1.650	1.392	16%
OESTE	5°	1.657	1.374	17%
Médias:		1.683,29	1.388,92	18%

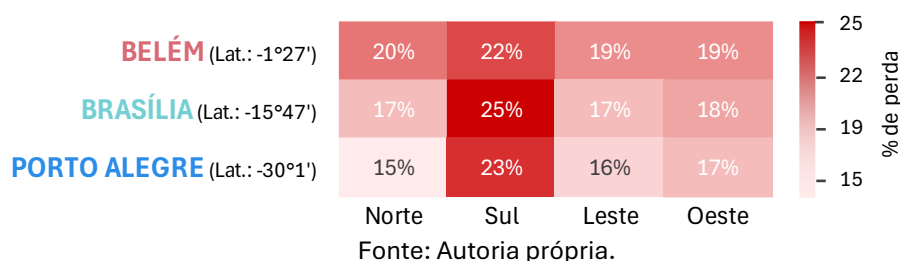


Em Belém (latitude: -1°27'), a perda média foi a mais elevada, atingindo 20%, resultado justificado pela maior altura solar durante o ano, que intensifica o sombreamento projetado na direção vertical. Brasília (latitude: -15°47') apresentou perda intermediária, de 19,4%, enquanto Porto Alegre (latitude: -30°1') apresentou a menor perda média, de 17,6%, evidenciando que, em latitudes mais altas, a trajetória solar mais inclinada ao longo do ano tende a reduzir o sombreamento vertical entre os anteparos. Esse comportamento corrobora com a pesquisa de Nicoletti, Cucumo e Arcuri (2023) que, ao investigarem persianas fotovoltaicas, identificaram que o desempenho do sistema é altamente sensível ao autossombreamento, sendo o espaçamento entre lâminas mais determinante que o ângulo das persianas para mitigar perdas.

O gráfico de calor (heat map) apresentado na Figura 4.10 demonstra as perdas de irradiação solar pelo autossombreamento para cada cidade e orientação solar. A análise por orientação revela que, de modo consistente, a orientação sul foi a que apresentou as maiores perdas, demonstrando-se mais sensível ao efeito do autossombreamento. Infere-se que esse comportamento seja explicado pelo fato de que, no hemisfério sul, a irradiação incidente nas fachadas voltadas para o sul provém predominantemente de ângulos altos, mais próximo do zênite. Assim, como o sombreamento vertical entre fileiras de PVSDs bloqueia de forma mais

direta essa parcela de irradiação, somado ao fato desta orientação já possuir menor disponibilidade de irradiação, o resultado reflete uma maior perda relativa.

Figura 4.10: Gráfico de calor (*heatmap*) da perda de irradiação solar pelo autossombreamento, por orientação e cidade avaliada.



Cabe destacar que esse comportamento se contrapõe ao padrão observado para o sombreamento gerado pelo entorno urbano. Conforme discutido no tópico anterior, a orientação sul foi a menos afetada pela obstrução do entorno. Isso corrobora com a hipótese acima, pois o entorno urbano, ao contrário do PVSD, oferece barreira para irradiação solar proveniente de ângulos mais baixos, incidentes em menor proporção na fachada sul. Essa constatação é respaldada pela análise do domo de irradiação apresentado para cada cidade no Capítulo 4.1, na Figura 4.4, que demonstra a distribuição da irradiação solar global sobre uma hemisfera.

A orientação norte foi a que mostrou maior sensibilidade à latitude. Em Porto Alegre, foi registrada a menor perda, seguido de Brasília e Belém, indicando que em latitudes mais elevadas, a menor altura solar reduz a projeção de sombras verticais sobre os anteparos. Estes achados dialogam com o estudo de Skandalos e Karamanis (2021), que quantificaram o autossombreamento em fachada sul (hemisfério norte) e observaram uma tendência de aumento à medida que a latitude diminui, em função da maior altura solar: cerca de 6% de área sombreada em Praga (50°N), 9,4% em Atenas (38°N) e 15% em Dubai (25°N). Este último, cuja latitude mais se aproxima à Porto Alegre, resultou em perdas semelhantes para a orientação norte desta cidade, reforçando a coerência da relação com a latitude.

Já as orientações leste e oeste apresentaram perdas intermediárias e relativamente equilibradas, o que pode ser atribuído à variação do ângulo solar ao longo do dia: o deslocamento do sol de leste para oeste expõe os anteparos a diferentes ângulos de incidência, mitigando parcialmente a persistência do sombreamento vertical. Destaca-se que, mesmo para estas orientações, foi possível perceber a influência da latitude, uma vez que as perdas foram maiores em Belém, seguido de Brasília e Porto Alegre.

Estes padrões diferem do estudo de Asfour (2018), que encontrou perdas pelo autossombreamento mais severas na fachada sul no hemisfério norte (24°N). De acordo com essa pesquisa, o efeito foi menos expressivo nas fachadas leste e oeste, podendo ser parcialmente mitigado com o aumento da inclinação das lâminas fotovoltaicas. Cabe destacar que Asfour não considerou a aplicação de PVSDs na fachada norte, que de modo análogo aos resultados da presente pesquisa, seria a mais afetada no hemisfério norte.

Em síntese, os resultados confirmam que o autossombreamento é um fenômeno geométrico relevante. Esse entendimento reforça a importância de avaliar cuidadosamente, ainda na etapa de concepção de projeto, o espaçamento vertical e a profundidade dos anteparos, para cada orientação solar, de modo a otimizar o balanço entre sombreamento e geração fotovoltaica. Para isso, recomenda-se o desenvolvimento de análises multiobjetivo que integrem esses critérios geométricos do PVSD e considerem simultaneamente os benefícios da redução de carga térmica e maximização da geração de energia renovável.

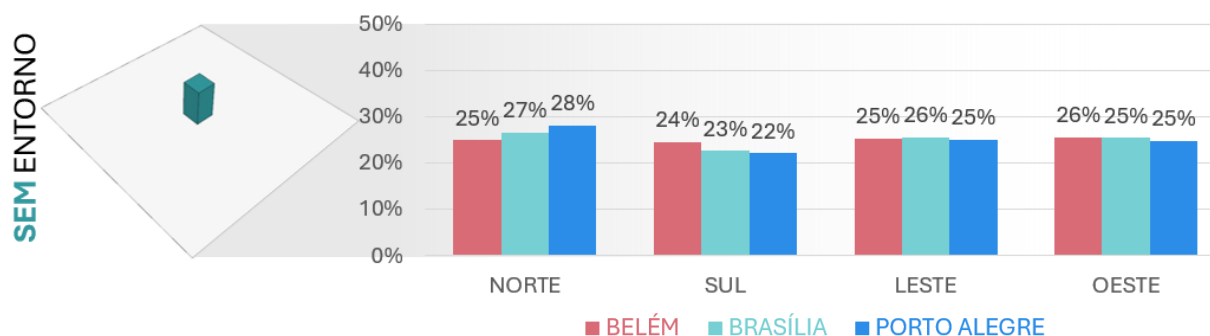
4.2.4 DISPONIBILIDADE DA IRRADIAÇÃO SOLAR POR ORIENTAÇÃO

A Tabela 4.17 apresenta a distribuição percentual da disponibilidade de irradiação solar incidente nas quatro orientações cardeais (Norte, Leste, Sul e Oeste), para as três cidades avaliadas, considerando o cenário sem entorno. Esta análise permite compreender de forma comparativa como a disponibilidade solar se distribui entre fachadas do edifício em razão das variações da trajetória solar e latitude local. Cabe destacar, porém, que nesta análise foram considerados os resultados de irradiação do anteparo com autossombreamento, posicionados nos respectivos ângulos adotados em cada orientação, para cada cidade. Portanto, a condição de comparação não é equivalente entre as orientações e cidades.

Observa-se que os percentuais foram muito semelhantes, em todas as orientações. Em Belém (lat. -1°27'), a distribuição foi quase uniforme, com percentuais variando entre 24,4% (Sul) e 25,5% (Oeste). A leve predominância da irradiação solar anual incidente na orientação oeste de Belém também foi identificada por Custódio *et al.* (2022). Esta homogeneidade reflete a elevada trajetória solar ao longo do ano, o que explica o potencial semelhante de aproveitamento solar em todas as orientações e, portanto, amplia a flexibilidade de aplicação dos PVSDs em baixas latitudes.

Tabela 4.17: Disponibilidade relativa (%) da irradiação solar por orientação, sem entorno.

SEM ENTORNO	BELÉM	BRASÍLIA	PORTO ALEGRE
NORTE	24,9%	26,5%	28,1%
LESTE	25,3%	25,5%	25,1%
SUL	24,4%	22,6%	22,1%
OESTE	25,5%	25,4%	24,7%



Fonte: Autoria própria.

Em Brasília (lat. $-15^{\circ}47'$), nota-se uma leve assimetria na distribuição da irradiação entre as orientações. A fachada Norte concentra 26,5% da irradiação total, confirmando sua relevância em latitude intermediária, enquanto a fachada Sul apresenta a menor contribuição relativa (22,6%), uma vez que recebe menor incidência direta ao longo do ano. As orientações Leste e Oeste mantêm percentuais semelhantes, em torno de 25,4% a 25,5%.

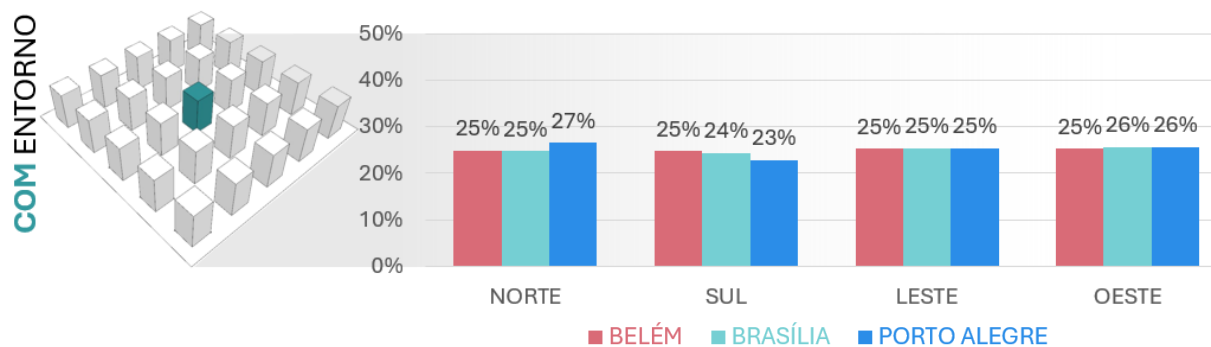
Em Porto Alegre (lat. $-30^{\circ}1'$), verifica-se uma concentração ainda mais pronunciada da irradiação na orientação Norte, que responde por 28,1% da irradiação total, sendo este o maior valor relativo entre todas as combinações avaliadas. A orientação Sul permanece como a de menor contribuição relativa (22,1%) e as orientações Leste e Oeste exibem participação intermediária e equilibrada (24,7% e 25,1%, respectivamente).

Esses dados demonstram que a distribuição percentual da irradiação solar por orientação é sensível à latitude, apresentando um deslocamento crescente da contribuição para a fachada norte conforme aumenta a latitude no hemisfério sul. Em contrapartida, em zonas de baixa latitude, como Belém, as orientações tendem a apresentar uma contribuição praticamente uniforme, reforçando a flexibilidade geométrica para implantação de PVSDs em todas as fachadas do edifício.

A Tabela 4.18 apresenta o percentual da disponibilidade de irradiação solar de cada orientação dos cenários com entorno urbano, considerando a média de todos as configurações de cenários.

Tabela 4.18: Disponibilidade relativa média (%) da irradiação solar por orientação, com entorno.

COM ENTORNO	BELÉM	BRASÍLIA	PORTO ALEGRE
NORTE	24,9%	24,7%	26,5%
LESTE	25,2%	25,5%	25,4%
SUL	24,7%	24,4%	22,7%
OESTE	25,2%	25,4%	25,5%



Fonte: Autoria própria.

A comparação entre as Tabela 4.17 (cenário sem entorno) e Tabela 4.18 (cenário com entorno) demonstra padrões distintos de sensibilidade à obstrução urbana entre Belém, Brasília e Porto Alegre. Em Belém, a distribuição relativa da irradiação entre as quatro orientações permanece praticamente inalterada com a introdução do entorno, indicando que a elevada altura solar característica da região equatorial reduz o impacto do sombreamento lateral na modulação da disponibilidade solar ao longo do ano. Nos casos de Brasília e Porto Alegre, contudo, o efeito do entorno é mais perceptível. Em ambas as cidades, verifica-se uma redução da participação relativa da fachada norte e um aumento da contribuição da fachada sul quando o entorno é considerado. Entende-se que a menor altura solar em latitudes mais elevadas intensifica o sombreamento das fachadas voltadas ao norte, ao passo que a fachada sul passa a receber maior parcela de irradiação direta em altura solar elevada (próxima ao zênite), sobretudo no verão.

As fachadas leste e oeste, por sua vez, apresentam contribuições que se mantêm praticamente constantes entre os dois cenários nas três cidades avaliadas. Infere-se que a incidência solar captada por PVSDs nessas orientações, que está mais relacionada à trajetória diária do sol, é menos sensível ao aumento da densidade edificada.

Essa constatação contrasta com estudos sobre BIPV aplicados diretamente em fachadas verticais. Rostami, Nasrollahi e Khodakarami (2024) concluíram que as fachadas leste e oeste, cuja insolação ocorre em ângulos de menor altura solar, são mais sensíveis à morfologia

urbana. Isso pressupõe que, para BIPV em superfícies verticais, a presença de obstruções laterais tende a modular a captação solar de forma mais pronunciada do que observado em PVSDs, demonstrando que, nesta configuração, a captação que ocorre majoritariamente em planos horizontais ou levemente inclinados, reduz o impacto do sombreamento lateral decorrente do entorno urbano.

Nesse estudo, a fachada voltada para o equador concentrou 39% da irradiação anual incidente, enquanto a fachada oposta recebeu apenas 11% e as fachadas leste e oeste apresentaram contribuições equilibradas, de aproximadamente 25% cada (Rostami; Nasrollahi; Khodakarami, 2024). Portanto, mesmo que a influência da obstrução tenha sido mais evidente nas fachadas leste e oeste, a contribuição relativa dessas fachadas se mostrou semelhante aos resultados da presente pesquisa.

Os achados de Didoné (2014) sobre BIPV instalados nas superfícies verticais das fachadas reforçam essa diferença entre sistemas e a relação com a latitude. A autora observou, na ausência de entorno urbano, fachadas leste e oeste apresentaram maior potencial de geração em regiões tropicais (Fortaleza), alcançando valores cerca de 30% superiores aos das demais orientações, com destaque para a fachada oeste. Em regiões subtropicais (Florianópolis), a fachada norte se destacou como a mais favorável para captação, comportamento coerente com a maior inclinação solar nessas latitudes.

Assim, ao confrontar os resultados desta presente pesquisa com a literatura, torna-se evidente que PVSDs e BIPVs verticais respondem de forma distinta à latitude e à obstrução urbana. Esta pesquisa demonstra que os PVSDs apresentam maior estabilidade na distribuição da irradiação entre as orientações, mesmo em cenários com obstrução do entorno.

Ao analisar os percentuais de perdas de irradiação em relação à melhor orientação, comparando os cenários sem autossombreamento versus com autossombreamento, conforme apresentado na Tabela 4.19, observa-se que o efeito do autossombreamento é fortemente modulado pela latitude, intensificando-se à medida que a localização se afasta do equador. Belém reflete uma distribuição praticamente uniforme, enquanto Porto Alegre exibe maior discrepância entre as orientações.

Tabela 4.19: Percentual de perda da irradiação solar em relação à melhor orientação solar – comparativo entre cenários “sem autossombreamento” versus “com autossombreamento”, em cada cidade.

		BELÉM		BRASÍLIA		PORTO ALEGRE	
		sem	x com	sem	x com	sem	x com
	NORTE	0,3%	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	LESTE	0,3%	0,9%	4,2%	4,0%	9,6%	10,7%
	SUL	0,2%	4,4%	5,1%	14,6%	12,3%	21,1%
	OESTE	0,0%	0,0%	2,6%	4,2%	9,3%	11,8%

Fonte: Autoria própria.

Enquanto Boxwell (2017) sugere perdas médias de cerca de 20% para superfícies orientadas a leste ou oeste, tomando como referência a orientação ideal voltada para o equador, os resultados obtidos neste estudo indicam perdas significativamente menores, mesmo quando analisados os anteparos sem autossombreamento, e com forte dependência da latitude. Em Belém ($-1^{\circ}27'$), as perdas relativas foram muito inferiores aos valores de Boxwell, devido à distribuição quase uniforme da irradiação ao longo das orientações. Em Brasília ($-15^{\circ}47'$) e Porto Alegre ($-30^{\circ}1'$), ainda que se observe maior discrepância entre fachadas, os valores encontrados também permanecem abaixo dos 20% previstos por Boxwell. Essa discrepância é ainda mais evidente para a orientação oposta ao ideal. Boxwell indica uma perda estimada de 40% em orientação contrária à ótima (sul no hemisfério norte; norte no hemisfério sul). No entanto, mesmo no contexto de maior latitude desta pesquisa (Porto Alegre, com 30°S), os valores encontrados foram inferiores, tanto no cenário sem autossombreamento (máximo de 12,3%) quanto no cenário com autossombreamento (máximo de 21,1%). Portanto, os valores médios genéricos para latitudes médias do hemisfério norte estimados por Boxwell não refletem as condições de irradiação de regiões tropicais e subtropicais do contexto brasileiro.

Esses resultados reforçam a importância de considerar a orientação solar no dimensionamento de PVSDs. Fortalecendo as diretrizes de Martín Chivelet, Kapsis e Frontini (2024), entende-se que a definição da profundidade, do ângulo de inclinação e do espaçamento entre fileiras necessita ser conduzida a partir de análises de irradiação fundamentadas em simulações computacionais, capazes de refletir o comportamento real da trajetória solar para cada localidade. Considerar simultaneamente o clima, a geometria e orientação do edifício, bem como a presença de sombreamentos do entorno, é essencial para garantir que os PVSDs alcancem um desempenho otimizado. Assim, o processo projetual deve integrar a avaliação solar às decisões arquitetônicas, assegurando que a solução adotada maximize a captação de energia ao mesmo tempo em que atende às demandas estéticas, funcionais e de eficiência energética da edificação.

4.2.5 INCLINAÇÃO E AFASTAMENTO IDEAIS PARA OS MÓDULOS PVS NA COBERTURA

Para definir a condição ideal de instalação de módulos fotovoltaicos (PVs) na cobertura que maximiza a produção de energia, foram analisadas combinações de ângulos de inclinação dos módulos e afastamentos entre fileiras, visando minimizar o sombreamento mútuo.

A Tabela 4.20 apresenta, a título de exemplificação, um recorte dos resultados obtidos para as três cidades avaliadas (Belém, Brasília e Porto Alegre), destacando o agrupamento de ângulos testados para a condição de menor afastamento entre fileiras, isto é, uma configuração em que a distância entre fileiras é igual ao comprimento da própria fileira. Essa configuração equivale, na prática, a um afastamento zero entre fileiras adjacentes, maximizando o aproveitamento da área útil disponível na cobertura. Os resultados completos, referentes aos 105 cenários simulados para cada cidade, encontram-se disponíveis no Apêndice 1 - , para consulta detalhada.

Tabela 4.20: Recorte de resultados da análise de irradiação incidente nos módulos fotovoltaicos (PVs) na cobertura, para cada cidade avaliada.

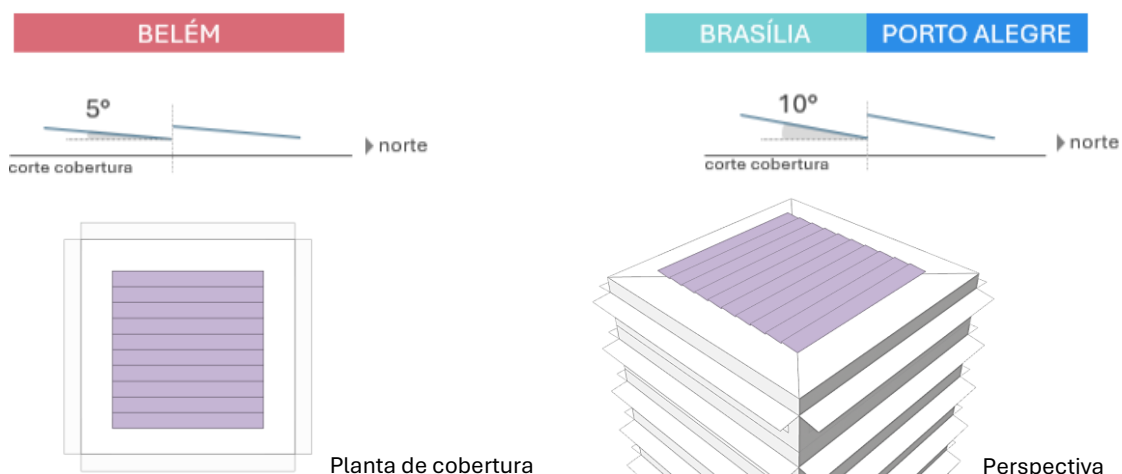
RESULTADOS - PVs NA COBERTURA - CENÁRIO ADOTADO: 9PAV. E 18M AFASTAMENTO							
PV Cobertura Inclinação p/ Norte (°)	PV Afastamento (m)	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total PV (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
BELÉM (Lat.: -1°27')							
5°	1,1	214.873	100%	1.841,67	117	117	100%
10°	1,1	212.163	99%	1.818,45	117	117	100%
15°	1,1	206.699	96%	1.771,61	117	117	100%
20°	1,1	198.770	93%	1.703,65	117	117	100%
25°	1,1	189.934	88%	1.627,92	117	117	100%
30°	1,1	181.109	84%	1.552,29	117	117	100%
35°	1,1	171.598	80%	1.470,76	117	117	100%
BRASÍLIA (Lat.: -15°47')							
5°	1,1	238.944	99%	2.047,99	117	117	100%
10°	1,1	240.628	100%	2.062,42	117	117	100%
15°	1,1	238.387	99%	2.043,22	117	117	100%
20°	1,1	229.627	95%	1.968,13	117	117	100%
25°	1,1	221.071	92%	1.894,80	117	117	100%
30°	1,1	209.775	87%	1.797,98	117	117	100%
35°	1,1	202.956	84%	1.739,54	117	117	100%
PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1')							
5°	1,1	200.095	98%	1.715,01	117	117	100%
10°	1,1	203.333	100%	1.742,76	117	117	100%
15°	1,1	199.771	98%	1.712,24	117	117	100%
20°	1,1	190.965	94%	1.636,76	117	117	100%
25°	1,1	186.737	92%	1.600,52	117	117	100%
30°	1,1	181.026	89%	1.551,57	117	117	100%
35°	1,1	176.722	87%	1.514,68	117	117	100%

Fonte: Autoria própria.

A análise evidencia que, para as três localidades, a configuração com menor afastamento entre fileiras resultou na maior disponibilidade de irradiação solar incidente, justamente por otimizar a ocupação da superfície de cobertura com módulos PVs. O aumento do afastamento entre fileiras, embora diminua o sombreamento mútuo, implica em menor densidade de módulos instalados, o que reduziu o potencial total de geração fotovoltaica por área disponível.

Quanto ao ângulo de inclinação, verifica-se que os melhores resultados de irradiação foram obtidos com ângulos relativamente baixos: 5° para Belém (lat. -1°27') e 10° para Brasília (lat. -15°47') e Porto Alegre (lat. -30°1') (Figura 4.11). Portanto, mesmo em latitudes mais elevadas, como Porto Alegre (lat. -30°1'), a configuração ótima para maximizar a produção de energia em coberturas resultou no afastamento mínimo para o melhor aproveitamento da área e ângulo de baixa inclinação para minimizar a projeção de sombra de uma fileira sobre a seguinte.

Figura 4.11: Representação gráfica do arranjo de módulos PV otimizados na cobertura.



Fonte: Autoria própria.

Portanto, esse resultado diverge da clássica regra geral que recomenda inclinação equivalente à latitude geográfica local para maximização da produção energética anual (Martín Chivelet; Kapsis; Frontini, 2024). Assim, no contexto da presente pesquisa, embora ângulos maiores possam aumentar a produção por módulo individual, as configurações de baixa inclinação mostraram-se superiores quando o objetivo é maximizar a produção global do sistema, dada a limitação física da área de cobertura e a necessidade de minimizar o autossombreamento entre fileiras.

A partir dos resultados, definiram-se as condições otimizadas para cada cidade avaliada, conforme apresentado na Tabela 4.21:

Tabela 4.21: Ângulos de inclinação e afastamentos otimizados para instalação de PVs na cobertura.

INCLINAÇÕES E AFASTAMENTOS IDEAIS PARA PV EM COBERTURA			
Orientação	Inclinações otimizadas	Afastamentos otimizados	Descrição dos conjuntos de cenários
BELÉM (BEL) Lat.: -1°27'			
Norte	5°	1,10m	Todos os cenários avaliados
BRASÍLIA (BSB) Lat.: -15°47'			
Norte	10°	1,10m	Todos os cenários avaliados
PORTO ALEGRE (POA) Lat.: -30°1'			
Norte	10°	1,10m	Todos os cenários avaliados

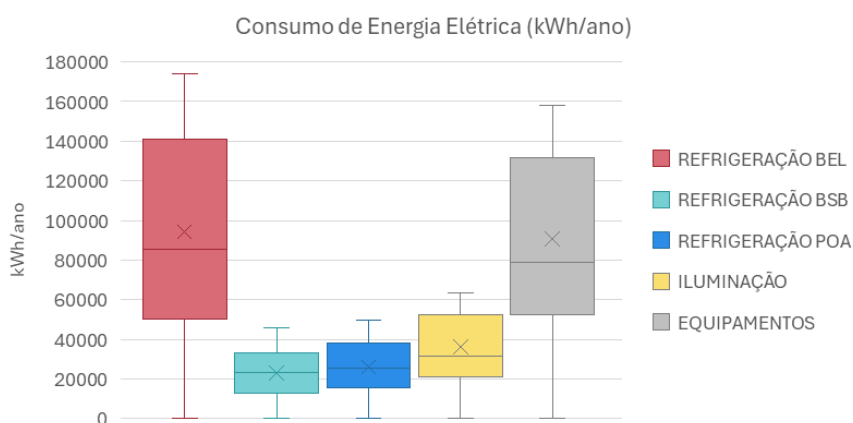
Fonte: Autoria própria.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES QUANTO AO CONSUMO DE ENERGIA E A CLASSIFICAÇÃO INI-C

4.3.1 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS MODELOS DE REFERÊNCIA E OTIMIZADOS

Com base nas simulações energéticas dos 60 cenários otimizados avaliados para cada cidade, foram extraídos os dados de consumo de energia elétrica separados pelos usos finais: refrigeração, iluminação e equipamentos. O gráfico de caixa representado pela Figura 4.12 demonstra a distribuição desses consumos em valores absolutos, evidenciando as diferenças do consumo de refrigeração entre cada cidade avaliada.

Figura 4.12: Distribuição do Consumo de Energia Elétrica dos cenários otimizados (OTM) por uso final (kWh/ano).



Fonte: Autoria própria.

Belém apresenta os maiores valores absolutos, resultado direto do clima quente e úmido, que intensifica a necessidade de resfriamento ao longo de todo o ano. Brasília e Porto Alegre exibem consumos significativamente menores, ainda que Porto Alegre apresente variação ligeiramente maior, possivelmente devido à sua maior amplitude térmica anual, com

temperaturas de bulbo seco mais elevadas no verão. A densidade de iluminação e equipamentos foi definida de forma idêntica para as três cidades, o que resultou em valores de consumo equivalentes para esses usos finais.

Para obter uma métrica normalizada e passível de comparação direta, foram calculados os valores médios de consumo de energia elétrica normalizados pela área. Esses resultados são apresentados na Tabela 4.22, que permite uma análise comparativa entre os modelos de referência (REF) e os modelos otimizados (OTM) nos diferentes contextos climáticos avaliados, destacando a eficácia das estratégias de eficiência energética implementadas.

Tabela 4.22: Resultados do consumo de energia elétrica (Valores médios).

	BELÉM (BEL)			BRASÍLIA (BSB)			PORTO ALEGRE (POA)		
MODELOS DE REFERÊNCIA (REF) VALORES MÉDIOS DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh/m²ano)									
Consumo de Refrigeração (kWh/m²ano):	❄️	69,08	48%	❄️	35,79	32%	❄️	31,87	30%
Consumo de Iluminação (kWh/m²ano):	💡	36,66	25%	💡	36,66	33%	💡	36,66	34%
Consumo de Equipamentos (kWh/m²ano):	💻	39,00	27%	💻	39,00	35%	💻	39,00	36%
Total do Consumo de Energia Elétrica (kWh/m²ano):	⊕	144,74	100%	⊕	111,45	100%	⊕	107,53	100%
MODELOS OTIMIZADOS (OTM) VALORES MÉDIOS DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh/m²ano)									
Consumo de Refrigeração (kWh/m²ano):	❄️	39,08	42%	❄️	9,63	15%	❄️	11,05	17%
Consumo de Iluminação (kWh/m²ano):	💡	15,60	17%	💡	15,60	24%	💡	15,60	24%
Consumo de Equipamentos (kWh/m²ano):	💻	39,00	42%	💻	39,00	61%	💻	39,00	59%
Total do Consumo de Energia Elétrica (kWh/m²ano):	⊕	93,68	100%	⊕	64,23	100%	⊕	65,65	100%
OTIMIZADO X REFERÊNCIA REDUÇÕES DO CONSUMO MODELOS OTIMIZADOS VERSUS MODELOS DE REFERÊNCIA (kWh/m²ano)									
Redução do Consumo de Refrigeração (kWh/m²ano):	❄️	30,00	43%	❄️	26,16	73%	❄️	20,82	65%
Redução do Consumo de Iluminação (kWh/m²ano):	💡	21,06	57%	💡	21,06	57%	💡	21,06	57%
Redução do Consumo de Equipamentos (kWh/m²ano):	💻	0,00	0%	💻	0,00	0%	💻	0,00	0%
Redução do Consumo total (kWh/m²ano):	⊕	51,06	35%	⊕	47,22	42%	⊕	41,88	39%

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 4.22 demonstra que os modelos otimizados apresentaram uma significativa redução no consumo de energia em todas as cidades. Em Belém, as estratégias de otimização resultaram em uma diminuição de 43% no consumo de refrigeração, sendo este o resultado menos expressivo entre as três localidades analisadas. Em Brasília, essa redução foi ainda mais significativa, alcançando 73%, e em Porto Alegre, atingiu 65%. Porém, em termos absolutos, as estratégias de otimização representaram uma redução média do consumo para refrigeração de 30,00kWh/m²ano em Belém, 26,16kWh/m²ano em Brasília e 20,82kWh/m²ano em Porto Alegre. Portanto, apesar dos percentuais relativos indicarem uma maior redução do consumo em Brasília e Porto Alegre, a redução do consumo para refrigeração em Belém, em números absolutos, foi maior. Quanto ao consumo de iluminação, uma vez que as estratégias adotadas

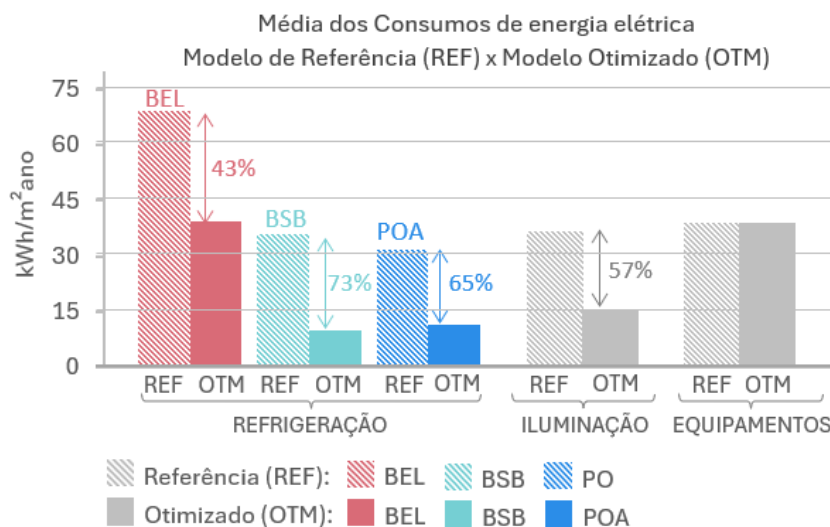
foram equivalentes em todas as cidades, a redução foi uniforme de 57% em relação ao consumo do modelo de referência, correspondente a 21,06kWh/m²ano, em valores absolutos.

Estes resultados estão compatíveis com os achados prévios na literatura. Sorgato, Schneider e Rüther (2018), que otimizaram um modelo de escritório em diferentes contextos climáticos brasileiros, também identificaram consumos de refrigeração substancialmente mais elevados para Belém e significativamente inferiores para Brasília, corroborando o padrão observado. Na otimização de escritórios proposta por Walter Costa, David Amorim e Cronemberger (2020) e André *et al.* (2022) para Brasília, o consumo de energia final resultou próximo de 63kWh/m²ano, valor coerente com o consumo médio encontrado nas simulações desta pesquisa, mesmo considerando diferentes estratégias de otimização.

Uma comparação com o panorama internacional por meio do estudo de Feng *et al.* (2019), que analisou 34 casos de edifícios nZEB em climas quentes e úmidos ao redor do mundo, reforça a consistência dos resultados. De acordo com o estudo, a maioria dos casos nZEB apresentaram consumo de energia inferior a 100 kWh/m²ano. Nesta pesquisa, o cenário de maior consumo energético atingiu 97,50 kWh/m²ano, referente ao modelo de 18 pavimentos e 33 metros de afastamento, em Belém. Isso sugere que a eficácia das estratégias de otimização adotadas é compatível com as soluções empregadas nos edifícios nZEBs internacionais para cidades de clima semelhante.

Além das reduções absolutas, a Tabela 4.22 também permite uma análise da relevância de cada tipo de uso de energia no consumo total, expressa em valores percentuais. Dado que os consumos de iluminação e equipamentos foram constantes entre as três cidades, a proporção relativa de cada uso final no consumo total varia de acordo com o consumo de refrigeração, que é influenciado pelas condições climáticas específicas de cada localidade. A análise dos percentuais de consumo revela mudanças significativas na distribuição dos consumos após a aplicação das estratégias de otimização. No modelo de referência, a refrigeração constitui uma parcela considerável do consumo total, enquanto no modelo otimizado observa-se uma redução dessa relevância, especialmente em Brasília, onde a proporção de refrigeração cai de 32% para 15%, e em Porto Alegre, de 30% para 17%. Em Belém, embora a redução seja menos acentuada, a proporção de refrigeração ainda diminui de 48% para 42% do consumo total no modelo otimizado. A Figura 4.13 ilustra graficamente as variações nas proporções de consumo de energia para cada uso específico, comparando os três contextos climáticos.

Figura 4.13: Gráfico da média dos consumos de energia elétrica comparando Modelos de Referência (REF) versus Modelos Otimizados (OTM), para cada contexto climático.



Fonte: Autoria própria.

Um aspecto notável é que, após a otimização, o consumo de equipamentos passa a ser o maior componente do consumo total, dado que permanece constante em termos absolutos, com valor de 39 kWh/m², enquanto o consumo de refrigeração e iluminação diminuem significativamente. No modelo otimizado, a relevância do consumo de equipamentos chega a 42% em Belém, 61% em Brasília e 59% em Porto Alegre. Esse resultado evidencia que, à medida que se intensifica a adoção de estratégias de eficiência energética na construção, o foco do consumo de energia, que normalmente recai sobre a refrigeração, começa a se deslocar para os equipamentos eletrônicos. Embora esses dispositivos estejam se tornando mais eficientes, o uso de equipamentos eletrônicos tem aumentado significativamente, o que sugere uma tendência de elevação no consumo de energia dessa categoria.

4.3.1.1 IMPACTO DA FORMA E OBSTRUÇÃO DO ENTORNO SOBRE O CONSUMO DE REFRIGERAÇÃO

Para compreender o impacto das variáveis: número de pavimentos (altura H) e o afastamento (W) dos edifícios do entorno no consumo de energia para refrigeração normalizado pela área, os dados obtidos foram organizados em matrizes que relacionam esses fatores para cada cidade avaliada (Figura 4.14). Para facilitar a interpretação, aplicou-se uma escala de cores, onde o azul indica os menores consumos e o vermelho os maiores, permitindo uma interpretação rápida das tendências nos diferentes cenários, facilitando a identificação de padrões. Observa-se um aumento no consumo de energia para refrigeração à medida que cresce o afastamento entre edifícios, demonstrado pelas zonas avermelhadas nas matrizes. Esse

comportamento decorre da redução do sombreamento projetado pelo entorno e, consequentemente, da maior exposição das superfícies edificadas à irradiação solar, elevando as cargas térmicas internas e a demanda por refrigeração. Tal tendência é amplamente reconhecida na literatura, sendo descrita por Martins (2014) como um dos paradoxos da morfologia urbana em climas de elevada insolação, agravando o consumo energético.

Ao analisar o consumo de refrigeração de forma isolada para cada cenário de afastamento ajustando o padrão de cores (Figura 4.15), torna-se possível identificar o efeito específico da altura das edificações. Ainda que as variações sejam sutis, emergem tendências distintas entre as cidades estudadas, evidenciando o papel da latitude e do clima na relação entre forma, obstrução do entorno e desempenho energético. A comparação entre os modelos de referência e os modelos otimizados reforça ainda mais as diferenças identificadas.

Nos modelos de referência, nos quais não foram aplicadas estratégias de eficiência energética, a influência da altura (forma) e do afastamento (obstrução do entorno) sobre o consumo de refrigeração é mais acentuada. Isso sugere que os aprimoramentos aplicados à envoltória nos modelos otimizados, como a redução do PAF, menores valores de transmitância térmica e do fator solar, bem como o acréscimo das proteções solares, minimizaram as trocas térmicas com o meio externo e, consequentemente, reduziram a influência da forma arquitetônica e da obstrução urbana no desempenho energético. Tal efeito é ainda mais evidente em Belém, cujo clima é mais severo entre as avaliadas. Observa-se que os modelos otimizados resultaram em matrizes mais homogêneas, sendo as diferenças entre afastamentos menos pronunciadas.

Quanto à altura, verifica-se que em Belém há uma relação crescente entre o número de pavimentos e o consumo de refrigeração por área. Os edifícios com 18 pavimentos, caracterizados por um Fator de Forma (FF) de 0,28 e um Fator Altura (FA) de 0,06, apresentam os maiores consumos, indicando que tipologias menos compactas e mais altas, com menor área de cobertura em relação à fachada, são mais suscetíveis ao aumento da carga térmica. Esse resultado converge com a literatura, segundo a qual a forma do edifício assume maior importância em condições climáticas extremas (Depecker et al., 2001; Chen et al., 2020; Gupta; Deb, 2023). De acordo com o estudo de Jin e Jeong (2014), em cidades situadas em baixa latitude o impacto da forma sobre o desempenho energético é mais significativo em comparação com cidades localizadas em latitudes elevadas, o que ajuda a explicar o comportamento distinto observado em Brasília e Porto Alegre.

Figura 4.14: Matriz do Consumo de Refrigeração dos Modelos de Referência (REF) e Otimizados (OTM) – Gradiente de cor isolado para cada cidade.

Consumo de Refrigeração - Modelo de Referência [kWh/m²ano]												FF	FA
Belém (BEL) Lat: -1°27'													
Nº de pavimentos	3	63,43	63,73	63,70	63,51	63,46	63,43	63,39	63,32	63,28	63,22	0,37	0,33
	6	66,58	68,55	69,07	69,25	69,35	69,36	69,34	69,24	69,20	69,10	0,32	0,17
	9	65,28	68,77	70,33	70,92	71,33	71,48	71,56	71,48	71,46	71,34	0,30	0,11
	12	63,79	67,57	70,07	71,34	72,05	72,34	72,57	72,55	72,62	72,50	0,29	0,08
	15	62,67	66,25	69,14	70,99	72,16	72,70	73,03	73,11	73,22	73,13	0,29	0,07
	18	61,78	65,09	68,13	70,27	71,81	72,67	73,22	73,37	73,56	73,50	0,28	0,06
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33			
Brasília (BSB) Lat: -15°47'												FF	FA
Nº de pavimentos	3	30,02	33,13	34,88	35,65	36,54	37,31	37,84	37,97	38,08	38,16	0,37	0,33
	6	27,09	32,37	35,96	38,20	40,06	41,39	42,46	42,98	43,54	43,86	0,32	0,17
	9	23,86	28,93	33,03	36,10	38,87	40,91	42,43	43,26	44,19	44,65	0,30	0,11
	12	21,67	26,18	30,25	33,57	36,54	38,99	41,02	42,32	43,62	44,25	0,29	0,08
	15	20,19	24,15	27,98	31,30	34,42	37,02	39,21	40,74	42,35	43,26	0,29	0,07
	18	19,09	22,63	26,23	29,39	32,51	35,25	37,57	39,21	40,93	42,02	0,28	0,06
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33			
Porto Alegre (POA) Lat: -30°1'												FF	FA
Nº de pavimentos	3	27,19	30,04	31,79	32,55	33,33	34,02	34,50	34,63	34,74	34,81	0,37	0,33
	6	24,67	28,65	31,60	33,64	35,43	36,77	37,82	38,36	38,92	39,23	0,32	0,17
	9	22,27	25,99	29,14	31,54	33,84	35,64	37,10	37,98	38,96	39,48	0,30	0,11
	12	20,68	23,97	27,05	29,56	31,89	33,87	35,62	36,78	38,01	38,68	0,29	0,08
	15	19,60	22,50	25,39	27,87	30,25	32,30	34,14	35,41	36,79	37,61	0,29	0,07
	18	18,81	21,41	24,12	26,46	28,80	30,93	32,87	34,19	35,65	36,55	0,28	0,06
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33			
Afastamento entre edifícios (m)													
Consumo de Refrigeração - Modelo Otimizado [kWh/m²ano]												FF	FA
Belém (BEL) Lat: -1°27'													
Nº de pavimentos	3	30,92	31,47	31,86	32,08	32,25	32,45	32,57	32,63	32,66	32,69	0,37	0,33
	6	35,37	36,02	36,53	36,91	37,22	37,47	37,64	37,78	37,85	37,96	0,32	0,17
	9	38,98	39,63	40,20	40,66	41,05	41,36	41,58	41,78	41,91	42,06	0,30	0,11
	12	39,39	39,93	40,47	40,94	41,35	41,69	41,95	42,19	42,37	42,55	0,29	0,08
	15	39,65	40,11	40,62	41,09	41,52	41,88	42,16	42,42	42,61	42,81	0,29	0,07
	18	39,77	40,19	40,64	41,09	41,51	41,90	42,19	42,47	42,69	42,90	0,28	0,06
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33			
Brasília (BSB) Lat: -15°47'												FF	FA
Nº de pavimentos	3	6,54	7,07	7,42	7,61	7,79	7,96	8,07	8,12	8,16	8,18	0,37	0,33
	6	7,63	8,40	8,97	9,36	9,69	9,96	10,14	10,29	10,39	10,46	0,32	0,17
	9	8,14	8,90	9,55	10,07	10,52	10,88	11,15	11,35	11,52	11,63	0,30	0,11
	12	8,04	8,70	9,33	9,88	10,35	10,76	11,08	11,33	11,56	11,69	0,29	0,08
	15	7,94	8,51	9,09	9,61	10,10	10,53	10,87	11,15	11,41	11,58	0,29	0,07
	18	7,83	8,33	8,86	9,35	9,83	10,27	10,62	10,91	11,19	11,38	0,28	0,06
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33			
Porto Alegre (POA) Lat: -30°1'												FF	FA
Nº de pavimentos	3	8,28	9,10	9,43	9,62	9,78	9,94	10,04	10,09	10,13	10,15	0,37	0,33
	6	9,80	10,43	10,91	11,27	11,58	11,83	12,03	12,17	12,28	12,36	0,32	0,17
	9	9,77	10,33	10,81	11,20	11,55	11,85	12,08	12,26	12,43	12,54	0,30	0,11
	12	9,71	10,18	10,65	11,04	11,39	11,70	11,95	12,16	12,36	12,48	0,29	0,08
	15	9,65	10,06	10,49	10,87	11,22	11,53	11,80	12,01	12,22	12,36	0,29	0,07
	18	9,60	9,97	10,37	10,73	11,08	11,41	11,69	11,91	12,14	12,29	0,28	0,06
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33			
Afastamento entre edifícios (m)													

Fonte: Autoria própria

Figura 4.15: Matriz do Consumo de Refrigeração dos Modelos de Referência (REF) e Otimizados (OTM) – Gradiente de cor isolado por cenário de afastamento.

Consumo de Refrigeração - Modelo de Referência [kWh/m ² ano]												FF	FA
Belém (BEL) Lat: -1°27'													
Nº de pavimentos	3	63,43	63,73	63,70	63,51	63,46	63,43	63,39	63,32	63,28	63,22	0,37	0,33
	6	66,58	68,55	69,07	69,25	69,35	69,36	69,34	69,24	69,20	69,10	0,32	0,17
	9	65,28	68,77	70,33	70,92	71,33	71,48	71,56	71,48	71,46	71,34	0,30	0,11
	12	63,79	67,57	70,07	71,34	72,05	72,34	72,57	72,55	72,62	72,50	0,29	0,08
	15	62,67	66,25	69,14	70,99	72,16	72,70	73,03	73,11	73,22	73,13	0,29	0,07
	18	61,78	65,09	68,13	70,27	71,81	72,67	73,22	73,37	73,56	73,50	0,28	0,06
Brasília (BSB) Lat: -15°47'												FF	FA
Nº de pavimentos	3	30,02	33,13	34,88	35,65	36,54	37,31	37,84	37,97	38,08	38,16	0,37	0,33
	6	27,09	32,37	35,96	38,20	40,06	41,39	42,46	42,98	43,54	43,86	0,32	0,17
	9	23,86	28,93	33,03	36,10	38,87	40,91	42,43	43,26	44,19	44,65	0,30	0,11
	12	21,67	26,18	30,25	33,57	36,54	38,99	41,02	42,32	43,62	44,25	0,29	0,08
	15	20,19	24,15	27,98	31,30	34,42	37,02	39,21	40,74	42,35	43,26	0,29	0,07
	18	19,09	22,63	26,23	29,39	32,51	35,25	37,57	39,21	40,93	42,02	0,28	0,06
Porto Alegre (POA) Lat: -30°1'												FF	FA
Nº de pavimentos	3	27,19	30,04	31,79	32,55	33,33	34,02	34,50	34,63	34,74	34,81	0,37	0,33
	6	24,67	28,65	31,60	33,64	35,43	36,77	37,82	38,36	38,92	39,23	0,32	0,17
	9	22,27	25,99	29,14	31,54	33,84	35,64	37,10	37,98	38,96	39,48	0,30	0,11
	12	20,68	23,97	27,05	29,56	31,89	33,87	35,62	36,78	38,01	38,68	0,29	0,08
	15	19,60	22,50	25,39	27,87	30,25	32,30	34,14	35,41	36,79	37,61	0,29	0,07
	18	18,81	21,41	24,12	26,46	28,80	30,93	32,87	34,19	35,65	36,55	0,28	0,06
Consumo de Refrigeração - Modelo Otimizado [kWh/m ² ano]												FF	FA
Belém (BEL) Lat: -1°27'													
Nº de pavimentos	3	30,92	31,47	31,86	32,08	32,25	32,45	32,57	32,63	32,66	32,69	0,37	0,33
	6	35,37	36,02	36,53	36,91	37,22	37,47	37,64	37,78	37,85	37,96	0,32	0,17
	9	38,98	39,63	40,20	40,66	41,05	41,36	41,58	41,78	41,91	42,06	0,30	0,11
	12	39,39	39,93	40,47	40,94	41,35	41,69	41,95	42,19	42,37	42,55	0,29	0,08
	15	39,65	40,11	40,62	41,09	41,52	41,88	42,16	42,42	42,61	42,81	0,29	0,07
	18	39,77	40,19	40,64	41,09	41,51	41,90	42,19	42,47	42,69	42,90	0,28	0,06
Brasília (BSB) Lat: -15°47'												FF	FA
Nº de pavimentos	3	6,54	7,07	7,42	7,61	7,79	7,96	8,07	8,12	8,16	8,18	0,37	0,33
	6	7,63	8,40	8,97	9,36	9,69	9,96	10,14	10,29	10,39	10,46	0,32	0,17
	9	8,14	8,90	9,55	10,07	10,52	10,88	11,15	11,35	11,52	11,63	0,30	0,11
	12	8,04	8,70	9,33	9,88	10,35	10,76	11,08	11,33	11,56	11,69	0,29	0,08
	15	7,94	8,51	9,09	9,61	10,10	10,53	10,87	11,15	11,41	11,58	0,29	0,07
	18	7,83	8,33	8,86	9,35	9,83	10,27	10,62	10,91	11,19	11,38	0,28	0,06
Porto Alegre (POA) Lat: -30°1'												FF	FA
Nº de pavimentos	3	8,28	9,10	9,43	9,62	9,78	9,94	10,04	10,09	10,13	10,15	0,37	0,33
	6	9,80	10,43	10,91	11,27	11,58	11,83	12,03	12,17	12,28	12,36	0,32	0,17
	9	9,77	10,33	10,81	11,20	11,55	11,85	12,08	12,26	12,43	12,54	0,30	0,11
	12	9,71	10,18	10,65	11,04	11,39	11,70	11,95	12,16	12,36	12,48	0,29	0,08
	15	9,65	10,06	10,49	10,87	11,22	11,53	11,80	12,01	12,22	12,36	0,29	0,07
	18	9,60	9,97	10,37	10,73	11,08	11,41	11,69	11,91	12,14	12,29	0,28	0,06
Afastamento entre edifícios (m)													

Fonte: Autoria própria.

Nas cidades de Brasília e Porto Alegre, por sua vez, os maiores consumos não se concentram nos edifícios mais altos. Em Brasília, ocorreram majoritariamente nos modelos com 9 pavimentos, que possuem FF de 0,30 e FA de 0,11. Em Porto Alegre, os maiores consumos são observados em edifícios de 6 pavimentos (FF de 0,32 e FA de 0,17) e, em afastamentos maiores, também se destacam edifícios de 9 pavimentos (FF de 0,30 e FA de 0,11). Observa-se, portanto, que nessas cidades a correlação do consumo e a forma não resultou linear. André et al. (2022) também identificaram que a variação do consumo em relação à altura, em climas brasileiros, é muito pequena. Tanto Didoné (2014), quanto André et al. (2022) apontaram que os resultados da correlação não foram lineares, reforçando a complexidade dessas interações. A revisão de literatura de Gupta e Deb (2023) acrescenta que em climas amenos com longos períodos ensolarados, a transmissão de calor pelas paredes perde relevância, reduzindo a correlação do consumo à forma arquitetônica. Para aprofundar a compreensão dessa relação, sugere-se investigações futuras com análise de balanço térmico, para identificar os fatores que mais influenciaram este resultado.

Um aspecto notável dos resultados é a consistência dos menores consumos em todas as cidades nos edifícios de 3 pavimentos (FF = 0,37 e FA = 0,33). Embora edificações baixas possuam maior razão cobertura/fachada, o que tenderia a aumentar os ganhos térmicos pela cobertura, esse efeito é mitigado nos modelos otimizados: coberturas são claras e possuem 50% de sombreamento por módulos PV, reduzindo o calor absorvido. Ademais, o pavimento térreo troca calor com o solo, atuando como amortecedor térmico. Esses fatores ajudam a explicar por que os edifícios baixos otimizados tendem a apresentar melhor desempenho térmico.

4.3.2 REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA E A CLASSIFICAÇÃO INI-C

Para compreender os resultados sob a perspectiva da classificação de eficiência energética segundo os critérios da INI-C, é necessário calcular a Redução do Consumo de Energia Primária (REDcep) dos modelos otimizados (OTM) em relação aos modelos de referência (REF). Este indicador, expresso em porcentagem, foca na redução dos consumos de refrigeração e iluminação somados, desconsiderando a influência do consumo de equipamentos (equação do REDcep corrigida pela NT01). A Figura 4.16 apresenta os resultados dos 60 cenários organizados em matrizes para cada cidade avaliada, nas quais se relacionam o número de pavimentos e o afastamento entre os edifícios do entorno. A gradação de cores aplicada varia do

verde, indicando as maiores reduções de consumo (melhor desempenho) ao vermelho, indicando os menores valores (pior desempenho).

Figura 4.16: Matriz da Redução do Consumo de Energia Primária (RECcep)
Gradiente de cor isolado por cidade avaliada.

		Belém (BEL) Lat: -1°27'										FF	FA
Nº de pavimentos	3	53,5%	53,1%	52,7%	52,4%	52,2%	52,0%	51,9%	51,8%	51,7%	51,7%	0,37	0,33
	6	50,6%	50,9%	50,7%	50,4%	50,2%	49,9%	49,8%	49,6%	49,5%	49,4%	0,32	0,17
	9	46,5%	47,6%	47,8%	47,7%	47,5%	47,3%	47,2%	46,9%	46,8%	46,6%	0,30	0,11
	12	45,3%	46,7%	47,5%	47,6%	47,6%	47,4%	47,3%	47,1%	47,0%	46,7%	0,29	0,08
	15	44,4%	45,9%	46,9%	47,3%	47,5%	47,4%	47,4%	47,2%	47,0%	46,8%	0,29	0,07
	18	43,8%	45,2%	46,3%	47,0%	47,4%	47,4%	47,4%	47,2%	47,1%	46,9%	0,28	0,06
		Brasília (BSB) Lat: -15°47'										FF	FA
Nº de pavimentos	3	66,8%	67,5%	67,8%	67,9%	68,1%	68,2%	68,2%	68,2%	68,2%	68,2%	0,37	0,33
	6	63,6%	65,2%	66,2%	66,7%	67,0%	67,3%	67,5%	67,5%	67,6%	67,6%	0,32	0,17
	9	60,8%	62,6%	63,9%	64,7%	65,4%	65,9%	66,2%	66,3%	66,5%	66,5%	0,30	0,11
	12	59,5%	61,3%	62,7%	63,7%	64,6%	65,2%	65,7%	65,9%	66,2%	66,3%	0,29	0,08
	15	58,6%	60,4%	61,8%	62,9%	63,8%	64,5%	65,1%	65,4%	65,8%	66,0%	0,29	0,07
	18	58,0%	59,6%	61,1%	62,2%	63,2%	64,0%	64,7%	65,1%	65,5%	65,7%	0,28	0,06
		Porto Alegre (POA) Lat: -30°1'										FF	FA
Nº de pavimentos	3	62,6%	63,0%	63,4%	63,6%	63,7%	63,9%	64,0%	64,0%	64,0%	64,0%	0,37	0,33
	6	58,6%	60,2%	61,2%	61,8%	62,3%	62,6%	62,9%	63,0%	63,1%	63,2%	0,32	0,17
	9	56,9%	58,6%	59,9%	60,7%	61,5%	62,0%	62,5%	62,7%	62,9%	63,0%	0,30	0,11
	12	55,9%	57,5%	58,8%	59,8%	60,6%	61,3%	61,9%	62,2%	62,6%	62,7%	0,29	0,08
	15	55,1%	56,6%	58,0%	59,0%	59,9%	60,7%	61,3%	61,7%	62,1%	62,4%	0,29	0,07
	18	54,6%	56,0%	57,3%	58,3%	59,2%	60,0%	60,8%	61,2%	61,6%	61,9%	0,28	0,06
		6	9	12	15	18	21	24	27	30	33		
Afastamento entre edifícios (m)													

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que, de modo geral, o aumento do número de pavimentos tende a gerar piores resultados de reduções do consumo de energia em relação ao modelo de referência, principalmente quando o afastamento entre os edifícios do entorno é menor. Nesses cenários, o próprio entorno já contribui com o sombreamento, reduzindo o benefício percebido pela aplicação dos brises de proteção solar nos modelos otimizados. À medida que o afastamento entre os edifícios aumenta, o efeito dos brises sobre a REDcep se torna mais evidente, demonstrando um melhor desempenho em relação ao modelo de referência.

A Figura 4.17 apresenta o desvio padrão calculado para cada cidade (Tabela A) e cada conjunto de cenários isolados, nos quais uma das variáveis (número de pavimentos ou afastamento) é mantida constante. A Tabela B exhibe os desvios padrão para cenários com o mesmo número de pavimentos, enquanto a Tabela C apresenta os valores de desvio padrão para cenários com o mesmo afastamento.

Figura 4.17: Cálculo do desvio padrão por cenários isolados

(A) DESVIO PADRÃO GERAL . CONJUNTO DE CENÁRIOS DE CADA CONTEXTO CLIMÁTICO

BEL	BSB	POA
2,28%	2,61%	2,45%

(B) DESVIO PADRÃO . CONJUNTO DE CENÁRIOS COM MESMO NÚMERO DE PAVIMENTOS

	BEL	BSB	POA
Nº de pavimentos			
3	0,64%	0,46%	0,48%
6	0,55%	1,31%	1,51%
9	0,48%	1,91%	2,04%
12	0,70%	2,29%	2,32%
15	0,97%	2,50%	2,46%
18	1,20%	2,63%	2,51%

(C) DESVIO PADRÃO . CONJUNTO DE CENÁRIOS COM MESMO AFASTAMENTO DO ENTORNO

	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
BEL	3,90%	3,12%	2,50%	2,17%	2,01%	1,95%	1,93%	1,97%	2,00%	2,07%
BSB	3,38%	3,04%	2,61%	2,21%	1,87%	1,60%	1,38%	1,22%	1,06%	0,99%
POA	2,97%	2,59%	2,27%	1,94%	1,65%	1,39%	1,16%	0,99%	0,81%	0,71%

Afastamento entre edifícios (m)

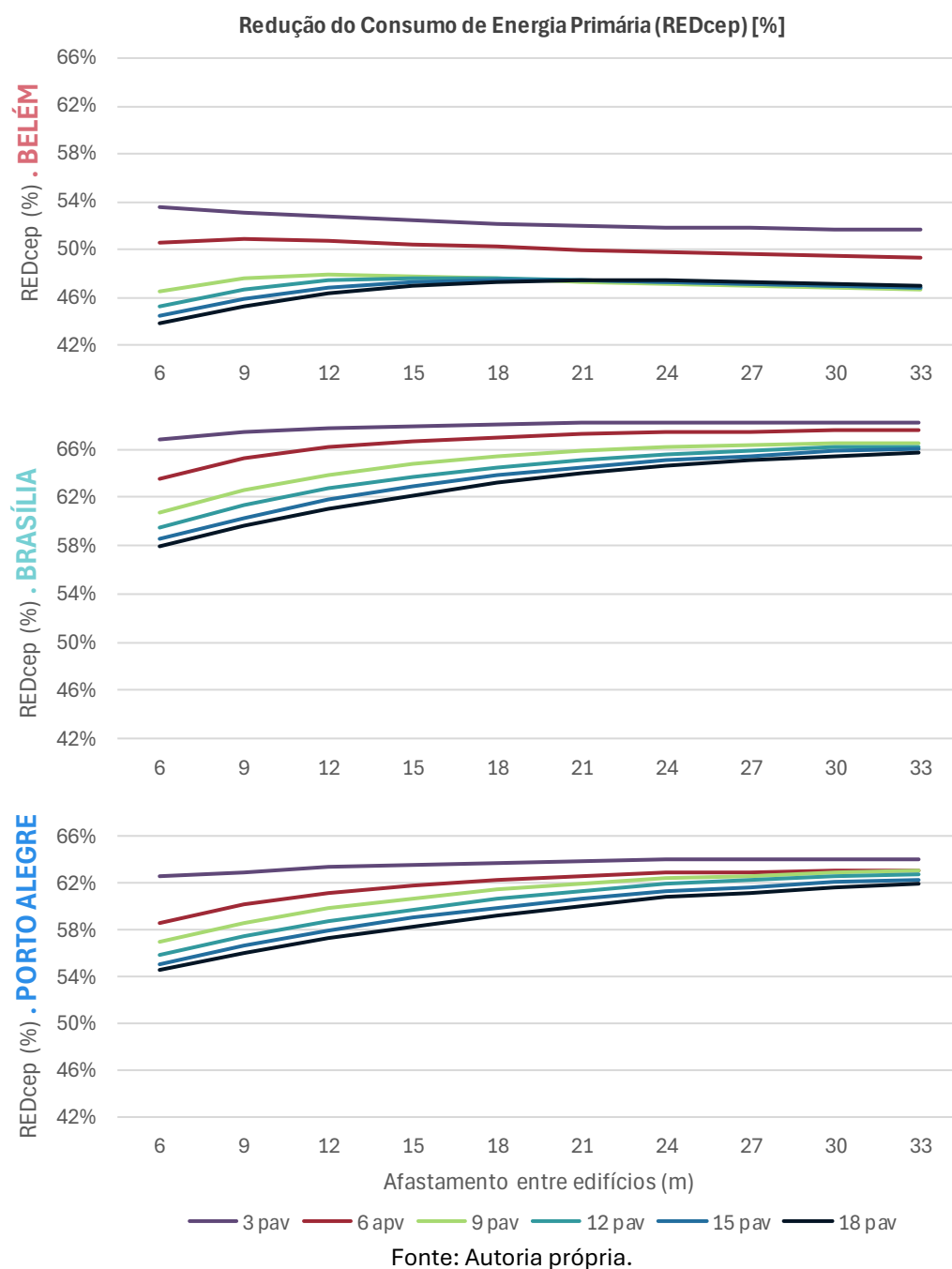
Fonte: Autoria própria.

Ao analisar as variações de REDcep, constata-se que o comportamento dos cenários em Belém difere dos observados em Brasília e Porto Alegre. Em Brasília e Porto Alegre, as variações de REDcep revelaram um padrão crescente à medida que se aumenta o número de pavimentos e diminui o afastamento (Figura 4.17 e Figura 4.18). No entanto, em Belém, essa regularidade não foi confirmada. As menores variações de REDcep ocorreram nos cenários de 9 pavimentos e afastamentos de 21 e 24m (Figura 4.17).

As hipóteses conjecturadas que podem explicar esse comportamento estão associadas às condições climáticas e estratégias passivas adotadas para Belém. Infere-se que em regiões de clima quente e úmido, a demanda elevada e contínua por refrigeração acaba predominando sobre os efeitos positivos das estratégias passivas de sombreamento, reduzindo a influência das características morfológicas na eficiência energética das edificações. Para aprofundar esse entendimento, recomenda-se investigações futuras baseadas em análise detalhada de balanço térmico, de modo a identificar os fatores que influenciaram este resultado.

Esse diagnóstico revela que os desvios padrão dos cenários com número de pavimentos fixo em Belém são menores do que aqueles observados em Brasília e Porto Alegre, que compartilham uma maior semelhança. Isso sugere que o impacto do afastamento entre edifícios sobre a variabilidade da REDcep é menor em Belém, o que pode estar relacionado à latitude, uma vez que a elevada trajetória solar reduz o efeito do sombreamento provocado pelo entorno.

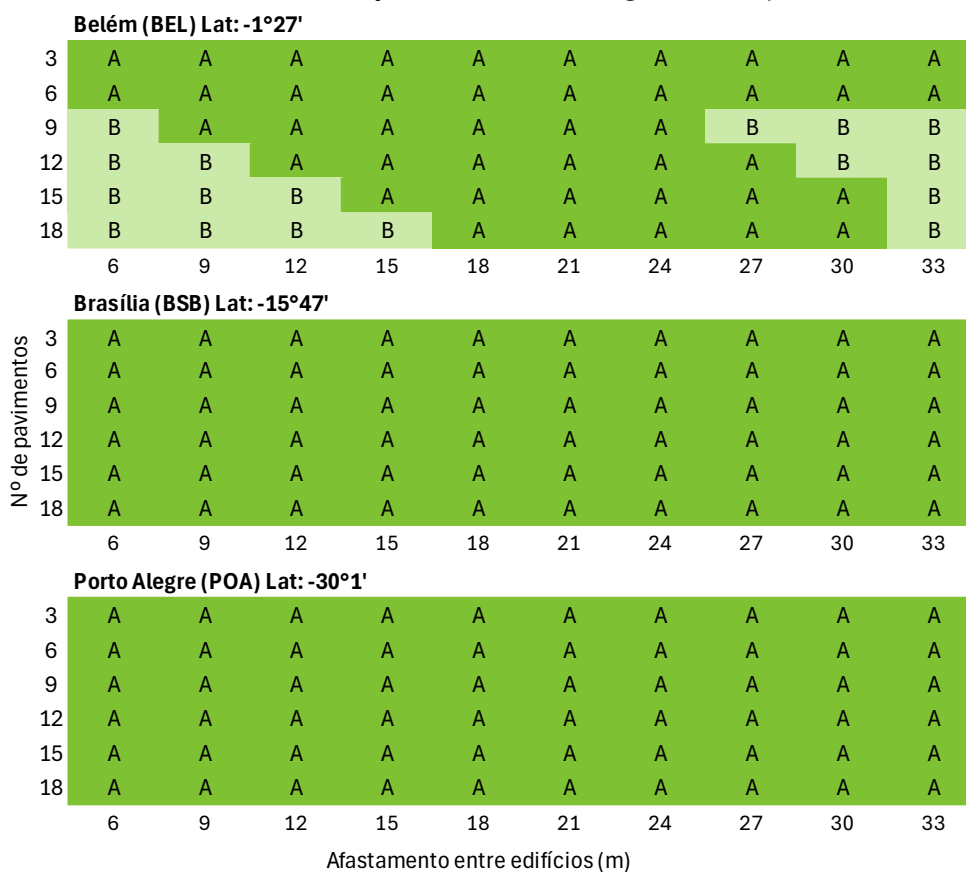
Figura 4.18: Gráficos de linhas da Redução do Consumo de Energia Primária (REDcep) em função do afastamento entre edifícios do entorno e do número de pavimentos para três cidades avaliadas.



Por sua vez, quanto à variação entre os cenários de diferentes alturas, observou-se um comportamento atípico nos modelos de 3 e 6 pavimentos em Belém, que apresentaram valores significativamente maiores de REDcep, mesmo sob afastamentos reduzidos. O gráfico de linhas apresentado na Figura 4.18 ilustra esses achados. Observa-se que, a partir de 9 pavimentos e um afastamento de 18 metros, as variações na REDcep praticamente desaparecem, fazendo com que o desempenho dos cenários tenda à estabilização. Os comportamentos diferenciados para Belém revelam uma maior complexidade de análise em cidades de clima severo.

A partir dos resultados da REDcep e o cálculo dos intervalos de cada classe, identifica-se a Classificação de Eficiência Energética de cada modelo otimizado. A Figura 4.19 apresenta as classificações alcançadas para cada cenário.

Figura 4.19: Resultados da Classificação de Eficiência energética INI-C para todos os cenários.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se que as soluções de otimização adotadas foram efetivas, porém, insuficientes para alcançar a classificação “A” em todos os cenários de Belém, ainda que as escolhas das estratégias passivas de eficiência energética tenham sido mais acentuadas para essa cidade. Já em Brasília e Porto Alegre, a classificação “A” obtida em 100% dos cenários reflete a eficácia das estratégias de eficiência energética adotadas para esses contextos climáticos. Infere-se, portanto, que a redução do consumo de energia em regiões de clima quente e úmido, como Belém, é mais desafiadora. As elevadas temperaturas do ar ao longo do ano, com altos níveis de umidade relativa e reduzida amplitude térmica diária, limitam a eficácia de estratégias passivas. Nessas condições, predomina uma elevada e contínua demanda por refrigeração.

Observa-se que os cenários classificados como “B”, estão concentrados principalmente nos edifícios de maior altura, enquanto a classificação “A” torna-se dominante nos edifícios

mais baixos. O comportamento díspar decorrente da variação dos afastamentos do entorno sugere que o afastamento ideal se situa no meio-termo. Em situações mais sombreadas pelo entorno, há necessidade de recorrer a outras estratégias de eficiência energética para superar o modelo de referência, visto que ele é igualmente sombreado pelo entorno. Por outro lado, quando o entorno é mais afastado, a incidência da irradiação solar nas fachadas aumenta, elevando a carga térmica dos edifícios. Supõe-se que esse incremento exige estratégias de sombreamento mais intensivas para garantir a eficiência energética.

Ao comparar as estratégias de eficiência adotadas neste estudo com as empregadas por André *et al.* (2022), que aplicaram o mesmo método da INI-C utilizado neste trabalho e obtiveram classificação “A” para todas as cidades avaliadas, incluindo cidades de clima quente e úmido, como Fortaleza e Manaus, observa-se que foi adotado um fator solar significativamente menor (0,29, em contraste com 0,37 nesta pesquisa) e um sistema de refrigeração mais eficiente, com COP de 4,79. Assim, nota-se que o alto desempenho do vidro contribuiu para a redução da carga térmica e a maior eficiência da solução ativa viabilizou a obtenção de níveis de desempenho mais elevados. Porém, a adoção de tais parâmetros implica o uso de vidros com custos mais elevados e restringe o conjunto de soluções disponíveis no mercado. De modo semelhante, sistemas de climatização com altos índices de eficiência tendem a encarecer a construção. Neste trabalho, optou-se por estratégias eficientes mais acessíveis, especialmente em se tratando da Região Norte do país, cujos índices de desenvolvimento econômico são inferiores em relação às demais regiões brasileiras.

A partir desta análise, infere-se que, no contexto atual da metodologia da INI-C, a obtenção da classificação “A” em regiões de clima quente e úmido tende a implicar custos adicionais de implantação, uma vez que as estratégias passivas, embora relevantes, nem sempre são suficientes para compensar a elevada e contínua demanda por refrigeração, o que torna imprescindível o emprego de soluções tecnológicas mais avançadas, como equipamentos de refrigeração com COP elevado e componentes da envoltória com desempenho superior.

A eficácia da efficientização dos cenários otimizados também foi comparada com o benchmarking do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), que consiste em uma ferramenta de avaliação de desempenho com base em um benchmarking real do mercado brasileiro. Selecionou-se um cenário de edifício representativo, caracterizado pelo valor mediano de redução do consumo de energia (kWh/m².ano) em cada cidade avaliada cujas características constam na Tabela 4.23 e foram inseridas na plataforma de cálculo DEO

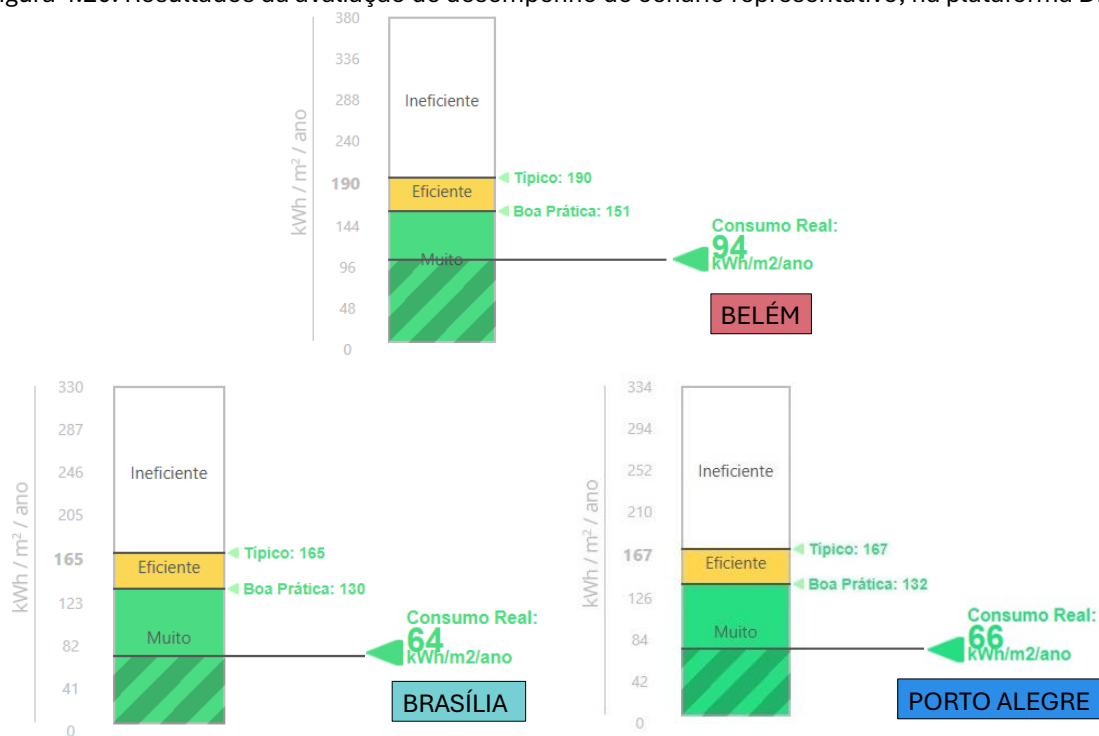
(Desempenho Energético Operacional em Edificações). Os resultados apresentados na Figura 4.20 demonstraram que os cenários otimizados representativos alcançaram a classificação “muito eficiente” nas três localidades, confirmando uma semelhança com os achados da classificação de eficiência energética da INI-C: eficiência ligeiramente reduzida em Belém quando comparada a Brasília e Porto Alegre, que apresentaram eficiências equivalentes.

Tabela 4.23: Características cenários representativos selecionados para inserção na plataforma DEO.

	Afastamento (m):	Consumo de Energia Elétrica (kWh/m ²)	(kWh/ano)
BELÉM	6	93,58	189.503
BRASÍLIA	12	64,15	129.913
PORTO ALEGRE	15	65,80	133.249
Nº pavimentos:	9 pavimentos		
Área construída(m ²):	2.025 m ²		
Área condicionada (m ²):	1.620 m ²		
Ocupação (pessoas):	203 pessoas		

Fonte: Autoria própria.

Figura 4.20: Resultados da avaliação de desempenho do cenário representativo, na plataforma DEO.

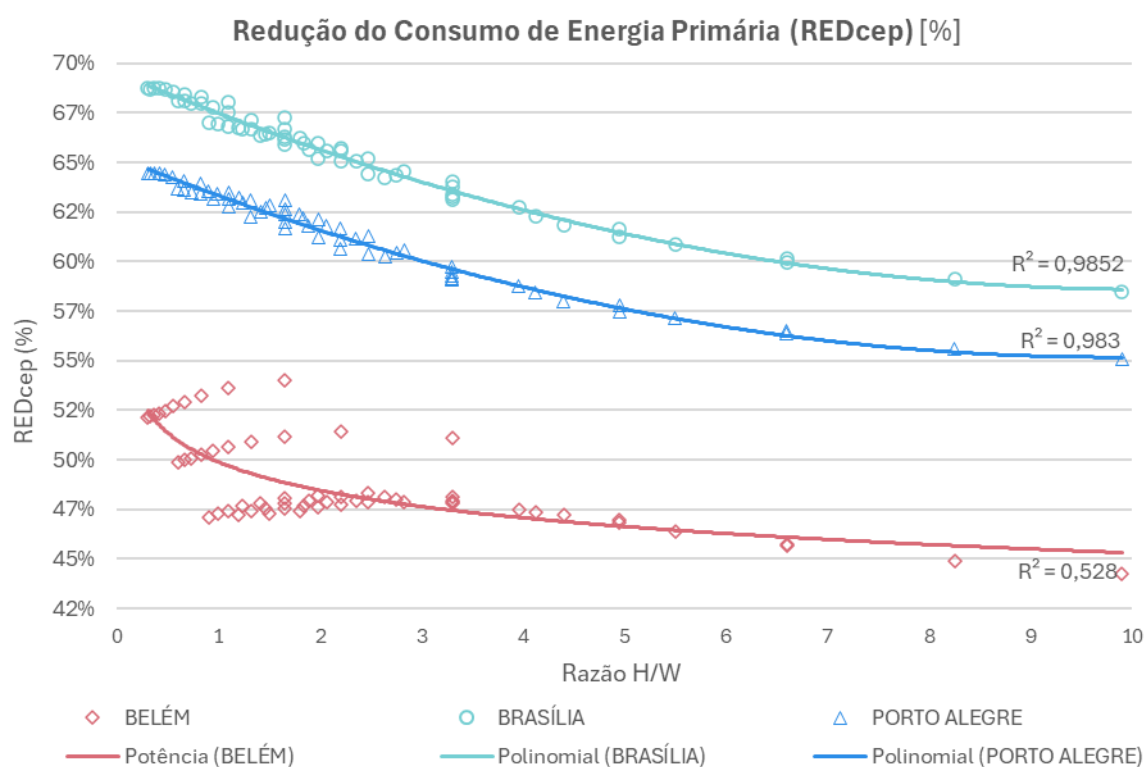


Fonte: Adaptado da plataforma DEO (CBCS, 2024).

4.3.2.1 IMPACTO DA RAZÃO H/W NO CONSUMO DE ENERGIA

Para compreender como as variáveis de altura e afastamento entre edifícios influenciam conjuntamente o desempenho energético (sob critérios da INI-C), os resultados de Redução do Consumo de Energia Primária (RED_{cep}) foram analisados em função do indicador de obstrução urbana razão H/W (ou Prospecto), conforme gráfico de dispersão representado na Figura 4.21. De modo geral, à medida que a razão H/W aumenta, isto é, quando a altura dos edifícios se torna progressivamente maior em relação ao afastamento, o desempenho energético dos edifícios tende a diminuir, resultando em menores valores de RED_{cep} .

Figura 4.21: Gráfico de dispersão da RED_{cep} em função da razão H/W.



Fonte: Autoria própria.

Este gráfico revela uma correlação significativa entre a razão H/W e a RED_{cep} nas cidades de Brasília e Porto Alegre, com uma forte tendência modelada por uma curva polinomial de segunda ordem. As equações ajustadas para cada cidade exibem altos coeficientes de determinação (R^2), de 0,9852 para Brasília e 0,9830 para Porto Alegre, conforme mostrado na Tabela 4.24. Esses valores indicam que mais de 98% dos casos simulados podem ser explicados pela equação apresentada.

Tabela 4.24: Equações ajustadas para cada cidade em função da RED_{cep} e razão H/W.

BELÉM	Potência:	$RED_{cep} = 0,4939(H/W)^{-0,042}$	$R^2 = 0,5280$
BRASÍLIA	Polinomial:	$RED_{cep} = 0,0011(H/W)^2 - 0,0216(H/W) + 0,6903$	$R^2 = 0,9852$
PORTO ALEGRE	Polinomial:	$RED_{cep} = 0,0011(H/W)^2 - 0,0206(H/W) + 0,6478$	$R^2 = 0,9830$

Fonte: Autoria própria.

No entanto, Belém apresenta um comportamento distinto, refletindo as particularidades já observadas em análises anteriores. Os resultados de RED_{cep} em Belém não demonstraram uma forte correlação com a razão H/W. A equação que melhor se ajustou aos dados foi uma função de potência, porém, o coeficiente de determinação (R^2) foi de apenas 0,51, indicando uma relação limitada entre essas variáveis. A baixa correlação sugere que, em clima quente e úmido como Belém, a obstrução urbana, expressa pela razão H/W exerce um impacto menor sobre a eficiência energética, possivelmente devido à alta demanda constante de refrigeração, que reduz a influência das estratégias de sombreamento passivo.

Adicionalmente, observa-se a formação de três agrupamentos quase lineares de cenários em Belém. O primeiro agrupamento, que apresenta os maiores valores de RED_{cep}, corresponde aos cenários de 3 pavimentos. O segundo agrupamento, com valores intermediários de RED_{cep}, refere-se aos cenários de 6 pavimentos. O terceiro e último agrupamento, que exibe os menores valores de RED_{cep}, inclui os cenários de 9, 12, 15 e 18 pavimentos (Figura 4.21). Esses agrupamentos sugerem que, em Belém, o aumento do número de pavimentos influencia na redução da eficiência energética de forma mais acentuada que em Brasília e Porto Alegre.

Em conjunto, os resultados apresentados nesta seção evidenciam que a interação entre forma urbana e desempenho energético é decisiva para compreender o comportamento dos edifícios nos diferentes contextos climáticos analisados. A forte correlação entre a razão H/W e a RED_{cep} em Brasília e Porto Alegre demonstra que esta variável morfológica constitui um determinante robusto da eficiência energética em climas amenos. Já o comportamento atípico observado em Belém reforça que, em climas quentes e úmidos, a elevada carga de refrigeração tende a sobrepor-se às vantagens proporcionadas pelas estratégias passivas de sombreamento, reduzindo a sensibilidade do desempenho energético às variações morfológicas.

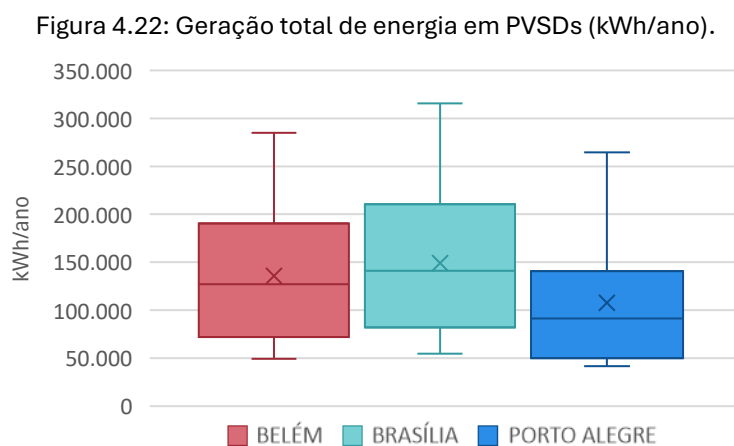
Assim, a evidência empírica obtida confirma que a eficiência energética não pode ser dissociada da forma urbana: ambas devem ser consideradas de maneira integrada desde as etapas iniciais do planejamento urbano e da concepção arquitetônica, sobretudo em um país de

elevada diversidade climática como o Brasil. Esses achados reforçam a necessidade de políticas, diretrizes e práticas de projeto que reconheçam a influência diferenciada da obstrução urbana sobre o consumo energético, promovendo soluções contextualmente adequadas para cada realidade climática.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES QUANTO À GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E O POTENCIAL NZEB

4.4.1 GERAÇÃO DE ENERGIA EM PVSD E MÓDULOS PV NA COBERTURA

O diagrama de caixa apresentado na Figura 4.22 ilustra a geração de energia anual pelos PVSDs em todos os cenários de cada cidade avaliada. Observa-se que Brasília apresentou a maior mediana de geração entre as cidades, acompanhada por uma maior variabilidade dos valores, conforme indicado pela maior extensão dos intervalos interquartis. Belém apresentou uma mediana similar à Brasília, com uma pequena redução na dispersão dos dados. Porto Alegre apresentou a menor mediana, com a menor variabilidade de resultados nos intervalos interquartis, mas uma maior dispersão dos dados.

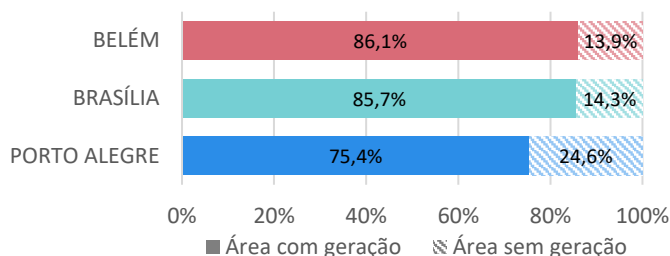


Fonte: Autoria própria

Cabe destacar que, conforme estabelecido no capítulo do método, a geração fotovoltaica não foi considerada na totalidade da superfície dos dispositivos de sombreamento, mas apenas nas áreas que atenderam simultaneamente a dois critérios: incidência anual de irradiação igual ou superior a $800 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ e atendimento dessa condição em, no mínimo, 80% da área de cada anteparo.

A Figura 4.23 demonstra a média percentual de área efetivamente elegível para geração fotovoltaica em relação as superfícies de proteção solar, sem geração. Os resultados revelam um elevado aproveitamento das superfícies disponíveis nas três cidades avaliadas, sendo maior em Belém e Brasília, onde 86,1% e 85,7% das áreas de proteção solar, respectivamente, atenderam aos critérios de irradiação e foram, portanto, consideradas aptas à instalação dos PVSDs. Portanto, nas duas cidades, a maior parte das proteções solares recebe níveis adequados de irradiação ao longo do ano, o que se alinha ao comportamento esperado para localidades de baixa latitude, nas quais o sol assume ângulos mais altos e proporciona maior uniformidade de distribuição da irradiância.

Figura 4.23: Média percentual de área efetiva da proteção solar adotada para a geração fotovoltaica



Fonte: Autoria própria.

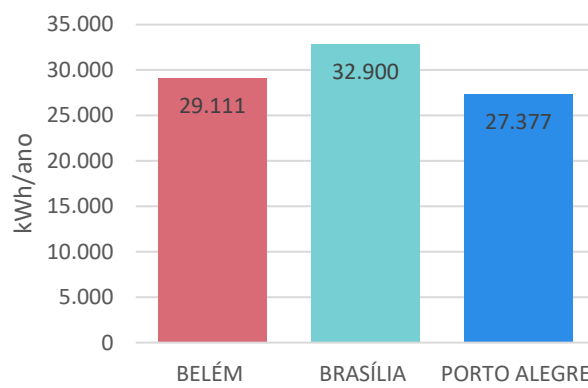
Em Porto Alegre, embora o índice de área efetiva seja menor (75,4%), o percentual ainda representa uma parcela substancial da superfície total. A redução pode ser atribuída à maior latitude da cidade, que favorece ângulos solares mais baixos, aumentando a ocorrência de sombreamentos. Ainda assim, o valor obtido evidencia que mesmo em climas subtropicais, as proteções solares apresentam potencial expressivo para integração fotovoltaica.

Quanto à geração anual de energia dos módulos PVs instalados na cobertura, o gráfico apresentado na Figura 4.24 evidencia que Brasília novamente destacou-se com o maior valor de geração (32.900 kWh/ano), seguido por Belém (29.111 kWh/ano) e Porto Alegre (27.377 kWh/ano). Esses resultados sugerem que Brasília, devido à sua alta irradiância global direta e menor índice de nebulosidade ao longo do ano, favorece a maior geração de energia. Enquanto em Belém, devido à maior predominância de céu nublado, e Porto Alegre, localizada em uma maior latitude, resultaram em menores valores de geração de energia.

No que se refere à geração de energia por área efetiva (kWh/m^2), conforme esperado, os módulos PVs instalados na cobertura demonstraram maior eficiência em comparação aos valores médios de PVSDs (Figura 4.25). Essa superioridade se deve à menor interferência de sombreamento e maior uniformidade na exposição solar, em contraste com os PVSDs, que são

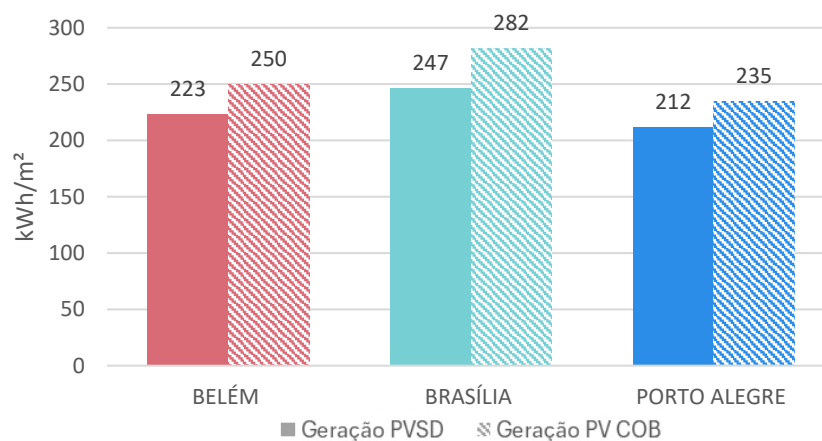
suscetíveis ao autossombreamento e sombreamento do entorno. A diferença de desempenho foi muito semelhante entre as três cidades avaliadas. Brasília evidenciou a maior diferença, onde os módulos de cobertura apresentaram uma eficiência 12% superior à dos PVSDs. Em Belém, a superioridade foi de 10%, enquanto em Porto Alegre alcançou 9%.

Figura 4.24: Geração Total de Energia em módulos PVs na cobertura (kWh/ano).



Fonte: Autoria própria

Figura 4.25: Geração de Energia por área efetiva de PVSD versus módulos PVs na cobertura (kWh/m²).



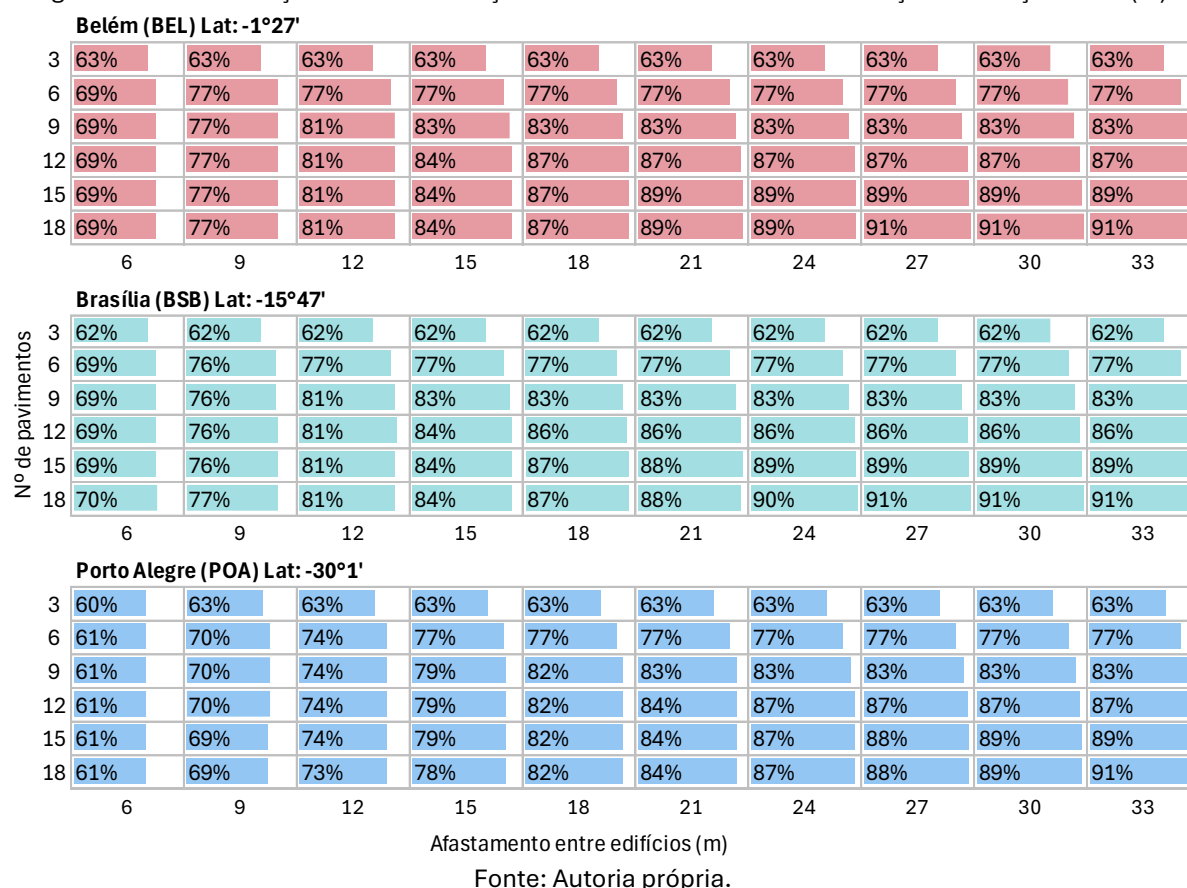
Fonte: Autoria própria

Yu *et al.* (2025), que analisaram o potencial energético de sistemas fotovoltaicos integrados às fachadas verticais e coberturas de edifícios em 120 cidades ao redor do mundo, confirmaram que as coberturas superam as fachadas na maior parte dos territórios analisados. Segundo o estudo, a média global do potencial fotovoltaico das fachadas é de 68,2% do potencial das coberturas. Na presente pesquisa, entretanto, os resultados dos PVSDs nas três cidades brasileiras analisadas demonstram que, em todas elas, o potencial de geração supera a média global, variando de 88% a 91% do potencial da cobertura. Essa vantagem pode ser atribuída, por um lado, à localização das cidades em latitudes geográficas mais favoráveis e, por

outro, ao fato de que os PVSDs operam em superfícies horizontais ou levemente inclinadas, o que constitui um ângulo intrinsecamente mais propício à captação de irradiação solar quando comparado às fachadas verticais.

No entanto, essa vantagem da cobertura deixa de prevalecer quando se considera a geração total proporcionada pelos PVSDs nas fachadas em comparação à geração total proveniente da cobertura, sobretudo devido à diferença na proporção de áreas disponíveis para a instalação dos sistemas. O gráfico apresentado na Figura 4.26 evidencia esse comportamento apresentando a contribuição relativa dos dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs) instalados nas fachadas em relação à geração fotovoltaica total em todos os cenários simulados.

Figura 4.26: Contribuição anual da Geração em PVSD nas fachadas em relação a Geração Total (%).

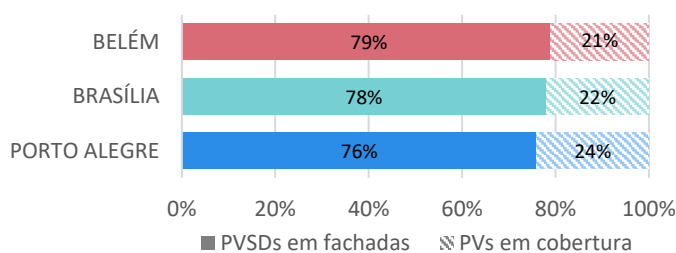


Esta análise revela que, em todos os cenários, a geração de energia dos PVSDs supera a geração proveniente da cobertura, indicando o papel fundamental da geração em fachadas no balanço energético dos edifícios simulados. Os resultados demonstram padrões consistentes nas três cidades avaliadas. Em contextos urbanos com menor afastamento, a contribuição dos PVSDs é menor, variando entre 60% e 70%, o que implica que a cobertura ainda desempenha um

papel relevante na geração fotovoltaica total nesses casos. No entanto, à medida que o afastamento aumenta, a contribuição dos PVSDs cresce substancialmente, chegando a 91% em edifícios de 18 pavimentos. Isso reflete o aumento proporcional da área de fachada em relação à área de cobertura em edifícios mais altos, evidenciando a importância das fachadas na captação de energia em edificações verticais.

O gráfico apresentado na Figura 4.27 representa a participação média relativa da geração de energia proveniente dos dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs), instalados nas fachadas, e dos módulos PVs posicionados na cobertura, considerando o conjunto dos cenários simulados para as três cidades avaliadas. Observa-se uma redução na contribuição da geração em PVSDs na geração total e aumento da contribuição da geração em PVs a medida que aumenta a latitude, confirmando as conclusões de Yu *et al.* (2025). Em Belém, os PVSDs respondem por aproximadamente 79% da geração total. Em Brasília, a participação reduz-se ligeiramente para 78%. Por fim, Porto Alegre, apresenta a menor participação relativa dos PVSDs, com 76%, e a maior parcela proveniente da cobertura, de 24%.

Figura 4.27: Participação anual média relativa da geração de energia em PVSDs e PVs.



Fonte: Autoria própria.

Estes achados contrastam com os resultados observados por Rostami, Nasrollahi e Khodakarami (2024), na cidade de Ilam (33°38'N), cuja latitude oposta se assemelha a Porto Alegre. Os autores identificaram que as coberturas recebem cerca de 65% da irradiação total do edifício, enquanto as fachadas verticais captam 35%. Novamente, a distinção do ângulo de captação entre fachadas verticais e PVSDs podem apoiar esta diferença. Na avaliação global de Yu *et al.* (2025) foi verificado que em 35,9% das áreas analisadas, as fachadas verticais recebem mais irradiação total que as coberturas, evidenciando um potencial ainda pouco explorado para expansão de sistemas BIPV.

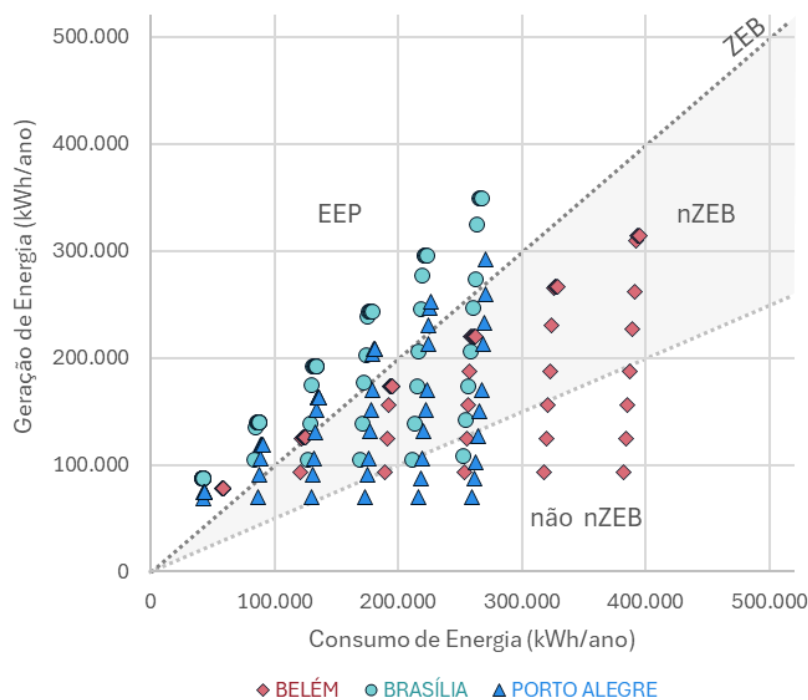
Os resultados da presente pesquisa corroboram com a constatação de Yu *et al.* (2025) e reforçam a relevância dos PVSDs, principalmente em edifícios verticais, para maximizar o aproveitamento da irradiação solar. Os PVSDs resultaram dominantes em todos os cenários,

mesmo em edifícios baixos e menor afastamento do entorno. Vale ressaltar, contudo, que tanto Yu et al. (2025) quanto Rostami, Nasrollahi e Khodakarami (2024) realizaram suas análises considerando cenários urbanos reais, com obstruções efetivas do entorno, enquanto a presente pesquisa utiliza um cenário hipotético e uniforme, no qual os edifícios estão sujeitos a condições ideais e geometricamente controladas. Essa diferença metodológica pode resultar em superestimativa do desempenho relativo dos PVSDs, uma vez que, na prática, fachadas enfrentam graus variados de sombreamento gerado por volumes urbanos irregulares. Essa presente análise ressalta a necessidade de explorar soluções para geração em fachadas para aproveitar ao máximo o potencial de geração em edifícios de diferentes alturas, bem como diretrizes de configurações urbanas, para apoiar o alcance das metas nZEB.

4.4.2 POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA (PG) E A CLASSIFICAÇÃO NZEB

Para enquadrar os modelos simulados no conceito de edifícios de balanço energético nulo (nZEB) ou edificações de energia positiva (EEP), segundo os critérios da INI-C, foi calculado o Potencial de Geração de Energia (PG), que expressa o percentual da energia primária consumida pela edificação atendido por fontes renováveis geradas localmente. A Figura 4.28 ilustra a relação entre o consumo e a geração de energia anual (kWh/ano) dos cenários simulados nos três contextos climáticos avaliados.

Figura 4.28 Gráfico do consumo de energia anual x geração de energia anual (kWh/ano).



Fonte: Autoria própria.

A área do gráfico foi dividida em três zonas de desempenho: “não nZEB,” “nZEB” e “EEP”. Observa-se que a maior parte dos cenários se localiza na região “EEP” e “nZEB”, evidenciando que, embora nem todos os casos atinjam o balanço energético nulo, a combinação entre consumo otimizado e geração fotovoltaica mostrou-se eficaz.

Os valores de PG foram organizados em matrizes que relacionam o número de pavimentos e o afastamento dos edifícios para cada cidade avaliada (Figura 4.29). Uma gradação de cores foi aplicada em todo o conjunto de dados, variando do verde (maiores valores de PG), ao vermelho (menores valores de PG). A Figura 4.29 demonstra que os percentuais mais elevados de Potencial de Geração de Energia (PG) estão associados a edifícios mais baixos e a um entorno urbano mais afastado.

Figura 4.29: Matriz do Potencial de Geração de Energia (PG) – Gradiente de cor aplicado para o conjunto de dados dos três contextos climáticos avaliados.

Belém (BEL) Lat: -1°27'										
3	136%	135%	134%	134%	134%	133%	133%	133%	133%	133%
6	77%	102%	102%	102%	101%	101%	101%	101%	101%	101%
9	49%	65%	81%	90%	89%	89%	89%	89%	88%	88%
12	37%	49%	61%	73%	85%	84%	84%	84%	84%	84%
15	29%	39%	49%	58%	71%	82%	82%	82%	81%	81%
18	24%	32%	41%	48%	58%	67%	67%	79%	80%	80%
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
Brasília (BSB) Lat: -15°47'										
3	212%	210%	209%	208%	208%	207%	207%	207%	206%	206%
6	125%	158%	163%	162%	161%	161%	160%	160%	160%	159%
9	83%	108%	134%	146%	146%	145%	144%	144%	143%	143%
12	62%	81%	102%	116%	136%	138%	137%	137%	136%	136%
15	50%	65%	81%	95%	112%	126%	133%	133%	133%	132%
18	43%	56%	68%	80%	94%	104%	123%	131%	131%	130%
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
Porto Alegre (POA) Lat: -30°1'										
3	163%	172%	171%	171%	170%	170%	169%	169%	169%	169%
6	80%	104%	120%	133%	133%	132%	132%	132%	131%	131%
9	54%	69%	80%	98%	112%	121%	121%	121%	120%	120%
12	40%	52%	60%	74%	85%	95%	113%	115%	115%	115%
15	32%	40%	48%	59%	68%	76%	95%	102%	109%	112%
18	27%	33%	39%	48%	56%	64%	79%	86%	96%	108%
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
Afastamento entre edifícios (m)										
Fonte: Autoria própria.										

Edifícios de menor altura, além de alcançarem melhores resultados em termos de consumo energético, também são mais favoráveis para a geração fotovoltaica, devido à maior proporção entre a área de cobertura e a área de fachada. Este resultado de PG consistentemente elevado para edificações baixas também foi confirmado por André *et al.* (2022) e Góes (2024). A

cobertura, por sua posição privilegiada, favorece a captação da irradiação solar, maximizando a geração de energia em edificações de elevada relação cobertura/fachada. À medida que o número de pavimentos aumenta, amplia-se a superfície de fachada exposta, o que eleva a geração de energia pelos dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs). Portanto, em edificações mais altas, os PVSDs superam significativamente a geração da cobertura. Conforme demonstrado no tópico anterior, esse efeito é potencializado quando aumenta o afastamento entre os edifícios do entorno, permitindo uma captação mais eficiente de irradiação solar pelos PVSDs, resultando em maiores valores de PG.

Os resultados revelam que Brasília apresenta os maiores valores de Potencial de Geração de Energia (PG), seguida por Porto Alegre, enquanto Belém exibe os menores valores. O excelente desempenho de Brasília foi atribuído ao baixo consumo de energia combinado com a elevada irradiação solar global anual. Em contraste, Belém, embora também apresente elevados níveis de irradiação solar, enfrenta maiores dificuldades em alcançar altos valores de PG devido ao elevado consumo energético decorrente de seu clima quente e úmido, que aumenta a demanda por refrigeração. Porto Alegre, apesar de receber menos irradiação solar, beneficia-se de um consumo energético reduzido, semelhante ao de Brasília, permitindo resultados mais favoráveis de PG que Belém.

A elevada viabilidade de alcançar a meta nZEB em Brasília também foi confirmada nos estudos de Walter Costa, David Amorim e Cronemberger (2020) e André *et al.* (2022). No caso da pesquisa de Walter Costa, Amorim e Cronemberger (2020), foram adotados módulos fotovoltaicos tanto em cobertura quanto em fachadas em edifício de escritórios de 4 pavimentos, alcançando proporções entre geração e demanda variando entre 95% e 112%. Por sua vez, a investigação de André *et al.* (2022), considerou a geração fotovoltaica na cobertura e demonstrou que modelos de edifícios de escritório de 3 pavimentos podem alcançar a classificação EEP, de 6 pavimentos nZEB, enquanto de 12 pavimentos não atenderam ao critério, evidenciando que nesses casos de tipologia mais alta é necessária uma geração complementar para além da cobertura.

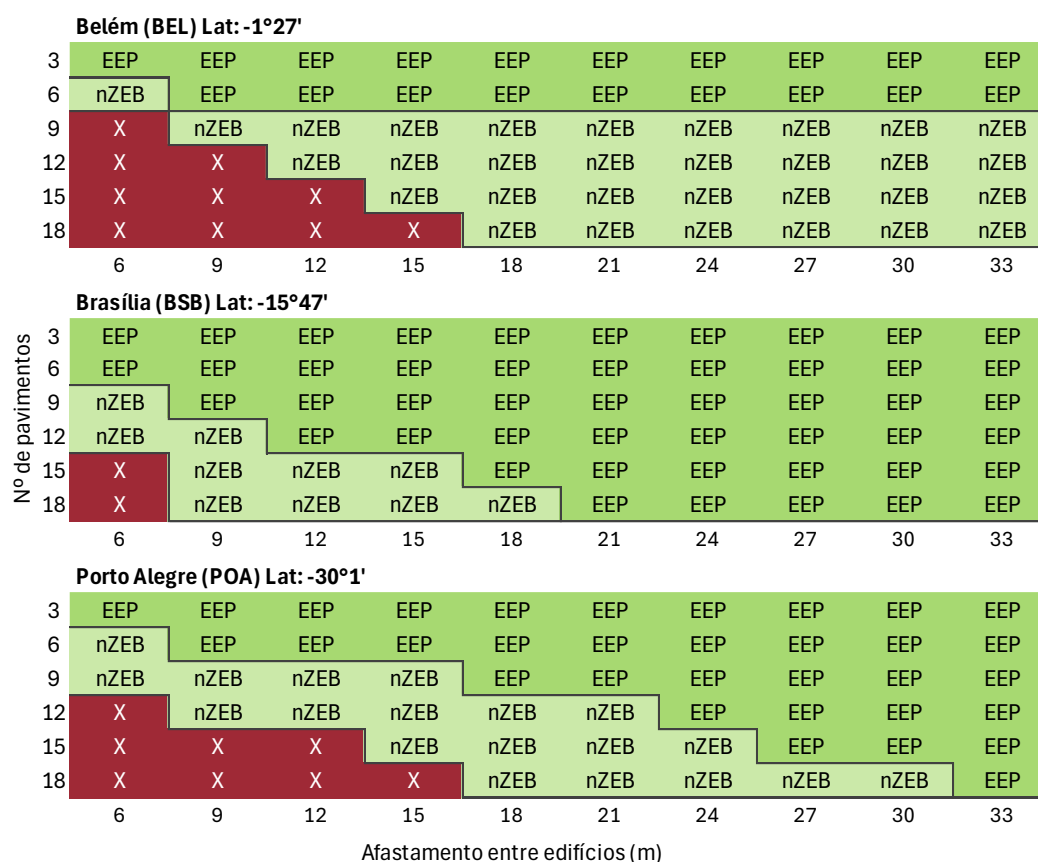
Os valores superiores de PG obtidos para Brasília na presente pesquisa podem ser atribuídos às diferenças metodológicas entre os estudos. Por exemplo, as estratégias de eficiência energética e a eficiência dos módulos fotovoltaicos adotados aqui refletem avanços tecnológicos recentes, superando aquelas utilizadas por Walter Costa, Amorim e Cronemberger (2020). Em contrapartida, no estudo de André *et al.* (2022) a geração foi considerada

exclusivamente na cobertura, embora a área estimada tenha sido proporcionalmente superior, equivalente a 90%, contra os 50% adotados nesta presente pesquisa.

Em climas mais quentes como o de Belém, o aumento do consumo energético para refrigeração reduz a capacidade de alcançar edifícios nZEB. Didoné, Wagner e Pereira (2014) também verificaram esse comportamento ao comparar edifícios de energia zero em Florianópolis e Fortaleza, constatando a necessidade de incorporar maior quantidade de módulos fotovoltaicos em Fortaleza, que, assim como Belém, apresenta limitações para atingir elevados valores de PG, não pela insuficiência do recurso solar, mas por conta da elevada demanda térmica associada ao clima.

Aplicando-se as classificações “não nZEB”, “nZEB” e “EEP” na matriz de resultados, sem distinção quanto a classificação de eficiência energética, obtém-se o gráfico apresentado na Figura 4.30.

Figura 4.30: Classificação dos modelos otimizados conforme balanço energético (sem distinção da classificação de eficiência energética).



Fonte: Autoria própria.

Estes resultados refletem as análises anteriores. Os edifícios de menor altura e maior afastamento tendem a alcançar a classificação EEP ou NZEB, sugerindo que essas condições favorecem uma compensação mais eficiente entre geração e consumo energético. Além disso, os maiores afastamentos reduzem o sombreamento do entorno, aumentando a exposição solar direta, especialmente nos dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs). Nos cenários de menor afastamento e maior altura, predominam classificações “Não NZEB”. Nesses contextos, à medida que a altura do edifício aumenta, a geração de energia nos PVSDs torna-se mais comprometida pela obstrução do entorno, revelando-se insuficiente para compensar o aumento do consumo energético.

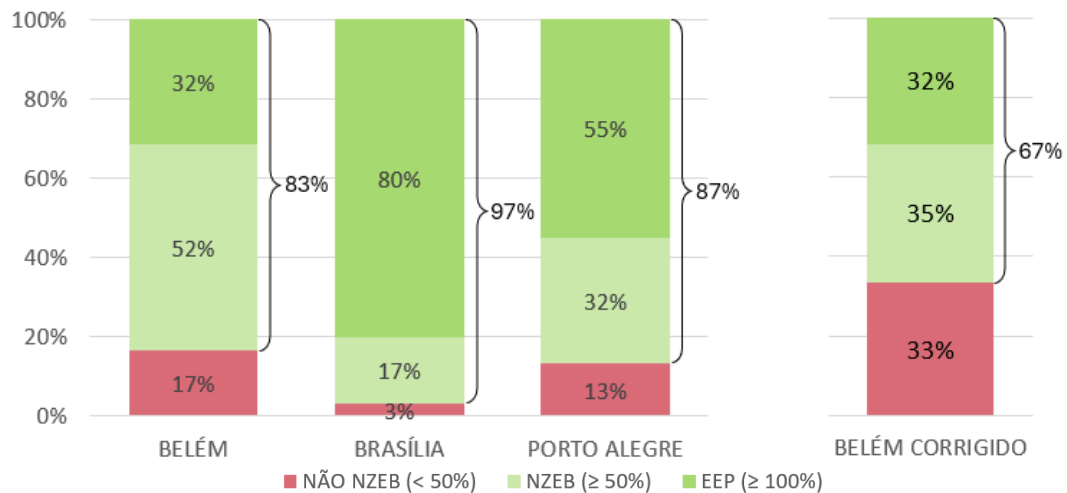
Brasília concentra o maior número de cenários enquadrados na classificação nZEB, seguida por Porto Alegre, enquanto Belém apresenta um desempenho mais restritivo. O destaque de Brasília está associado à combinação de baixos níveis de consumo energético e elevada disponibilidade anual de irradiação solar. Em contrapartida, Belém, apesar de dispor de elevada irradiação solar, apresenta maior dificuldade em atingir a classificação nZEB em função do elevado consumo de energia imposto pelo clima quente e úmido, que intensifica a demanda por refrigeração. Porto Alegre, por sua vez, mesmo com menor disponibilidade de irradiação solar, beneficia-se de um consumo energético reduzido, semelhante ao observado em Brasília, o que possibilita a obtenção de classificações nZEB em diversos cenários. Como resultado, verifica-se que Porto Alegre exibe comportamento próximo ao de Belém no que se refere aos cenários não enquadrados como nZEB, representados pelo símbolo “X”, na Figura 4.30.

A análise do gráfico (Figura 4.30) também evidenciou a influência da latitude no potencial nZEB. Em regiões próximas ao Equador, como Belém, onde a altura solar é mais elevada e uniforme ao longo do ano, o alcance da meta nZEB mostrou-se menos sensível ao afastamento entre os edifícios do entorno, apresentando resultados mais constantes. Em contrapartida, em Porto Alegre, localizada em uma latitude mais elevada e com menor altura solar média, os resultados escalonados demonstraram que o afastamento do entorno exerce uma maior influência no potencial nZEB. Brasília, localizada em uma latitude intermediária, também apresenta uma maior sensibilidade ao afastamento do entorno, mas com um nível de escalonamento menor que o observado em Porto Alegre.

De modo geral, as condições climáticas e a disponibilidade de irradiação solar influenciaram o alcance da meta nZEB nas cidades avaliadas. Climas mais quentes aumentam o consumo, enquanto a elevada irradiação favorece a geração. Nesse contexto, Brasília atingiu

a meta em 97% dos casos, enquanto Belém e Porto Alegre apresentaram resultados similares, alcançando a meta em 83% e 87% dos casos, respectivamente (Figura 4.31, à esquerda).

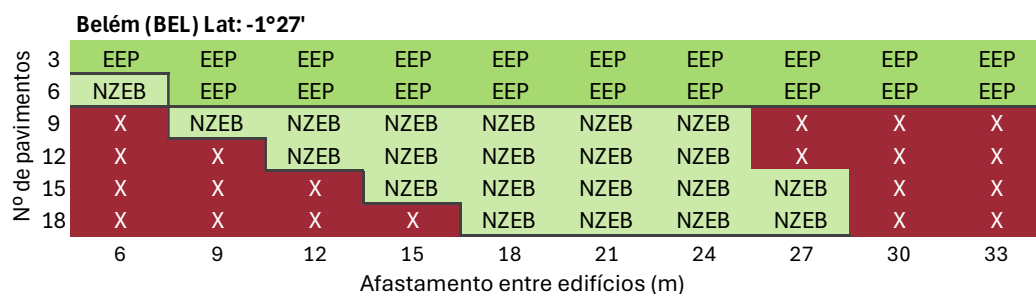
Figura 4.31: Potencial nZEB em percentual de casos, sem considerar a classificação de eficiência energética (à esquerda) e potencial nZEB corrigido para Belém (à direita).



Fonte: Autoria própria.

Entretanto, cabe destacar que, de acordo com a INI-C, as classificações nZEB e EEP são condicionadas à obtenção do nível “A” de eficiência energética. A análise apresentada na Figura 4.30 desconsidera essa regra da normativa, mas foi assim estruturada com o propósito de permitir a investigação da influência da obstrução urbana sobre o potencial nZEB de forma independente. No caso de Belém, alguns cenários atingiram um potencial de geração igual ou maior que 50% em relação ao consumo, mas obtiveram a classificação de eficiência energética “B”. Desta forma, o gráfico anterior foi ajustado para refletir a aplicação do critério normativo (Figura 4.32). A partir dessa atualização, obtém-se novos percentuais de atendimento ao potencial nZEB para Belém, indicados no gráfico da Figura 4.31, à direita.

Figura 4.32: Classificação dos modelos otimizados conforme balanço energético para Belém, ajustado considerado a classificação de eficiência energética “A”.



Fonte: Autoria própria.

Ao se considerar exclusivamente a geração de energia proveniente dos módulos fotovoltaicos instalados na cobertura, prática atualmente mais recorrente, verifica-se uma redução bastante expressiva no atendimento à meta nZEB (Figura 4.33). Nesta configuração, o desempenho nZEB foi alcançado apenas em edifícios de três pavimentos em Brasília e Porto Alegre, e em dois cenários específicos em Belém, também com três pavimentos e menor afastamento entre edificações. A predominância de edificações baixas nesta análise reforça a conclusão de que esta tipologia favorece o balanço energético (Didoné, 2014; André *et al.*, 2022 e Góes, 2024).

Figura 4.33: Classificação dos modelos otimizados conforme balanço energético, considerando geração fotovoltaica exclusiva na cobertura.

Belém (BEL) Lat: -1°27'											C/F	
Nº de pavimentos	3	nZEB	nZEB	X	X	X	X	X	X	X	38%	
	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	19%	
	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13%	
	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9%	
	15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	8%	
	18	X	X	X	X	X	X	X	X	X	6%	
		6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
Brasília (BSB) Lat: -15°47'											C/F	
Nº de pavimentos	3	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	38%
	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	19%
	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13%
	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9%
	15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	8%
	18	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	6%
		6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
Porto Alegre (POA) Lat: -30°1'											C/F	
Nº de pavimentos	3	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	nZEB	38%
	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	19%
	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13%
	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9%
	15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	8%
	18	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	6%
		6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
Afastamento entre edifícios (m)												

Afastamento entre edifícios (m)

Fonte: Autoria própria.

Assim, o percentual de cenários que atingiram a meta nZEB reduziu-se para 3% em Belém e 17% em Brasília e Porto Alegre. Cabe destacar que as simulações consideraram apenas 50% da área de cobertura ativa para geração e livre de sombreamento, condição nem sempre presente em ambientes urbanos densos, onde as alturas das edificações são heterogêneas.

Resultados semelhantes são observados em estudos brasileiros que avaliaram o potencial de geração fotovoltaica exclusivamente na cobertura. Sorgato, Schneider e Rütther (2018), ao analisarem edifícios de escritório em diferentes cidades brasileiras com 100% da

cobertura disponível para instalação de módulos fotovoltaicos, demonstraram que o balanço energético positivo pode ser alcançado em tipologias de quatro pavimentos, exceto em Belém, que demandou geração complementar em fachadas para atender ao consumo integral. De forma semelhante, André *et al.* (2022), considerando 90% da área de cobertura ativa para geração, verificaram que modelos de três pavimentos atingem o nível EEP, enquanto edifícios mais altos já não atendem ao balanço positivo apenas com a cobertura.

Os achados desta pesquisa corroboram uma conclusão amplamente relatada na literatura: Cronemberger; Caamaño-Martín e Sánchez (2012), Didoné; Wagner e Pereira (2014), Costa (2018), André *et al.* (2022) e Barrutieta *et al.* (2023), apontam que a geração exclusiva nas coberturas é insuficiente para atingir as metas nZEBs.

Barrutieta *et al.* (2023), que analisaram edifícios em clima temperado, indicam que, em edifícios com relação cobertura/fachada (C/F) inferior a 28%, a geração de energia nas fachadas é decisiva para alcançar um balanço energético positivo. Na presente investigação, esta diretriz se confirmaria para cenários nZEB em Brasília e Porto Alegre, conforme valores de C/F indicados à direita do gráfico acima (Figura 4.33). Para Belém, entretanto, uma relação cobertura/fachada maior ainda dependeria da geração complementar em fachadas para alcançar a meta nZEB. Destaca-se que em nenhum cenário com a geração fotovoltaica exclusivamente na cobertura foi possível alcançar o balanço energético positivo. Isso evidencia a necessidade de explorar soluções adicionais que possam maximizar a geração de energia renovável nos edifícios.

Os achados desta pesquisa evidenciam a relevância dos dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs) para a ampliação do potencial de geração em edifícios verticais, corroborando as conclusões da revisão sistemática realizada por Zhang *et al.* (2018). Segundo os autores, os PVSDs configuram uma tecnologia promissora para viabilizar edificações de Energia Quase Zero (nZEB), especialmente em países com elevado potencial solar, embora o avanço do conhecimento ainda seja limitado pelo pequeno número de estudos dedicados ao tema. A presente investigação contribui para preencher essa lacuna, ao demonstrar, em três contextos climáticos brasileiros, o impacto significativo que os PVSDs podem exercer no balanço energético de edifícios.

Zhang *et al.* (2018) também destacaram como obstáculo a reduzida oferta de produtos PVSD disponíveis no mercado. Em consonância, Dos Santos *et al.* (2025), ao realizarem um levantamento de tecnologias BIPV, verificaram grande diversidade formal atual nos modelos

internacionais, em termos de cores, formatos e aplicações, mas identificaram a quase inexistência de produtos BIPV comercialmente disponíveis no mercado brasileiro. Isso reforça que, apesar do potencial técnico demonstrado pelos PVSDs nesta pesquisa, a sua adoção ainda é restringida pela limitada disponibilidade tecnológica e comercial do contexto nacional.

Apesar das barreiras atuais, o cenário futuro tende a ser mais favorável. A expansão global da tecnologia BIPV e o crescimento gradual do mercado brasileiro (CANAL SOLAR, 2025), associados às políticas de incentivo à geração distribuída e à futura obrigatoriedade de edificações públicas federais atenderem à meta nZEB, indicam que a oferta de produtos tende a se diversificar. A evolução estética e o aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaicos integrados, também devem impulsionar a penetração da tecnologia no setor da construção civil nos próximos anos (Pillai; Shabunko; Krishna, 2022).

Paralelamente a esse avanço de mercado, observa-se um progresso tecnológico voltado à mitigação dos efeitos do sombreamento, tanto aquele imposto pelo entorno urbano quanto o autossombreamento, condição particularmente crítica em dispositivos de sombreamento fotovoltaicos (PVSDs). Pesquisas recentes indicam que estratégias de natureza óptica e eletrônica vêm sendo desenvolvidas para reduzir perdas associadas à não uniformidade da irradiação incidente, incluindo o redesenho das células fotovoltaicas, o uso de configurações avançadas de eletrodos, padrões de coleta otimizados e soluções baseadas em segmentação elétrica e controle inteligente de strings, capazes de limitar a propagação de perdas por sombreamento parcial (Roy *et al.*, 2020; Al-Samawi *et al.*, 2024).

Nesse contexto, as células fotovoltaicas à base de perovskita, chamadas de “terceira geração” de células fotovoltaicas, assumem papel de destaque, uma vez que apresentam vantagens frente às tecnologias convencionais de silício cristalino quando operam sob condições de irradiação difusa, ângulos de incidência elevados e sombreamento parcial, situações típicas de fachadas urbanas e de PVSDs. Estudos recentes demonstram que dispositivos de perovskita combinam elevada eficiência de conversão, baixo custo de produção e versatilidade de aplicação. Seu desempenho se mantém elevado mesmo sob condições de baixa disponibilidade de irradiação solar, além de possibilitarem configurações semitransparentes, controle espectral da irradiação transmitida e maior flexibilidade de integração arquitetônica (Roy *et al.*, 2020). Essas características ampliam significativamente o potencial de aplicação da tecnologia em fachadas, cânions urbanos e sistemas integrados a

elementos de sombreamento, reforçando sua relevância no contexto de edificações de energia quase zero (nZEB).

Assim, os resultados desta pesquisa sugerem que, à medida que se avança a tecnologia e se amplia a disponibilidade de produtos BIPV e seja consolidada sua adoção no mercado nacional, haverá espaço para uma revisão dos parâmetros normativos brasileiros. A INI-C, ao estabelecer como referência nZEB o atendimento de 50% do consumo energético por geração renovável local, adota um valor prudente diante do estágio atual do mercado. No entanto, os cenários analisados neste estudo indicam que metas mais ambiciosas podem ser tecnicamente viáveis e compatíveis com as diversidades climáticas do Brasil. Projeta-se, por exemplo, que valores de referência próximos a 85% em Brasília, 70% em Porto Alegre e 65% em Belém seriam alcançáveis com o uso consolidado de PVSDs. Essas projeções representariam 83% dos cenários atuais em Brasília e 78% dos cenários atuais em Belém e Porto Alegre.

Porém, qualquer revisão normativa imediata seria prematura, dada a baixa disponibilidade atual de produtos nacionais e o estágio incipiente do mercado. Assim, reforça-se a necessidade de continuidade da pesquisa aplicada, do desenvolvimento industrial e de políticas públicas que estimulem soluções BIPV e PVSDs, de modo a criar condições estruturais para metas nZEB mais ambiciosas no futuro próximo.

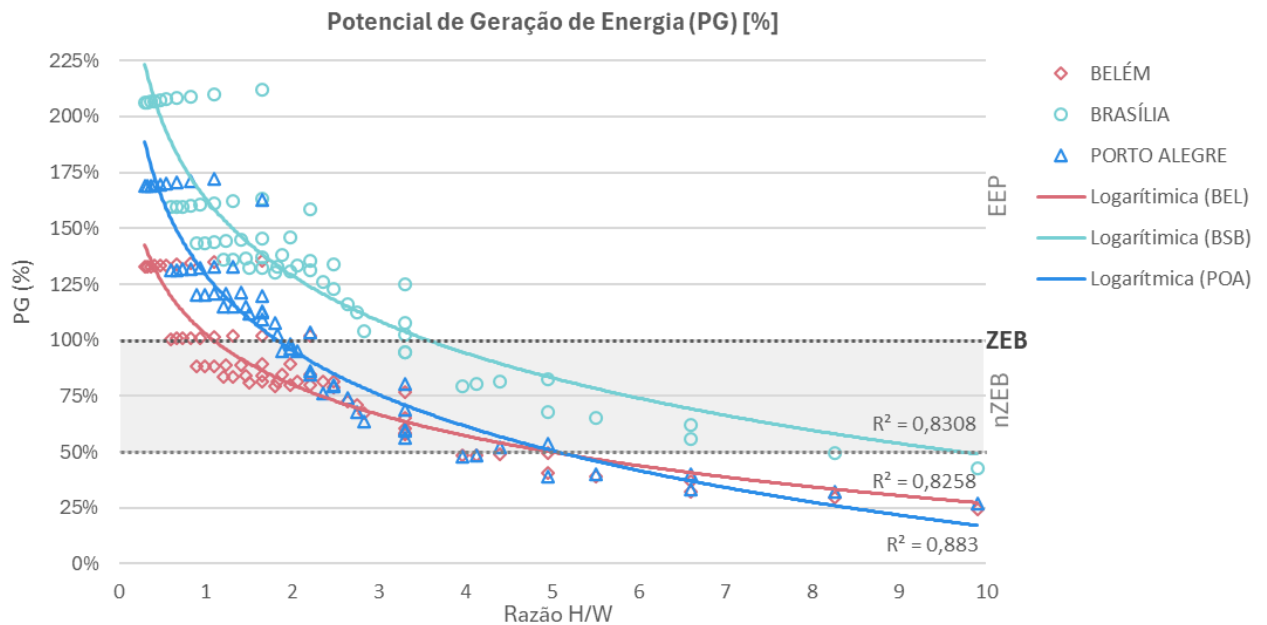
4.4.2.1 IMPACTO DA RAZÃO H/W NO POTENCIAL NZEB

Para melhor compreender como as variáveis de altura e afastamento entre edifícios influenciam conjuntamente o potencial nZEB, os resultados do Potencial de Geração de Energia (PG) foram analisados em função do indicador da obstrução urbana razão H/W (ou Prospecto), conforme gráfico de dispersão representado na Figura 4.34. As linhas de referência horizontais marcam as classificações nZEB (Edifício de Balanço Energético Quase Nulo), ZEB (Edifício de Balanço Energético Nulo), e EEP (Edifício de Energia Positiva).

Observa-se que, à medida que a razão H/W aumenta, o PG diminui significativamente para todas as cidades, indicando que edificações altas com menor afastamento entre edifícios (maior H/W) apresentam menor viabilidade para alcançar a meta nZEB. Esta tendência é modelada por equações logarítmicas ajustadas para cada cidade, a fim de auxiliar na previsão de como a obstrução urbana, representada neste estudo pela razão H/W, pode afetar o potencial nZEB. As equações ajustadas para cada cidade exibem altos coeficientes de determinação (R^2),

de 0,8258 para Belém, 0,8308 para Brasília e 0,8830 para Porto Alegre, conforme mostrado na Tabela 4.25. Esses valores indicam que mais de 80% dos casos simulados podem ser explicados pelas equações apresentadas para cada cidade.

Figura 4.34: Gráfico de dispersão do Potencial de Geração PG em função da razão H/W.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 4.25: Equações ajustadas para cada cidade em função do PG e Razão H/W.

BELÉM	Logarítmica:	$PG = -0,33\ln(H/W) + 1,0299$	$R^2 = 0,8258$
BRASÍLIA	Logarítmica:	$PG = -0,499\ln(H/W) + 1,6341$	$R^2 = 0,8308$
PORTO ALEGRE	Logarítmica:	$PG = -0,49\ln(H/W) + 1,2951$	$R^2 = 0,8830$

Fonte: Autoria própria.

Essa forte correlação evidencia que a razão H/W desempenha um papel relevante no potencial nZEB das cidades avaliadas, alinhando-se com estudos de Di Vincenzo *et al.* (2010), Martins (2014) e Rostami; Nasrollahi e Khodakarami (2024). Di Vincenzo *et al.* (2010) identificaram a razão H/W como a variável mais impactante na geração fotovoltaica em dispositivos de sombreamento integrados (PVSDs). Rostami; Nasrollahi e Khodakarami (2024) demonstraram que o aumento da razão H/W reduz significativamente a irradiação solar disponível em cânions urbanos e concluíram que este parâmetro está fortemente relacionado a predição da irradiação. Resultados semelhantes são discutidos por Martins (2014), que demonstra que a razão H/W (o “Prospecto médio”), juntamente com o albedo urbano, exerce influência decisiva sobre o potencial solar de fachadas e coberturas.

Cabe destacar, entretanto, que grande parte das pesquisas dedicadas aos PVSDs parte da premissa de fachadas livres de obstruções do entorno, desconsiderando a interação com o contexto urbano. Essa lacuna dificulta comparações diretas entre valores de razão H/W e resultados reportados em outros estudos sobre PVSDs.

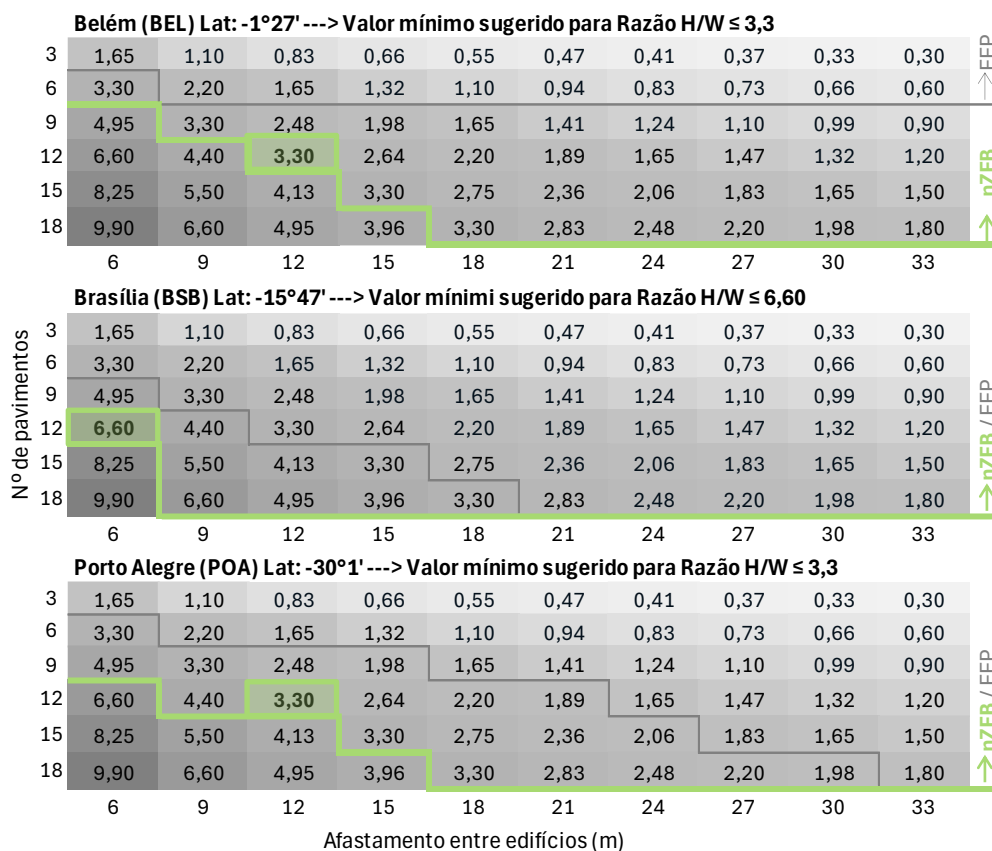
Ao aplicar o valor de PG equivalente a 50% (nZEB) nas equações supracitadas (Tabela 4.25) estima-se um limite da razão H/W para cada cidade, resultando em $H/W \leq 4,99$ para Belém, $H/W \leq 9,51$ para Brasília e $H/W \leq 5,07$ para Porto Alegre. A correlação entre o PG e a Razão H/W revelou-se uma abordagem eficaz para compreender o comportamento urbano em relação à meta nZEB, considerando a geração em PVSD. No entanto, cabe destacar que essa previsão possui uma margem de incerteza, com valores de R^2 em torno de 80%. Esse indicador integra tanto o consumo quanto a geração de energia em uma única métrica, permitindo que ambos os aspectos sejam avaliados de forma simultânea, em vez de separadamente, o que pode auxiliar na tomada de decisões nas etapas iniciais do projeto.

A partir da análise da matriz da Figura 4.35, que detalha todos os valores de razão H/W, com linhas de referência delimitando os cenários “não nZEB”, “nZEB” e “EEP”, é possível identificar limites para a razão H/W a partir de uma abordagem mais conservadora, a fim de alcançar a meta nZEB. Excluindo os valores extremos situados acima da linha de referência, onde a mesma razão H/W é observada em cenários que não atendem ao nZEB, encontra-se um limite sugerido para a razão H/W de até 3,30 para Belém e Porto Alegre e de até 6,60 para Brasília.

Observa-se, portanto, um comportamento convergente entre Belém e Porto Alegre, que resultou na definição de um mesmo limiar mínimo recomendado para a razão H/W. Esta semelhança está relacionada aos aspectos previamente discutidos, referentes ao balanço entre consumo energético e disponibilidade de irradiação solar. Assim, Belém, pelo consumo elevado, e Porto Alegre, pela menor irradiação disponível, apresentaram fatores compensatórios que conduziram a um comportamento semelhante quanto ao limiar de razão H/W necessário para o alcance da condição nZEB.

Cabe ressaltar que essa abordagem não considera condicionante da Classificação “A” estabelecido na INI-C, portanto, não espelha as condições nZEB em Belém.

Figura 4.35: Matriz de razão H/W e o Potencial nZEB

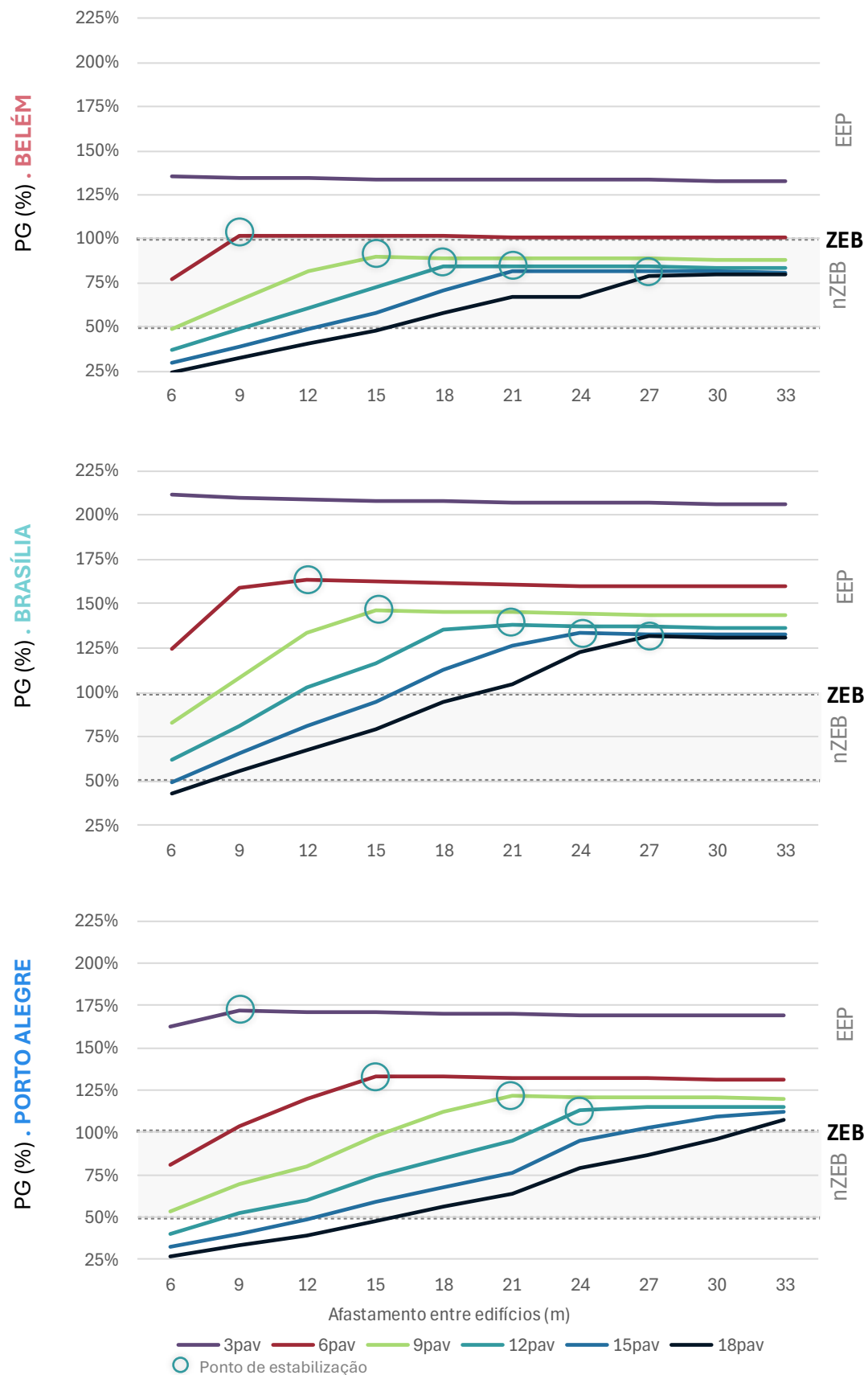


Fonte: Autoria própria.

Ao analisar os resultados por meio dos gráficos de linhas que representam os cenários agrupados por número de pavimentos (Figura 4.36), observa-se que o afastamento do entorno exerce influência direta na geração de energia dos PVSDs nas fachadas até certo ponto, a partir do qual o PG estabiliza, indicado pelas linhas horizontais nos gráficos. A partir desse ponto, o entorno deixa de sombrear os PVSDs e a geração atinge o seu ápice, demonstrando o limite em que o afastamento do entorno influencia no potencial de geração fotovoltaica dos edifícios.

Esta análise também revela que a influência do afastamento é menor em cenários com edifícios de menor altura e se torna mais pronunciada à medida que o número de pavimentos aumenta. Além disso, a inclinação inicial das linhas e o deslocamento do platô de estabilização do PG, demonstra a variação da influência do entorno em cada cidade avaliada. Observa-se que o afastamento do entorno em Porto Alegre causa um impacto mais evidente no PG, demonstrando a influência da latitude na geração de energia em fachadas.

Figura 4.36: Potencial de Geração de Energia – PG (%) em função do afastamento entre edifícios.



Fonte: Autoria própria.

Esses resultados dialogam com o estudo de Didoné (2014), que defende a incorporação de critérios de forma urbana, como distanciamentos adequados entre edifícios, para maximizar o potencial solar das fachadas. Martins (2014) também destaca que ajustes morfológicos e estratégias de otimização não apenas mitigam conflitos energéticos, mas ampliam as possibilidades de integrar o desempenho solar ao planejamento das cidades.

Diante do exposto, os resultados demonstram que o afastamento entre edifícios é um parâmetro relevante no planejamento urbano para maximizar a geração de energia pelos PVSDs, especialmente em edifícios mais altos. Contudo, afastamentos excessivos tornam-se irrelevantes após o ponto de estabilização, indicando que há um limite prático para os benefícios obtidos com o aumento do espaçamento. Assim, estratégias urbanísticas e arquitetônicas devem ser ajustadas para considerar esses limites, sobretudo em contextos urbanos densos.



5 □ CONSIDERAÇÕES FINAIS

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo sintetiza e integra os principais achados desta pesquisa, articulando-os à luz dos objetivos definidos no Capítulo 1. Após o desenvolvimento de um conjunto abrangente de análises envolvendo irradiação solar, desempenho energético, potencial de geração fotovoltaica, bem como a avaliação conjunta desses resultados frente à meta nZEB, torna-se possível consolidar uma compreensão sobre como a obstrução urbana e as características geográficas e climáticas influenciam simultaneamente o consumo e a geração de energia em edifícios de escritórios no contexto brasileiro, considerando as cidades representativas: Belém, Brasília e Porto Alegre. Ao consolidar essas reflexões, o capítulo também apresenta as limitações identificadas no desenvolvimento da pesquisa e propõe caminhos para estudos futuros capazes de ampliar, aprofundar e validar os achados aqui apresentados.

5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O REFERENCIAL TEÓRICO E A METODOLOGIA

A revisão do referencial teórico evidenciou um conjunto importante de lacunas que contextualizam e justificam a relevância desta pesquisa. Embora a literatura sobre dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs) tenha avançado internacionalmente, poucos estudos abordaram de forma específica os climas brasileiros, caracterizados por elevada variabilidade latitudinal, elevada carga térmica predominante e padrões distintos de irradiação. Além disso, entre os trabalhos que analisam PVSDs em climas tropicais ou subtropicais, a integração do entorno urbano raramente foi considerada, o que limita a capacidade de extrapolação dos resultados para áreas urbanas adensadas.

Outro ponto crítico identificado foi a ausência de estudos dedicados à avaliação de PVSDs em fachadas opostas ao Equador, especialmente a fachada sul no hemisfério sul. Esta lacuna dificultou comparações diretas com o conhecimento existente. Assim, o referencial teórico ressaltou a originalidade da contribuição aqui desenvolvida.

O contexto regulatório brasileiro adiciona outra camada de relevância. Com a recente publicação da Resolução que estabelece o cronograma de obrigatoriedade para edifícios nZEB no país, torna-se evidente a urgência de pesquisas aplicadas que forneçam subsídios técnicos às etapas preliminares de projeto, ao planejamento urbano e à formulação de políticas públicas.

Os resultados desta dissertação dialogam diretamente com essa transição normativa, demonstrando que a integração entre eficiência energética, geração distribuída e análise morfológica urbana constitui um caminho necessário para o atendimento progressivo aos requisitos nZEB no Brasil.

No que se refere ao aspecto processual da pesquisa, a metodologia adotada demonstrou coerência com os objetivos estabelecidos. A combinação de simulações paramétricas em modelos hipotéticos, associadas à avaliação simultânea de irradiação solar, consumo energético e geração fotovoltaica, mostrou-se adequada para investigar fenômenos urbanos complexos e interdependentes. O ecossistema das ferramentas utilizadas: Rhinoceros, Grasshopper e Ladybug Tools revelaram-se eficientes para o método proposto, por serem integradas, flexíveis, parametrizáveis e compatíveis com fases iniciais de concepção arquitetônica, momento em que decisões críticas de forma, orientação e configuração volumétrica são tomadas.

A metodologia permitiu ainda analisar um número elevado de cenários, o que assegurou robustez estatística às interpretações e possibilitou a identificação de tendências significativas. Ao contrário das abordagens baseadas em otimização, que tendem a identificar apenas soluções ótimas ou quase ótimas, reduzindo o espaço investigado e obscurecendo o percurso intermediário, a abordagem paramétrica adotada nesta pesquisa permitiu compreender a correlação entre as variáveis. Essa característica foi essencial para revelar tendências, sensibilidades e comportamentos limítrofes, contribuindo para um entendimento mais profundo do efeito da latitude, da orientação, e da obstrução urbana nas análises. Assim, o método adotado mostrou-se mais adequado para esse estudo exploratório, cujo objetivo não é apenas propor soluções ótimas, mas compreender o fenômeno em sua totalidade.

5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE SOLAR

A análise da disponibilidade de irradiação solar permitiu compreender de que modo a latitude, a orientação das fachadas e a obstrução urbana influenciam simultaneamente a inclinação ideal e o desempenho dos dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs), bem como dos módulos fotovoltaicos (PVs) instalados em cobertura. Entre esses fatores, a orientação solar se destacou como a variável de maior relevância, condicionando tanto a definição do ângulo ótimo de inclinação dos PVSDs quanto a magnitude das perdas por sombreamento.

A orientação norte apresentou a maior variação nos ângulos ótimos entre as cidades, evidenciando a forte influência da latitude. Quanto maior a latitude, maior a inclinação necessária para maximizar a captação solar anual. Essa tendência foi identificada nas cidades de Brasília e, sobretudo, Porto Alegre, onde os ângulos ótimos chegaram a 30°, enquanto em Belém, próxima ao equador, os valores permaneceram reduzidos (5°–10°). O afastamento entre edifícios mostrou efeito secundário, contribuindo apenas para ajustes discretos na inclinação ótima à medida que o sombreamento urbano diminui. Nas orientações leste e oeste, o comportamento foi praticamente uniforme entre as cidades e pouco sensíveis à latitude. A maior variação diária da altura solar gerou ângulos reduzidos para aproveitar a parcela de irradiação direta quando o sol atinge maiores elevações. Assim, os ângulos ótimos mantiveram-se entre 5° e 10°, independentemente da latitude. A orientação sul também teve comportamento uniforme e apresentou ângulos de inclinação reduzidos, de modo a favorecer a captação da irradiação direta mais próxima do zênite.

A comparação entre cenários com e sem entorno urbano demonstrou que o entorno não altera substancialmente os ângulos ótimos. Apenas pequenas diferenças pontuais foram constatadas. Assim, recomenda-se que a determinação da inclinação dos PVSDs seja guiada principalmente pela orientação e pela latitude do local.

A influência do sombreamento urbano mostrou-se relevante para a disponibilidade de irradiação incidente nos anteparos. Entretanto, diferentemente do esperado, as maiores perdas não ocorreram necessariamente nos menores afastamentos. Em edifícios altos, o pico de perdas se deslocou para afastamentos intermediários, possivelmente devido à redução dos ganhos por reflexão das fachadas do entorno. Edifícios mais altos apresentaram perdas relativas maiores que as edificações baixas, pois a contribuição da última fileira de PVSDs torna-se menor com o aumento da altura.

Ao comparar as perdas por sombreamento do entorno entre cidades e orientações, observa-se que Belém apresentou os menores valores, com média de 11% e distribuição relativamente uniforme entre as quatro orientações. As maiores perdas ocorreram nas fachadas oeste e leste, embora muito próximas das observadas nas orientações norte e sul. Brasília, por sua vez, registrou as maiores perdas médias (13%), contrariando a expectativa associada à latitude, com destaque para a orientação norte, seguida pelas orientações oeste e leste, que exibiram valores semelhantes, e, por último, a orientação sul. Já Porto Alegre apresentou a maior

variação entre orientações, com perdas médias de 12% e padrão de relevância similar ao de Brasília, evidenciando maior sensibilidade às diferenças de orientação solar.

A investigação do autossombreamento dos próprios PVSDs identificou perdas médias de 20% em Belém, 19,4% em Brasília e 17,6% em Porto Alegre, valores coerentes com a latitude. A orientação sul apresentou as maiores perdas, devido à predominância de irradiação proveniente de maiores alturas solares, que acentua o sombreamento entre os anteparos. Já a orientação norte mostrou maior sensibilidade à latitude, demonstrando que a menor altura solar reduz a projeção de sombras verticais. As orientações leste e oeste registraram perdas intermediárias e equilibradas, uma vez que a variação da altura solar ao longo do dia mitiga parcialmente a persistência do sombreamento vertical.

A distribuição percentual da irradiação solar por orientação confirmou a influência da latitude: a participação da fachada norte aumentou com o afastamento do equador. Entretanto, quando o entorno é considerado, em Brasília e Porto Alegre, verifica-se uma redução da contribuição relativa da fachada norte e aumento da fachada sul, evidenciando maior sensibilidade ao sombreamento urbano em cidades de maior latitude. As orientações Leste e oeste mantiveram proporções intermediárias e estáveis, independentemente da presença do entorno. Ao analisar os percentuais de perdas de irradiação em relação à melhor orientação, observa-se que o efeito do autossombreamento é fortemente modulado pela latitude, intensificando-se à medida que a localização se afasta do equador.

Quanto ao arranjo dos módulos PVs instalados na cobertura, observou-se que a configuração ótima para maximizar a produção de energia envolve afastamento mínimo entre fileiras e baixas inclinações, a fim de maximizar a área útil e reduzir o sombreamento entre fileiras, demonstrando que otimizar a ocupação da superfície de cobertura é mais favorável para ampliar a geração do que adotar a inclinação teórica ideal.

De modo geral, os resultados mostram que a orientação solar é o principal determinante na definição do ângulo ótimo dos PVSDs, sendo a latitude relevante para a definição na orientação norte. Ressalta-se ainda a escassez de estudos científicos que analisam o comportamento de todas as orientações, especialmente a orientação sul (oposta ao Equador) considerando o efeito do sombreamento urbano, o que reforça a contribuição deste trabalho para o avanço do conhecimento.

Os resultados reforçam a necessidade de considerar o contexto urbano na viabilidade de soluções fotovoltaicas integradas à fachada. Projetos que não levem em conta o sombreamento do entorno tendem a superestimar o potencial de geração de energia. Assim, essa análise oferece subsídios relevantes para a formulação de diretrizes arquitetônicas e urbanísticas que favoreçam a eficiência de sistemas fotovoltaicos integrados à envoltória, sobretudo em áreas de alta densidade construtiva, onde o sombreamento do entorno pode comprometer significativamente o desempenho dos sistemas.

5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA E A CLASSIFICAÇÃO INI-C

Fundamentado no princípio da priorização da eficiência energética, em que edifícios devem primeiro alcançar um alto nível de eficiência energética para que seu consumo residual possa ser atendido por fontes renováveis, visando um balanço energético nZEB, este estudo avaliou a eficientização de modelos de edifícios de escritório inseridos em cenários urbanos hipotéticos. O objetivo foi validar as estratégias de eficiência energética e compreender de que modo a forma e a obstrução urbana influenciam no desempenho, seguindo os critérios da NI-C.

As análises comparativas entre os modelos de referência e os modelos otimizados demonstraram que as estratégias adotadas foram efetivas em reduzir o consumo total de energia, ainda que com magnitudes distintas em função das características climáticas de cada cidade. As reduções médias alcançadas foram de 35% em Belém, 42% em Brasília e 39% em Porto Alegre, evidenciando maior efetividade das estratégias em climas mais amenos.

O consumo destinado à refrigeração foi examinado com maior detalhe, dada sua forte dependência da forma e do nível de sombreamento proporcionado pelo entorno. Observou-se que o aumento do afastamento entre edifícios eleva o consumo, devido à diminuição do sombreamento projetado pelo entorno e o consequente incremento da incidência solar sobre a envoltória. A variação da altura dos edifícios resultou em padrões distintos entre as cidades, revelando que a relação entre forma arquitetônica e carga térmica depende das condições climáticas locais. A comparação entre os cenários de referência e otimizados permitiu observar que as estratégias de eficiência energética minimizaram os ganhos térmicos externos e, consequentemente, reduziram a influência da forma e da obstrução urbana no desempenho energético.

Os modelos otimizados de Belém demonstraram uma relação crescente entre altura (número de pavimentos) e consumo de refrigeração normalizado pela área: os edifícios de 18 pavimentos apresentaram os maiores consumos. Nas cidades de Brasília e Porto Alegre, por sua vez, os maiores consumos não se concentram nos edifícios mais altos, sendo observados principalmente nos modelos de 6 e 9 pavimentos, demonstrando que nestas cidades a correlação do consumo e a forma não foi linear. Ainda assim, consistentemente, os edifícios mais baixos, de 3 pavimentos, exibiram os menores consumos em todas as cidades avaliadas.

Quanto à classificação energética segundo a INI-C, todos os cenários otimizados de Brasília e Porto Alegre atingiram a classe “A”, enquanto em Belém alguns modelos permaneceram na classe “B”, evidenciando os desafios adicionais impostos pelas condições climáticas. Observou-se ainda que, de modo geral, o aumento do número de pavimentos tende a reduzir os índices de redução do consumo (RED_{cep}) em relação ao modelo de referência, sobretudo em afastamentos menores. Nesses cenários o benefício da proteção solar dos PVSDs é menos percebido, devido ao próprio sombreamento do entorno. Em Belém, a classificação de nível “A” foi predominante nos modelos baixos, onde também foi registrado comportamentos diferenciados em relação às demais alturas, reforçando a complexidade da análise em climas severos.

A eficiência de um cenário otimizado representativo caracterizado como médio, de cada cidade, foi comparada com o benchmarking do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e os resultados demonstraram que os modelos alcançaram a classificação “muito eficiente”, confirmando a robustez das estratégias de eficiência energética aplicadas.

Por fim, a análise da relação entre desempenho energético, caracterizado pela Redução do Consumo de Energia Primária (RED_{cep}), e obstrução urbana, caracterizada pela razão H/W, revelou uma forte correlação entre esses indicadores nas cidades de Brasília e Porto Alegre, exibindo coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,98. Em contraste, Belém apresentou uma baixa correlação ($R^2 = 0,51$), refletindo o comportamento atípico de regiões de clima quente e úmido, uma vez que a elevada carga de refrigeração tende a sobrepor-se às vantagens proporcionadas pelas estratégias passivas de sombreamento, reduzindo a sensibilidade do desempenho energético às variações morfológicas.

Em conjunto, esses resultados reforçam que a eficiência energética e a forma urbana constituem dimensões indissociáveis para compreender o consumo energético em edifícios de

escritório, devendo ser integradas desde as etapas iniciais de concepção projetual e planejamento urbano, sobretudo em contextos brasileiros de maior adversidade climática.

5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA E O POTENCIAL NZEB

A análise da geração fotovoltaica permitiu avaliar o desempenho combinado dos dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs) instalados nas fachadas e dos módulos fotovoltaicos (PVs) posicionados na cobertura, bem como sua contribuição relativa para o atendimento ao balanço energético nZEB. De modo consistente, os resultados demonstraram que os PVSDs apresentam um papel dominante na geração total, superando a produção em cobertura em todos os cenários, devido principalmente à maior área disponível nas fachadas e à otimização dos ângulos de inclinação conforme orientação e obstrução urbana.

A geração apresentou forte dependência da irradiação solar direta e difusa e, portanto, da latitude e clima locais. Brasília registrou os maiores valores absolutos de geração nos sistemas fotovoltaicos, favorecida pela elevada irradiância global direta e pelo menor índice de nebulosidade. Belém apresentou desempenho intermediário, limitado pela predominância de céu encoberto, enquanto Porto Alegre, exibiu menor geração total, em razão de uma nebulosidade intermediária e maior latitude, que desenha uma menor altura solar e, portanto, maior impacto do sombreamento urbano nas fachadas.

A análise da geração nos PVSDs demonstrou que a maior parte das proteções solares recebe níveis satisfatórios de irradiação ao longo do ano ($\geq 800 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$), confirmando sua aptidão para integração fotovoltaica em 86,1% da área total das proteções solares em Brasília, 85,7% em Belém e 75,4% em Porto Alegre. Assim, esses valores evidenciam que as proteções solares, mesmo em climas subtropicais, constituem superfícies de expressivo potencial para integração fotovoltaica.

Ao comparar a geração de energia por unidades de área, conforme esperado, os módulos PVs em cobertura apresentaram desempenho superior em comparação com os valores médios de PVSDs. Porém, a vantagem foi modesta, sendo 12% superior em Brasília, 10% em Belém e 9% em Porto Alegre. Entretanto, quando se considera a geração total, os PVs na cobertura perdem protagonismo e a participação relativa dos PVSDs torna-se preponderante, representando valores médios de 79% da geração em Belém, 78% em Brasília e 76% em Porto Alegre. Estes

achados evidenciam a relevância da geração de energia em fachadas, destacando a eficácia da geração em PVSDs.

A análise do Potencial de Geração de Energia (PG) demonstrou que a adoção de PVSDs amplia substancialmente a capacidade de atendimento à meta nZEB. Em diversos cenários, a geração se aproximou ou ultrapassou o consumo anual dos edifícios otimizados. Edifícios de menor altura apresentaram os melhores resultados, explicado pela menor demanda energética e maior proporção entre a área de cobertura e fachada. À medida que a altura e o afastamento aumentam, amplia-se a captação da irradiação solar nos PVSDs, elevando a geração de energia sobretudo em contextos urbanos menos obstruídos.

Os resultados revelaram que Brasília apresentou os maiores valores de PG, alcançando a meta nZEB em 97% dos cenários. Porto Alegre atingiu 87%, enquanto Belém alcançou 83%, este último, caiu para 67% quando considerada a restrição dos modelos classificados como “A” pela INI-C. O excelente desempenho de Brasília foi atribuído ao baixo consumo de energia combinado com a elevada irradiação solar global anual. Em contraste, Belém, enfrenta maiores dificuldades em alcançar altos valores de PG devido ao elevado consumo energético decorrente de seu clima quente e úmido, que aumenta significativamente a demanda por refrigeração. Porto Alegre, apesar de receber menos irradiação solar, beneficia-se de um consumo energético reduzido, semelhante ao de Brasília, permitindo resultados mais favoráveis de PG que Belém.

A análise das combinações entre altura e afastamento indica que os edifícios de menor altura e maior afastamento tendem a alcançar a classificação EEP ou nZEB, enquanto em cenários de maior altura e menor afastamento, predominam classificações “Não nZEB”. Em Belém, o alcance da meta nZEB mostrou-se menos sensível ao afastamento do entorno, ao passo que Brasília e Porto Alegre, apresentaram maior variação conforme aumenta o afastamento, evidenciando a influência da latitude no alcance da meta nZEB.

A avaliação da influência do entorno urbano no PG demonstra que ele aumenta com o afastamento do entorno até atingir um ponto de estabilização, após o qual o afastamento entre edifícios deixa de produzir ganhos adicionais, tornando-se irrelevante porque o entorno deixa de sombrear os PVSDs e a geração atinge o seu ápice. Tal comportamento confirma que há um limite prático associado ao afastamento, indicando que, a partir de determinado patamar, a obstrução urbana não afeta significativamente a geração. Esse ponto crítico varia entre as

idades, sendo mais deslocado em Porto Alegre, onde a baixa altura solar aumenta a sensibilidade ao sombreamento, demonstrando a influência da latitude.

Ao considerar apenas a geração da cobertura, a viabilidade nZEB reduz-se drasticamente, sendo atingida apenas pelos edifícios de três pavimentos. Essa constatação reforça o papel estratégico dos PVSDs no aumento da autossuficiência energética das edificações, especialmente em edificações verticalizadas, onde o espaço disponível em cobertura é limitado ou insuficiente.

A relação entre o PG e a razão H/W mostrou forte correlação em todas as cidades, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,82. Um aumento da razão H/W, associado a edifícios mais altos e menores afastamentos, resulta em declínio significativo do PG, indicando menor viabilidade para atender à meta nZEB. Essa relação evidencia que o potencial nZEB é fortemente condicionado pela obstrução urbana. Portanto, decisões projetuais relacionadas à altura e ao espaçamento entre edifícios possuem impacto direto no cumprimento da meta nZEB.

Por fim, conclui-se que a análise integrada do consumo energético e da geração fotovoltaica aplicada em dispositivos de sombreamento - PVSDs, aliada aos avanços tecnológicos voltados à mitigação dos efeitos do sombreamento, configura um caminho promissor para a viabilidade de edifícios nZEB em climas brasileiros. Em consonância com Yu *et al.* (2025), os resultados desta pesquisa reforçam o entendimento de que as fachadas representam um potencial ainda significativamente subutilizado para geração fotovoltaica e que sua exploração adequada pode redefinir as diretrizes de planejamento urbano.

5.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

O presente estudo apresenta limitações que podem ser abordadas em futuras pesquisas, para uma compreensão mais abrangente do tema. Primeiramente, as conclusões derivam de um modelo hipotético simplificado, baseado em um quarteirão urbano homogêneo. Em situações reais, os afastamentos entre edifícios variam, sendo diferentes entre lotes adjacentes e aqueles separados por vias públicas. Essa heterogeneidade torna o cenário de afastamentos equidistantes adotado no modelo irrealista nos contextos urbanos. Portanto, é recomendado que os achados sejam avaliados em cenários de maior diversidade de variações urbanas para validar e expandir as relações observadas entre configuração urbana, captação de

energia solar e consumo energético. Investigar quarteirões heterogêneos em contextos urbanos reais são necessários para verificar a consistência e aplicabilidade dos resultados.

Além disso, os indicadores morfológicos apresentados para alcançar a meta nZEB basearam-se na geração renovável utilizando dispositivos fotovoltaicos em coberturas e sistemas PVSDs em fachadas. Contudo, outras tecnologias de geração fotovoltaica integrada à envoltória, como sistemas BIPV aplicados em revestimentos verticais ou vidros, merecem ser exploradas. Essas tecnologias apresentam comportamentos distintos de captação solar e resultarão em diferentes indicadores morfológicos, ampliando as possibilidades de aplicação do conceito nZEB.

A análise dos dispositivos de sombreamento fotovoltaico (PVSDs) considerou um limiar de irradiação adotado em estudos anteriores realizados em contextos socioeconômicos distintos do brasileiro. Investigações futuras poderiam incluir análises de custo-benefício que considerem aspectos técnicos e econômicos, buscando determinar um limiar de irradiação mínimo viável adaptado à realidade brasileira. Também seria pertinente avaliar o impacto dos PVSDs na qualidade da integração arquitetônica sob aspectos estéticos, os quais não foram explorados neste estudo.

Aspectos como a iluminação natural e a ventilação são influenciados tanto pela presença dos dispositivos de sombreamento fotovoltaicos (PVSDs) quanto pelas características do entorno. No entanto, em razão da complexidade envolvida na integração dessas análises, tais aspectos não foram incluídos no escopo desta pesquisa. Recomenda-se que futuras investigações considerem essas variáveis, de modo a permitir uma avaliação mais abrangente e integrada do desempenho ambiental e energético dos edifícios.

Por se tratar de uma análise de caráter conceitual, os modelos energéticos foram simplificados, com a análise restrita a uma geometria quadrangular e sem consideração de layouts internos. Embora este estudo tenha focado em abordagens teóricas, futuros trabalhos poderiam verificar os resultados por meio de dados reais medidos em campo, o que contribuiria para validar a aplicabilidade das conclusões em cenários práticos.

Adicionalmente, a análise foi baseada em dados climáticos de apenas três cidades brasileiras, o que pode limitar a generalização dos resultados para outras regiões do país. Pesquisas complementares que abordem outros contextos climáticos são fundamentais para fornecer conclusões mais abrangentes sobre o potencial de captação solar e sua influência no

consumo energético num cenário nacional ampliado. Além disso, é recomendável investigar novas soluções de eficiência energética que permitam atingir a classificação “A” em variados cenários climáticos.

Sugere-se que a metodologia empregada neste trabalho para a tipologia de escritórios seja adaptada para outros tipos arquitetônicos, permitindo uma avaliação mais ampla da eficiência energética em diferentes tipologias. Tal abordagem contribuiria para o avanço e a disseminação do conceito nZEB no setor da construção civil.

Por fim, recomenda-se que em trabalhos futuros as equações encontradas para estimar o comportamento de redução do consumo de energia e o potencial de geração fotovoltaica em PVSDs, sejam verificadas em contextos urbanos heterogêneos reais. Uma adequação em modelos reais pode representar um possível estágio inicial promissor para a criação de ferramentas de apoio ao projeto, a fim de auxiliar profissionais na tomada de decisões em fase preliminar. Este desenvolvimento preliminar pode, portanto, servir como base para um futuro desenvolvimento de ferramentas específicas, que aliadas a investigações futuras sobre o impacto dos PVSDs na iluminação natural e contextos urbanos heterogêneos constituem temas férteis para aprofundamento em nível de doutorado.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

ALLEGRINI, Jonas; DORER, Viktor; CARMELIET, Jan. Influence of the urban microclimate in street canyons on the energy demand for space cooling and heating of buildings. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 823-832, 2012.

A.L. MARTINS, Tathiane; ADOLPHE, Luc; E.G. BASTOS, Leopoldo. From solar constraints to urban design opportunities: Optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 76, p. 43–56, jun. 2014. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2014.02.056.

ALMEIDA DORNELLES, Kelen. **Absortância solar de superfícies opacas: metodos de determinação e base de dados para tintas latex acrílica e PVA**. 2008. Doutor em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 16 abr. 2008. DOI 10.47749/T/UNICAMP.2008.429167. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=464902>. Acesso em: 14 out. 2024.

AL-SAMAWI, Ali Abedaljabar et al. Review Mitigation Methods of Partial Shading Condition for PV System. In: **2024 21st International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)**. IEEE, 2024. p. 401-410.

AMORIM, Cláudia Naves David, VELASCO, Loana Nunes. DA PESQUISA AO PROJETO: EDIFÍCIO DE BALANÇO ENERGÉTICO NULO - O CASO DO LABZERO|UNB. [s. l.], p. 11, 2021.

ANDRÉ, Maíra; KAMIMURA, Artur; BAVARESCO, Mateus; GIARETTA, Rafael F.; FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. Achieving mid-rise NZEB offices in Brazilian urban centres: A control strategy with desk fans and extension of set point temperature. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 259, p. 111911, mar. 2022. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2022.111911.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em outubro de 2024.

ASHRAE. ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI): ASHRAE, 2021. Cap. 18, Table 1: Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity.

ASHRAE. ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI): ASHRAE, 2021. Cap. 18, Table 3: Lighting Heat Gain Parameters for Typical Operating Conditions.

ASHRAE; IES. Standard 90.1: energy standard for buildings except low-rise residential buildings. 2022 ed. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2022.

ASFOUR, Omar S. Solar and shading potential of different configurations of building integrated photovoltaics used as shading devices considering hot climatic conditions. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 4373, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 34 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho. Rio de Janeiro, 2024.

ATTIA, Shady. Evolution of Definitions and Approaches. *In: Net Zero Energy Buildings (NZE)*. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 21–51. ISBN 978-0-12-812461-1. DOI 10.1016/B978-0-12-812461-1.00002-2. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128124611000022>. Acesso em: 25 out. 2022.

BARRIOS, Carlos. Transformations on Parametric Design Models. *In: MARTENS, Bob; BROWN, Andre (ed.). Computer Aided Architectural Design Futures 2005*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. p. 393–400. ISBN 978-1-4020-3460-2. DOI 10.1007/1-4020-3698-1_37. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/1-4020-3698-1_37. Acesso em: 26 out. 2024.

BARRUTIETA, X.; KOLBASNIKOVA, A.; IRULEGI, O.; HERNÁNDEZ, R. Decision-making framework for positive energy building design through key performance indicators relating geometry, localization, energy and PV system integration. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 297, p. 113442, out. 2023. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2023.113442.

BARTH, Fernando; VEFAGO, Luiz Henrique; VASCONCELOS, Cláudia. COMPACIDADE DOS ESPAÇOS ARQUITETÔNICOS. **MIX Sustentável**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 100, 12 mar. 2017. ISSN 24473073, 24470899. DOI 10.29183/2447-3073.MIX2017.v3.n1.100-108.

BIRCK, Márcia Bocacio; AMORIM, Claudia Naves David. Condicionantes solares como princípio orientador da forma urbana: estudo de caso contextualizado no Distrito Federal. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 591–609, jul. 2020. ISSN 1678-8621, 1415-8876. DOI 10.1590/s1678-86212020000300447.

BIRCK, Márcia Bocacio. Condicionantes solares como princípio orientador da forma urbana: um estudo de caso aplicado no contexto do Distrito Federal. 2017. 249 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2017

BIROL, Dr Fatih. World Energy Outlook 2022. [s. l.], [s. d.].

BOXWELL, Michael. The Solar Electricity Handbook-2017 Edition: A simple, practical guide to solar energy–designing and installing solar photovoltaic systems. **Greenstream Publishing**, 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Resolução 176. 24 de outubro de 2000, 2000. Disponível em: https://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/RES_176.pdf. Acesso em: 20 mar. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução-RE nº 09, de 16 de janeiro de 2003. Dispõe sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 20 jan. 2003.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 abr. 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 1.059, de 28 de fevereiro de 2023. Estabelece as novas diretrizes para a expansão da microgeração e minigeração distribuída no Brasil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 fev. 2023

BRASIL. Federative Republic of Brazil. Nationally Determined Contribution (NDC) to the Paris Agreement under the UNFCCC. Brasília, 27 out. 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-11/Brazil%20First%20NDC%202023%20adjustment.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Economia. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia-Inmetro. Portaria nº 309, de 06 de setembro de 2022, retificada em 17 de dezembro de 2023. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Diário Oficial da União, Brasília-DF, 2022. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/inic>. Acesso em: 25 jul. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2050. Brasília: MME/EPE, 2020. 243 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-energia/plano-nacional-de-energia-2050/relatorio-final/relatorio-final/relatorio-final-do-pne-2050.pdf/view>. Acesso em: 25 nov. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE. Resolução nº 4, de 26 de setembro de 2025. Aprova o regulamento que define os índices mínimos de eficiência energética para edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas. Brasília, DF: MME/CGIEE, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/cgiee-1/RESOLUCAO_CGIEE_N_5_DE_26_DE_SETEMBRO_DE_2025__DOU__Imprensa_Nacional.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 05 nov. 2025.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal e o uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nas edificações públicas federais. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 6 jun. 2014.

CALVIN, Katherine ... PÉAN, Clotilde. **IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.** [S. l.]: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25 jul. 2023. DOI 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 6 jun. 2024.

CANAL SOLAR. BIPV solar energy market could reach \$40 billion by 2032. 2023. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/en/bipv-solar-energy-market-40-billion/>. Acesso em: 28 de outubro 2025.

CÂNDIDO, Carolina Dieguez; DORNELLES, Kelen Almeida; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. Impacto da absorvância no conforto térmico em três zonas bioclimáticas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, [s. l.], v. 14, p. e023003, 19 jan. 2023. ISSN 1980-6809. DOI 10.20396/parc.v14i00.8668202.

CAO, Xiaodong; DAI, Xilei; LIU, Junjie. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 128, p. 198–213, set. 2016. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2016.06.089.

CATALINA, Tiberiu; VIRGONE, Joseph; IORDACHE, Vlad. STUDY ON THE IMPACT OF THE BUILDING FORM ON THE ENERGY CONSUMPTION. [s. l.], [s. d.].

CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Nota Técnica nº 01 da Portaria nº 309/2022. Revisão geral do texto, procedimentos e métodos de classificação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas, residenciais e dos requisitos para a avaliação da conformidade. Brasília: CB3E, 2023. 62 p.

CBCS. Benchmarking de energia. Desempenho Energético Operacional (DEO), 2022. Disponível em: <http://cidadeseeficientes.cbcs.org.br>. Acesso em: 03 out. 2022.

CHEN, Lin ... ALIZADEH, As'ad. A comprehensive review of a building-integrated photovoltaic system (BIPV). **International Communications in Heat and Mass Transfer**, [s. l.], v. 159, p. 108056, dez. 2024. ISSN 07351933. DOI 10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.108056.

CHEN, Shuo; ZHANG, Guomin; XIA, Xiaobo; SETUNGE, Sujeeva; SHI, Long. A review of internal and external influencing factors on energy efficiency design of buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 216, p. 109944, jun. 2020. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2020.109944.

CIARDIELLO, Adriana; ROSSO, Federica; DELL'OLMO, Jacopo; CIANCIO, Virgilio; FERRERO, Marco; SALATA, Ferdinando. Multi-objective approach to the optimization of shape and envelope in building energy design. **Applied Energy**, [s. l.], v. 280, p. 115984, dez. 2020. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2020.115984.

CNN BRASIL. Edifício-modelo autossuficiente em energia será inaugurado no Rio. CNN Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/edificio-modelo-autossuficiente-em-energia-sera-inaugurado-no-rio>. Acesso em: 02 out. 2024.

CONSTRUTORA LAGUNA. Galeria Laguna, edifício mais sustentável do mundo, é inaugurado em Curitiba. Blog Construtora Laguna, 2022. Disponível em: <https://blog.construtoralaguna.com.br/construtora/construtora-laguna/galeria-laguna-edificio-mais-sustentavel-do-mundo-e-inaugurado-em-curitiba/>. Acesso em: 03 out. 2024.

CORTI, Paolo; BONOMO, Pierluigi; FRONTINI, Francesco. Paper Review of External Integrated Systems as Photovoltaic Shading Devices. **Energies**, [s. l.], v. 16, n. 14, p. 5542, 22 jul. 2023. ISSN 1996-1073. DOI 10.3390/en16145542.

COSTA, João Francisco Walter. Edifícios de balanço energético nulo: um estudo para escritórios em Brasília. [s. l.], p. 329, 2018.

COSTA, Joao Francisco Walter; AMORIM, Claudia Naves David; CRONEMBERGER, Joara Ribeiro Silva. Retrofit guidelines towards the achievement of net zero energy buildings for office buildings in Brasilia. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 32, p. 101680, nov. 2020. ISSN 23527102. DOI 10.1016/j.jobbe.2020.101680.

CRONEMBERGER, Joara; CAAMAÑO-MARTÍN, Estefanía; SÁNCHEZ, Sergio Vega. Assessing the solar irradiation potential for solar photovoltaic applications in buildings at low latitudes – Making the case for Brazil. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 55, p. 264–272, dez. 2012. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2012.08.044.

CRONEMBERGER RIBEIRO SILVA, Joara. **Integración de sistemas fotovoltaicos en edificios de oficinas en bajas latitudes: estudio del balance energético aplicado a Brasil**. 2015. PhD Thesis – Universidad Politécnica de Madrid, dez. 2015. DOI 10.20868/UPM.thesis.39830. Disponível em: <http://oa.upm.es/39830/>. Acesso em: 5 jun. 2024.

CUSTÓDIO, I.; QUEVEDO, T.; MELO, A. P.; RÜTHER, R. A holistic approach for assessing architectural integration quality of solar photovoltaic rooftops and shading devices. **Solar Energy**, [s. l.], v. 237, p. 432–446, maio 2022. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2022.02.019.

CZACHURA, Agnieszka; GENTILE, Niko; KANTERS, Jouri; WALL, Maria. Identifying Potential Indicators of Neighbourhood Solar Access in Urban Planning. **Buildings**, [s. l.], v. 12, n. 10, p. 1575, 30 set. 2022. ISSN 2075-5309. DOI 10.3390/buildings12101575.

D’AGOSTINO, Delia; MAZZARELLA, Livio. What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 21, p. 200–212, jan. 2019. ISSN 23527102. DOI 10.1016/j.jobbe.2018.10.019.

DÁVI, Giovani Almeida; CAAMAÑO-MARTÍN, Estefanía; RÜTHER, Ricardo; SOLANO, Juan. Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 120, p. 19–29, maio 2016. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2016.03.058.

DEPECKER, P.; MENEZO, C.; VIRGONE, J.; LEPERS, S. Design of buildings shape and energetic consumption. **Building and Environment**, [s. l.], v. 36, n. 5, p. 627–635, jun. 2001. ISSN 03601323. DOI 10.1016/S0360-1323(00)00044-5.

DI VINCENZO, Maria Carla; KESTEN, Dilay; INFELD, David. Assessment of performance of building shading device with integrated photovoltaics in different urban scenarios. *In*: 2010 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET), 2010, Kandy, Sri Lanka. **2010 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET)**. Kandy, Sri Lanka: IEEE, dez. 2010. p. 1–5. ISBN 978-1-4244-7192-8. DOI 10.1109/ICSET.2010.5684450. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5684450/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

DIDONÉ, Evelise Leite. **Parametric study for net zero energy building strategies in Brazil considering semi-transparent PV windows**. [S. l.: s. n.], 2014. DOI 10.5445/IR/1000044721. Disponível em: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000044721>. Acesso em: 26 out. 2022.

Diretiva (UE) 2012/27 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE (Texto relevante para efeitos do EEE). [s. l.], [s. d.].

Diretiva (UE) 2023/... do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de setembro de 2023, relativa à eficiência energética e que altera o Regulamento (UE) 2023/955 (reformulação). [s. l.], [s. d.].

Diretiva (UE) 2024/1275 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 24 de abril de 2024, relativa ao desempenho energético dos edifícios, (reformulação), (Texto relevante para efeitos do EEE). [s. l.], [s. d.].

DOS SANTOS, Jason Domingos et al. Desafios arquitetônicos na integração fotovoltaica em edifícios de balanço energético nulo - O caso do LabZero. **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 18, 2025.

E SILVA MACHADO, Rayner Maurício; BRE, Facundo; MAZZAFERRO, Leonardo; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. Bioclimatic zoning for building performance using tailored clustering method and high-resolution climate data. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 311, p. 114157, maio 2024. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2024.114157.

ELETROBRAS. Edital de Chamada Pública - 01/2018 - NZEB Brasil - Procel Edifica, p. 45, 2019. Disponível em: <https://www.cnm.org.br>. Acesso em: 03 out. 2022.

ELHABODI, Tarek S.; YANG, Siliang; PARKER, James; KHATTAK, Sanobar; HE, Bao-Jie; ATTIA, Shady. A review on BIPV-induced temperature effects on urban heat islands. **Urban Climate**, [s. l.], v. 50, p. 101592, jul. 2023. ISSN 22120955. DOI 10.1016/j.uclim.2023.101592.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). *Balanço Energético Nacional 2025: Ano base 2024*. Rio de Janeiro: EPE, 2025. 315 p.

EPBD. Directive 2010/31/EC, *European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings* (Recast), 2010.

EUROPEAN COMMISSION. JOINT RESEARCH CENTRE. **Development of the NZEBs concept in Member States: towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe**. LU: Publications Office, 2016. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2788/278314>. Acesso em: 27 jun. 2024.

FANG, Yuan; CHO, Soolyeon. Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance. **Solar Energy**, [s. l.], v. 191, p. 7–18, out. 2019. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2019.08.039.

FENG, Wei ... LAU, Stephen Siu Yu. A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 114, p. 109303, 1 out. 2019. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/j.rser.2019.109303.

FREITAS, Sara; BRITO, Miguel Centeno. Solar façades for future cities. **Renewable Energy Focus**, [s. l.], v. 31, p. 73–79, dez. 2019. ISSN 17550084. DOI 10.1016/j.ref.2019.09.002.

GHOLAMI, Hassan; NILS RØSTVIK, Harald; STEEMERS, Koen. The Contribution of Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) to the Concept of Nearly Zero-Energy Cities in Europe: Potential and Challenges Ahead. **Energies**, [s. l.], v. 14, n. 19, p. 6015, 22 set. 2021. ISSN 1996-1073. DOI 10.3390/en14196015.

GLOBAL ABC (Global Alliance for Buildings and Construction). **Relatório de situação Global 2020 para Edifícios e Construção**. ONU, 2020.

GÓES, Thiago Montenegro. MÉTODO DE ANÁLISE AMBIENTAL DA FORMA URBANA EM CLIMA TROPICAL DE ALTITUDE. [s. l.], [s. d.].

GÓES, Thiago Montenegro. *Quadra Zero: Método de Análise Ambiental da Forma Urbana em Clima Tropical de Altitude*. 2024. 255 p. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de Brasília, Brasília, 2024.

GUPTA, V.; DEB, C. Envelope design for low-energy buildings in the tropics: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 186, p. 113650, out. 2023. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2023.113650.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo 2022*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 23 jul. 2024.

IBRAHIM, Yasser *et al.* On the optimization of urban form design, energy consumption and outdoor thermal comfort using a parametric workflow in a hot arid zone. **Energies**, [s. l.], v. 14, n. 13, 2021.

IEA. International Energy Agency, Task 41 e Solar Energy and Architecture, Subtask B: Methods and Tools, Solar Design of Buildings for Architects: Review of Solar Design Tools, Solar Heating & Cooling Programme International Energy Agency, 2012.

IEA (2022), World Energy Outlook 2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)

IEA – International Energy Agency. Tracking clean energy progress 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>. Acesso em: 05 nov. 2024.

INMETRO. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)**. 2021.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria nº 309, de 6 de setembro de 2022. Aprova as Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 6 set. 2022.

JIN, Jeong-Tak; JEONG, Jae-Weon. Optimization of a free-form building shape to minimize external thermal load using genetic algorithm. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 85, p. 473–482, dez. 2014. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2014.09.080.

KLAUS, Rafaella Tecchio. Renovation of Brazilian Buildings to Achieve Better Energy Efficiency and Indoor Environmental Quality. **Indoor Environmental Quality**, [s. l.], 2020.

KOTTEK, Markus; GRIESER, Jürgen; BECK, Christoph; RUDOLF, Bruno; RUBEL, Franz. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 259–263, 10 jul. 2006. ISSN 0941-2948. DOI 10.1127/0941-2948/2006/0130.

KUHN, Tilmann E.; ERBAN, Christof; HEINRICH, Martin; EISENLOHR, Johannes; ENSSLEN, Frank; NEUHAUS, Dirk Holger. Review of technological design options for building integrated photovoltaics (BIPV). **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 231, p. 110381, 15 jan. 2021. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2020.110381.

LABARAN, Yahaya Hassan; MATO, Hussaini; SAİNİ, Gaurav; ALHASSAN MUSA, Auwal. Towards net zero energy buildings: A review of barriers and facilitators to the adoption of building energy efficiency practices. **Environmental Research and Technology**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 118–130, 31 mar. 2024. ISSN 2636-8498. DOI 10.35208/ert.1320207.

LABEEE, LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES. Analysis Sol-ar. 6.2. Florianópolis, 2009. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>. Acesso em: 12 maio 2024.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. Eficiência energética na arquitetura. 3ª edição. São Paulo: **PW**, 2014.

LAWRIE, Linda K.; CRAWLEY, Drury B. Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx). 2022. Disponível em: <https://climate.onebuilding.org>. Acesso em: 14 out. 2024.

LOHWANITCHAI, Kittisak; JAREEMIT, Daranee. Modeling Energy Efficiency Performance and Cost-Benefit Analysis Achieving Net-Zero Energy Building Design: Case Studies of Three Representative Offices in Thailand. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 9, p. 5201, 6 maio 2021. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su13095201.

MANDALAKI, Maria; TSOUTSOS, Theocharis. Solar Shading Systems: design, performance, and integrated photovoltaics. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 2020.

MARTÍN CHIVELET, Nuria; KAPSIS, Costa; FRONTINI, Francesco. **Building-Integrated Photovoltaics: A Technical Guidebook**. 1. ed. New York: Routledge, 19 ago. 2024. ISBN 978-1-00-343224-1. DOI 10.1201/9781003432241. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781003432241>. Acesso em: 28 out. 2025.

MARTINS, Tathiane Agra De Lemos; ADOLPHE, Luc; BASTOS, Leopoldo Eurico Gonçalves; MARTINS, Michele Agra De Lemos. Sensitivity analysis of urban morphology factors regarding solar energy potential of buildings in a Brazilian tropical context. **Solar Energy**, [s. l.], v. 137, p. 11–24, nov. 2016. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2016.07.053.

MARTINS, Tathiane Agra De Lemos. **De condicionantes solares à oportunidades de desenho urbano: otimização de tipo-morfologias urbanas em contexto de clima tropical**. 2014. Tese de Doutorado. INSA de Toulouse; Universidade federal do Rio de Janeiro.

MAZZAFERRO, Leonardo. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CAMPUS REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL. [s. l.], 2021.

MESLOUB, Abdelhakim; GHOSH, Aritra; TOUAHMIA, Mabrouk; ALBAQAWY, Ghazy Abdullah; NOAIME, Emad; ALSOLAMI, Badr M. Performance Analysis of Photovoltaic Integrated Shading Devices (PVSDs) and Semi-Transparent Photovoltaic (STPV) Devices Retrofitted to a Prototype Office Building in a Hot Desert Climate. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 23, p. 10145, 4 dez. 2020. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su122310145.

MITSIDI (ANDRÉ, Maíra et.al.) Primeira Versão da Nota Técnica da Análise de Impacto Regulatório (AIR), Projeto Avaliação de Impacto Regulatório e Plano de Implementação da Compulsoriedade do PBE Edifica, desenvolvido para a Eletrobrás, 2021.

- NATANIAN, Jonathan; LUCA, Francesco De; NABONI, Emanuele. From repetition to diversity: [s. l.], 2022.
- NEVES, L. O.; MELO, A. P.; RODRIGUES, L. L. Energy performance of mixed-mode office buildings: Assessing typical construction design practices. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 234, p. 451–466, out. 2019. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.06.216.
- NICOLETTI, Francesco; CUCUMO, Mario Antonio; ARCURI, Natale. Building-integrated photovoltaics (BIPV): A mathematical approach to evaluate the electrical production of solar PV blinds. **Energy**, [s. l.], v. 263, p. 126030, jan. 2023. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2022.126030.
- OKE, Tim R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and buildings**, v. 11, n. 1-3, p. 103-113, 1988.
- PACHECO, Miguel Teixeira Gomes; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. Proposição de estratégias para obtenção de Edifícios de Energia Zero. **Florianópolis: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E)**, v. 26, p. 2021, 2013.
- PARLAMENTO EUROPEU. Regulamento (UE) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho, relativo à Governança da União da Energia e da Ação Climática, 2018.
- PBE EDIFICA. Sobre o programa. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 10 out. 2024.
- PERES, Anna Carolina; CALILI, Rodrigo; LOUZADA, Daniel. Impacts of photovoltaic shading devices on energy generation and cooling demand. In: 2020 IEEE 47th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2020, Calgary, AB, Canada. **2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)**. Calgary, AB, Canada: IEEE, 14 jun. 2020. p. 1186–1191. ISBN 978-1-72816-115-0. DOI 10.1109/PVSC45281.2020.9300488. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9300488/>. Acesso em: 28 maio 2024.
- PEREZ, Richard et al. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. **Solar energy**, v. 44, n. 5, p. 271-289, 1990.
- PILLAI, Dhanup S.; SHABUNKO, Veronika; KRISHNA, Amal. A comprehensive review on building integrated photovoltaic systems: Emphasis to technological advancements, outdoor testing, and predictive maintenance. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 156, p. 111946, mar. 2022. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2021.111946.
- PINTO, Mônica Martins; WESTPHAL, Fernando Simon. Energy Performance of Offices Buildings in Brazil using Insulated Glass Units. In: Building Simulation 2019, 2019, Rome, Italy. **Anais [...]**. Rome, Italy: [s. n.], 2019. p. 4944–4951. DOI 10.26868/25222708.2019.211312. Disponível em: https://publications.ibpsa.org/conference/paper/?id=bs2019_211312. Acesso em: 18 jul. 2024.
- QADOURAH, Jenan Abu; ALMASARWAH, Najat; ALSARAYREH, Alanood A.; AL-FALAHAT, Ala'a. Architectural integration of photovoltaic shading systems for resilient and sustainable cities: a multi-criteria decision-making approach. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 351, p. 116731, jan. 2026. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2025.116731.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. *Brazil First Nationally Determined Contribution (NDC) to the Paris Agreement under the UNFCCC*. Brasília, 27 de outubro de 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG>. Acesso em: 23 jul. 2024.

RESENDE, Jaime; MONZÓN-CHAVARRÍAS, Marta; CORVACHO, Helena. The applicability of nearly/net zero energy residential buildings in Brazil – A study of a low standard dwelling in three different Brazilian climate zones. **Indoor and Built Environment**, [s. l.], v. 30, n. 10, p. 1693–1713, dez. 2021. ISSN 1420-326X, 1423-0070. DOI 10.1177/1420326X20961156.

ROBINSON, Darren; STONE, Andrew. Solar radiation modelling in the urban context. **Solar energy**, v. 77, n. 3, p. 295-309, 2004.

ROSTAMI, Ehsan; NASROLLAHI, Nazanin; KHODAKARAMI, Jamal. A comprehensive study of how urban morphological parameters impact the solar potential, energy consumption and daylight autonomy in canyons and buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 305, p. 113904, fev. 2024. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2024.113904.

ROY, Anurag et al. Perovskite solar cells for BIPV application: a review. **Buildings**, v. 10, n. 7, p. 129, 2020.

SHELLER, Camila; MELO, Ana Paula; SORGATO, Marcio Jose; LAMBERTS, Roberto. **ANÁLISE DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS PARA A SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES**. [S. l.]: Unpublished, 2015. DOI 10.13140/RG.2.1.4460.3127. Disponível em: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.1.4460.3127>. Acesso em: 25 jun. 2024.

SEBRAE. Prédio do Centro Sebrae de Sustentabilidade é premiado novamente por instituição britânica. Sustentabilidade Sebrae, 2022. Disponível em: <https://sustentabilidade.sebrae.com.br/noticias/predio-do-centro-sebrae-de-sustentabilidade-e-premiado-novamente-por-instituicao-britanica>. Acesso em: 02 out. 2024.

SEBRAE. Centro Sebrae de Sustentabilidade. Sustentabilidade Sebrae, 2022. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/sebraeaz/centro-sebrae-de-sustentabilidade-css,d89190821da4d410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 02 out. 2024.

SETTINO, Jessica; CARPINO, Cristina; PERRELLA, Stefania; ARCURI, Natale. Multi-Objective Analysis of a Fixed Solar Shading System in Different Climatic Areas. **Energies**, [s. l.], v. 13, n. 12, p. 3249, 23 jun. 2020. ISSN 1996-1073. DOI 10.3390/en13123249.

SKANDALOS, Nikolaos; KARAMANIS, Dimitris. An optimization approach to photovoltaic building integration towards low energy buildings in different climate zones. **Applied Energy**, [s. l.], v. 295, p. 117017, ago. 2021. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2021.117017.

SOLARGIS. Solar irradiation maps. Disponível em: <https://solargis.com>, Acesso em outubro de 2024.

SORGATO, M. J.; SCHNEIDER, K.; RÜTHER, R. Technical and economic evaluation of thin-film CdTe building-integrated photovoltaics (BIPV) replacing façade and rooftop materials in office buildings in a warm and sunny climate. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 118, p. 84–98, abr. 2018. ISSN 09601481. DOI 10.1016/j.renene.2017.10.091.

TALLMANN, Jonathan Arthur Raiser; CARVALHO, Carolina Rocha; GALAFASSI, Marcelo. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA ARQUITETÔNICA NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS. [s. l.], [s. d.].

TAVERES-CACHAT, Ellika; LOBACCARO, Gabriele; GOIA, Francesco; CHAUDHARY, Gaurav. A methodology to improve the performance of PV integrated shading devices using multi-objective optimization. **Applied Energy**, [s. l.], v. 247, p. 731–744, ago. 2019. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2019.04.033.

TRIANA, Maria; SOARES GERALDI, Matheus; MELO, Ana; LAMBERTS, Roberto. **Roadmap towards energy-efficient buildings at a city perspective: Case of study of Florianópolis, Brazil**. [S. l.: s. n.], 29 nov. 2022.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus™ Version 9.6.0 Documentation: Input Output Reference. Setembro de 2021. Disponível em: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.6.0/InputOutputReference.pdf. Acesso em: 25 jul. 2024.

VARTHOLOMAIOS, Aristotelis. Classification of the influence of urban canyon geometry and reflectance on seasonal solar irradiation in three European cities. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 75, p. 103379, dez. 2021. ISSN 22106707. DOI 10.1016/j.scs.2021.103379.

WALTER COSTA, Joao Francisco; DAVID AMORIM, Claudia Naves; CRONEMBERGER, Joara. Retrofit guidelines towards the achievement of net zero energy buildings for office buildings in Brasilia. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 32, p. 101680, nov. 2020. ISSN 23527102. DOI 10.1016/j.jobbe.2020.101680.

WANG, Junke; LU, Xing; ADETOLA, Veronica; LOUIE, Edward. Modeling Variable Refrigerant Flow (VRF) systems in building applications: A comprehensive review. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 311, p. 114128, maio 2024. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2024.114128.

WASCHEVICZ, Juliana Damasio; KAPPLER, Genyr; WANDER, Paulo Roberto; DIAS, João Batista. AIR CONDITIONER ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT IN PORTO ALEGRE AND SALVADOR AND THE INFLUENCE OF DIVERSE THERMAL INSULATION MATERIALS ON THE WEST FACADE. [s. l.], 2015.

WEATHERSPARK. Clima característico em Belém, Pará, Brasil durante o ano. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30136/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Bel%C3%A9m-Par%C3%A1-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 12 jul. 2024.

WEATHERSPARK. Clima característico em Brasília, Distrito Federal, Brasil durante o ano. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30238/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Bras%C3%ADlia-Distrito-Federal-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 12 jul. 2024.

WEATHERSPARK. Clima característico em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil durante o ano. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29679/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Porto-Alegre-Rio-Grande-do-Sul-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 12 jul. 2024.

WEBER, Fernando da Silva; MELO, Ana Paula; MARINOSKI, Deivis Luis; GUTHS, Saulo; LAMBERTS, Roberto. Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o

uso no programa EnergyPlus. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. Relatório técnico.

WESTERMANN, Paul; EVINS, Ralph. Surrogate modelling for sustainable building design – A review. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 198, p. 170–186, set. 2019. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2019.05.057.

World population prospects 2022: summary of results. New York: United Nations, 2022. ISBN 978-92-1-148373-4.

World urbanization prospects: the 2018 revision. New York: United Nations, 2019. ISBN 978-92-1-148319-2.

YILMAZ, Burcu Çiğdem; YILMAZ, Yiğit. Decision support model for PV integrated shading system: Office building case. **Energy Reports**, [s. l.], v. 9, p. 112–117, out. 2023. ISSN 23524847. DOI 10.1016/j.egyr.2023.08.083.

YU, Qing ... YAN, Jinyue. Global estimation of building-integrated facade and rooftop photovoltaic potential by integrating 3D building footprint and spatio-temporal datasets. **Nexus**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 100060, jun. 2025. ISSN 29501601. DOI 10.1016/j.ynexs.2025.100060.

ZHANG, Ji ... REINDL, Thomas. Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city. **Applied Energy**, [s. l.], v. 240, p. 513–533, abr. 2019. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2019.02.033.

ZHANG, Xiang; LAU, Siu-Kit; LAU, Stephen Siu Yu; ZHAO, Yong. Photovoltaic integrated shading devices (PVSDs): A review. **Solar Energy**, [s. l.], v. 170, p. 947–968, ago. 2018. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2018.05.067.

ZHAO, Hongying; YANG, Rebecca Jing; LIU, Chengyang; SUN, Chayn. Solar building envelope potential in urban environments: A state-of-the-art review of assessment methods and framework. **Building and Environment**, [s. l.], v. 244, p. 110831, out. 2023. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2023.110831.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE IRRADIAÇÃO SOLAR NOS PVSDS

BELÉM (Lat: -1°27') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO NORTE									
n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	77.574	97%	1.436,56	54	54	100%
2	10°	6	3	79.777	100%	1.477,36	54	54	100%
3	15°	6	3	76.641	96%	1.419,27	54	54	100%
4	20°	6	3	74.853	94%	1.386,17	54	54	100%
5	25°	6	3	71.047	89%	1.315,69	54	54	100%
6	30°	6	3	70.254	88%	1.301,00	54	54	100%
7	35°	6	3	66.388	83%	1.229,41	54	54	100%
8	5°	9	3	81.026	97%	1.500,49	54	54	100%
9	10°	9	3	83.122	100%	1.539,29	54	54	100%
10	15°	9	3	80.411	97%	1.489,09	54	54	100%
11	20°	9	3	78.842	95%	1.460,03	54	54	100%
12	25°	9	3	75.588	91%	1.399,77	54	54	100%
13	30°	9	3	74.504	90%	1.379,71	54	54	100%
14	35°	9	3	70.680	85%	1.308,89	54	54	100%
15	5°	12	3	82.219	97%	1.522,57	54	54	100%
16	10°	12	3	84.359	100%	1.562,20	54	54	100%
17	15°	12	3	81.828	97%	1.515,33	54	54	100%
18	20°	12	3	80.313	95%	1.487,27	54	54	100%
19	25°	12	3	77.256	92%	1.430,66	54	54	100%
20	30°	12	3	76.064	90%	1.408,59	54	54	100%
21	35°	12	3	72.282	86%	1.338,56	54	54	100%
22	5°	15	3	83.098	97%	1.538,85	54	54	100%
23	10°	15	3	85.242	100%	1.578,55	54	54	100%
24	15°	15	3	82.948	97%	1.536,07	54	54	100%
25	20°	15	3	81.591	96%	1.510,95	54	54	100%
26	25°	15	3	78.766	92%	1.458,63	54	54	100%
27	30°	15	3	77.618	91%	1.437,38	54	54	100%
28	35°	15	3	73.965	87%	1.369,73	54	54	100%
29	5°	18	3	83.346	98%	1.543,44	54	54	100%
30	10°	18	3	85.462	100%	1.582,63	54	54	100%
31	15°	18	3	83.203	97%	1.540,79	54	54	100%
32	20°	18	3	81.879	96%	1.516,27	54	54	100%
33	25°	18	3	79.116	93%	1.465,12	54	54	100%
34	30°	18	3	78.046	91%	1.445,29	54	54	100%
35	35°	18	3	74.540	87%	1.380,38	54	54	100%
36	5°	21	3	83.634	98%	1.548,78	54	54	100%
37	10°	21	3	85.717	100%	1.587,36	54	54	100%
38	15°	21	3	83.509	97%	1.546,46	54	54	100%
39	20°	21	3	82.205	96%	1.522,31	54	54	100%
40	25°	21	3	79.510	93%	1.472,41	54	54	100%
41	30°	21	3	78.428	91%	1.452,37	54	54	100%
42	35°	21	3	74.937	87%	1.387,73	54	54	100%

43	5°	24	3	84.036	98%	1.556,23	54	54	100%
44	10°	24	3	86.168	100%	1.595,70	54	54	100%
45	15°	24	3	84.109	98%	1.557,57	54	54	100%
46	20°	24	3	82.860	96%	1.534,45	54	54	100%
47	25°	24	3	80.316	93%	1.487,33	54	54	100%
48	30°	24	3	79.176	92%	1.466,22	54	54	100%
49	35°	24	3	75.723	88%	1.402,28	54	54	100%
50	5°	27	3	84.148	97%	1.558,30	54	54	100%
51	10°	27	3	86.320	100%	1.598,52	54	54	100%
52	15°	27	3	84.322	98%	1.561,52	54	54	100%
53	20°	27	3	83.174	96%	1.540,25	54	54	100%
54	25°	27	3	80.726	94%	1.494,93	54	54	100%
55	30°	27	3	79.679	92%	1.475,53	54	54	100%
56	35°	27	3	76.326	88%	1.413,44	54	54	100%
57	5°	30	3	84.220	97%	1.559,63	54	54	100%
58	10°	30	3	86.397	100%	1.599,95	54	54	100%
59	15°	30	3	84.434	98%	1.563,59	54	54	100%
60	20°	30	3	83.315	96%	1.542,88	54	54	100%
61	25°	30	3	80.921	94%	1.498,54	54	54	100%
62	30°	30	3	79.902	92%	1.479,66	54	54	100%
63	35°	30	3	76.580	89%	1.418,15	54	54	100%
64	5°	33	3	84.286	97%	1.560,84	54	54	100%
65	10°	33	3	86.455	100%	1.601,01	54	54	100%
66	15°	33	3	84.514	98%	1.565,07	54	54	100%
67	20°	33	3	83.416	96%	1.544,74	54	54	100%
68	25°	33	3	81.048	94%	1.500,88	54	54	100%
69	30°	33	3	80.044	93%	1.482,30	54	54	100%
70	35°	33	3	76.734	89%	1.421,00	54	54	100%
71	5°	6	6	98.011	100%	1.285,73	76	108	71%
72	10°	6	6	96.895	99%	1.263,63	77	108	71%
73	15°	6	6	95.792	98%	1.285,45	75	108	69%
74	20°	6	6	91.893	94%	1.266,79	73	108	67%
75	25°	6	6	88.238	90%	1.263,43	70	108	65%
76	30°	6	6	82.282	84%	1.218,99	67	108	62%
77	35°	6	6	71.475	73%	1.186,50	60	108	56%
78	5°	9	6	138.521	100%	1.282,60	108	108	100%
79	10°	9	6	138.464	100%	1.282,08	108	108	100%
80	15°	9	6	137.295	99%	1.271,25	108	108	100%
81	20°	9	6	134.395	97%	1.250,65	107	108	100%
82	25°	9	6	131.276	95%	1.231,94	107	108	99%
83	30°	9	6	123.647	89%	1.197,78	103	108	96%
84	35°	9	6	113.636	82%	1.136,82	100	108	93%
85	5°	12	6	146.441	100%	1.355,94	108	108	100%
86	10°	12	6	146.561	100%	1.357,05	108	108	100%
87	15°	12	6	145.685	99%	1.348,93	108	108	100%
88	20°	12	6	143.102	98%	1.325,02	108	108	100%
89	25°	12	6	140.328	96%	1.299,33	108	108	100%
90	30°	12	6	135.653	93%	1.256,04	108	108	100%
91	35°	12	6	128.163	87%	1.186,69	108	108	100%
92	5°	15	6	151.475	100%	1.402,54	108	108	100%

93	10°	15	6	151.496	100%	1.402,74	108	108	100%
94	15°	15	6	150.858	100%	1.396,83	108	108	100%
95	20°	15	6	148.406	98%	1.374,13	108	108	100%
96	25°	15	6	145.626	96%	1.348,39	108	108	100%
97	30°	15	6	141.162	93%	1.307,06	108	108	100%
98	35°	15	6	133.785	88%	1.238,75	108	108	100%
99	5°	18	6	154.455	100%	1.430,14	108	108	100%
100	10°	18	6	154.516	100%	1.430,70	108	108	100%
101	15°	18	6	153.856	100%	1.424,60	108	108	100%
102	20°	18	6	151.479	98%	1.402,58	108	108	100%
103	25°	18	6	148.714	96%	1.376,98	108	108	100%
104	30°	18	6	144.291	93%	1.336,03	108	108	100%
105	35°	18	6	137.123	89%	1.269,65	108	108	100%
106	5°	21	6	156.154	100%	1.445,87	108	108	100%
107	10°	21	6	156.295	100%	1.447,17	108	108	100%
108	15°	21	6	155.612	100%	1.440,85	108	108	100%
109	20°	21	6	153.222	98%	1.418,72	108	108	100%
110	25°	21	6	150.433	96%	1.392,90	108	108	100%
111	30°	21	6	146.165	94%	1.353,38	108	108	100%
112	35°	21	6	138.979	89%	1.286,84	108	108	100%
113	5°	24	6	157.767	100%	1.460,80	108	108	100%
114	10°	24	6	157.889	100%	1.461,94	108	108	100%
115	15°	24	6	157.346	100%	1.456,91	108	108	100%
116	20°	24	6	155.013	98%	1.435,31	108	108	100%
117	25°	24	6	152.258	96%	1.409,80	108	108	100%
118	30°	24	6	148.092	94%	1.371,22	108	108	100%
119	35°	24	6	140.965	89%	1.305,23	108	108	100%
120	5°	27	6	158.683	100%	1.469,28	108	108	100%
121	10°	27	6	158.878	100%	1.471,10	108	108	100%
122	15°	27	6	158.406	100%	1.466,72	108	108	100%
123	20°	27	6	156.199	98%	1.446,29	108	108	100%
124	25°	27	6	153.492	97%	1.421,22	108	108	100%
125	30°	27	6	149.510	94%	1.384,35	108	108	100%
126	35°	27	6	142.551	90%	1.319,92	108	108	100%
127	5°	30	6	159.540	100%	1.477,22	108	108	100%
128	10°	30	6	159.813	100%	1.479,75	108	108	100%
129	15°	30	6	159.399	100%	1.475,92	108	108	100%
130	20°	30	6	157.257	98%	1.456,09	108	108	100%
131	25°	30	6	154.634	97%	1.431,79	108	108	100%
132	30°	30	6	150.742	94%	1.395,76	108	108	100%
133	35°	30	6	143.857	90%	1.332,01	108	108	100%
134	5°	33	6	160.248	100%	1.483,78	108	108	100%
135	10°	33	6	160.603	100%	1.487,06	108	108	100%
136	15°	33	6	160.212	100%	1.483,44	108	108	100%
137	20°	33	6	158.193	98%	1.464,75	108	108	100%
138	25°	33	6	155.595	97%	1.440,69	108	108	100%
139	30°	33	6	151.831	95%	1.405,84	108	108	100%
140	35°	33	6	145.036	90%	1.342,92	108	108	100%
141	5°	6	9	101.578	100%	1.302,28	78	162	48%
142	10°	6	9	99.092	98%	1.292,28	77	162	47%

143	15°	6	9	95.792	94%	1.285,45	75	162	46%
144	20°	6	9	91.892	90%	1.266,78	73	162	45%
145	25°	6	9	87.440	86%	1.248,78	70	162	43%
146	30°	6	9	82.280	81%	1.218,96	67	162	42%
147	35°	6	9	71.468	70%	1.186,39	60	162	37%
148	5°	9	9	148.587	100%	1.240,70	120	162	74%
149	10°	9	9	144.223	97%	1.253,90	115	162	71%
150	15°	9	9	143.084	96%	1.245,94	115	162	71%
151	20°	9	9	138.862	93%	1.230,39	113	162	70%
152	25°	9	9	132.975	89%	1.218,39	109	162	67%
153	30°	9	9	124.558	84%	1.192,06	104	162	65%
154	35°	9	9	110.886	75%	1.146,46	97	162	60%
155	5°	12	9	190.375	100%	1.218,48	156	162	96%
156	10°	12	9	189.563	100%	1.222,67	155	162	96%
157	15°	12	9	186.284	98%	1.228,14	152	162	94%
158	20°	12	9	181.609	95%	1.211,94	150	162	93%
159	25°	12	9	176.359	93%	1.209,59	146	162	90%
160	30°	12	9	166.548	87%	1.169,00	142	162	88%
161	35°	12	9	147.940	78%	1.127,93	131	162	81%
162	5°	15	9	208.058	100%	1.284,31	162	162	100%
163	10°	15	9	208.000	100%	1.283,95	162	162	100%
164	15°	15	9	207.043	100%	1.278,04	162	162	100%
165	20°	15	9	203.854	98%	1.258,36	162	162	100%
166	25°	15	9	200.843	97%	1.239,77	162	162	100%
167	30°	15	9	192.778	93%	1.200,66	161	162	99%
168	35°	15	9	181.165	87%	1.135,98	159	162	98%
169	5°	18	9	215.881	100%	1.332,60	162	162	100%
170	10°	18	9	215.652	100%	1.331,19	162	162	100%
171	15°	18	9	214.659	99%	1.325,06	162	162	100%
172	20°	18	9	211.372	98%	1.304,77	162	162	100%
173	25°	18	9	208.229	96%	1.285,36	162	162	100%
174	30°	18	9	201.281	93%	1.242,48	162	162	100%
175	35°	18	9	190.585	88%	1.176,45	162	162	100%
176	5°	21	9	221.261	100%	1.365,81	162	162	100%
177	10°	21	9	221.159	100%	1.365,18	162	162	100%
178	15°	21	9	220.006	99%	1.358,06	162	162	100%
179	20°	21	9	216.625	98%	1.337,19	162	162	100%
180	25°	21	9	213.098	96%	1.315,42	162	162	100%
181	30°	21	9	206.491	93%	1.274,64	162	162	100%
182	35°	21	9	195.726	88%	1.208,19	162	162	100%
183	5°	24	9	226.121	100%	1.395,81	162	162	100%
184	10°	24	9	225.916	100%	1.394,55	162	162	100%
185	15°	24	9	224.946	99%	1.388,55	162	162	100%
186	20°	24	9	221.656	98%	1.368,25	162	162	100%
187	25°	24	9	217.818	96%	1.344,56	162	162	100%
188	30°	24	9	211.581	94%	1.306,06	162	162	100%
189	35°	24	9	200.858	89%	1.239,86	162	162	100%
190	5°	27	9	229.756	100%	1.418,24	162	162	100%
191	10°	27	9	229.621	100%	1.417,41	162	162	100%
192	15°	27	9	228.795	100%	1.412,31	162	162	100%

193	20°	27	9	225.561	98%	1.392,35	162	162	100%
194	25°	27	9	221.783	97%	1.369,03	162	162	100%
195	30°	27	9	215.744	94%	1.331,75	162	162	100%
196	35°	27	9	205.164	89%	1.266,44	162	162	100%
197	5°	30	9	231.969	100%	1.431,91	162	162	100%
198	10°	30	9	231.853	100%	1.431,19	162	162	100%
199	15°	30	9	231.128	100%	1.426,72	162	162	100%
200	20°	30	9	228.078	98%	1.407,89	162	162	100%
201	25°	30	9	224.428	97%	1.385,35	162	162	100%
202	30°	30	9	218.611	94%	1.349,45	162	162	100%
203	35°	30	9	208.188	90%	1.285,11	162	162	100%
204	5°	33	9	233.760	100%	1.442,96	162	162	100%
205	10°	33	9	233.790	100%	1.443,15	162	162	100%
206	15°	33	9	233.118	100%	1.439,00	162	162	100%
207	20°	33	9	230.233	98%	1.421,19	162	162	100%
208	25°	33	9	226.654	97%	1.399,10	162	162	100%
209	30°	33	9	221.019	95%	1.364,31	162	162	100%
210	35°	33	9	210.718	90%	1.300,73	162	162	100%
211	5°	6	12	99.926	100%	1.281,10	78	216	36%
212	10°	6	12	98.026	98%	1.278,38	77	216	36%
213	15°	6	12	95.792	96%	1.285,45	75	216	34%
214	20°	6	12	89.583	90%	1.234,95	73	216	34%
215	25°	6	12	84.928	85%	1.212,91	70	216	32%
216	30°	6	12	80.514	81%	1.192,80	67	216	31%
217	35°	6	12	71.468	72%	1.186,39	60	216	28%
218	5°	9	12	150.811	100%	1.259,28	120	216	55%
219	10°	9	12	147.275	98%	1.254,90	117	216	54%
220	15°	9	12	143.084	95%	1.245,94	115	216	53%
221	20°	9	12	135.006	90%	1.196,23	113	216	52%
222	25°	9	12	129.858	86%	1.174,01	111	216	51%
223	30°	9	12	121.643	81%	1.165,17	104	216	48%
224	35°	9	12	110.876	74%	1.146,36	97	216	45%
225	5°	12	12	189.253	99%	1.253,16	151	216	70%
226	10°	12	12	191.534	100%	1.236,82	155	216	72%
227	15°	12	12	186.373	97%	1.227,76	152	216	70%
228	20°	12	12	176.978	92%	1.183,17	150	216	69%
229	25°	12	12	170.853	89%	1.165,36	147	216	68%
230	30°	12	12	162.683	85%	1.146,94	142	216	66%
231	35°	12	12	147.291	77%	1.129,18	130	216	60%
232	5°	15	12	236.006	100%	1.225,37	193	216	89%
233	10°	15	12	236.102	100%	1.217,52	194	216	90%
234	15°	15	12	231.900	98%	1.217,71	190	216	88%
235	20°	15	12	221.052	94%	1.180,83	187	216	87%
236	25°	15	12	213.561	90%	1.171,22	182	216	84%
237	30°	15	12	203.127	86%	1.149,75	177	216	82%
238	35°	15	12	183.321	78%	1.128,27	162	216	75%
239	5°	18	12	268.883	100%	1.244,83	216	216	100%
240	10°	18	12	268.851	100%	1.244,68	216	216	100%
241	15°	18	12	266.584	99%	1.234,19	216	216	100%
242	20°	18	12	256.282	95%	1.195,46	214	216	99%

243	25°	18	12	250.513	93%	1.184,62	211	216	98%
244	30°	18	12	241.213	90%	1.150,77	210	216	97%
245	35°	18	12	228.721	85%	1.109,43	206	216	95%
246	5°	21	12	278.818	100%	1.290,82	216	216	100%
247	10°	21	12	278.404	100%	1.288,91	216	216	100%
248	15°	21	12	276.450	99%	1.279,86	216	216	100%
249	20°	21	12	268.291	96%	1.242,09	216	216	100%
250	25°	21	12	263.839	95%	1.221,48	216	216	100%
251	30°	21	12	256.316	92%	1.186,65	216	216	100%
252	35°	21	12	245.511	88%	1.136,63	216	216	100%
253	5°	24	12	287.438	100%	1.330,73	216	216	100%
254	10°	24	12	287.509	100%	1.331,06	216	216	100%
255	15°	24	12	285.818	99%	1.323,23	216	216	100%
256	20°	24	12	278.106	97%	1.287,53	216	216	100%
257	25°	24	12	273.520	95%	1.266,30	216	216	100%
258	30°	24	12	265.936	92%	1.231,18	216	216	100%
259	35°	24	12	254.697	89%	1.179,15	216	216	100%
260	5°	27	12	294.310	100%	1.362,55	216	216	100%
261	10°	27	12	294.170	100%	1.361,90	216	216	100%
262	15°	27	12	292.861	100%	1.355,84	216	216	100%
263	20°	27	12	285.444	97%	1.321,50	216	216	100%
264	25°	27	12	280.554	95%	1.298,86	216	216	100%
265	30°	27	12	273.222	93%	1.264,92	216	216	100%
266	35°	27	12	261.735	89%	1.211,74	216	216	100%
267	5°	30	12	298.538	100%	1.382,12	216	216	100%
268	10°	30	12	298.856	100%	1.383,60	216	216	100%
269	15°	30	12	297.661	100%	1.378,06	216	216	100%
270	20°	30	12	290.912	97%	1.346,81	216	216	100%
271	25°	30	12	286.117	96%	1.324,61	216	216	100%
272	30°	30	12	279.083	93%	1.292,05	216	216	100%
273	35°	30	12	267.647	90%	1.239,11	216	216	100%
274	5°	33	12	302.674	100%	1.401,27	216	216	100%
275	10°	33	12	303.095	100%	1.403,22	216	216	100%
276	15°	33	12	302.238	100%	1.399,25	216	216	100%
277	20°	33	12	295.931	98%	1.370,05	216	216	100%
278	25°	33	12	291.115	96%	1.347,76	216	216	100%
279	30°	33	12	284.322	94%	1.316,31	216	216	100%
280	35°	33	12	272.976	90%	1.263,78	216	216	100%
281	5°	6	15	99.398	100%	1.303,92	76	270	28%
282	10°	6	15	99.077	100%	1.292,09	77	270	28%
283	15°	6	15	98.530	99%	1.322,20	75	270	28%
284	20°	6	15	91.438	92%	1.255,33	73	270	27%
285	25°	6	15	85.427	86%	1.223,18	70	270	26%
286	30°	6	15	81.003	81%	1.236,32	66	270	24%
287	35°	6	15	71.468	72%	1.186,39	60	270	22%
288	5°	9	15	147.037	100%	1.227,76	120	270	44%
289	10°	9	15	145.351	99%	1.244,23	117	270	43%
290	15°	9	15	146.210	99%	1.273,16	115	270	43%
291	20°	9	15	137.088	93%	1.214,03	113	270	42%
292	25°	9	15	131.179	89%	1.191,78	110	270	41%

293	30°	9	15	121.466	83%	1.186,65	102	270	38%
294	35°	9	15	110.875	75%	1.146,35	97	270	36%
295	5°	12	15	192.501	100%	1.226,43	157	270	58%
296	10°	12	15	191.041	99%	1.231,25	155	270	57%
297	15°	12	15	189.677	99%	1.249,52	152	270	56%
298	20°	12	15	176.758	92%	1.181,70	150	270	55%
299	25°	12	15	171.027	89%	1.166,54	147	270	54%
300	30°	12	15	163.189	85%	1.150,52	142	270	53%
301	35°	12	15	147.283	77%	1.129,13	130	270	48%
302	5°	15	15	239.272	100%	1.226,28	195	270	72%
303	10°	15	15	237.867	99%	1.226,62	194	270	72%
304	15°	15	15	235.315	98%	1.235,64	190	270	71%
305	20°	15	15	219.605	92%	1.173,11	187	270	69%
306	25°	15	15	213.755	89%	1.158,57	185	270	68%
307	30°	15	15	202.573	85%	1.148,96	176	270	65%
308	35°	15	15	182.300	76%	1.130,33	161	270	60%
309	5°	18	15	285.085	100%	1.216,29	234	270	87%
310	10°	18	15	282.927	99%	1.220,83	232	270	86%
311	15°	18	15	283.098	99%	1.223,62	231	270	86%
312	20°	18	15	264.481	93%	1.163,83	227	270	84%
313	25°	18	15	253.371	89%	1.161,56	218	270	81%
314	30°	18	15	245.301	86%	1.135,65	216	270	80%
315	35°	18	15	225.487	79%	1.112,53	203	270	75%
316	5°	21	15	326.397	100%	1.218,08	268	270	99%
317	10°	21	15	325.975	100%	1.222,53	267	270	99%
318	15°	21	15	325.290	100%	1.224,92	266	270	98%
319	20°	21	15	309.497	95%	1.165,32	266	270	98%
320	25°	21	15	302.701	93%	1.158,04	261	270	97%
321	30°	21	15	286.187	88%	1.136,88	252	270	93%
322	35°	21	15	270.121	83%	1.098,59	246	270	91%
323	5°	24	15	343.095	100%	1.270,72	270	270	100%
324	10°	24	15	343.780	100%	1.273,26	270	270	100%
325	15°	24	15	343.937	100%	1.273,84	270	270	100%
326	20°	24	15	329.411	96%	1.220,04	270	270	100%
327	25°	24	15	324.856	94%	1.203,17	270	270	100%
328	30°	24	15	315.079	92%	1.170,86	269	270	100%
329	35°	24	15	302.256	88%	1.123,46	269	270	100%
330	5°	27	15	354.504	100%	1.312,98	270	270	100%
331	10°	27	15	354.794	100%	1.314,05	270	270	100%
332	15°	27	15	355.343	100%	1.316,09	270	270	100%
333	20°	27	15	342.044	96%	1.266,83	270	270	100%
334	25°	27	15	336.941	95%	1.247,93	270	270	100%
335	30°	27	15	328.182	92%	1.215,49	270	270	100%
336	35°	27	15	314.576	89%	1.165,10	270	270	100%
337	5°	30	15	361.588	100%	1.339,21	270	270	100%
338	10°	30	15	362.200	100%	1.341,48	270	270	100%
339	15°	30	15	362.927	100%	1.344,17	270	270	100%
340	20°	30	15	350.640	97%	1.298,67	270	270	100%
341	25°	30	15	345.664	95%	1.280,23	270	270	100%
342	30°	30	15	337.269	93%	1.249,14	270	270	100%

343	35°	30	15	323.636	89%	1.198,65	270	270	100%
344	5°	33	15	367.895	99%	1.362,57	270	270	100%
345	10°	33	15	368.556	100%	1.365,02	270	270	100%
346	15°	33	15	369.747	100%	1.369,43	270	270	100%
347	20°	33	15	358.441	97%	1.327,56	270	270	100%
348	25°	33	15	353.335	96%	1.308,65	270	270	100%
349	30°	33	15	345.348	93%	1.279,07	270	270	100%
350	35°	33	15	331.703	90%	1.228,53	270	270	100%
351	5°	6	18	101.578	100%	1.302,28	78	324	24%
352	10°	6	18	97.055	96%	1.297,70	75	324	23%
353	15°	6	18	91.988	91%	1.240,39	74	324	23%
354	20°	6	18	91.438	90%	1.255,33	73	324	22%
355	25°	6	18	87.822	86%	1.257,48	70	324	22%
356	30°	6	18	79.681	78%	1.180,46	67	324	21%
357	35°	6	18	71.468	70%	1.186,39	60	324	19%
358	5°	9	18	150.933	100%	1.260,30	120	324	37%
359	10°	9	18	145.860	97%	1.242,84	117	324	36%
360	15°	9	18	141.968	94%	1.236,22	115	324	35%
361	20°	9	18	137.209	91%	1.222,89	112	324	35%
362	25°	9	18	132.449	88%	1.214,91	109	324	34%
363	30°	9	18	118.699	79%	1.171,99	101	324	31%
364	35°	9	18	110.875	73%	1.146,35	97	324	30%
365	5°	12	18	186.488	100%	1.234,85	151	324	47%
366	10°	12	18	185.583	100%	1.239,70	150	324	46%
367	15°	12	18	186.238	100%	1.226,86	152	324	47%
368	20°	12	18	176.839	95%	1.212,89	146	324	45%
369	25°	12	18	171.184	92%	1.209,95	141	324	44%
370	30°	12	18	158.677	85%	1.151,83	138	324	43%
371	35°	12	18	147.281	79%	1.129,11	130	324	40%
372	5°	15	18	237.941	100%	1.212,74	196	324	61%
373	10°	15	18	235.740	99%	1.215,66	194	324	60%
374	15°	15	18	232.289	98%	1.219,75	190	324	59%
375	20°	15	18	221.432	93%	1.182,86	187	324	58%
376	25°	15	18	218.161	92%	1.181,87	185	324	57%
377	30°	15	18	199.725	84%	1.138,42	175	324	54%
378	35°	15	18	182.294	77%	1.130,30	161	324	50%
379	5°	18	18	286.498	100%	1.215,47	236	324	73%
380	10°	18	18	283.778	99%	1.216,47	233	324	72%
381	15°	18	18	280.279	98%	1.212,07	231	324	71%
382	20°	18	18	264.814	92%	1.165,30	227	324	70%
383	25°	18	18	261.293	91%	1.165,03	224	324	69%
384	30°	18	18	241.743	84%	1.122,93	215	324	66%
385	35°	18	18	224.845	78%	1.113,32	202	324	62%
386	5°	21	18	339.328	100%	1.198,83	283	324	87%
387	10°	21	18	340.332	100%	1.196,54	284	324	88%
388	15°	21	18	337.168	99%	1.193,09	283	324	87%
389	20°	21	18	321.283	94%	1.140,51	282	324	87%
390	25°	21	18	305.004	90%	1.160,33	263	324	81%
391	30°	21	18	288.671	85%	1.112,54	259	324	80%
392	35°	21	18	267.572	79%	1.100,58	243	324	75%

393	5°	24	18	391.143	100%	1.209,02	324	324	100%
394	10°	24	18	391.552	100%	1.208,94	324	324	100%
395	15°	24	18	389.330	99%	1.205,21	323	324	100%
396	20°	24	18	368.945	94%	1.161,30	318	324	98%
397	25°	24	18	364.795	93%	1.163,06	314	324	97%
398	30°	24	18	343.725	88%	1.116,39	308	324	95%
399	35°	24	18	321.548	82%	1.098,63	293	324	90%
400	5°	27	18	409.521	100%	1.263,95	324	324	100%
401	10°	27	18	409.377	100%	1.263,51	324	324	100%
402	15°	27	18	407.232	99%	1.256,89	324	324	100%
403	20°	27	18	392.505	96%	1.211,44	324	324	100%
404	25°	27	18	390.364	95%	1.204,83	324	324	100%
405	30°	27	18	372.296	91%	1.156,45	322	324	99%
406	35°	27	18	361.492	88%	1.120,28	323	324	100%
407	5°	30	18	420.617	100%	1.298,20	324	324	100%
408	10°	30	18	421.064	100%	1.299,58	324	324	100%
409	15°	30	18	418.785	99%	1.292,55	324	324	100%
410	20°	30	18	405.703	96%	1.252,17	324	324	100%
411	25°	30	18	403.027	96%	1.243,91	324	324	100%
412	30°	30	18	387.662	92%	1.196,49	324	324	100%
413	35°	30	18	375.473	89%	1.158,87	324	324	100%
414	5°	33	18	430.713	100%	1.329,36	324	324	100%
415	10°	33	18	431.130	100%	1.330,65	324	324	100%
416	15°	33	18	429.330	100%	1.325,09	324	324	100%
417	20°	33	18	417.986	97%	1.290,08	324	324	100%
418	25°	33	18	414.803	96%	1.280,26	324	324	100%
419	30°	33	18	400.375	93%	1.235,72	324	324	100%
420	35°	33	18	387.715	90%	1.196,65	324	324	100%

BELÉM (Lat.: -1°27') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO SUL

n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Varição (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	75.550	99%	1.399,08	54	54	100%
2	10°	6	3	76.595	100%	1.418,44	54	54	100%
3	15°	6	3	72.798	95%	1.348,10	54	54	100%
4	20°	6	3	71.828	94%	1.330,15	54	54	100%
5	25°	6	3	71.207	93%	1.318,66	54	54	100%
6	30°	6	3	67.994	89%	1.259,14	54	54	100%
7	35°	6	3	63.880	83%	1.182,96	54	54	100%
8	5°	9	3	79.108	99%	1.464,95	54	54	100%
9	10°	9	3	79.975	100%	1.481,02	54	54	100%
10	15°	9	3	76.557	96%	1.417,72	54	54	100%
11	20°	9	3	75.643	95%	1.400,80	54	54	100%
12	25°	9	3	74.895	94%	1.386,95	54	54	100%
13	30°	9	3	71.846	90%	1.330,48	54	54	100%

14	35°	9	3	67.704	85%	1.253,77	54	54	100%
15	5°	12	3	80.391	99%	1.488,71	54	54	100%
16	10°	12	3	81.295	100%	1.505,46	54	54	100%
17	15°	12	3	78.023	96%	1.444,86	54	54	100%
18	20°	12	3	77.159	95%	1.428,87	54	54	100%
19	25°	12	3	76.374	94%	1.414,33	54	54	100%
20	30°	12	3	73.428	90%	1.359,77	54	54	100%
21	35°	12	3	69.271	85%	1.282,80	54	54	100%
22	5°	15	3	81.327	99%	1.506,06	54	54	100%
23	10°	15	3	82.252	100%	1.523,18	54	54	100%
24	15°	15	3	79.197	96%	1.466,62	54	54	100%
25	20°	15	3	78.478	95%	1.453,29	54	54	100%
26	25°	15	3	77.747	95%	1.439,76	54	54	100%
27	30°	15	3	74.867	91%	1.386,42	54	54	100%
28	35°	15	3	70.877	86%	1.312,54	54	54	100%
29	5°	18	3	81.623	99%	1.511,54	54	54	100%
30	10°	18	3	82.503	100%	1.527,83	54	54	100%
31	15°	18	3	79.477	96%	1.471,80	54	54	100%
32	20°	18	3	78.795	96%	1.459,17	54	54	100%
33	25°	18	3	78.105	95%	1.446,38	54	54	100%
34	30°	18	3	75.289	91%	1.394,24	54	54	100%
35	35°	18	3	71.449	87%	1.323,13	54	54	100%
36	5°	21	3	81.940	99%	1.517,42	54	54	100%
37	10°	21	3	82.800	100%	1.533,34	54	54	100%
38	15°	21	3	79.796	96%	1.477,71	54	54	100%
39	20°	21	3	79.144	96%	1.465,62	54	54	100%
40	25°	21	3	78.450	95%	1.452,79	54	54	100%
41	30°	21	3	75.664	91%	1.401,18	54	54	100%
42	35°	21	3	71.833	87%	1.330,23	54	54	100%
43	5°	24	3	82.352	99%	1.525,03	54	54	100%
44	10°	24	3	83.265	100%	1.541,94	54	54	100%
45	15°	24	3	80.379	97%	1.488,50	54	54	100%
46	20°	24	3	79.810	96%	1.477,96	54	54	100%
47	25°	24	3	79.138	95%	1.465,51	54	54	100%
48	30°	24	3	76.359	92%	1.414,05	54	54	100%
49	35°	24	3	72.565	87%	1.343,80	54	54	100%
50	5°	27	3	82.498	99%	1.527,75	54	54	100%
51	10°	27	3	83.417	100%	1.544,77	54	54	100%
52	15°	27	3	80.641	97%	1.493,34	54	54	100%
53	20°	27	3	80.133	96%	1.483,94	54	54	100%
54	25°	27	3	79.504	95%	1.472,30	54	54	100%
55	30°	27	3	76.863	92%	1.423,38	54	54	100%
56	35°	27	3	73.149	88%	1.354,60	54	54	100%
57	5°	30	3	82.572	99%	1.529,11	54	54	100%
58	10°	30	3	83.501	100%	1.546,31	54	54	100%
59	15°	30	3	80.756	97%	1.495,48	54	54	100%
60	20°	30	3	80.278	96%	1.486,63	54	54	100%
61	25°	30	3	79.689	95%	1.475,73	54	54	100%
62	30°	30	3	77.077	92%	1.427,36	54	54	100%
63	35°	30	3	73.398	88%	1.359,22	54	54	100%

64	5°	33	3	82.644	99%	1.530,44	54	54	100%
65	10°	33	3	83.564	100%	1.547,48	54	54	100%
66	15°	33	3	80.838	97%	1.497,00	54	54	100%
67	20°	33	3	80.380	96%	1.488,52	54	54	100%
68	25°	33	3	79.807	96%	1.477,91	54	54	100%
69	30°	33	3	77.209	92%	1.429,80	54	54	100%
70	35°	33	3	73.548	88%	1.362,00	54	54	100%
71	5°	6	6	103.140	100%	1.303,75	79	108	73%
72	10°	6	6	98.007	95%	1.281,13	76	108	71%
73	15°	6	6	95.110	92%	1.288,76	74	108	68%
74	20°	6	6	92.896	90%	1.264,93	73	108	68%
75	25°	6	6	88.356	86%	1.213,52	73	108	67%
76	30°	6	6	79.735	77%	1.195,60	67	108	62%
77	35°	6	6	71.191	69%	1.172,45	61	108	56%
78	5°	9	6	139.251	100%	1.289,36	108	108	100%
79	10°	9	6	137.249	99%	1.270,82	108	108	100%
80	15°	9	6	134.558	97%	1.247,99	108	108	100%
81	20°	9	6	132.909	95%	1.232,69	108	108	100%
82	25°	9	6	128.049	92%	1.202,68	106	108	99%
83	30°	9	6	121.635	87%	1.165,09	104	108	97%
84	35°	9	6	113.209	81%	1.133,90	100	108	92%
85	5°	12	6	146.034	100%	1.352,17	108	108	100%
86	10°	12	6	144.375	99%	1.336,81	108	108	100%
87	15°	12	6	141.772	97%	1.312,71	108	108	100%
88	20°	12	6	140.216	96%	1.298,29	108	108	100%
89	25°	12	6	136.459	93%	1.263,51	108	108	100%
90	30°	12	6	131.409	90%	1.216,75	108	108	100%
91	35°	12	6	126.515	87%	1.171,44	108	108	100%
92	5°	15	6	150.686	100%	1.395,24	108	108	100%
93	10°	15	6	149.107	99%	1.380,62	108	108	100%
94	15°	15	6	146.640	97%	1.357,77	108	108	100%
95	20°	15	6	145.165	96%	1.344,12	108	108	100%
96	25°	15	6	141.447	94%	1.309,70	108	108	100%
97	30°	15	6	136.256	90%	1.261,63	108	108	100%
98	35°	15	6	131.265	87%	1.215,41	108	108	100%
99	5°	18	6	153.607	100%	1.422,29	108	108	100%
100	10°	18	6	152.014	99%	1.407,54	108	108	100%
101	15°	18	6	149.485	97%	1.384,12	108	108	100%
102	20°	18	6	148.050	96%	1.370,83	108	108	100%
103	25°	18	6	144.414	94%	1.337,16	108	108	100%
104	30°	18	6	139.168	91%	1.288,59	108	108	100%
105	35°	18	6	134.086	87%	1.241,54	108	108	100%
106	5°	21	6	155.352	100%	1.438,45	108	108	100%
107	10°	21	6	153.805	99%	1.424,12	108	108	100%
108	15°	21	6	151.220	97%	1.400,18	108	108	100%
109	20°	21	6	149.776	96%	1.386,82	108	108	100%
110	25°	21	6	146.196	94%	1.353,67	108	108	100%
111	30°	21	6	141.020	91%	1.305,74	108	108	100%
112	35°	21	6	135.740	87%	1.256,85	108	108	100%
113	5°	24	6	156.848	100%	1.452,30	108	108	100%

114	10°	24	6	155.367	99%	1.438,59	108	108	100%
115	15°	24	6	152.881	97%	1.415,56	108	108	100%
116	20°	24	6	151.511	97%	1.402,88	108	108	100%
117	25°	24	6	147.977	94%	1.370,16	108	108	100%
118	30°	24	6	142.760	91%	1.321,85	108	108	100%
119	35°	24	6	137.573	88%	1.273,83	108	108	100%
120	5°	27	6	157.787	100%	1.460,99	108	108	100%
121	10°	27	6	156.363	99%	1.447,80	108	108	100%
122	15°	27	6	153.983	98%	1.425,77	108	108	100%
123	20°	27	6	152.699	97%	1.413,88	108	108	100%
124	25°	27	6	149.245	95%	1.381,90	108	108	100%
125	30°	27	6	144.116	91%	1.334,41	108	108	100%
126	35°	27	6	139.045	88%	1.287,45	108	108	100%
127	5°	30	6	158.627	100%	1.468,77	108	108	100%
128	10°	30	6	157.262	99%	1.456,13	108	108	100%
129	15°	30	6	154.910	98%	1.434,36	108	108	100%
130	20°	30	6	153.684	97%	1.423,00	108	108	100%
131	25°	30	6	150.321	95%	1.391,86	108	108	100%
132	30°	30	6	145.260	92%	1.345,00	108	108	100%
133	35°	30	6	140.164	88%	1.297,81	108	108	100%
134	5°	33	6	159.275	100%	1.474,77	108	108	100%
135	10°	33	6	157.972	99%	1.462,70	108	108	100%
136	15°	33	6	155.669	98%	1.441,38	108	108	100%
137	20°	33	6	154.527	97%	1.430,81	108	108	100%
138	25°	33	6	151.302	95%	1.400,95	108	108	100%
139	30°	33	6	146.277	92%	1.354,42	108	108	100%
140	35°	33	6	141.190	89%	1.307,31	108	108	100%
141	5°	6	9	101.387	100%	1.281,59	79	162	49%
142	10°	6	9	98.007	97%	1.281,13	76	162	47%
143	15°	6	9	93.202	92%	1.262,91	74	162	46%
144	20°	6	9	91.727	90%	1.249,01	73	162	45%
145	25°	6	9	88.603	87%	1.216,91	73	162	45%
146	30°	6	9	79.732	79%	1.195,57	67	162	41%
147	35°	6	9	74.765	74%	1.141,11	66	162	40%
148	5°	9	9	151.699	100%	1.245,78	122	162	75%
149	10°	9	9	145.166	96%	1.238,83	117	162	72%
150	15°	9	9	144.059	95%	1.213,23	119	162	73%
151	20°	9	9	139.396	92%	1.211,93	115	162	71%
152	25°	9	9	132.565	87%	1.178,36	113	162	69%
153	30°	9	9	123.962	82%	1.150,67	108	162	67%
154	35°	9	9	112.531	74%	1.117,37	101	162	62%
155	5°	12	9	190.491	100%	1.233,43	154	162	95%
156	10°	12	9	187.519	98%	1.218,45	154	162	95%
157	15°	12	9	182.817	96%	1.204,09	152	162	94%
158	20°	12	9	181.262	95%	1.195,97	152	162	94%
159	25°	12	9	172.091	90%	1.167,35	147	162	91%
160	30°	12	9	163.666	86%	1.138,00	144	162	89%
161	35°	12	9	144.878	76%	1.118,92	129	162	80%
162	5°	15	9	207.389	100%	1.280,18	162	162	100%
163	10°	15	9	205.361	99%	1.267,66	162	162	100%

164	15°	15	9	201.871	97%	1.246,12	162	162	100%
165	20°	15	9	200.503	97%	1.237,68	162	162	100%
166	25°	15	9	193.044	93%	1.205,02	160	162	99%
167	30°	15	9	186.587	90%	1.169,31	160	162	98%
168	35°	15	9	177.261	85%	1.126,75	157	162	97%
169	5°	18	9	214.324	100%	1.322,99	162	162	100%
170	10°	18	9	212.325	99%	1.310,65	162	162	100%
171	15°	18	9	208.680	97%	1.288,15	162	162	100%
172	20°	18	9	207.297	97%	1.279,61	162	162	100%
173	25°	18	9	201.340	94%	1.242,84	162	162	100%
174	30°	18	9	194.896	91%	1.203,06	162	162	100%
175	35°	18	9	187.406	87%	1.156,83	162	162	100%
176	5°	21	9	219.288	100%	1.353,63	162	162	100%
177	10°	21	9	217.452	99%	1.342,29	162	162	100%
178	15°	21	9	213.450	97%	1.317,59	162	162	100%
179	20°	21	9	212.023	97%	1.308,79	162	162	100%
180	25°	21	9	206.322	94%	1.273,59	162	162	100%
181	30°	21	9	199.728	91%	1.232,89	162	162	100%
182	35°	21	9	191.891	88%	1.184,52	162	162	100%
183	5°	24	9	223.709	100%	1.380,92	162	162	100%
184	10°	24	9	222.015	99%	1.370,46	162	162	100%
185	15°	24	9	218.088	97%	1.346,22	162	162	100%
186	20°	24	9	216.735	97%	1.337,87	162	162	100%
187	25°	24	9	211.135	94%	1.303,30	162	162	100%
188	30°	24	9	204.238	91%	1.260,73	162	162	100%
189	35°	24	9	196.375	88%	1.212,19	162	162	100%
190	5°	27	9	227.271	100%	1.402,91	162	162	100%
191	10°	27	9	225.665	99%	1.392,99	162	162	100%
192	15°	27	9	221.736	98%	1.368,74	162	162	100%
193	20°	27	9	220.500	97%	1.361,11	162	162	100%
194	25°	27	9	214.988	95%	1.327,08	162	162	100%
195	30°	27	9	208.090	92%	1.284,51	162	162	100%
196	35°	27	9	200.145	88%	1.235,46	162	162	100%
197	5°	30	9	229.234	100%	1.415,02	162	162	100%
198	10°	30	9	227.764	99%	1.405,95	162	162	100%
199	15°	30	9	223.999	98%	1.382,71	162	162	100%
200	20°	30	9	222.872	97%	1.375,76	162	162	100%
201	25°	30	9	217.589	95%	1.343,14	162	162	100%
202	30°	30	9	210.721	92%	1.300,74	162	162	100%
203	35°	30	9	202.882	89%	1.252,36	162	162	100%
204	5°	33	9	230.899	100%	1.425,30	162	162	100%
205	10°	33	9	229.544	99%	1.416,94	162	162	100%
206	15°	33	9	225.884	98%	1.394,34	162	162	100%
207	20°	33	9	224.877	97%	1.388,13	162	162	100%
208	25°	33	9	219.802	95%	1.356,80	162	162	100%
209	30°	33	9	212.971	92%	1.314,64	162	162	100%
210	35°	33	9	205.198	89%	1.266,65	162	162	100%
211	5°	6	12	98.923	100%	1.250,44	79	216	37%
212	10°	6	12	98.880	100%	1.292,55	76	216	35%
213	15°	6	12	92.139	93%	1.248,50	74	216	34%

214	20°	6	12	89.079	90%	1.212,95	73	216	34%
215	25°	6	12	85.655	87%	1.176,42	73	216	34%
216	30°	6	12	77.272	78%	1.158,67	67	216	31%
217	35°	6	12	73.102	74%	1.115,72	66	216	30%
218	5°	9	12	143.675	99%	1.221,42	118	216	54%
219	10°	9	12	145.192	100%	1.239,05	117	216	54%
220	15°	9	12	137.129	94%	1.191,28	115	216	53%
221	20°	9	12	136.053	94%	1.175,50	116	216	54%
222	25°	9	12	129.556	89%	1.152,23	112	216	52%
223	30°	9	12	119.870	83%	1.113,62	108	216	50%
224	35°	9	12	112.640	78%	1.082,66	104	216	48%
225	5°	12	12	188.514	100%	1.196,46	158	216	73%
226	10°	12	12	188.173	100%	1.213,47	155	216	72%
227	15°	12	12	178.733	95%	1.171,87	153	216	71%
228	20°	12	12	176.810	94%	1.167,52	151	216	70%
229	25°	12	12	168.785	90%	1.142,14	148	216	68%
230	30°	12	12	159.669	85%	1.101,24	145	216	67%
231	35°	12	12	147.253	78%	1.073,59	137	216	63%
232	5°	15	12	235.978	99%	1.196,71	197	216	91%
233	10°	15	12	238.261	100%	1.194,11	200	216	92%
234	15°	15	12	227.933	96%	1.165,30	196	216	91%
235	20°	15	12	225.566	95%	1.160,32	194	216	90%
236	25°	15	12	214.492	90%	1.130,57	190	216	88%
237	30°	15	12	197.686	83%	1.108,98	178	216	83%
238	35°	15	12	178.749	75%	1.088,87	164	216	76%
239	5°	18	12	264.129	100%	1.222,82	216	216	100%
240	10°	18	12	264.717	100%	1.225,54	216	216	100%
241	15°	18	12	256.364	97%	1.189,84	215	216	100%
242	20°	18	12	254.569	96%	1.183,00	215	216	100%
243	25°	18	12	243.759	92%	1.149,10	212	216	98%
244	30°	18	12	231.305	87%	1.117,90	207	216	96%
245	35°	18	12	218.704	83%	1.085,49	201	216	93%
246	5°	21	12	273.763	100%	1.267,42	216	216	100%
247	10°	21	12	274.014	100%	1.268,58	216	216	100%
248	15°	21	12	266.271	97%	1.232,74	216	216	100%
249	20°	21	12	264.702	97%	1.225,47	216	216	100%
250	25°	21	12	256.307	94%	1.186,60	216	216	100%
251	30°	21	12	247.135	90%	1.147,01	215	216	100%
252	35°	21	12	237.542	87%	1.107,11	215	216	99%
253	5°	24	12	282.401	100%	1.307,41	216	216	100%
254	10°	24	12	282.564	100%	1.308,17	216	216	100%
255	15°	24	12	275.192	97%	1.274,04	216	216	100%
256	20°	24	12	273.549	97%	1.266,43	216	216	100%
257	25°	24	12	265.361	94%	1.228,52	216	216	100%
258	30°	24	12	256.350	91%	1.186,81	216	216	100%
259	35°	24	12	246.963	87%	1.143,35	216	216	100%
260	5°	27	12	289.069	100%	1.338,28	216	216	100%
261	10°	27	12	289.189	100%	1.338,84	216	216	100%
262	15°	27	12	281.955	97%	1.305,35	216	216	100%
263	20°	27	12	280.206	97%	1.297,25	216	216	100%

264	25°	27	12	272.283	94%	1.260,57	216	216	100%
265	30°	27	12	263.100	91%	1.218,06	216	216	100%
266	35°	27	12	253.543	88%	1.173,81	216	216	100%
267	5°	30	12	293.038	100%	1.356,66	216	216	100%
268	10°	30	12	293.426	100%	1.358,45	216	216	100%
269	15°	30	12	286.426	98%	1.326,05	216	216	100%
270	20°	30	12	284.897	97%	1.318,97	216	216	100%
271	25°	30	12	277.408	95%	1.284,30	216	216	100%
272	30°	30	12	268.404	91%	1.242,61	216	216	100%
273	35°	30	12	258.857	88%	1.198,41	216	216	100%
274	5°	33	12	297.007	100%	1.375,03	216	216	100%
275	10°	33	12	297.511	100%	1.377,36	216	216	100%
276	15°	33	12	290.822	98%	1.346,40	216	216	100%
277	20°	33	12	289.362	97%	1.339,64	216	216	100%
278	25°	33	12	282.197	95%	1.306,47	216	216	100%
279	30°	33	12	273.156	92%	1.264,61	216	216	100%
280	35°	33	12	263.763	89%	1.221,13	216	216	100%
281	5°	6	15	106.165	100%	1.282,19	83	270	31%
282	10°	6	15	96.289	91%	1.258,68	76	270	28%
283	15°	6	15	99.486	94%	1.303,54	76	270	28%
284	20°	6	15	91.530	86%	1.234,23	74	270	27%
285	25°	6	15	87.162	82%	1.186,85	73	270	27%
286	30°	6	15	75.914	72%	1.173,69	65	270	24%
287	35°	6	15	69.378	65%	1.142,59	61	270	22%
288	5°	9	15	145.964	100%	1.240,87	118	270	44%
289	10°	9	15	143.610	98%	1.225,55	117	270	43%
290	15°	9	15	144.234	99%	1.251,06	115	270	43%
291	20°	9	15	135.997	93%	1.175,02	116	270	43%
292	25°	9	15	129.535	89%	1.152,03	112	270	42%
293	30°	9	15	118.675	81%	1.118,74	106	270	39%
294	35°	9	15	108.765	75%	1.095,32	99	270	37%
295	5°	12	15	187.460	100%	1.201,90	156	270	58%
296	10°	12	15	185.430	99%	1.195,79	155	270	57%
297	15°	12	15	183.282	98%	1.203,59	152	270	56%
298	20°	12	15	175.631	94%	1.157,45	152	270	56%
299	25°	12	15	164.277	88%	1.144,15	144	270	53%
300	30°	12	15	158.214	84%	1.091,20	145	270	54%
301	35°	12	15	142.270	76%	1.080,01	132	270	49%
302	5°	15	15	235.050	100%	1.183,36	199	270	74%
303	10°	15	15	235.746	100%	1.174,09	201	270	74%
304	15°	15	15	229.774	97%	1.175,61	195	270	72%
305	20°	15	15	222.157	94%	1.144,37	194	270	72%
306	25°	15	15	212.518	90%	1.122,65	189	270	70%
307	30°	15	15	197.404	84%	1.090,15	181	270	67%
308	35°	15	15	185.122	79%	1.064,10	174	270	64%
309	5°	18	15	284.488	100%	1.182,71	241	270	89%
310	10°	18	15	281.269	99%	1.173,57	240	270	89%
311	15°	18	15	276.929	97%	1.170,11	237	270	88%
312	20°	18	15	267.921	94%	1.143,20	234	270	87%
313	25°	18	15	256.649	90%	1.114,36	230	270	85%

314	30°	18	15	236.268	83%	1.088,39	217	270	80%
315	35°	18	15	219.770	77%	1.064,62	206	270	76%
316	5°	21	15	320.390	100%	1.200,23	267	270	99%
317	10°	21	15	316.832	99%	1.191,32	266	270	99%
318	15°	21	15	312.157	97%	1.183,76	264	270	98%
319	20°	21	15	307.391	96%	1.156,60	266	270	98%
320	25°	21	15	294.699	92%	1.124,85	262	270	97%
321	30°	21	15	276.050	86%	1.096,22	252	270	93%
322	35°	21	15	257.911	80%	1.069,28	241	270	89%
323	5°	24	15	337.481	100%	1.249,93	270	270	100%
324	10°	24	15	334.945	99%	1.240,54	270	270	100%
325	15°	24	15	331.605	98%	1.228,17	270	270	100%
326	20°	24	15	325.231	96%	1.204,56	270	270	100%
327	25°	24	15	315.159	93%	1.169,59	269	270	100%
328	30°	24	15	301.519	89%	1.129,54	267	270	99%
329	35°	24	15	290.150	86%	1.090,62	266	270	99%
330	5°	27	15	349.055	100%	1.292,79	270	270	100%
331	10°	27	15	346.410	99%	1.283,00	270	270	100%
332	15°	27	15	342.991	98%	1.270,34	270	270	100%
333	20°	27	15	336.782	96%	1.247,34	270	270	100%
334	25°	27	15	326.999	94%	1.211,11	270	270	100%
335	30°	27	15	315.151	90%	1.167,23	270	270	100%
336	35°	27	15	304.056	87%	1.126,13	270	270	100%
337	5°	30	15	355.519	100%	1.316,74	270	270	100%
338	10°	30	15	353.120	99%	1.307,85	270	270	100%
339	15°	30	15	350.036	98%	1.296,43	270	270	100%
340	20°	30	15	344.220	97%	1.274,89	270	270	100%
341	25°	30	15	334.695	94%	1.239,61	270	270	100%
342	30°	30	15	323.270	91%	1.197,30	270	270	100%
343	35°	30	15	312.263	88%	1.156,53	270	270	100%
344	5°	33	15	361.559	100%	1.339,11	270	270	100%
345	10°	33	15	359.350	99%	1.330,92	270	270	100%
346	15°	33	15	356.463	99%	1.320,24	270	270	100%
347	20°	33	15	350.994	97%	1.299,98	270	270	100%
348	25°	33	15	341.798	95%	1.265,92	270	270	100%
349	30°	33	15	330.497	91%	1.224,06	270	270	100%
350	35°	33	15	319.676	88%	1.183,98	270	270	100%
351	5°	6	18	104.734	100%	1.264,90	83	324	26%
352	10°	6	18	100.698	96%	1.283,10	78	324	24%
353	15°	6	18	94.546	90%	1.238,82	76	324	24%
354	20°	6	18	91.530	87%	1.234,23	74	324	23%
355	25°	6	18	87.162	83%	1.186,85	73	324	23%
356	30°	6	18	75.914	72%	1.173,69	65	324	20%
357	35°	6	18	69.378	66%	1.142,59	61	324	19%
358	5°	9	18	152.897	100%	1.256,55	122	324	38%
359	10°	9	18	145.461	95%	1.241,35	117	324	36%
360	15°	9	18	144.380	94%	1.214,10	119	324	37%
361	20°	9	18	137.294	90%	1.196,77	115	324	35%
362	25°	9	18	128.752	84%	1.161,19	111	324	34%
363	30°	9	18	117.015	77%	1.128,62	104	324	32%

364	35°	9	18	107.579	70%	1.101,35	98	324	30%
365	5°	12	18	193.011	100%	1.237,49	156	324	48%
366	10°	12	18	190.539	99%	1.197,68	159	324	49%
367	15°	12	18	189.271	98%	1.198,53	158	324	49%
368	20°	12	18	177.872	92%	1.173,14	152	324	47%
369	25°	12	18	165.046	86%	1.154,81	143	324	44%
370	30°	12	18	153.267	79%	1.113,54	138	324	42%
371	35°	12	18	141.313	73%	1.088,36	130	324	40%
372	5°	15	18	238.309	100%	1.203,03	198	324	61%
373	10°	15	18	236.515	99%	1.177,92	201	324	62%
374	15°	15	18	230.035	97%	1.177,31	195	324	60%
375	20°	15	18	222.586	93%	1.145,52	194	324	60%
376	25°	15	18	209.841	88%	1.130,00	186	324	57%
377	30°	15	18	196.490	82%	1.091,79	180	324	56%
378	35°	15	18	179.690	75%	1.076,70	167	324	52%
379	5°	18	18	285.680	100%	1.187,81	241	324	74%
380	10°	18	18	281.650	99%	1.172,08	240	324	74%
381	15°	18	18	274.470	96%	1.163,70	236	324	73%
382	20°	18	18	267.086	93%	1.135,42	235	324	73%
383	25°	18	18	256.380	90%	1.114,36	230	324	71%
384	30°	18	18	236.836	83%	1.080,26	219	324	68%
385	35°	18	18	220.341	77%	1.059,38	208	324	64%
386	5°	21	18	342.843	100%	1.174,28	292	324	90%
387	10°	21	18	338.055	99%	1.155,39	293	324	90%
388	15°	21	18	329.005	96%	1.148,24	287	324	88%
389	20°	21	18	324.747	95%	1.122,45	289	324	89%
390	25°	21	18	309.153	90%	1.100,27	281	324	87%
391	30°	21	18	279.826	82%	1.078,58	259	324	80%
392	35°	21	18	261.150	76%	1.055,02	248	324	76%
393	5°	24	18	387.161	100%	1.195,61	324	324	100%
394	10°	24	18	382.267	99%	1.180,49	324	324	100%
395	15°	24	18	374.522	97%	1.167,28	321	324	99%
396	20°	24	18	365.867	94%	1.152,92	317	324	98%
397	25°	24	18	351.456	91%	1.123,44	313	324	97%
398	30°	24	18	332.664	86%	1.085,86	306	324	95%
399	35°	24	18	310.699	80%	1.063,75	292	324	90%
400	5°	27	18	404.201	100%	1.247,53	324	324	100%
401	10°	27	18	399.801	99%	1.233,95	324	324	100%
402	15°	27	18	393.847	97%	1.215,58	324	324	100%
403	20°	27	18	387.846	96%	1.197,05	324	324	100%
404	25°	27	18	375.172	93%	1.164,08	322	324	99%
405	30°	27	18	357.975	89%	1.123,80	319	324	98%
406	35°	27	18	345.340	85%	1.087,62	318	324	98%
407	5°	30	18	414.425	100%	1.279,09	324	324	100%
408	10°	30	18	410.759	99%	1.267,78	324	324	100%
409	15°	30	18	404.835	98%	1.249,49	324	324	100%
410	20°	30	18	399.317	96%	1.232,46	324	324	100%
411	25°	30	18	388.226	94%	1.198,23	324	324	100%
412	30°	30	18	373.613	90%	1.155,91	323	324	100%
413	35°	30	18	361.493	87%	1.119,04	323	324	100%

414	5°	33	18	423.842	100%	1.308,16	324	324	100%
415	10°	33	18	420.649	99%	1.298,30	324	324	100%
416	15°	33	18	415.144	98%	1.281,31	324	324	100%
417	20°	33	18	410.034	97%	1.265,54	324	324	100%
418	25°	33	18	399.223	94%	1.232,17	324	324	100%
419	30°	33	18	385.293	91%	1.189,18	324	324	100%
420	35°	33	18	373.235	88%	1.151,96	324	324	100%

BELÉM (Lat.: -1°27') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO LESTE

n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	75.183	98%	1.392,27	54	54	100%
2	10°	6	3	76.987	100%	1.425,68	54	54	100%
3	15°	6	3	72.487	94%	1.342,35	54	54	100%
4	20°	6	3	66.925	87%	1.304,58	51	54	95%
5	25°	6	3	62.421	81%	1.234,10	51	54	94%
6	30°	6	3	59.021	77%	1.242,02	48	54	88%
7	35°	6	3	52.703	68%	1.196,71	44	54	82%
8	5°	9	3	80.555	98%	1.491,75	54	54	100%
9	10°	9	3	82.104	100%	1.520,45	54	54	100%
10	15°	9	3	78.306	95%	1.450,11	54	54	100%
11	20°	9	3	75.356	92%	1.395,49	54	54	100%
12	25°	9	3	71.687	87%	1.327,53	54	54	100%
13	30°	9	3	70.716	86%	1.309,55	54	54	100%
14	35°	9	3	66.878	81%	1.238,48	54	54	100%
15	5°	12	3	82.015	98%	1.518,79	54	54	100%
16	10°	12	3	83.711	100%	1.550,20	54	54	100%
17	15°	12	3	80.246	96%	1.486,04	54	54	100%
18	20°	12	3	77.622	93%	1.437,44	54	54	100%
19	25°	12	3	74.499	89%	1.379,61	54	54	100%
20	30°	12	3	73.361	88%	1.358,53	54	54	100%
21	35°	12	3	69.791	83%	1.292,43	54	54	100%
22	5°	15	3	84.044	98%	1.556,37	54	54	100%
23	10°	15	3	85.795	100%	1.588,80	54	54	100%
24	15°	15	3	82.885	97%	1.534,91	54	54	100%
25	20°	15	3	80.510	94%	1.490,93	54	54	100%
26	25°	15	3	77.900	91%	1.442,60	54	54	100%
27	30°	15	3	76.812	90%	1.422,44	54	54	100%
28	35°	15	3	73.376	86%	1.358,82	54	54	100%
29	5°	18	3	84.296	98%	1.561,04	54	54	100%
30	10°	18	3	86.034	100%	1.593,22	54	54	100%
31	15°	18	3	83.214	97%	1.541,00	54	54	100%
32	20°	18	3	81.001	94%	1.500,03	54	54	100%
33	25°	18	3	78.537	91%	1.454,39	54	54	100%
34	30°	18	3	77.590	90%	1.436,85	54	54	100%

35	35°	18	3	74.421	87%	1.378,17	54	54	100%
36	5°	21	3	84.516	98%	1.565,11	54	54	100%
37	10°	21	3	86.268	100%	1.597,56	54	54	100%
38	15°	21	3	83.513	97%	1.546,53	54	54	100%
39	20°	21	3	81.369	94%	1.506,83	54	54	100%
40	25°	21	3	78.968	92%	1.462,38	54	54	100%
41	30°	21	3	78.032	90%	1.445,04	54	54	100%
42	35°	21	3	74.932	87%	1.387,64	54	54	100%
43	5°	24	3	85.027	98%	1.574,58	54	54	100%
44	10°	24	3	86.776	100%	1.606,96	54	54	100%
45	15°	24	3	84.201	97%	1.559,27	54	54	100%
46	20°	24	3	82.030	95%	1.519,08	54	54	100%
47	25°	24	3	79.851	92%	1.478,72	54	54	100%
48	30°	24	3	78.837	91%	1.459,95	54	54	100%
49	35°	24	3	75.787	87%	1.403,47	54	54	100%
50	5°	27	3	85.250	98%	1.578,71	54	54	100%
51	10°	27	3	87.124	100%	1.613,40	54	54	100%
52	15°	27	3	84.672	97%	1.567,99	54	54	100%
53	20°	27	3	82.713	95%	1.531,72	54	54	100%
54	25°	27	3	80.746	93%	1.495,29	54	54	100%
55	30°	27	3	79.752	92%	1.476,89	54	54	100%
56	35°	27	3	76.798	88%	1.422,18	54	54	100%
57	5°	30	3	85.285	98%	1.579,36	54	54	100%
58	10°	30	3	87.163	100%	1.614,13	54	54	100%
59	15°	30	3	84.734	97%	1.569,14	54	54	100%
60	20°	30	3	82.808	95%	1.533,48	54	54	100%
61	25°	30	3	80.872	93%	1.497,63	54	54	100%
62	30°	30	3	79.949	92%	1.480,54	54	54	100%
63	35°	30	3	77.035	88%	1.426,57	54	54	100%
64	5°	33	3	85.321	98%	1.580,01	54	54	100%
65	10°	33	3	87.195	100%	1.614,72	54	54	100%
66	15°	33	3	84.782	97%	1.570,03	54	54	100%
67	20°	33	3	82.873	95%	1.534,69	54	54	100%
68	25°	33	3	80.949	93%	1.499,05	54	54	100%
69	30°	33	3	80.039	92%	1.482,20	54	54	100%
70	35°	33	3	77.135	88%	1.428,42	54	54	100%
71	5°	6	6	96.800	100%	1.246,77	78	108	72%
72	10°	6	6	93.555	97%	1.222,94	76	108	71%
73	15°	6	6	86.166	89%	1.255,34	69	108	64%
74	20°	6	6	77.913	80%	1.222,73	64	108	59%
75	25°	6	6	72.626	75%	1.216,52	60	108	55%
76	30°	6	6	62.969	65%	1.210,47	52	108	48%
77	35°	6	6	53.187	55%	1.194,68	45	108	41%
78	5°	9	6	133.197	100%	1.258,47	106	108	98%
79	10°	9	6	128.866	97%	1.254,54	103	108	95%
80	15°	9	6	121.246	91%	1.256,69	96	108	89%
81	20°	9	6	115.973	87%	1.198,68	97	108	90%
82	25°	9	6	108.478	81%	1.203,70	90	108	83%
83	30°	9	6	96.680	73%	1.180,47	82	108	76%
84	35°	9	6	82.024	62%	1.156,58	71	108	66%

85	5°	12	6	144.266	100%	1.335,80	108	108	100%
86	10°	12	6	142.685	99%	1.321,16	108	108	100%
87	15°	12	6	139.929	97%	1.295,63	108	108	100%
88	20°	12	6	133.307	92%	1.246,79	107	108	99%
89	25°	12	6	129.478	90%	1.223,34	106	108	98%
90	30°	12	6	119.945	83%	1.190,99	101	108	93%
91	35°	12	6	107.009	74%	1.141,79	94	108	87%
92	5°	15	6	151.619	100%	1.403,88	108	108	100%
93	10°	15	6	150.630	99%	1.394,72	108	108	100%
94	15°	15	6	148.142	98%	1.371,69	108	108	100%
95	20°	15	6	142.705	94%	1.321,34	108	108	100%
96	25°	15	6	140.180	92%	1.297,96	108	108	100%
97	30°	15	6	134.869	89%	1.248,79	108	108	100%
98	35°	15	6	125.901	83%	1.184,17	106	108	98%
99	5°	18	6	155.670	100%	1.441,39	108	108	100%
100	10°	18	6	154.553	99%	1.431,05	108	108	100%
101	15°	18	6	152.251	98%	1.409,73	108	108	100%
102	20°	18	6	147.392	95%	1.364,74	108	108	100%
103	25°	18	6	144.831	93%	1.341,02	108	108	100%
104	30°	18	6	140.042	90%	1.296,69	108	108	100%
105	35°	18	6	132.912	85%	1.230,67	108	108	100%
106	5°	21	6	158.543	100%	1.467,99	108	108	100%
107	10°	21	6	158.133	100%	1.464,20	108	108	100%
108	15°	21	6	155.909	98%	1.443,60	108	108	100%
109	20°	21	6	151.224	95%	1.400,23	108	108	100%
110	25°	21	6	148.781	94%	1.377,60	108	108	100%
111	30°	21	6	144.324	91%	1.336,33	108	108	100%
112	35°	21	6	137.442	87%	1.272,62	108	108	100%
113	5°	24	6	160.169	100%	1.483,05	108	108	100%
114	10°	24	6	159.572	100%	1.477,52	108	108	100%
115	15°	24	6	157.546	98%	1.458,76	108	108	100%
116	20°	24	6	152.882	95%	1.415,58	108	108	100%
117	25°	24	6	150.599	94%	1.394,44	108	108	100%
118	30°	24	6	146.410	91%	1.355,65	108	108	100%
119	35°	24	6	139.690	87%	1.293,43	108	108	100%
120	5°	27	6	161.877	100%	1.498,86	108	108	100%
121	10°	27	6	161.376	100%	1.494,23	108	108	100%
122	15°	27	6	159.558	99%	1.477,39	108	108	100%
123	20°	27	6	155.192	96%	1.436,96	108	108	100%
124	25°	27	6	152.942	94%	1.416,13	108	108	100%
125	30°	27	6	149.137	92%	1.380,90	108	108	100%
126	35°	27	6	142.653	88%	1.320,86	108	108	100%
127	5°	30	6	162.517	100%	1.504,78	108	108	100%
128	10°	30	6	161.958	100%	1.499,62	108	108	100%
129	15°	30	6	160.161	99%	1.482,97	108	108	100%
130	20°	30	6	155.805	96%	1.442,64	108	108	100%
131	25°	30	6	153.631	95%	1.422,51	108	108	100%
132	30°	30	6	149.960	92%	1.388,52	108	108	100%
133	35°	30	6	143.595	88%	1.329,59	108	108	100%
134	5°	33	6	163.405	100%	1.513,01	108	108	100%

135	10°	33	6	163.013	100%	1.509,38	108	108	100%
136	15°	33	6	161.288	99%	1.493,41	108	108	100%
137	20°	33	6	157.068	96%	1.454,34	108	108	100%
138	25°	33	6	154.999	95%	1.435,18	108	108	100%
139	30°	33	6	151.395	93%	1.401,81	108	108	100%
140	35°	33	6	145.048	89%	1.343,03	108	108	100%
141	5°	6	9	100.250	100%	1.268,67	79	162	49%
142	10°	6	9	94.570	94%	1.254,91	75	162	47%
143	15°	6	9	86.166	86%	1.255,33	69	162	42%
144	20°	6	9	77.912	78%	1.222,73	64	162	39%
145	25°	6	9	71.617	71%	1.205,68	59	162	37%
146	30°	6	9	62.967	63%	1.210,44	52	162	32%
147	35°	6	9	53.184	53%	1.194,60	45	162	27%
148	5°	9	9	143.889	100%	1.228,25	117	162	72%
149	10°	9	9	136.698	95%	1.236,87	111	162	68%
150	15°	9	9	129.323	90%	1.223,26	106	162	65%
151	20°	9	9	118.220	82%	1.188,73	99	162	61%
152	25°	9	9	109.878	76%	1.177,68	93	162	58%
153	30°	9	9	97.075	67%	1.177,52	82	162	51%
154	35°	9	9	81.971	57%	1.155,82	71	162	44%
155	5°	12	9	185.617	100%	1.218,44	152	162	94%
156	10°	12	9	181.834	98%	1.211,26	150	162	93%
157	15°	12	9	176.274	95%	1.196,21	147	162	91%
158	20°	12	9	160.684	87%	1.168,44	138	162	85%
159	25°	12	9	148.890	80%	1.168,59	127	162	79%
160	30°	12	9	137.408	74%	1.139,37	121	162	74%
161	35°	12	9	115.317	62%	1.110,95	104	162	64%
162	5°	15	9	207.505	100%	1.280,90	162	162	100%
163	10°	15	9	205.669	99%	1.269,56	162	162	100%
164	15°	15	9	201.309	97%	1.250,06	161	162	99%
165	20°	15	9	192.429	93%	1.203,89	160	162	99%
166	25°	15	9	184.601	89%	1.195,52	154	162	95%
167	30°	15	9	173.298	84%	1.158,57	150	162	92%
168	35°	15	9	151.348	73%	1.118,11	135	162	84%
169	5°	18	9	217.351	100%	1.341,67	162	162	100%
170	10°	18	9	215.309	99%	1.329,07	162	162	100%
171	15°	18	9	211.649	97%	1.306,48	162	162	100%
172	20°	18	9	204.175	94%	1.260,34	162	162	100%
173	25°	18	9	200.572	92%	1.238,10	162	162	100%
174	30°	18	9	192.952	89%	1.192,38	162	162	100%
175	35°	18	9	179.749	83%	1.130,50	159	162	98%
176	5°	21	9	225.557	100%	1.392,32	162	162	100%
177	10°	21	9	223.781	99%	1.381,36	162	162	100%
178	15°	21	9	220.006	98%	1.358,06	162	162	100%
179	20°	21	9	212.837	94%	1.313,81	162	162	100%
180	25°	21	9	209.357	93%	1.292,33	162	162	100%
181	30°	21	9	202.210	90%	1.248,21	162	162	100%
182	35°	21	9	191.383	85%	1.181,38	162	162	100%
183	5°	24	9	229.979	100%	1.419,62	162	162	100%
184	10°	24	9	228.563	99%	1.410,88	162	162	100%

185	15°	24	9	225.078	98%	1.389,37	162	162	100%
186	20°	24	9	217.908	95%	1.345,11	162	162	100%
187	25°	24	9	214.247	93%	1.322,51	162	162	100%
188	30°	24	9	207.986	90%	1.283,87	162	162	100%
189	35°	24	9	197.310	86%	1.217,96	162	162	100%
190	5°	27	9	234.469	100%	1.447,34	162	162	100%
191	10°	27	9	233.055	99%	1.438,61	162	162	100%
192	15°	27	9	229.715	98%	1.418,00	162	162	100%
193	20°	27	9	222.945	95%	1.376,20	162	162	100%
194	25°	27	9	219.353	94%	1.354,03	162	162	100%
195	30°	27	9	213.378	91%	1.317,15	162	162	100%
196	35°	27	9	203.260	87%	1.254,69	162	162	100%
197	5°	30	9	236.865	100%	1.462,13	162	162	100%
198	10°	30	9	235.263	99%	1.452,24	162	162	100%
199	15°	30	9	232.024	98%	1.432,25	162	162	100%
200	20°	30	9	225.188	95%	1.390,05	162	162	100%
201	25°	30	9	221.685	94%	1.368,42	162	162	100%
202	30°	30	9	216.159	91%	1.334,32	162	162	100%
203	35°	30	9	206.139	87%	1.272,46	162	162	100%
204	5°	33	9	239.360	100%	1.477,53	162	162	100%
205	10°	33	9	237.771	99%	1.467,72	162	162	100%
206	15°	33	9	234.614	98%	1.448,24	162	162	100%
207	20°	33	9	228.013	95%	1.407,49	162	162	100%
208	25°	33	9	224.676	94%	1.386,89	162	162	100%
209	30°	33	9	219.175	92%	1.352,93	162	162	100%
210	35°	33	9	209.209	87%	1.291,42	162	162	100%
211	5°	6	12	101.326	100%	1.223,74	83	216	38%
212	10°	6	12	93.118	92%	1.235,65	75	216	35%
213	15°	6	12	86.166	85%	1.255,33	69	216	32%
214	20°	6	12	79.187	78%	1.192,21	66	216	31%
215	25°	6	12	69.718	69%	1.196,67	58	216	27%
216	30°	6	12	59.855	59%	1.198,30	50	216	23%
217	35°	6	12	53.184	52%	1.194,60	45	216	21%
218	5°	9	12	148.020	100%	1.240,95	119	216	55%
219	10°	9	12	139.798	94%	1.230,18	114	216	53%
220	15°	9	12	129.323	87%	1.223,26	106	216	49%
221	20°	9	12	115.306	78%	1.159,44	99	216	46%
222	25°	9	12	105.814	71%	1.148,15	92	216	43%
223	30°	9	12	95.049	64%	1.152,95	82	216	38%
224	35°	9	12	81.871	55%	1.156,37	71	216	33%
225	5°	12	12	192.861	100%	1.226,61	157	216	73%
226	10°	12	12	188.928	98%	1.208,06	156	216	72%
227	15°	12	12	180.279	93%	1.184,80	152	216	70%
228	20°	12	12	156.761	81%	1.140,66	137	216	64%
229	25°	12	12	146.905	76%	1.120,56	131	216	61%
230	30°	12	12	134.155	70%	1.117,40	120	216	56%
231	35°	12	12	115.079	60%	1.111,23	104	216	48%
232	5°	15	12	240.678	100%	1.220,16	197	216	91%
233	10°	15	12	235.898	98%	1.213,10	194	216	90%
234	15°	15	12	227.250	94%	1.197,82	190	216	88%

235	20°	15	12	207.641	86%	1.135,96	183	216	85%
236	25°	15	12	195.057	81%	1.127,82	173	216	80%
237	30°	15	12	183.228	76%	1.108,26	165	216	77%
238	35°	15	12	154.209	64%	1.108,78	139	216	64%
239	5°	18	12	271.090	100%	1.255,04	216	216	100%
240	10°	18	12	268.661	99%	1.243,80	216	216	100%
241	15°	18	12	263.113	97%	1.220,83	216	216	100%
242	20°	18	12	247.042	91%	1.158,68	213	216	99%
243	25°	18	12	234.736	87%	1.150,83	204	216	94%
244	30°	18	12	223.959	83%	1.121,42	200	216	92%
245	35°	18	12	201.808	74%	1.094,17	184	216	85%
246	5°	21	12	284.009	100%	1.314,85	216	216	100%
247	10°	21	12	281.873	99%	1.304,97	216	216	100%
248	15°	21	12	277.027	98%	1.282,53	216	216	100%
249	20°	21	12	264.100	93%	1.222,69	216	216	100%
250	25°	21	12	258.899	91%	1.198,61	216	216	100%
251	30°	21	12	249.940	88%	1.163,92	215	216	99%
252	35°	21	12	233.540	82%	1.121,07	208	216	96%
253	5°	24	12	292.821	100%	1.355,65	216	216	100%
254	10°	24	12	291.386	100%	1.349,01	216	216	100%
255	15°	24	12	286.770	98%	1.327,64	216	216	100%
256	20°	24	12	274.311	94%	1.269,96	216	216	100%
257	25°	24	12	269.191	92%	1.246,25	216	216	100%
258	30°	24	12	261.670	89%	1.211,43	216	216	100%
259	35°	24	12	250.071	85%	1.157,74	216	216	100%
260	5°	27	12	300.804	100%	1.392,61	216	216	100%
261	10°	27	12	299.383	100%	1.386,03	216	216	100%
262	15°	27	12	295.028	98%	1.365,87	216	216	100%
263	20°	27	12	283.160	94%	1.310,93	216	216	100%
264	25°	27	12	277.862	92%	1.286,40	216	216	100%
265	30°	27	12	270.539	90%	1.252,50	216	216	100%
266	35°	27	12	259.247	86%	1.200,22	216	216	100%
267	5°	30	12	304.949	100%	1.411,80	216	216	100%
268	10°	30	12	303.508	100%	1.405,13	216	216	100%
269	15°	30	12	299.268	98%	1.385,50	216	216	100%
270	20°	30	12	287.568	94%	1.331,34	216	216	100%
271	25°	30	12	282.620	93%	1.308,42	216	216	100%
272	30°	30	12	275.432	90%	1.275,15	216	216	100%
273	35°	30	12	264.069	87%	1.222,54	216	216	100%
274	5°	33	12	308.932	100%	1.430,24	216	216	100%
275	10°	33	12	307.188	99%	1.422,17	216	216	100%
276	15°	33	12	303.028	98%	1.402,91	216	216	100%
277	20°	33	12	291.741	94%	1.350,66	216	216	100%
278	25°	33	12	286.849	93%	1.328,00	216	216	100%
279	30°	33	12	279.668	91%	1.294,76	216	216	100%
280	35°	33	12	268.166	87%	1.241,51	216	216	100%
281	5°	6	15	95.474	100%	1.288,45	74	270	27%
282	10°	6	15	92.870	97%	1.255,85	74	270	27%
283	15°	6	15	88.912	93%	1.295,34	69	270	25%
284	20°	6	15	79.796	84%	1.222,36	65	270	24%

285	25°	6	15	70.681	74%	1.183,94	60	270	22%
286	30°	6	15	62.072	65%	1.255,50	49	270	18%
287	35°	6	15	53.184	56%	1.194,60	45	270	16%
288	5°	9	15	144.917	100%	1.201,63	121	270	45%
289	10°	9	15	138.409	96%	1.224,75	113	270	42%
290	15°	9	15	132.408	91%	1.252,44	106	270	39%
291	20°	9	15	115.902	80%	1.208,45	96	270	36%
292	25°	9	15	106.740	74%	1.174,26	91	270	34%
293	30°	9	15	96.590	67%	1.187,63	81	270	30%
294	35°	9	15	81.870	56%	1.156,36	71	270	26%
295	5°	12	15	196.724	100%	1.201,88	164	270	61%
296	10°	12	15	190.278	97%	1.198,53	159	270	59%
297	15°	12	15	183.726	93%	1.207,45	152	270	56%
298	20°	12	15	158.414	81%	1.155,72	137	270	51%
299	25°	12	15	147.801	75%	1.134,93	130	270	48%
300	30°	12	15	134.922	69%	1.135,13	119	270	44%
301	35°	12	15	115.073	58%	1.111,17	104	270	38%
302	5°	15	15	246.133	100%	1.213,50	203	270	75%
303	10°	15	15	240.902	98%	1.210,08	199	270	74%
304	15°	15	15	235.722	96%	1.204,38	196	270	72%
305	20°	15	15	208.024	85%	1.135,81	183	270	68%
306	25°	15	15	196.185	80%	1.122,28	175	270	65%
307	30°	15	15	183.456	75%	1.113,88	165	270	61%
308	35°	15	15	153.385	62%	1.110,52	138	270	51%
309	5°	18	15	299.952	100%	1.207,68	248	270	92%
310	10°	18	15	297.645	99%	1.200,42	248	270	92%
311	15°	18	15	291.224	97%	1.198,45	243	270	90%
312	20°	18	15	263.382	88%	1.123,40	234	270	87%
313	25°	18	15	248.854	83%	1.120,66	222	270	82%
314	30°	18	15	237.715	79%	1.097,33	217	270	80%
315	35°	18	15	203.695	68%	1.088,81	187	270	69%
316	5°	21	15	336.022	100%	1.246,19	270	270	100%
317	10°	21	15	333.441	99%	1.241,03	269	270	100%
318	15°	21	15	329.415	98%	1.231,55	267	270	99%
319	20°	21	15	306.879	91%	1.156,64	265	270	98%
320	25°	21	15	295.757	88%	1.145,41	258	270	96%
321	30°	21	15	282.637	84%	1.121,98	252	270	93%
322	35°	21	15	256.200	76%	1.091,51	235	270	87%
323	5°	24	15	350.812	100%	1.299,30	270	270	100%
324	10°	24	15	349.198	100%	1.293,33	270	270	100%
325	15°	24	15	346.439	99%	1.283,11	270	270	100%
326	20°	24	15	326.945	93%	1.210,91	270	270	100%
327	25°	24	15	321.001	92%	1.191,27	269	270	100%
328	30°	24	15	311.130	89%	1.158,90	268	270	99%
329	35°	24	15	290.248	83%	1.116,68	260	270	96%
330	5°	27	15	362.731	100%	1.343,45	270	270	100%
331	10°	27	15	360.734	99%	1.336,05	270	270	100%
332	15°	27	15	358.193	99%	1.326,64	270	270	100%
333	20°	27	15	339.930	94%	1.259,00	270	270	100%
334	25°	27	15	334.073	92%	1.237,31	270	270	100%

335	30°	27	15	325.498	90%	1.205,55	270	270	100%
336	35°	27	15	310.209	86%	1.155,08	269	270	99%
337	5°	30	15	369.992	100%	1.370,34	270	270	100%
338	10°	30	15	367.955	99%	1.362,80	270	270	100%
339	15°	30	15	365.023	99%	1.351,94	270	270	100%
340	20°	30	15	347.521	94%	1.287,12	270	270	100%
341	25°	30	15	341.606	92%	1.265,21	270	270	100%
342	30°	30	15	333.163	90%	1.233,94	270	270	100%
343	35°	30	15	318.826	86%	1.180,84	270	270	100%
344	5°	33	15	376.637	100%	1.394,95	270	270	100%
345	10°	33	15	374.199	99%	1.385,92	270	270	100%
346	15°	33	15	371.003	99%	1.374,09	270	270	100%
347	20°	33	15	354.008	94%	1.311,14	270	270	100%
348	25°	33	15	347.772	92%	1.288,04	270	270	100%
349	30°	33	15	339.737	90%	1.258,28	270	270	100%
350	35°	33	15	325.163	86%	1.204,31	270	270	100%
351	5°	6	18	103.478	100%	1.249,73	83	324	26%
352	10°	6	18	91.436	88%	1.266,78	72	324	22%
353	15°	6	18	82.192	79%	1.209,60	68	324	21%
354	20°	6	18	79.796	77%	1.222,36	65	324	20%
355	25°	6	18	73.097	71%	1.224,40	60	324	18%
356	30°	6	18	59.961	58%	1.203,31	50	324	15%
357	35°	6	18	53.184	51%	1.194,60	45	324	14%
358	5°	9	18	145.921	100%	1.254,59	116	324	36%
359	10°	9	18	137.920	95%	1.218,16	113	324	35%
360	15°	9	18	127.129	87%	1.202,51	106	324	33%
361	20°	9	18	120.301	82%	1.194,89	101	324	31%
362	25°	9	18	110.182	76%	1.188,59	93	324	29%
363	30°	9	18	93.404	64%	1.163,04	80	324	25%
364	35°	9	18	81.870	56%	1.156,36	71	324	22%
365	5°	12	18	195.023	100%	1.199,62	163	324	50%
366	10°	12	18	187.761	96%	1.195,55	157	324	48%
367	15°	12	18	179.575	92%	1.180,17	152	324	47%
368	20°	12	18	160.781	82%	1.180,48	136	324	42%
369	25°	12	18	149.604	77%	1.168,14	128	324	40%
370	30°	12	18	131.454	67%	1.127,87	117	324	36%
371	35°	12	18	115.072	59%	1.111,16	104	324	32%
372	5°	15	18	251.357	100%	1.194,89	210	324	65%
373	10°	15	18	242.880	97%	1.191,99	204	324	63%
374	15°	15	18	232.494	92%	1.187,89	196	324	60%
375	20°	15	18	210.374	84%	1.155,46	182	324	56%
376	25°	15	18	197.983	79%	1.156,37	171	324	53%
377	30°	15	18	180.573	72%	1.107,27	163	324	50%
378	35°	15	18	153.379	61%	1.110,48	138	324	43%
379	5°	18	18	307.352	100%	1.206,15	255	324	79%
380	10°	18	18	303.225	99%	1.190,66	255	324	79%
381	15°	18	18	294.055	96%	1.177,54	250	324	77%
382	20°	18	18	264.536	86%	1.130,50	234	324	72%
383	25°	18	18	254.950	83%	1.130,55	226	324	70%
384	30°	18	18	233.965	76%	1.089,37	215	324	66%

385	35°	18	18	202.654	66%	1.090,24	186	324	57%
386	5°	21	18	364.629	100%	1.208,06	302	324	93%
387	10°	21	18	359.312	99%	1.205,42	298	324	92%
388	15°	21	18	352.511	97%	1.191,72	296	324	91%
389	20°	21	18	328.153	90%	1.126,40	291	324	90%
390	25°	21	18	317.518	87%	1.130,40	281	324	87%
391	30°	21	18	296.997	81%	1.089,46	273	324	84%
392	35°	21	18	261.913	72%	1.083,18	242	324	75%
393	5°	24	18	400.652	100%	1.240,71	323	324	100%
394	10°	24	18	397.691	99%	1.234,30	322	324	99%
395	15°	24	18	391.329	98%	1.222,29	320	324	99%
396	20°	24	18	368.225	92%	1.159,03	318	324	98%
397	25°	24	18	361.170	90%	1.157,71	312	324	96%
398	30°	24	18	340.825	85%	1.113,81	306	324	94%
399	35°	24	18	311.858	78%	1.093,78	285	324	88%
400	5°	27	18	419.942	100%	1.296,12	324	324	100%
401	10°	27	18	417.338	99%	1.288,08	324	324	100%
402	15°	27	18	411.709	98%	1.270,71	324	324	100%
403	20°	27	18	391.825	93%	1.209,34	324	324	100%
404	25°	27	18	388.174	92%	1.198,73	324	324	100%
405	30°	27	18	369.911	88%	1.153,88	321	324	99%
406	35°	27	18	350.066	83%	1.121,14	312	324	96%
407	5°	30	18	430.818	100%	1.329,68	324	324	100%
408	10°	30	18	427.661	99%	1.319,94	324	324	100%
409	15°	30	18	421.518	98%	1.300,98	324	324	100%
410	20°	30	18	402.681	93%	1.242,84	324	324	100%
411	25°	30	18	398.306	92%	1.229,34	324	324	100%
412	30°	30	18	383.095	89%	1.182,39	324	324	100%
413	35°	30	18	368.843	86%	1.139,25	324	324	100%
414	5°	33	18	440.074	100%	1.358,25	324	324	100%
415	10°	33	18	436.934	99%	1.348,56	324	324	100%
416	15°	33	18	429.901	98%	1.326,85	324	324	100%
417	20°	33	18	411.900	94%	1.271,30	324	324	100%
418	25°	33	18	407.357	93%	1.257,27	324	324	100%
419	30°	33	18	392.413	89%	1.211,15	324	324	100%
420	35°	33	18	377.985	86%	1.166,62	324	324	100%

BELÉM (Lat.: -1°27') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO OESTE

n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Varição (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	72.932	98%	1.350,60	54	54	100%
2	10°	6	3	74.165	100%	1.373,43	54	54	100%
3	15°	6	3	67.661	91%	1.307,46	52	54	96%
4	20°	6	3	65.314	88%	1.273,18	51	54	95%
5	25°	6	3	64.588	87%	1.270,18	51	54	94%

6	30°	6	3	60.163	81%	1.256,54	48	54	89%
7	35°	6	3	52.904	71%	1.187,51	45	54	82%
8	5°	9	3	78.737	99%	1.458,10	54	54	100%
9	10°	9	3	79.642	100%	1.474,84	54	54	100%
10	15°	9	3	75.950	95%	1.406,48	54	54	100%
11	20°	9	3	74.197	93%	1.374,02	54	54	100%
12	25°	9	3	73.787	93%	1.366,42	54	54	100%
13	30°	9	3	71.356	90%	1.321,41	54	54	100%
14	35°	9	3	66.750	84%	1.236,11	54	54	100%
15	5°	12	3	80.504	98%	1.490,82	54	54	100%
16	10°	12	3	81.828	100%	1.515,34	54	54	100%
17	15°	12	3	78.459	96%	1.452,95	54	54	100%
18	20°	12	3	76.976	94%	1.425,48	54	54	100%
19	25°	12	3	76.755	94%	1.421,39	54	54	100%
20	30°	12	3	74.614	91%	1.381,73	54	54	100%
21	35°	12	3	70.191	86%	1.299,82	54	54	100%
22	5°	15	3	82.818	98%	1.533,67	54	54	100%
23	10°	15	3	84.252	100%	1.560,21	54	54	100%
24	15°	15	3	81.577	97%	1.510,69	54	54	100%
25	20°	15	3	80.502	96%	1.490,79	54	54	100%
26	25°	15	3	80.449	95%	1.489,79	54	54	100%
27	30°	15	3	78.485	93%	1.453,42	54	54	100%
28	35°	15	3	74.639	89%	1.382,21	54	54	100%
29	5°	18	3	83.134	98%	1.539,52	54	54	100%
30	10°	18	3	84.588	100%	1.566,44	54	54	100%
31	15°	18	3	82.018	97%	1.518,85	54	54	100%
32	20°	18	3	81.147	96%	1.502,73	54	54	100%
33	25°	18	3	81.143	96%	1.502,64	54	54	100%
34	30°	18	3	79.411	94%	1.470,58	54	54	100%
35	35°	18	3	75.919	90%	1.405,91	54	54	100%
36	5°	21	3	83.419	98%	1.544,80	54	54	100%
37	10°	21	3	84.899	100%	1.572,21	54	54	100%
38	15°	21	3	82.431	97%	1.526,50	54	54	100%
39	20°	21	3	81.654	96%	1.512,12	54	54	100%
40	25°	21	3	81.654	96%	1.512,11	54	54	100%
41	30°	21	3	79.978	94%	1.481,08	54	54	100%
42	35°	21	3	76.585	90%	1.418,23	54	54	100%
43	5°	24	3	84.115	98%	1.557,68	54	54	100%
44	10°	24	3	85.661	100%	1.586,32	54	54	100%
45	15°	24	3	83.409	97%	1.544,61	54	54	100%
46	20°	24	3	82.551	96%	1.528,71	54	54	100%
47	25°	24	3	82.611	96%	1.529,83	54	54	100%
48	30°	24	3	81.025	95%	1.500,47	54	54	100%
49	35°	24	3	77.672	91%	1.438,38	54	54	100%
50	5°	27	3	84.448	98%	1.563,85	54	54	100%
51	10°	27	3	86.077	100%	1.594,02	54	54	100%
52	15°	27	3	83.981	98%	1.555,21	54	54	100%
53	20°	27	3	83.462	97%	1.545,60	54	54	100%
54	25°	27	3	83.560	97%	1.547,41	54	54	100%
55	30°	27	3	82.202	95%	1.522,27	54	54	100%

56	35°	27	3	79.244	92%	1.467,49	54	54	100%
57	5°	30	3	84.498	98%	1.564,78	54	54	100%
58	10°	30	3	86.140	100%	1.595,18	54	54	100%
59	15°	30	3	84.074	98%	1.556,92	54	54	100%
60	20°	30	3	83.591	97%	1.547,97	54	54	100%
61	25°	30	3	83.750	97%	1.550,93	54	54	100%
62	30°	30	3	82.436	96%	1.526,59	54	54	100%
63	35°	30	3	79.517	92%	1.472,54	54	54	100%
64	5°	33	3	84.550	98%	1.565,75	54	54	100%
65	10°	33	3	86.197	100%	1.596,25	54	54	100%
66	15°	33	3	84.157	98%	1.558,47	54	54	100%
67	20°	33	3	83.699	97%	1.549,98	54	54	100%
68	25°	33	3	83.868	97%	1.553,11	54	54	100%
69	30°	33	3	82.564	96%	1.528,97	54	54	100%
70	35°	33	3	79.669	92%	1.475,35	54	54	100%
71	5°	6	6	93.712	100%	1.300,47	72	108	67%
72	10°	6	6	90.894	97%	1.256,13	72	108	67%
73	15°	6	6	82.262	88%	1.281,33	64	108	59%
74	20°	6	6	77.247	82%	1.260,36	61	108	57%
75	25°	6	6	72.502	77%	1.211,39	60	108	55%
76	30°	6	6	63.883	68%	1.216,82	52	108	49%
77	35°	6	6	56.030	60%	1.208,84	46	108	43%
78	5°	9	6	133.712	100%	1.259,06	106	108	98%
79	10°	9	6	128.694	96%	1.243,42	103	108	96%
80	15°	9	6	120.181	90%	1.247,98	96	108	89%
81	20°	9	6	117.658	88%	1.211,60	97	108	90%
82	25°	9	6	107.050	80%	1.199,03	89	108	83%
83	30°	9	6	96.057	72%	1.201,47	80	108	74%
84	35°	9	6	84.922	64%	1.185,40	72	108	66%
85	5°	12	6	144.197	100%	1.335,16	108	108	100%
86	10°	12	6	142.174	99%	1.316,43	108	108	100%
87	15°	12	6	138.678	96%	1.292,68	107	108	99%
88	20°	12	6	135.269	94%	1.260,89	107	108	99%
89	25°	12	6	129.506	90%	1.225,68	106	108	98%
90	30°	12	6	121.624	84%	1.210,19	100	108	93%
91	35°	12	6	113.761	79%	1.168,93	97	108	90%
92	5°	15	6	151.513	100%	1.402,90	108	108	100%
93	10°	15	6	150.163	99%	1.390,40	108	108	100%
94	15°	15	6	147.701	97%	1.367,60	108	108	100%
95	20°	15	6	144.770	96%	1.340,47	108	108	100%
96	25°	15	6	141.023	93%	1.305,77	108	108	100%
97	30°	15	6	137.353	91%	1.271,78	108	108	100%
98	35°	15	6	131.284	87%	1.225,81	107	108	99%
99	5°	18	6	155.464	100%	1.439,48	108	108	100%
100	10°	18	6	154.361	99%	1.429,27	108	108	100%
101	15°	18	6	152.123	98%	1.408,54	108	108	100%
102	20°	18	6	149.793	96%	1.386,97	108	108	100%
103	25°	18	6	146.240	94%	1.354,07	108	108	100%
104	30°	18	6	142.704	92%	1.321,33	108	108	100%
105	35°	18	6	137.943	89%	1.277,25	108	108	100%

106	5°	21	6	158.590	100%	1.468,43	108	108	100%
107	10°	21	6	157.933	100%	1.462,34	108	108	100%
108	15°	21	6	155.839	98%	1.442,95	108	108	100%
109	20°	21	6	153.791	97%	1.423,99	108	108	100%
110	25°	21	6	150.809	95%	1.396,38	108	108	100%
111	30°	21	6	147.431	93%	1.365,10	108	108	100%
112	35°	21	6	142.683	90%	1.321,14	108	108	100%
113	5°	24	6	160.261	100%	1.483,89	108	108	100%
114	10°	24	6	159.666	100%	1.478,39	108	108	100%
115	15°	24	6	157.830	98%	1.461,39	108	108	100%
116	20°	24	6	155.777	97%	1.442,38	108	108	100%
117	25°	24	6	153.001	95%	1.416,67	108	108	100%
118	30°	24	6	149.868	94%	1.387,67	108	108	100%
119	35°	24	6	145.181	91%	1.344,27	108	108	100%
120	5°	27	6	161.978	100%	1.499,80	108	108	100%
121	10°	27	6	161.661	100%	1.496,86	108	108	100%
122	15°	27	6	160.096	99%	1.482,37	108	108	100%
123	20°	27	6	158.485	98%	1.467,46	108	108	100%
124	25°	27	6	155.872	96%	1.443,26	108	108	100%
125	30°	27	6	152.815	94%	1.414,95	108	108	100%
126	35°	27	6	148.610	92%	1.376,01	108	108	100%
127	5°	30	6	162.705	100%	1.506,53	108	108	100%
128	10°	30	6	162.406	100%	1.503,76	108	108	100%
129	15°	30	6	160.762	99%	1.488,54	108	108	100%
130	20°	30	6	159.207	98%	1.474,14	108	108	100%
131	25°	30	6	156.723	96%	1.451,14	108	108	100%
132	30°	30	6	153.761	95%	1.423,72	108	108	100%
133	35°	30	6	149.627	92%	1.385,44	108	108	100%
134	5°	33	6	163.689	100%	1.515,64	108	108	100%
135	10°	33	6	163.505	100%	1.513,94	108	108	100%
136	15°	33	6	162.086	99%	1.500,80	108	108	100%
137	20°	33	6	160.619	98%	1.487,21	108	108	100%
138	25°	33	6	158.278	97%	1.465,54	108	108	100%
139	30°	33	6	155.438	95%	1.439,24	108	108	100%
140	35°	33	6	151.380	92%	1.401,67	108	108	100%
141	5°	6	9	92.505	100%	1.267,89	73	162	45%
142	10°	6	9	88.278	95%	1.219,99	72	162	45%
143	15°	6	9	80.856	87%	1.263,57	64	162	40%
144	20°	6	9	78.320	85%	1.229,13	64	162	39%
145	25°	6	9	72.500	78%	1.211,37	60	162	37%
146	30°	6	9	64.029	69%	1.214,05	53	162	33%
147	35°	6	9	56.366	61%	1.213,73	46	162	29%
148	5°	9	9	142.526	100%	1.223,82	116	162	72%
149	10°	9	9	131.390	92%	1.195,65	110	162	68%
150	15°	9	9	126.544	89%	1.214,90	104	162	64%
151	20°	9	9	122.725	86%	1.185,75	104	162	64%
152	25°	9	9	108.588	76%	1.191,05	91	162	56%
153	30°	9	9	97.284	68%	1.187,84	82	162	51%
154	35°	9	9	85.904	60%	1.163,06	74	162	46%
155	5°	12	9	181.717	100%	1.228,90	148	162	91%

156	10°	12	9	176.251	97%	1.189,76	148	162	91%
157	15°	12	9	172.049	95%	1.195,53	144	162	89%
158	20°	12	9	162.406	89%	1.184,84	137	162	85%
159	25°	12	9	151.315	83%	1.162,71	130	162	80%
160	30°	12	9	136.999	75%	1.157,58	118	162	73%
161	35°	12	9	120.676	66%	1.129,92	107	162	66%
162	5°	15	9	206.438	100%	1.274,31	162	162	100%
163	10°	15	9	201.758	98%	1.245,42	162	162	100%
164	15°	15	9	200.594	97%	1.238,24	162	162	100%
165	20°	15	9	195.009	94%	1.219,34	160	162	99%
166	25°	15	9	185.448	90%	1.194,51	155	162	96%
167	30°	15	9	173.740	84%	1.179,74	147	162	91%
168	35°	15	9	158.065	77%	1.142,67	138	162	85%
169	5°	18	9	215.863	100%	1.332,49	162	162	100%
170	10°	18	9	212.004	98%	1.308,67	162	162	100%
171	15°	18	9	210.677	98%	1.300,48	162	162	100%
172	20°	18	9	206.985	96%	1.277,69	162	162	100%
173	25°	18	9	201.472	93%	1.243,66	162	162	100%
174	30°	18	9	196.240	91%	1.212,70	162	162	100%
175	35°	18	9	186.452	86%	1.164,31	160	162	99%
176	5°	21	9	223.735	100%	1.381,08	162	162	100%
177	10°	21	9	220.412	99%	1.360,57	162	162	100%
178	15°	21	9	219.083	98%	1.352,36	162	162	100%
179	20°	21	9	216.106	97%	1.333,98	162	162	100%
180	25°	21	9	211.074	94%	1.302,92	162	162	100%
181	30°	21	9	205.939	92%	1.271,23	162	162	100%
182	35°	21	9	197.966	88%	1.222,01	162	162	100%
183	5°	24	9	228.138	100%	1.408,26	162	162	100%
184	10°	24	9	225.582	99%	1.392,48	162	162	100%
185	15°	24	9	224.322	98%	1.384,70	162	162	100%
186	20°	24	9	221.312	97%	1.366,12	162	162	100%
187	25°	24	9	217.090	95%	1.340,06	162	162	100%
188	30°	24	9	212.259	93%	1.310,24	162	162	100%
189	35°	24	9	204.129	89%	1.260,06	162	162	100%
190	5°	27	9	232.504	100%	1.435,21	162	162	100%
191	10°	27	9	230.545	99%	1.423,12	162	162	100%
192	15°	27	9	229.361	99%	1.415,81	162	162	100%
193	20°	27	9	226.987	98%	1.401,15	162	162	100%
194	25°	27	9	222.857	96%	1.375,66	162	162	100%
195	30°	27	9	218.297	94%	1.347,51	162	162	100%
196	35°	27	9	210.925	91%	1.302,01	162	162	100%
197	5°	30	9	234.878	100%	1.449,87	162	162	100%
198	10°	30	9	233.097	99%	1.438,87	162	162	100%
199	15°	30	9	231.884	99%	1.431,39	162	162	100%
200	20°	30	9	229.572	98%	1.417,11	162	162	100%
201	25°	30	9	225.813	96%	1.393,91	162	162	100%
202	30°	30	9	221.218	94%	1.365,55	162	162	100%
203	35°	30	9	213.935	91%	1.320,59	162	162	100%
204	5°	33	9	237.501	100%	1.466,05	162	162	100%
205	10°	33	9	235.884	99%	1.456,07	162	162	100%

206	15°	33	9	234.821	99%	1.449,52	162	162	100%
207	20°	33	9	232.760	98%	1.436,79	162	162	100%
208	25°	33	9	229.101	96%	1.414,21	162	162	100%
209	30°	33	9	224.673	95%	1.386,87	162	162	100%
210	35°	33	9	217.779	92%	1.344,31	162	162	100%
211	5°	6	12	92.957	100%	1.278,28	73	216	34%
212	10°	6	12	93.209	100%	1.303,25	72	216	33%
213	15°	6	12	82.499	89%	1.245,45	66	216	31%
214	20°	6	12	75.947	81%	1.191,89	64	216	29%
215	25°	6	12	70.604	76%	1.200,75	59	216	27%
216	30°	6	12	61.055	66%	1.204,25	51	216	23%
217	35°	6	12	53.732	58%	1.198,04	45	216	21%
218	5°	9	12	138.574	100%	1.221,99	113	216	52%
219	10°	9	12	135.772	98%	1.235,53	110	216	51%
220	15°	9	12	119.779	86%	1.195,76	100	216	46%
221	20°	9	12	115.775	84%	1.158,91	100	216	46%
222	25°	9	12	105.690	76%	1.159,26	91	216	42%
223	30°	9	12	94.312	68%	1.152,82	82	216	38%
224	35°	9	12	83.825	60%	1.143,74	73	216	34%
225	5°	12	12	185.696	100%	1.203,08	154	216	71%
226	10°	12	12	181.487	98%	1.203,89	151	216	70%
227	15°	12	12	169.458	91%	1.154,66	147	216	68%
228	20°	12	12	160.053	86%	1.144,13	140	216	65%
229	25°	12	12	147.421	79%	1.130,44	130	216	60%
230	30°	12	12	134.136	72%	1.115,57	120	216	56%
231	35°	12	12	119.048	64%	1.093,79	109	216	50%
232	5°	15	12	232.404	100%	1.212,71	192	216	89%
233	10°	15	12	231.039	99%	1.197,90	193	216	89%
234	15°	15	12	218.454	94%	1.164,34	188	216	87%
235	20°	15	12	207.465	89%	1.160,12	179	216	83%
236	25°	15	12	196.677	85%	1.128,19	174	216	81%
237	30°	15	12	180.766	78%	1.116,46	162	216	75%
238	35°	15	12	159.489	69%	1.099,77	145	216	67%
239	5°	18	12	267.733	100%	1.239,50	216	216	100%
240	10°	18	12	265.718	99%	1.231,20	216	216	100%
241	15°	18	12	256.942	96%	1.192,53	215	216	100%
242	20°	18	12	250.702	94%	1.176,34	213	216	99%
243	25°	18	12	236.573	88%	1.151,37	205	216	95%
244	30°	18	12	223.964	84%	1.129,08	198	216	92%
245	35°	18	12	204.894	77%	1.096,63	187	216	86%
246	5°	21	12	280.937	100%	1.300,63	216	216	100%
247	10°	21	12	279.393	99%	1.293,49	216	216	100%
248	15°	21	12	271.848	97%	1.258,56	216	216	100%
249	20°	21	12	268.092	95%	1.241,17	216	216	100%
250	25°	21	12	260.465	93%	1.205,86	216	216	100%
251	30°	21	12	252.558	90%	1.175,13	215	216	99%
252	35°	21	12	239.766	85%	1.133,80	211	216	98%
253	5°	24	12	289.983	100%	1.342,51	216	216	100%
254	10°	24	12	289.193	100%	1.338,86	216	216	100%
255	15°	24	12	282.157	97%	1.306,28	216	216	100%

256	20°	24	12	278.578	96%	1.289,71	216	216	100%
257	25°	24	12	271.800	94%	1.258,33	216	216	100%
258	30°	24	12	265.029	91%	1.226,99	216	216	100%
259	35°	24	12	255.089	88%	1.180,97	216	216	100%
260	5°	27	12	298.309	100%	1.381,06	216	216	100%
261	10°	27	12	298.021	100%	1.379,73	216	216	100%
262	15°	27	12	291.385	98%	1.349,00	216	216	100%
263	20°	27	12	288.101	97%	1.333,80	216	216	100%
264	25°	27	12	281.493	94%	1.303,21	216	216	100%
265	30°	27	12	274.741	92%	1.271,95	216	216	100%
266	35°	27	12	265.087	89%	1.227,25	216	216	100%
267	5°	30	12	302.830	100%	1.401,99	216	216	100%
268	10°	30	12	302.741	100%	1.401,58	216	216	100%
269	15°	30	12	296.198	98%	1.371,29	216	216	100%
270	20°	30	12	292.890	97%	1.355,97	216	216	100%
271	25°	30	12	286.779	95%	1.327,68	216	216	100%
272	30°	30	12	280.334	93%	1.297,84	216	216	100%
273	35°	30	12	270.735	89%	1.253,40	216	216	100%
274	5°	33	12	306.877	100%	1.420,73	216	216	100%
275	10°	33	12	306.835	100%	1.420,53	216	216	100%
276	15°	33	12	300.605	98%	1.391,69	216	216	100%
277	20°	33	12	297.424	97%	1.376,96	216	216	100%
278	25°	33	12	291.526	95%	1.349,66	216	216	100%
279	30°	33	12	285.194	93%	1.320,34	216	216	100%
280	35°	33	12	275.942	90%	1.277,51	216	216	100%
281	5°	6	15	99.714	100%	1.282,33	78	270	29%
282	10°	6	15	91.014	91%	1.230,74	74	270	27%
283	15°	6	15	88.832	89%	1.303,29	68	270	25%
284	20°	6	15	79.967	80%	1.229,51	65	270	24%
285	25°	6	15	71.653	72%	1.216,10	59	270	22%
286	30°	6	15	61.108	61%	1.218,26	50	270	19%
287	35°	6	15	53.890	54%	1.203,99	45	270	17%
288	5°	9	15	140.767	100%	1.245,29	113	270	42%
289	10°	9	15	135.165	96%	1.211,81	112	270	41%
290	15°	9	15	126.987	90%	1.272,28	100	270	37%
291	20°	9	15	117.088	83%	1.188,11	99	270	37%
292	25°	9	15	106.548	76%	1.192,22	89	270	33%
293	30°	9	15	93.825	67%	1.177,96	80	270	30%
294	35°	9	15	82.493	59%	1.166,14	71	270	26%
295	5°	12	15	182.450	100%	1.216,82	150	270	56%
296	10°	12	15	180.001	99%	1.195,46	151	270	56%
297	15°	12	15	172.995	95%	1.201,10	144	270	53%
298	20°	12	15	158.744	87%	1.149,82	138	270	51%
299	25°	12	15	147.949	81%	1.141,59	130	270	48%
300	30°	12	15	133.164	73%	1.124,88	118	270	44%
301	35°	12	15	117.842	65%	1.107,44	106	270	39%
302	5°	15	15	237.330	100%	1.194,83	199	270	74%
303	10°	15	15	229.757	97%	1.183,52	194	270	72%
304	15°	15	15	224.754	95%	1.174,26	191	270	71%
305	20°	15	15	209.366	88%	1.142,39	183	270	68%

306	25°	15	15	196.418	83%	1.124,96	175	270	65%
307	30°	15	15	180.130	76%	1.111,29	162	270	60%
308	35°	15	15	157.727	66%	1.103,37	143	270	53%
309	5°	18	15	293.507	100%	1.193,84	246	270	91%
310	10°	18	15	288.113	98%	1.172,62	246	270	91%
311	15°	18	15	279.766	95%	1.170,37	239	270	89%
312	20°	18	15	264.291	90%	1.139,53	232	270	86%
313	25°	18	15	251.802	86%	1.114,66	226	270	84%
314	30°	18	15	235.177	80%	1.095,48	215	270	80%
315	35°	18	15	211.063	72%	1.077,57	196	270	73%
316	5°	21	15	331.898	100%	1.229,25	270	270	100%
317	10°	21	15	326.714	98%	1.210,45	270	270	100%
318	15°	21	15	322.604	97%	1.198,83	269	270	100%
319	20°	21	15	311.667	94%	1.171,90	266	270	99%
320	25°	21	15	298.949	90%	1.143,03	262	270	97%
321	30°	21	15	282.861	85%	1.123,27	252	270	93%
322	35°	21	15	262.486	79%	1.091,51	240	270	89%
323	5°	24	15	346.596	100%	1.283,69	270	270	100%
324	10°	24	15	342.699	99%	1.269,26	270	270	100%
325	15°	24	15	339.725	98%	1.258,24	270	270	100%
326	20°	24	15	331.493	96%	1.227,75	270	270	100%
327	25°	24	15	322.858	93%	1.195,77	270	270	100%
328	30°	24	15	313.008	90%	1.164,72	269	270	100%
329	35°	24	15	296.190	85%	1.128,34	262	270	97%
330	5°	27	15	358.881	100%	1.329,19	270	270	100%
331	10°	27	15	355.806	99%	1.317,80	270	270	100%
332	15°	27	15	352.882	98%	1.306,97	270	270	100%
333	20°	27	15	345.117	96%	1.278,21	270	270	100%
334	25°	27	15	336.844	94%	1.247,57	270	270	100%
335	30°	27	15	328.158	91%	1.215,40	270	270	100%
336	35°	27	15	316.514	88%	1.173,05	270	270	100%
337	5°	30	15	366.312	100%	1.356,71	270	270	100%
338	10°	30	15	363.749	99%	1.347,22	270	270	100%
339	15°	30	15	360.594	98%	1.335,54	270	270	100%
340	20°	30	15	352.881	96%	1.306,97	270	270	100%
341	25°	30	15	345.141	94%	1.278,30	270	270	100%
342	30°	30	15	336.734	92%	1.247,16	270	270	100%
343	35°	30	15	325.027	89%	1.203,80	270	270	100%
344	5°	33	15	373.151	100%	1.382,04	270	270	100%
345	10°	33	15	370.515	99%	1.372,28	270	270	100%
346	15°	33	15	367.364	98%	1.360,61	270	270	100%
347	20°	33	15	360.119	97%	1.333,77	270	270	100%
348	25°	33	15	352.489	94%	1.305,52	270	270	100%
349	30°	33	15	343.986	92%	1.274,02	270	270	100%
350	35°	33	15	332.432	89%	1.231,23	270	270	100%
351	5°	6	18	98.057	100%	1.204,34	81	324	25%
352	10°	6	18	95.342	97%	1.251,21	76	324	24%
353	15°	6	18	84.381	86%	1.241,82	68	324	21%
354	20°	6	18	80.065	82%	1.228,74	65	324	20%
355	25°	6	18	71.653	73%	1.216,10	59	324	18%

356	30°	6	18	61.108	62%	1.218,26	50	324	15%
357	35°	6	18	53.890	55%	1.203,99	45	324	14%
358	5°	9	18	141.672	100%	1.230,43	115	324	36%
359	10°	9	18	135.058	95%	1.243,28	109	324	34%
360	15°	9	18	127.517	90%	1.217,23	105	324	32%
361	20°	9	18	120.922	85%	1.199,62	101	324	31%
362	25°	9	18	107.803	76%	1.189,87	91	324	28%
363	30°	9	18	93.892	66%	1.180,14	80	324	25%
364	35°	9	18	82.563	58%	1.166,14	71	324	22%
365	5°	12	18	182.964	99%	1.221,72	150	324	46%
366	10°	12	18	184.761	100%	1.191,24	155	324	48%
367	15°	12	18	175.671	95%	1.197,73	147	324	45%
368	20°	12	18	160.700	87%	1.183,27	136	324	42%
369	25°	12	18	147.273	80%	1.165,50	126	324	39%
370	30°	12	18	130.357	71%	1.149,53	113	324	35%
371	35°	12	18	116.953	63%	1.118,96	105	324	32%
372	5°	15	18	232.552	100%	1.202,19	193	324	60%
373	10°	15	18	231.024	99%	1.197,26	193	324	60%
374	15°	15	18	222.994	96%	1.185,51	188	324	58%
375	20°	15	18	209.882	90%	1.159,44	181	324	56%
376	25°	15	18	196.495	84%	1.143,68	172	324	53%
377	30°	15	18	178.622	77%	1.125,96	159	324	49%
378	35°	15	18	155.875	67%	1.118,10	139	324	43%
379	5°	18	18	296.123	100%	1.176,07	252	324	78%
380	10°	18	18	290.753	98%	1.172,63	248	324	77%
381	15°	18	18	282.454	95%	1.155,09	245	324	75%
382	20°	18	18	269.362	91%	1.131,25	238	324	73%
383	25°	18	18	253.305	86%	1.118,64	226	324	70%
384	30°	18	18	236.648	80%	1.095,90	216	324	67%
385	35°	18	18	208.179	70%	1.088,86	191	324	59%
386	5°	21	18	355.421	100%	1.184,85	300	324	93%
387	10°	21	18	353.384	99%	1.171,74	302	324	93%
388	15°	21	18	342.770	96%	1.160,08	295	324	91%
389	20°	21	18	332.237	93%	1.138,65	292	324	90%
390	25°	21	18	317.225	89%	1.117,54	284	324	88%
391	30°	21	18	301.153	85%	1.094,11	275	324	85%
392	35°	21	18	271.145	76%	1.077,90	252	324	78%
393	5°	24	18	393.214	100%	1.218,36	323	324	100%
394	10°	24	18	390.079	99%	1.209,66	322	324	100%
395	15°	24	18	384.235	98%	1.193,87	322	324	99%
396	20°	24	18	375.747	96%	1.171,10	321	324	99%
397	25°	24	18	362.005	92%	1.145,95	316	324	98%
398	30°	24	18	344.941	88%	1.122,97	307	324	95%
399	35°	24	18	320.064	81%	1.097,95	292	324	90%
400	5°	27	18	412.247	100%	1.272,37	324	324	100%
401	10°	27	18	410.933	100%	1.268,31	324	324	100%
402	15°	27	18	404.824	98%	1.249,46	324	324	100%
403	20°	27	18	397.471	96%	1.226,76	324	324	100%
404	25°	27	18	387.832	94%	1.197,01	324	324	100%
405	30°	27	18	376.690	91%	1.166,08	323	324	100%

406	35°	27	18	358.488	87%	1.131,91	317	324	98%
407	5°	30	18	423.403	100%	1.306,80	324	324	100%
408	10°	30	18	422.538	100%	1.304,13	324	324	100%
409	15°	30	18	416.121	98%	1.284,32	324	324	100%
410	20°	30	18	408.838	97%	1.261,85	324	324	100%
411	25°	30	18	398.982	94%	1.231,43	324	324	100%
412	30°	30	18	388.630	92%	1.199,47	324	324	100%
413	35°	30	18	375.236	89%	1.158,14	324	324	100%
414	5°	33	18	432.760	100%	1.335,68	324	324	100%
415	10°	33	18	432.006	100%	1.333,35	324	324	100%
416	15°	33	18	425.506	98%	1.313,29	324	324	100%
417	20°	33	18	418.679	97%	1.292,22	324	324	100%
418	25°	33	18	409.102	95%	1.262,66	324	324	100%
419	30°	33	18	398.812	92%	1.230,90	324	324	100%
420	35°	33	18	385.384	89%	1.189,46	324	324	100%

BRASÍLIA (Lat.: -15°47') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO NORTE									
n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	81.010	94%	1.500,19	54	54	100%
2	10°	6	3	85.740	100%	1.587,78	54	54	100%
3	15°	6	3	83.523	97%	1.546,72	54	54	100%
4	20°	6	3	82.698	96%	1.531,44	54	54	100%
5	25°	6	3	79.349	93%	1.469,42	54	54	100%
6	30°	6	3	81.259	95%	1.504,79	54	54	100%
7	35°	6	3	78.604	92%	1.455,63	54	54	100%
8	5°	9	3	87.955	95%	1.628,80	54	54	100%
9	10°	9	3	92.626	100%	1.715,30	54	54	100%
10	15°	9	3	91.451	99%	1.693,53	54	54	100%
11	20°	9	3	91.437	99%	1.693,29	54	54	100%
12	25°	9	3	89.652	97%	1.660,22	54	54	100%
13	30°	9	3	90.672	98%	1.679,12	54	54	100%
14	35°	9	3	87.915	95%	1.628,06	54	54	100%
15	5°	12	3	89.721	95%	1.661,51	54	54	100%
16	10°	12	3	94.500	100%	1.750,00	54	54	100%
17	15°	12	3	93.659	99%	1.734,42	54	54	100%
18	20°	12	3	93.814	99%	1.737,31	54	54	100%
19	25°	12	3	92.477	98%	1.712,54	54	54	100%
20	30°	12	3	93.268	99%	1.727,18	54	54	100%
21	35°	12	3	90.610	96%	1.677,95	54	54	100%
22	5°	15	3	90.773	95%	1.680,99	54	54	100%
23	10°	15	3	95.581	100%	1.770,02	54	54	100%
24	15°	15	3	95.028	99%	1.759,77	54	54	100%
25	20°	15	3	95.389	100%	1.766,46	54	54	100%

26	25°	15	3	94.371	99%	1.747,62	54	54	100%
27	30°	15	3	95.174	100%	1.762,49	54	54	100%
28	35°	15	3	92.716	97%	1.716,96	54	54	100%
29	5°	18	3	91.037	95%	1.685,86	54	54	100%
30	10°	18	3	95.824	100%	1.774,52	54	54	100%
31	15°	18	3	95.318	99%	1.765,14	54	54	100%
32	20°	18	3	95.721	100%	1.772,61	54	54	100%
33	25°	18	3	94.783	99%	1.755,24	54	54	100%
34	30°	18	3	95.673	100%	1.771,72	54	54	100%
35	35°	18	3	93.380	97%	1.729,26	54	54	100%
36	5°	21	3	91.335	95%	1.691,40	54	54	100%
37	10°	21	3	96.091	100%	1.779,46	54	54	100%
38	15°	21	3	95.642	100%	1.771,16	54	54	100%
39	20°	21	3	96.070	100%	1.779,07	54	54	100%
40	25°	21	3	95.210	99%	1.763,15	54	54	100%
41	30°	21	3	96.091	100%	1.779,47	54	54	100%
42	35°	21	3	93.817	98%	1.737,36	54	54	100%
43	5°	24	3	91.759	95%	1.699,24	54	54	100%
44	10°	24	3	96.566	100%	1.788,25	54	54	100%
45	15°	24	3	96.275	99%	1.782,88	54	54	100%
46	20°	24	3	96.766	100%	1.791,96	54	54	100%
47	25°	24	3	96.059	99%	1.778,87	54	54	100%
48	30°	24	3	96.889	100%	1.794,24	54	54	100%
49	35°	24	3	94.650	98%	1.752,78	54	54	100%
50	5°	27	3	91.878	94%	1.701,45	54	54	100%
51	10°	27	3	96.732	99%	1.791,33	54	54	100%
52	15°	27	3	96.508	99%	1.787,19	54	54	100%
53	20°	27	3	97.103	100%	1.798,21	54	54	100%
54	25°	27	3	96.500	99%	1.787,04	54	54	100%
55	30°	27	3	97.425	100%	1.804,17	54	54	100%
56	35°	27	3	95.299	98%	1.764,80	54	54	100%
57	5°	30	3	91.957	94%	1.702,90	54	54	100%
58	10°	30	3	96.816	99%	1.792,90	54	54	100%
59	15°	30	3	96.632	99%	1.789,48	54	54	100%
60	20°	30	3	97.259	100%	1.801,10	54	54	100%
61	25°	30	3	96.715	99%	1.791,01	54	54	100%
62	30°	30	3	97.671	100%	1.808,72	54	54	100%
63	35°	30	3	95.578	98%	1.769,97	54	54	100%
64	5°	33	3	92.028	94%	1.704,22	54	54	100%
65	10°	33	3	96.881	99%	1.794,08	54	54	100%
66	15°	33	3	96.721	99%	1.791,12	54	54	100%
67	20°	33	3	97.371	100%	1.803,17	54	54	100%
68	25°	33	3	96.855	99%	1.793,61	54	54	100%
69	30°	33	3	97.828	100%	1.811,64	54	54	100%
70	35°	33	3	95.749	98%	1.773,12	54	54	100%
71	5°	6	6	84.313	95%	1.405,21	60	108	56%
72	10°	6	6	86.643	98%	1.460,85	59	108	55%
73	15°	6	6	88.679	100%	1.483,91	60	108	55%
74	20°	6	6	87.492	99%	1.472,93	59	108	55%
75	25°	6	6	86.712	98%	1.486,83	58	108	54%

76	30°	6	6	86.444	97%	1.440,02	60	108	56%
77	35°	6	6	81.518	92%	1.415,24	58	108	53%
78	5°	9	6	128.436	92%	1.357,82	95	108	88%
79	10°	9	6	133.733	96%	1.374,16	97	108	90%
80	15°	9	6	136.590	98%	1.400,07	98	108	90%
81	20°	9	6	136.380	98%	1.401,79	97	108	90%
82	25°	9	6	139.367	100%	1.421,54	98	108	91%
83	30°	9	6	135.155	97%	1.391,77	97	108	90%
84	35°	9	6	125.611	90%	1.368,31	92	108	85%
85	5°	12	6	153.319	95%	1.419,62	108	108	100%
86	10°	12	6	156.937	98%	1.453,12	108	108	100%
87	15°	12	6	159.790	99%	1.479,54	108	108	100%
88	20°	12	6	159.902	99%	1.480,57	108	108	100%
89	25°	12	6	160.952	100%	1.490,30	108	108	100%
90	30°	12	6	159.295	99%	1.474,95	108	108	100%
91	35°	12	6	153.539	95%	1.421,65	108	108	100%
92	5°	15	6	162.614	95%	1.505,69	108	108	100%
93	10°	15	6	166.568	97%	1.542,30	108	108	100%
94	15°	15	6	170.012	99%	1.574,19	108	108	100%
95	20°	15	6	170.480	99%	1.578,52	108	108	100%
96	25°	15	6	171.731	100%	1.590,10	108	108	100%
97	30°	15	6	170.509	99%	1.578,79	108	108	100%
98	35°	15	6	165.158	96%	1.529,24	108	108	100%
99	5°	18	6	167.121	95%	1.547,41	108	108	100%
100	10°	18	6	171.111	97%	1.584,37	108	108	100%
101	15°	18	6	174.671	99%	1.617,32	108	108	100%
102	20°	18	6	175.550	99%	1.625,47	108	108	100%
103	25°	18	6	176.835	100%	1.637,36	108	108	100%
104	30°	18	6	175.785	99%	1.627,64	108	108	100%
105	35°	18	6	170.837	97%	1.581,82	108	108	100%
106	5°	21	6	169.260	94%	1.567,23	108	108	100%
107	10°	21	6	173.621	97%	1.607,60	108	108	100%
108	15°	21	6	177.271	99%	1.641,40	108	108	100%
109	20°	21	6	178.167	99%	1.649,69	108	108	100%
110	25°	21	6	179.557	100%	1.662,56	108	108	100%
111	30°	21	6	178.702	100%	1.654,65	108	108	100%
112	35°	21	6	173.755	97%	1.608,84	108	108	100%
113	5°	24	6	171.268	94%	1.585,81	108	108	100%
114	10°	24	6	175.604	97%	1.625,96	108	108	100%
115	15°	24	6	179.467	99%	1.661,74	108	108	100%
116	20°	24	6	180.476	99%	1.671,08	108	108	100%
117	25°	24	6	181.878	100%	1.684,06	108	108	100%
118	30°	24	6	181.297	100%	1.678,67	108	108	100%
119	35°	24	6	176.458	97%	1.633,87	108	108	100%
120	5°	27	6	172.247	94%	1.594,88	108	108	100%
121	10°	27	6	176.682	96%	1.635,94	108	108	100%
122	15°	27	6	180.647	99%	1.672,66	108	108	100%
123	20°	27	6	181.813	99%	1.683,45	108	108	100%
124	25°	27	6	183.284	100%	1.697,07	108	108	100%
125	30°	27	6	182.917	100%	1.693,68	108	108	100%

126	35°	27	6	178.289	97%	1.650,82	108	108	100%
127	5°	30	6	173.369	94%	1.605,26	108	108	100%
128	10°	30	6	177.920	96%	1.647,41	108	108	100%
129	15°	30	6	181.992	98%	1.685,11	108	108	100%
130	20°	30	6	183.258	99%	1.696,84	108	108	100%
131	25°	30	6	184.856	100%	1.711,63	108	108	100%
132	30°	30	6	184.585	100%	1.709,12	108	108	100%
133	35°	30	6	180.051	97%	1.667,14	108	108	100%
134	5°	33	6	174.147	94%	1.612,47	108	108	100%
135	10°	33	6	178.795	96%	1.655,51	108	108	100%
136	15°	33	6	182.905	98%	1.693,56	108	108	100%
137	20°	33	6	184.298	99%	1.706,47	108	108	100%
138	25°	33	6	185.936	100%	1.721,63	108	108	100%
139	30°	33	6	185.811	100%	1.720,48	108	108	100%
140	35°	33	6	181.371	98%	1.679,36	108	108	100%
141	5°	6	9	87.708	99%	1.458,88	60	162	37%
142	10°	6	9	88.216	99%	1.473,21	60	162	37%
143	15°	6	9	88.679	100%	1.483,91	60	162	37%
144	20°	6	9	87.492	99%	1.472,92	59	162	37%
145	25°	6	9	88.581	100%	1.447,39	61	162	38%
146	30°	6	9	86.442	97%	1.439,98	60	162	37%
147	35°	6	9	81.511	92%	1.415,12	58	162	36%
148	5°	9	9	132.417	97%	1.366,11	97	162	60%
149	10°	9	9	135.405	99%	1.388,77	97	162	60%
150	15°	9	9	136.874	100%	1.397,81	98	162	60%
151	20°	9	9	136.436	100%	1.401,07	97	162	60%
152	25°	9	9	136.787	100%	1.402,08	98	162	60%
153	30°	9	9	135.053	99%	1.390,72	97	162	60%
154	35°	9	9	124.724	91%	1.373,00	91	162	56%
155	5°	12	9	173.199	94%	1.315,40	132	162	81%
156	10°	12	9	176.283	96%	1.342,50	131	162	81%
157	15°	12	9	182.958	99%	1.364,95	134	162	83%
158	20°	12	9	183.026	99%	1.363,93	134	162	83%
159	25°	12	9	184.583	100%	1.393,61	132	162	82%
160	30°	12	9	182.881	99%	1.355,58	135	162	83%
161	35°	12	9	169.044	92%	1.337,79	126	162	78%
162	5°	15	9	211.337	94%	1.329,66	159	162	98%
163	10°	15	9	216.639	96%	1.358,41	159	162	98%
164	15°	15	9	221.371	98%	1.388,08	159	162	98%
165	20°	15	9	222.484	98%	1.391,13	160	162	99%
166	25°	15	9	225.982	100%	1.413,80	160	162	99%
167	30°	15	9	222.788	99%	1.390,69	160	162	99%
168	35°	15	9	213.501	94%	1.343,79	159	162	98%
169	5°	18	9	226.864	94%	1.400,39	162	162	100%
170	10°	18	9	232.263	96%	1.433,72	162	162	100%
171	15°	18	9	237.058	98%	1.463,32	162	162	100%
172	20°	18	9	237.994	99%	1.469,10	162	162	100%
173	25°	18	9	241.174	100%	1.488,73	162	162	100%
174	30°	18	9	238.366	99%	1.471,40	162	162	100%
175	35°	18	9	230.426	96%	1.422,38	162	162	100%

176	5°	21	9	236.101	94%	1.457,41	162	162	100%
177	10°	21	9	241.832	97%	1.492,79	162	162	100%
178	15°	21	9	246.811	99%	1.523,53	162	162	100%
179	20°	21	9	247.742	99%	1.529,27	162	162	100%
180	25°	21	9	250.550	100%	1.546,61	162	162	100%
181	30°	21	9	248.556	99%	1.534,30	162	162	100%
182	35°	21	9	241.099	96%	1.488,26	162	162	100%
183	5°	24	9	242.803	94%	1.498,78	162	162	100%
184	10°	24	9	248.703	96%	1.535,20	162	162	100%
185	15°	24	9	253.992	99%	1.567,85	162	162	100%
186	20°	24	9	255.430	99%	1.576,73	162	162	100%
187	25°	24	9	257.805	100%	1.591,39	162	162	100%
188	30°	24	9	256.686	100%	1.584,48	162	162	100%
189	35°	24	9	249.159	97%	1.538,02	162	162	100%
190	5°	27	9	247.429	94%	1.527,34	162	162	100%
191	10°	27	9	253.501	96%	1.564,82	162	162	100%
192	15°	27	9	259.081	98%	1.599,26	162	162	100%
193	20°	27	9	260.740	99%	1.609,51	162	162	100%
194	25°	27	9	263.226	100%	1.624,85	162	162	100%
195	30°	27	9	262.428	100%	1.619,93	162	162	100%
196	35°	27	9	255.264	97%	1.575,71	162	162	100%
197	5°	30	9	250.719	94%	1.547,64	162	162	100%
198	10°	30	9	256.795	96%	1.585,16	162	162	100%
199	15°	30	9	262.598	98%	1.620,98	162	162	100%
200	20°	30	9	264.496	99%	1.632,69	162	162	100%
201	25°	30	9	267.141	100%	1.649,02	162	162	100%
202	30°	30	9	266.747	100%	1.646,59	162	162	100%
203	35°	30	9	259.757	97%	1.603,44	162	162	100%
204	5°	33	9	253.151	94%	1.562,66	162	162	100%
205	10°	33	9	259.497	96%	1.601,83	162	162	100%
206	15°	33	9	265.389	98%	1.638,20	162	162	100%
207	20°	33	9	267.495	99%	1.651,21	162	162	100%
208	25°	33	9	270.240	100%	1.668,15	162	162	100%
209	30°	33	9	270.098	100%	1.667,27	162	162	100%
210	35°	33	9	263.210	97%	1.624,76	162	162	100%
211	5°	6	12	83.878	95%	1.395,18	60	216	28%
212	10°	6	12	85.131	96%	1.421,69	60	216	28%
213	15°	6	12	88.679	100%	1.483,91	60	216	28%
214	20°	6	12	86.547	98%	1.457,03	59	216	27%
215	25°	6	12	86.768	98%	1.417,78	61	216	28%
216	30°	6	12	85.287	96%	1.420,75	60	216	28%
217	35°	6	12	81.511	92%	1.415,12	58	216	27%
218	5°	9	12	134.265	98%	1.366,15	98	216	45%
219	10°	9	12	135.611	99%	1.381,53	98	216	45%
220	15°	9	12	136.874	100%	1.397,81	98	216	45%
221	20°	9	12	131.733	96%	1.352,77	97	216	45%
222	25°	9	12	131.829	96%	1.345,05	98	216	45%
223	30°	9	12	130.996	96%	1.350,19	97	216	45%
224	35°	9	12	124.618	91%	1.373,66	91	216	42%
225	5°	12	12	178.056	97%	1.341,29	133	216	61%

226	10°	12	12	181.542	99%	1.351,96	134	216	62%
227	15°	12	12	182.957	100%	1.364,94	134	216	62%
228	20°	12	12	177.266	97%	1.321,01	134	216	62%
229	25°	12	12	178.347	97%	1.318,45	135	216	63%
230	30°	12	12	177.666	97%	1.322,22	134	216	62%
231	35°	12	12	168.591	92%	1.339,30	126	216	58%
232	5°	15	12	222.062	95%	1.321,56	168	216	78%
233	10°	15	12	227.981	98%	1.330,19	171	216	79%
234	15°	15	12	233.070	100%	1.345,05	173	216	80%
235	20°	15	12	227.911	98%	1.311,42	174	216	80%
236	25°	15	12	227.813	98%	1.330,84	171	216	79%
237	30°	15	12	230.313	99%	1.315,02	175	216	81%
238	35°	15	12	218.666	94%	1.320,44	166	216	77%
239	5°	18	12	265.272	95%	1.305,73	203	216	94%
240	10°	18	12	274.877	98%	1.321,02	208	216	96%
241	15°	18	12	279.917	100%	1.344,46	208	216	96%
242	20°	18	12	274.518	98%	1.316,44	209	216	97%
243	25°	18	12	278.064	99%	1.340,20	207	216	96%
244	30°	18	12	275.323	98%	1.328,33	207	216	96%
245	35°	18	12	268.866	96%	1.311,03	205	216	95%
246	5°	21	12	288.980	96%	1.337,87	216	216	100%
247	10°	21	12	295.169	98%	1.366,52	216	216	100%
248	15°	21	12	300.924	100%	1.393,17	216	216	100%
249	20°	21	12	296.463	99%	1.372,52	216	216	100%
250	25°	21	12	300.583	100%	1.391,59	216	216	100%
251	30°	21	12	298.305	99%	1.382,77	216	216	100%
252	35°	21	12	292.730	97%	1.358,25	216	216	100%
253	5°	24	12	301.985	95%	1.398,08	216	216	100%
254	10°	24	12	309.606	98%	1.433,36	216	216	100%
255	15°	24	12	315.612	100%	1.461,17	216	216	100%
256	20°	24	12	312.508	99%	1.446,80	216	216	100%
257	25°	24	12	316.352	100%	1.464,59	216	216	100%
258	30°	24	12	314.954	100%	1.458,12	216	216	100%
259	35°	24	12	308.895	98%	1.430,07	216	216	100%
260	5°	27	12	312.692	95%	1.447,65	216	216	100%
261	10°	27	12	320.224	98%	1.482,52	216	216	100%
262	15°	27	12	327.165	100%	1.514,65	216	216	100%
263	20°	27	12	324.866	99%	1.504,01	216	216	100%
264	25°	27	12	328.105	100%	1.519,00	216	216	100%
265	30°	27	12	327.614	100%	1.516,73	216	216	100%
266	35°	27	12	321.220	98%	1.487,13	216	216	100%
267	5°	30	12	319.565	95%	1.479,47	216	216	100%
268	10°	30	12	327.932	97%	1.518,21	216	216	100%
269	15°	30	12	335.238	99%	1.552,03	216	216	100%
270	20°	30	12	334.154	99%	1.547,01	216	216	100%
271	25°	30	12	337.755	100%	1.563,68	216	216	100%
272	30°	30	12	337.611	100%	1.563,01	216	216	100%
273	35°	30	12	331.268	98%	1.533,65	216	216	100%
274	5°	33	12	325.228	94%	1.505,68	216	216	100%
275	10°	33	12	333.709	97%	1.544,95	216	216	100%

276	15°	33	12	341.527	99%	1.581,15	216	216	100%
277	20°	33	12	341.121	99%	1.579,27	216	216	100%
278	25°	33	12	344.672	100%	1.595,70	216	216	100%
279	30°	33	12	344.937	100%	1.596,93	216	216	100%
280	35°	33	12	338.613	98%	1.567,65	216	216	100%
281	5°	6	15	87.612	95%	1.460,20	60	270	22%
282	10°	6	15	87.635	95%	1.463,51	60	270	22%
283	15°	6	15	91.807	100%	1.536,25	60	270	22%
284	20°	6	15	87.044	95%	1.480,34	59	270	22%
285	25°	6	15	83.359	91%	1.429,33	58	270	22%
286	30°	6	15	86.205	94%	1.493,49	58	270	21%
287	35°	6	15	81.511	89%	1.415,12	58	270	21%
288	5°	9	15	127.474	91%	1.353,22	94	270	35%
289	10°	9	15	134.520	96%	1.381,82	97	270	36%
290	15°	9	15	140.701	100%	1.436,89	98	270	36%
291	20°	9	15	135.384	96%	1.398,46	97	270	36%
292	25°	9	15	133.573	95%	1.395,31	96	270	35%
293	30°	9	15	130.860	93%	1.396,28	94	270	35%
294	35°	9	15	124.617	89%	1.373,65	91	270	34%
295	5°	12	15	174.508	93%	1.304,83	134	270	50%
296	10°	12	15	179.451	96%	1.336,40	134	270	50%
297	15°	12	15	187.071	100%	1.395,63	134	270	50%
298	20°	12	15	178.682	96%	1.331,56	134	270	50%
299	25°	12	15	179.973	96%	1.330,47	135	270	50%
300	30°	12	15	179.036	96%	1.332,41	134	270	50%
301	35°	12	15	168.583	90%	1.339,24	126	270	47%
302	5°	15	15	225.463	95%	1.305,67	173	270	64%
303	10°	15	15	230.386	97%	1.329,56	173	270	64%
304	15°	15	15	237.371	100%	1.369,87	173	270	64%
305	20°	15	15	226.450	95%	1.303,01	174	270	64%
306	25°	15	15	229.448	97%	1.306,73	176	270	65%
307	30°	15	15	229.230	97%	1.313,56	175	270	65%
308	35°	15	15	218.396	92%	1.320,73	165	270	61%
309	5°	18	15	273.060	94%	1.293,81	211	270	78%
310	10°	18	15	281.196	97%	1.319,61	213	270	79%
311	15°	18	15	289.751	100%	1.349,69	215	270	80%
312	20°	18	15	274.838	95%	1.291,78	213	270	79%
313	25°	18	15	277.480	96%	1.307,14	212	270	79%
314	30°	18	15	279.727	97%	1.301,54	215	270	80%
315	35°	18	15	269.661	93%	1.304,98	207	270	77%
316	5°	21	15	314.022	93%	1.286,55	244	270	90%
317	10°	21	15	327.761	97%	1.304,52	251	270	93%
318	15°	21	15	338.868	100%	1.335,81	254	270	94%
319	20°	21	15	326.533	96%	1.277,97	256	270	95%
320	25°	21	15	331.555	98%	1.302,82	254	270	94%
321	30°	21	15	328.325	97%	1.299,63	253	270	94%
322	35°	21	15	319.019	94%	1.294,93	246	270	91%
323	5°	24	15	349.220	94%	1.311,62	266	270	99%
324	10°	24	15	360.823	97%	1.341,75	269	270	100%
325	15°	24	15	371.337	100%	1.379,00	269	270	100%

326	20°	24	15	359.512	97%	1.335,98	269	270	100%
327	25°	24	15	365.359	98%	1.358,92	269	270	100%
328	30°	24	15	363.076	98%	1.354,66	268	270	99%
329	35°	24	15	358.239	96%	1.331,55	269	270	100%
330	5°	27	15	367.797	95%	1.362,21	270	270	100%
331	10°	27	15	377.401	97%	1.397,78	270	270	100%
332	15°	27	15	388.639	100%	1.439,40	270	270	100%
333	20°	27	15	379.175	98%	1.404,35	270	270	100%
334	25°	27	15	384.949	99%	1.425,74	270	270	100%
335	30°	27	15	383.961	99%	1.422,08	270	270	100%
336	35°	27	15	377.344	97%	1.397,57	270	270	100%
337	5°	30	15	379.777	95%	1.406,58	270	270	100%
338	10°	30	15	389.993	97%	1.444,42	270	270	100%
339	15°	30	15	401.560	100%	1.487,26	270	270	100%
340	20°	30	15	394.133	98%	1.459,75	270	270	100%
341	25°	30	15	400.046	100%	1.481,65	270	270	100%
342	30°	30	15	399.777	100%	1.480,65	270	270	100%
343	35°	30	15	392.941	98%	1.455,34	270	270	100%
344	5°	33	15	390.681	94%	1.446,97	270	270	100%
345	10°	33	15	401.349	97%	1.486,48	270	270	100%
346	15°	33	15	413.194	100%	1.530,35	270	270	100%
347	20°	33	15	407.784	99%	1.510,31	270	270	100%
348	25°	33	15	412.902	100%	1.529,26	270	270	100%
349	30°	33	15	413.825	100%	1.532,68	270	270	100%
350	35°	33	15	406.510	98%	1.505,59	270	270	100%
351	5°	6	18	87.708	99%	1.458,88	60	324	19%
352	10°	6	18	88.216	100%	1.473,21	60	324	18%
353	15°	6	18	83.360	94%	1.424,95	58	324	18%
354	20°	6	18	87.044	99%	1.480,34	59	324	18%
355	25°	6	18	86.376	98%	1.481,06	58	324	18%
356	30°	6	18	84.121	95%	1.401,31	60	324	19%
357	35°	6	18	81.511	92%	1.415,12	58	324	18%
358	5°	9	18	134.702	98%	1.370,59	98	324	30%
359	10°	9	18	132.294	96%	1.362,73	97	324	30%
360	15°	9	18	134.590	98%	1.374,49	98	324	30%
361	20°	9	18	135.426	98%	1.398,45	97	324	30%
362	25°	9	18	137.655	100%	1.410,98	98	324	30%
363	30°	9	18	127.500	93%	1.379,87	92	324	29%
364	35°	9	18	124.617	91%	1.373,65	91	324	28%
365	5°	12	18	175.114	96%	1.340,02	131	324	40%
366	10°	12	18	179.007	98%	1.343,59	133	324	41%
367	15°	12	18	182.530	100%	1.361,76	134	324	41%
368	20°	12	18	180.745	99%	1.369,28	132	324	41%
369	25°	12	18	181.249	99%	1.388,24	131	324	40%
370	30°	12	18	176.205	97%	1.334,89	132	324	41%
371	35°	12	18	168.581	92%	1.339,22	126	324	39%
372	5°	15	18	219.137	93%	1.300,21	169	324	52%
373	10°	15	18	226.391	96%	1.321,61	171	324	53%
374	15°	15	18	233.592	99%	1.348,06	173	324	53%
375	20°	15	18	230.510	98%	1.330,05	173	324	53%

376	25°	15	18	235.860	100%	1.351,32	175	324	54%
377	30°	15	18	225.843	96%	1.307,64	173	324	53%
378	35°	15	18	218.389	93%	1.320,69	165	324	51%
379	5°	18	18	272.248	95%	1.281,23	212	324	66%
380	10°	18	18	280.076	98%	1.305,53	215	324	66%
381	15°	18	18	286.323	100%	1.334,47	215	324	66%
382	20°	18	18	276.856	97%	1.301,26	213	324	66%
383	25°	18	18	286.459	100%	1.320,70	217	324	67%
384	30°	18	18	276.122	96%	1.285,84	215	324	66%
385	35°	18	18	269.091	94%	1.306,01	206	324	64%
386	5°	21	18	323.635	95%	1.269,90	255	324	79%
387	10°	21	18	334.092	98%	1.289,08	259	324	80%
388	15°	21	18	341.406	100%	1.312,29	260	324	80%
389	20°	21	18	331.888	97%	1.262,03	263	324	81%
390	25°	21	18	338.379	99%	1.299,61	260	324	80%
391	30°	21	18	331.093	97%	1.262,90	262	324	81%
392	35°	21	18	319.823	94%	1.291,27	248	324	76%
393	5°	24	18	372.065	93%	1.277,65	291	324	90%
394	10°	24	18	386.776	97%	1.292,10	299	324	92%
395	15°	24	18	398.585	100%	1.314,42	303	324	94%
396	20°	24	18	389.877	98%	1.263,70	309	324	95%
397	25°	24	18	396.169	99%	1.310,08	302	324	93%
398	30°	24	18	387.847	97%	1.276,11	304	324	94%
399	35°	24	18	382.080	96%	1.285,42	297	324	92%
400	5°	27	18	415.226	95%	1.292,33	321	324	99%
401	10°	27	18	426.297	98%	1.323,70	322	324	99%
402	15°	27	18	436.311	100%	1.351,64	323	324	100%
403	20°	27	18	425.433	97%	1.315,99	323	324	100%
404	25°	27	18	436.779	100%	1.352,59	323	324	100%
405	30°	27	18	427.274	98%	1.323,16	323	324	100%
406	35°	27	18	427.051	98%	1.318,06	324	324	100%
407	5°	30	18	433.466	95%	1.337,86	324	324	100%
408	10°	30	18	445.142	97%	1.373,90	324	324	100%
409	15°	30	18	454.877	99%	1.403,94	324	324	100%
410	20°	30	18	446.476	98%	1.378,01	324	324	100%
411	25°	30	18	457.806	100%	1.412,98	324	324	100%
412	30°	30	18	449.914	98%	1.388,62	324	324	100%
413	35°	30	18	447.667	98%	1.381,69	324	324	100%
414	5°	33	18	449.404	94%	1.387,05	324	324	100%
415	10°	33	18	461.486	97%	1.424,34	324	324	100%
416	15°	33	18	471.565	99%	1.455,45	324	324	100%
417	20°	33	18	466.276	98%	1.439,12	324	324	100%
418	25°	33	18	476.876	100%	1.471,84	324	324	100%
419	30°	33	18	470.416	99%	1.451,90	324	324	100%
420	35°	33	18	467.136	98%	1.441,78	324	324	100%

BRASÍLIA (Lat.: -15°47') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO SUL									
n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	79.014	100%	1.463,23	54	54	100%
2	10°	6	3	78.311	99%	1.450,21	54	54	100%
3	15°	6	3	72.222	91%	1.337,44	54	54	100%
4	20°	6	3	69.240	88%	1.282,23	54	54	100%
5	25°	6	3	66.985	85%	1.240,46	54	54	100%
6	30°	6	3	62.024	78%	1.148,59	54	54	100%
7	35°	6	3	50.218	64%	1.078,57	47	54	86%
8	5°	9	3	82.167	100%	1.521,61	54	54	100%
9	10°	9	3	81.235	99%	1.504,35	54	54	100%
10	15°	9	3	75.390	92%	1.396,12	54	54	100%
11	20°	9	3	72.380	88%	1.340,37	54	54	100%
12	25°	9	3	69.977	85%	1.295,87	54	54	100%
13	30°	9	3	65.099	79%	1.205,54	54	54	100%
14	35°	9	3	58.938	72%	1.091,44	54	54	100%
15	5°	12	3	83.522	100%	1.546,71	54	54	100%
16	10°	12	3	82.579	99%	1.529,24	54	54	100%
17	15°	12	3	76.850	92%	1.423,14	54	54	100%
18	20°	12	3	73.852	88%	1.367,64	54	54	100%
19	25°	12	3	71.374	85%	1.321,74	54	54	100%
20	30°	12	3	66.558	80%	1.232,56	54	54	100%
21	35°	12	3	60.379	72%	1.118,12	54	54	100%
22	5°	15	3	84.418	100%	1.563,29	54	54	100%
23	6°	15	3	83.469	99%	1.545,73	54	54	100%
24	15°	15	3	77.924	92%	1.443,03	54	54	100%
25	20°	15	3	75.041	89%	1.389,65	54	54	100%
26	25°	15	3	72.602	86%	1.344,49	54	54	100%
27	30°	15	3	67.836	80%	1.256,21	54	54	100%
28	35°	15	3	61.801	73%	1.144,47	54	54	100%
29	5°	18	3	84.773	100%	1.569,87	54	54	100%
30	10°	18	3	83.762	99%	1.551,15	54	54	100%
31	15°	18	3	78.238	92%	1.448,85	54	54	100%
32	20°	18	3	75.380	89%	1.395,93	54	54	100%
33	25°	18	3	72.968	86%	1.351,26	54	54	100%
34	30°	18	3	68.254	81%	1.263,97	54	54	100%
35	35°	18	3	62.366	74%	1.154,93	54	54	100%
36	5°	21	3	85.127	100%	1.576,43	54	54	100%
37	10°	21	3	84.085	99%	1.557,14	54	54	100%
38	15°	21	3	78.581	92%	1.455,20	54	54	100%
39	20°	21	3	75.747	89%	1.402,72	54	54	100%
40	25°	21	3	73.325	86%	1.357,87	54	54	100%
41	30°	21	3	68.635	81%	1.271,02	54	54	100%
42	35°	21	3	62.747	74%	1.161,99	54	54	100%
43	5°	24	3	85.527	100%	1.583,84	54	54	100%

44	10°	24	3	84.535	99%	1.565,45	54	54	100%
45	15°	24	3	79.144	93%	1.465,63	54	54	100%
46	20°	24	3	76.390	89%	1.414,63	54	54	100%
47	25°	24	3	73.988	87%	1.370,15	54	54	100%
48	30°	24	3	69.305	81%	1.283,43	54	54	100%
49	35°	24	3	63.453	74%	1.175,06	54	54	100%
50	5°	27	3	85.666	100%	1.586,40	54	54	100%
51	10°	27	3	84.676	99%	1.568,08	54	54	100%
52	15°	27	3	79.388	93%	1.470,14	54	54	100%
53	20°	27	3	76.694	90%	1.420,26	54	54	100%
54	25°	27	3	74.340	87%	1.376,66	54	54	100%
55	30°	27	3	69.794	81%	1.292,49	54	54	100%
56	35°	27	3	64.023	75%	1.185,61	54	54	100%
57	5°	30	3	85.737	100%	1.587,72	54	54	100%
58	10°	30	3	84.757	99%	1.569,58	54	54	100%
59	15°	30	3	79.501	93%	1.472,23	54	54	100%
60	20°	30	3	76.837	90%	1.422,92	54	54	100%
61	25°	30	3	74.524	87%	1.380,07	54	54	100%
62	30°	30	3	70.009	82%	1.296,46	54	54	100%
63	35°	30	3	64.271	75%	1.190,20	54	54	100%
64	5°	33	3	85.808	100%	1.589,03	54	54	100%
65	10°	33	3	84.819	99%	1.570,72	54	54	100%
66	15°	33	3	79.582	93%	1.473,74	54	54	100%
67	20°	33	3	76.939	90%	1.424,79	54	54	100%
68	25°	33	3	74.641	87%	1.382,25	54	54	100%
69	30°	33	3	70.140	82%	1.298,88	54	54	100%
70	35°	33	3	64.419	75%	1.192,95	54	54	100%
71	5°	6	6	127.409	100%	1.271,93	100	108	93%
72	10°	6	6	118.553	93%	1.229,93	96	108	89%
73	15°	6	6	108.191	85%	1.211,82	89	108	83%
74	20°	6	6	100.389	79%	1.172,90	86	108	79%
75	25°	6	6	90.112	71%	1.121,21	80	108	74%
76	30°	6	6	70.903	56%	1.106,48	64	108	59%
77	35°	6	6	56.428	44%	1.073,59	53	108	49%
78	5°	9	6	145.104	100%	1.343,56	108	108	100%
79	10°	9	6	139.216	96%	1.289,03	108	108	100%
80	15°	9	6	133.002	92%	1.231,50	108	108	100%
81	20°	9	6	127.603	88%	1.181,51	108	108	100%
82	25°	9	6	116.378	80%	1.131,31	103	108	95%
83	30°	9	6	98.097	68%	1.088,52	90	108	83%
84	35°	9	6	74.363	51%	1.067,51	70	108	65%
85	5°	12	6	151.040	100%	1.398,51	108	108	100%
86	10°	12	6	145.323	96%	1.345,59	108	108	100%
87	15°	12	6	138.871	92%	1.285,85	108	108	100%
88	20°	12	6	133.386	88%	1.235,05	108	108	100%
89	25°	12	6	126.036	83%	1.167,00	108	108	100%
90	30°	12	6	115.463	76%	1.095,58	105	108	98%
91	35°	12	6	96.895	64%	1.045,93	93	108	86%
92	5°	15	6	155.749	100%	1.442,12	108	108	100%
93	10°	15	6	149.955	96%	1.388,47	108	108	100%

94	15°	15	6	143.471	92%	1.328,43	108	108	100%
95	20°	15	6	137.917	89%	1.277,01	108	108	100%
96	25°	15	6	130.469	84%	1.208,05	108	108	100%
97	30°	15	6	121.668	78%	1.126,56	108	108	100%
98	35°	15	6	109.497	70%	1.057,33	104	108	96%
99	5°	18	6	158.656	100%	1.469,04	108	108	100%
100	10°	18	6	152.758	96%	1.414,42	108	108	100%
101	15°	18	6	146.123	92%	1.352,99	108	108	100%
102	20°	18	6	140.509	89%	1.301,01	108	108	100%
103	25°	18	6	133.048	84%	1.231,93	108	108	100%
104	30°	18	6	124.129	78%	1.149,34	108	108	100%
105	35°	18	6	115.496	73%	1.069,40	108	108	100%
106	5°	21	6	160.644	100%	1.487,44	108	108	100%
107	10°	21	6	154.700	96%	1.432,41	108	108	100%
108	15°	21	6	147.949	92%	1.369,90	108	108	100%
109	20°	21	6	142.262	89%	1.317,24	108	108	100%
110	25°	21	6	134.782	84%	1.247,98	108	108	100%
111	30°	21	6	125.852	78%	1.165,29	108	108	100%
112	35°	21	6	117.024	73%	1.083,56	108	108	100%
113	5°	24	6	162.194	100%	1.501,80	108	108	100%
114	10°	24	6	156.285	96%	1.447,09	108	108	100%
115	15°	24	6	149.580	92%	1.385,00	108	108	100%
116	20°	24	6	143.923	89%	1.332,62	108	108	100%
117	25°	24	6	136.454	84%	1.263,46	108	108	100%
118	30°	24	6	127.462	79%	1.180,20	108	108	100%
119	35°	24	6	118.686	73%	1.098,94	108	108	100%
120	5°	27	6	163.234	100%	1.511,42	108	108	100%
121	10°	27	6	157.349	96%	1.456,94	108	108	100%
122	15°	27	6	150.710	92%	1.395,47	108	108	100%
123	20°	27	6	145.108	89%	1.343,59	108	108	100%
124	25°	27	6	137.695	84%	1.274,95	108	108	100%
125	30°	27	6	128.772	79%	1.192,33	108	108	100%
126	35°	27	6	120.086	74%	1.111,91	108	108	100%
127	5°	30	6	164.011	100%	1.518,62	108	108	100%
128	10°	30	6	158.175	96%	1.464,58	108	108	100%
129	15°	30	6	151.546	92%	1.403,21	108	108	100%
130	20°	30	6	145.987	89%	1.351,74	108	108	100%
131	25°	30	6	138.661	85%	1.283,90	108	108	100%
132	30°	30	6	129.796	79%	1.201,81	108	108	100%
133	35°	30	6	121.101	74%	1.121,30	108	108	100%
134	5°	33	6	164.645	100%	1.524,49	108	108	100%
135	10°	33	6	158.865	96%	1.470,97	108	108	100%
136	15°	33	6	152.275	92%	1.409,95	108	108	100%
137	20°	33	6	146.797	89%	1.359,23	108	108	100%
138	25°	33	6	139.607	85%	1.292,65	108	108	100%
139	30°	33	6	130.771	79%	1.210,84	108	108	100%
140	35°	33	6	122.092	74%	1.130,48	108	108	100%
141	5°	6	9	127.984	100%	1.252,17	102	162	63%
142	10°	6	9	119.587	93%	1.224,65	98	162	60%
143	15°	6	9	107.092	84%	1.193,09	90	162	55%

144	20°	6	9	99.546	78%	1.163,05	86	162	53%
145	25°	6	9	90.070	70%	1.124,46	80	162	49%
146	30°	6	9	71.782	56%	1.101,63	65	162	40%
147	35°	6	9	59.823	47%	1.050,08	57	162	35%
148	5°	9	9	175.014	100%	1.244,14	141	162	87%
149	10°	9	9	162.786	93%	1.206,62	135	162	83%
150	15°	9	9	149.764	86%	1.178,22	127	162	78%
151	20°	9	9	137.615	79%	1.151,69	119	162	74%
152	25°	9	9	124.215	71%	1.103,25	113	162	70%
153	30°	9	9	103.893	59%	1.067,87	97	162	60%
154	35°	9	9	84.453	48%	1.022,18	83	162	51%
155	5°	12	9	204.098	100%	1.261,27	162	162	100%
156	10°	12	9	195.222	96%	1.218,61	160	162	99%
157	15°	12	9	182.598	89%	1.177,52	155	162	96%
158	20°	12	9	174.950	86%	1.138,11	154	162	95%
159	25°	12	9	156.185	77%	1.095,58	143	162	88%
160	30°	12	9	131.821	65%	1.057,27	125	162	77%
161	35°	12	9	104.166	51%	1.020,94	102	162	63%
162	5°	15	9	214.603	100%	1.324,71	162	162	100%
163	10°	15	9	206.798	96%	1.276,53	162	162	100%
164	15°	15	9	197.550	92%	1.219,45	162	162	100%
165	20°	15	9	189.889	88%	1.177,39	161	162	100%
166	25°	15	9	175.128	82%	1.120,24	156	162	97%
167	30°	15	9	154.739	72%	1.069,23	145	162	89%
168	35°	15	9	122.571	57%	1.029,92	119	162	73%
169	5°	18	9	221.168	100%	1.365,23	162	162	100%
170	10°	18	9	213.188	96%	1.315,98	162	162	100%
171	15°	18	9	203.476	92%	1.256,03	162	162	100%
172	20°	18	9	196.158	89%	1.210,85	162	162	100%
173	25°	18	9	184.655	83%	1.143,65	161	162	100%
174	30°	18	9	167.784	76%	1.080,95	155	162	96%
175	35°	18	9	139.288	63%	1.030,84	135	162	83%
176	5°	21	9	226.607	100%	1.398,81	162	162	100%
177	10°	21	9	218.515	96%	1.348,86	162	162	100%
178	15°	21	9	208.411	92%	1.286,49	162	162	100%
179	20°	21	9	200.852	89%	1.239,83	162	162	100%
180	25°	21	9	189.730	84%	1.171,17	162	162	100%
181	30°	21	9	177.563	78%	1.096,07	162	162	100%
182	35°	21	9	154.689	68%	1.031,26	150	162	93%
183	5°	24	9	230.965	100%	1.425,71	162	162	100%
184	10°	24	9	222.909	97%	1.375,98	162	162	100%
185	15°	24	9	212.729	92%	1.313,14	162	162	100%
186	20°	24	9	205.131	89%	1.266,24	162	162	100%
187	25°	24	9	193.989	84%	1.197,46	162	162	100%
188	30°	24	9	181.493	79%	1.120,33	162	162	100%
189	35°	24	9	166.413	72%	1.041,90	160	162	99%
190	5°	27	9	234.599	100%	1.448,14	162	162	100%
191	10°	27	9	226.525	97%	1.398,31	162	162	100%
192	15°	27	9	216.223	92%	1.334,71	162	162	100%
193	20°	27	9	208.622	89%	1.287,79	162	162	100%

194	25°	27	9	197.474	84%	1.218,97	162	162	100%
195	30°	27	9	184.884	79%	1.141,26	162	162	100%
196	35°	27	9	171.592	73%	1.059,21	162	162	100%
197	5°	30	9	236.478	100%	1.459,74	162	162	100%
198	10°	30	9	228.505	97%	1.410,53	162	162	100%
199	15°	30	9	218.312	92%	1.347,61	162	162	100%
200	20°	30	9	210.783	89%	1.301,13	162	162	100%
201	25°	30	9	199.825	85%	1.233,49	162	162	100%
202	30°	30	9	187.254	79%	1.155,89	162	162	100%
203	35°	30	9	174.054	74%	1.074,41	162	162	100%
204	5°	33	9	238.044	100%	1.469,41	162	162	100%
205	10°	33	9	230.149	97%	1.420,67	162	162	100%
206	15°	33	9	220.047	92%	1.358,32	162	162	100%
207	20°	33	9	212.623	89%	1.312,49	162	162	100%
208	25°	33	9	201.852	85%	1.246,00	162	162	100%
209	30°	33	9	189.313	80%	1.168,60	162	162	100%
210	35°	33	9	176.200	74%	1.087,66	162	162	100%
211	5°	6	12	124.173	100%	1.217,74	102	216	47%
212	10°	6	12	120.159	97%	1.230,51	98	216	45%
213	15°	6	12	105.030	85%	1.171,69	90	216	42%
214	20°	6	12	96.542	78%	1.127,96	86	216	40%
215	25°	6	12	85.426	69%	1.094,78	78	216	36%
216	30°	6	12	69.496	56%	1.066,55	65	216	30%
217	35°	6	12	54.637	44%	1.040,11	53	216	24%
218	5°	9	12	170.763	100%	1.200,36	142	216	66%
219	10°	9	12	163.249	96%	1.204,43	136	216	63%
220	15°	9	12	142.923	84%	1.152,42	124	216	57%
221	20°	9	12	135.285	79%	1.112,63	122	216	56%
222	25°	9	12	119.311	70%	1.078,08	111	216	51%
223	30°	9	12	100.329	59%	1.032,19	97	216	45%
224	35°	9	12	77.488	45%	1.011,33	77	216	35%
225	5°	12	12	222.383	100%	1.184,34	188	216	87%
226	10°	12	12	209.570	94%	1.180,81	177	216	82%
227	15°	12	12	189.734	85%	1.123,35	169	216	78%
228	20°	12	12	174.451	78%	1.102,38	158	216	73%
229	25°	12	12	158.337	71%	1.057,91	150	216	69%
230	30°	12	12	130.807	59%	1.019,94	128	216	59%
231	35°	12	12	102.593	46%	989,51	104	216	48%
232	5°	15	12	253.670	100%	1.225,46	207	216	96%
233	10°	15	12	247.384	98%	1.198,74	206	216	96%
234	15°	15	12	228.511	90%	1.139,08	201	216	93%
235	20°	15	12	214.071	84%	1.110,10	193	216	89%
236	25°	15	12	193.719	76%	1.062,40	182	216	84%
237	30°	15	12	163.122	64%	1.020,72	160	216	74%
238	35°	15	12	131.172	52%	982,79	133	216	62%
239	5°	18	12	272.979	100%	1.263,79	216	216	100%
240	10°	18	12	266.476	98%	1.233,68	216	216	100%
241	15°	18	12	250.916	92%	1.161,65	216	216	100%
242	20°	18	12	240.655	88%	1.123,03	214	216	99%
243	25°	18	12	216.791	79%	1.074,39	202	216	93%

244	30°	18	12	187.711	69%	1.025,24	183	216	85%
245	35°	18	12	152.022	56%	985,30	154	216	71%
246	5°	21	12	282.342	100%	1.307,14	216	216	100%
247	10°	21	12	275.175	97%	1.273,96	216	216	100%
248	15°	21	12	259.538	92%	1.201,56	216	216	100%
249	20°	21	12	250.164	89%	1.158,16	216	216	100%
250	25°	21	12	234.334	83%	1.090,79	215	216	99%
251	30°	21	12	206.363	73%	1.036,12	199	216	92%
252	35°	21	12	173.221	61%	987,69	175	216	81%
253	5°	24	12	290.592	100%	1.345,33	216	216	100%
254	10°	24	12	283.198	97%	1.311,10	216	216	100%
255	15°	24	12	267.537	92%	1.238,60	216	216	100%
256	20°	24	12	257.869	89%	1.193,84	216	216	100%
257	25°	24	12	242.852	84%	1.124,31	216	216	100%
258	30°	24	12	224.986	77%	1.051,98	214	216	99%
259	35°	24	12	191.534	66%	998,51	192	216	89%
260	5°	27	12	297.812	100%	1.378,76	216	216	100%
261	10°	27	12	290.072	97%	1.342,93	216	216	100%
262	15°	27	12	274.333	92%	1.270,06	216	216	100%
263	20°	27	12	264.361	89%	1.223,89	216	216	100%
264	25°	27	12	249.267	84%	1.154,01	216	216	100%
265	30°	27	12	232.710	78%	1.077,36	216	216	100%
266	35°	27	12	207.490	70%	1.011,16	205	216	95%
267	5°	30	12	301.398	100%	1.395,36	216	216	100%
268	10°	30	12	293.804	97%	1.360,20	216	216	100%
269	15°	30	12	278.211	92%	1.288,01	216	216	100%
270	20°	30	12	268.321	89%	1.242,23	216	216	100%
271	25°	30	12	253.584	84%	1.174,00	216	216	100%
272	30°	30	12	237.133	79%	1.097,84	216	216	100%
273	35°	30	12	218.659	73%	1.023,68	214	216	99%
274	5°	33	12	305.496	100%	1.414,33	216	216	100%
275	10°	33	12	297.922	98%	1.379,27	216	216	100%
276	15°	33	12	282.498	92%	1.307,86	216	216	100%
277	20°	33	12	272.551	89%	1.261,81	216	216	100%
278	25°	33	12	258.011	84%	1.194,49	216	216	100%
279	30°	33	12	241.461	79%	1.117,88	216	216	100%
280	35°	33	12	224.969	74%	1.041,52	216	216	100%
281	5°	6	15	128.507	100%	1.260,25	102	270	38%
282	10°	6	15	119.135	93%	1.194,69	100	270	37%
283	15°	6	15	115.528	90%	1.235,86	93	270	35%
284	20°	6	15	97.168	76%	1.162,16	84	270	31%
285	25°	6	15	83.251	65%	1.120,78	74	270	28%
286	30°	6	15	64.012	50%	1.102,14	58	270	22%
287	35°	6	15	51.409	40%	1.068,35	48	270	18%
288	5°	9	15	171.394	100%	1.212,20	141	270	52%
289	10°	9	15	160.756	94%	1.186,04	136	270	50%
290	15°	9	15	150.189	88%	1.211,01	124	270	46%
291	20°	9	15	135.557	79%	1.114,87	122	270	45%
292	25°	9	15	119.488	70%	1.079,68	111	270	41%
293	30°	9	15	92.842	54%	1.055,50	88	270	33%

294	35°	9	15	71.998	42%	1.034,46	70	270	26%
295	5°	12	15	216.097	100%	1.188,65	182	270	67%
296	10°	12	15	206.118	95%	1.161,36	177	270	66%
297	15°	12	15	192.938	89%	1.153,80	167	270	62%
298	20°	12	15	173.503	80%	1.094,11	159	270	59%
299	25°	12	15	153.689	71%	1.059,78	145	270	54%
300	30°	12	15	125.596	58%	1.021,11	123	270	46%
301	35°	12	15	97.381	45%	999,08	97	270	36%
302	5°	15	15	260.657	100%	1.201,40	217	270	80%
303	10°	15	15	249.519	96%	1.168,82	213	270	79%
304	15°	15	15	233.967	90%	1.149,09	204	270	75%
305	20°	15	15	214.546	82%	1.093,50	196	270	73%
306	25°	15	15	192.057	74%	1.055,20	182	270	67%
307	30°	15	15	162.357	62%	1.007,80	161	270	60%
308	35°	15	15	125.687	48%	983,46	128	270	47%
309	5°	18	15	300.295	100%	1.216,70	247	270	91%
310	10°	18	15	286.291	95%	1.179,90	243	270	90%
311	15°	18	15	272.444	91%	1.150,14	237	270	88%
312	20°	18	15	252.255	84%	1.094,43	230	270	85%
313	25°	18	15	227.102	76%	1.050,81	216	270	80%
314	30°	18	15	192.149	64%	1.003,91	191	270	71%
315	35°	18	15	154.663	52%	968,70	160	270	59%
316	5°	21	15	330.110	100%	1.242,93	266	270	98%
317	10°	21	15	316.874	96%	1.202,47	264	270	98%
318	15°	21	15	303.917	92%	1.164,03	261	270	97%
319	20°	21	15	286.311	87%	1.106,90	259	270	96%
320	25°	21	15	261.693	79%	1.053,13	248	270	92%
321	30°	21	15	224.777	68%	1.002,62	224	270	83%
322	35°	21	15	182.460	55%	964,17	189	270	70%
323	5°	24	15	347.916	100%	1.288,58	270	270	100%
324	10°	24	15	335.767	97%	1.243,58	270	270	100%
325	15°	24	15	323.651	93%	1.198,71	270	270	100%
326	20°	24	15	307.410	88%	1.138,55	270	270	100%
327	25°	24	15	287.333	83%	1.075,31	267	270	99%
328	30°	24	15	253.583	73%	1.015,71	250	270	92%
329	35°	24	15	213.220	61%	969,10	220	270	81%
330	5°	27	15	359.085	100%	1.329,94	270	270	100%
331	10°	27	15	346.412	96%	1.283,01	270	270	100%
332	15°	27	15	333.871	93%	1.236,56	270	270	100%
333	20°	27	15	317.451	88%	1.175,74	270	270	100%
334	25°	27	15	298.991	83%	1.107,37	270	270	100%
335	30°	27	15	274.540	76%	1.035,69	265	270	98%
336	35°	27	15	234.545	65%	984,66	238	270	88%
337	5°	30	15	364.619	100%	1.350,44	270	270	100%
338	10°	30	15	352.101	97%	1.304,08	270	270	100%
339	15°	30	15	339.652	93%	1.257,97	270	270	100%
340	20°	30	15	323.429	89%	1.197,88	270	270	100%
341	25°	30	15	305.075	84%	1.129,91	270	270	100%
342	30°	30	15	284.757	78%	1.054,65	270	270	100%
343	35°	30	15	253.694	70%	994,53	255	270	94%

344	5°	33	15	370.610	100%	1.372,63	270	270	100%
345	10°	33	15	358.108	97%	1.326,32	270	270	100%
346	15°	33	15	345.691	93%	1.280,34	270	270	100%
347	20°	33	15	329.643	89%	1.220,90	270	270	100%
348	25°	33	15	311.441	84%	1.153,49	270	270	100%
349	30°	33	15	291.128	79%	1.078,25	270	270	100%
350	35°	33	15	268.511	72%	1.009,63	266	270	99%
351	5°	6	18	135.439	100%	1.241,65	109	324	34%
352	10°	6	18	122.855	91%	1.229,78	100	324	31%
353	15°	6	18	110.474	82%	1.180,27	94	324	29%
354	20°	6	18	97.258	72%	1.164,48	84	324	26%
355	25°	6	18	83.251	61%	1.120,78	74	324	23%
356	30°	6	18	64.012	47%	1.102,14	58	324	18%
357	35°	6	18	51.409	38%	1.068,35	48	324	15%
358	5°	9	18	182.408	100%	1.232,57	148	324	46%
359	10°	9	18	164.481	90%	1.191,63	138	324	43%
360	15°	9	18	151.899	83%	1.176,41	129	324	40%
361	20°	9	18	136.140	75%	1.139,62	119	324	37%
362	25°	9	18	115.424	63%	1.098,02	105	324	32%
363	30°	9	18	91.064	50%	1.064,33	86	324	26%
364	35°	9	18	71.998	39%	1.034,46	70	324	21%
365	5°	12	18	221.161	100%	1.216,50	182	324	56%
366	10°	12	18	209.607	95%	1.167,99	179	324	55%
367	15°	12	18	196.598	89%	1.148,69	171	324	53%
368	20°	12	18	175.754	79%	1.107,25	159	324	49%
369	25°	12	18	152.003	69%	1.068,49	142	324	44%
370	30°	12	18	117.238	53%	1.046,02	112	324	35%
371	35°	12	18	94.107	43%	1.010,60	93	324	29%
372	5°	15	18	262.856	100%	1.216,93	216	324	67%
373	10°	15	18	250.362	95%	1.172,77	213	324	66%
374	15°	15	18	233.178	89%	1.148,43	203	324	63%
375	20°	15	18	214.893	82%	1.096,79	196	324	60%
376	25°	15	18	189.578	72%	1.061,70	179	324	55%
377	30°	15	18	153.029	58%	1.021,42	150	324	46%
378	35°	15	18	117.879	45%	999,82	118	324	36%
379	5°	18	18	306.993	100%	1.209,73	254	324	78%
380	10°	18	18	290.484	95%	1.173,67	247	324	76%
381	15°	18	18	271.988	89%	1.139,55	239	324	74%
382	20°	18	18	253.799	83%	1.087,12	233	324	72%
383	25°	18	18	226.471	74%	1.049,79	216	324	67%
384	30°	18	18	186.650	61%	1.005,12	186	324	57%
385	35°	18	18	144.965	47%	980,16	148	324	46%
386	5°	21	18	350.686	100%	1.215,51	289	324	89%
387	10°	21	18	329.844	94%	1.179,95	280	324	86%
388	15°	21	18	309.331	88%	1.143,00	271	324	84%
389	20°	21	18	288.333	82%	1.096,78	263	324	81%
390	25°	21	18	267.166	76%	1.041,71	256	324	79%
391	30°	21	18	223.659	64%	995,63	225	324	69%
392	35°	21	18	177.742	51%	962,59	185	324	57%
393	5°	24	18	392.474	100%	1.232,22	319	324	98%

394	10°	24	18	371.419	95%	1.194,47	311	324	96%
395	15°	24	18	351.552	90%	1.153,39	305	324	94%
396	20°	24	18	332.575	85%	1.102,85	302	324	93%
397	25°	24	18	306.411	78%	1.050,79	292	324	90%
398	30°	24	18	264.654	67%	996,03	266	324	82%
399	35°	24	18	218.477	56%	956,22	228	324	71%
400	5°	27	18	414.186	100%	1.278,35	324	324	100%
401	10°	27	18	398.863	96%	1.231,06	324	324	100%
402	15°	27	18	381.891	92%	1.178,68	324	324	100%
403	20°	27	18	361.615	87%	1.131,50	320	324	99%
404	25°	27	18	335.757	81%	1.073,87	313	324	97%
405	30°	27	18	297.919	72%	1.010,96	295	324	91%
406	35°	27	18	252.286	61%	965,62	261	324	81%
407	5°	30	18	424.339	100%	1.309,69	324	324	100%
408	10°	30	18	409.204	96%	1.262,98	324	324	100%
409	15°	30	18	391.899	92%	1.209,56	324	324	100%
410	20°	30	18	374.524	88%	1.158,51	323	324	100%
411	25°	30	18	351.988	83%	1.094,90	321	324	99%
412	30°	30	18	322.068	76%	1.024,59	314	324	97%
413	35°	30	18	276.666	65%	977,45	283	324	87%
414	5°	33	18	433.226	100%	1.337,12	324	324	100%
415	10°	33	18	418.242	97%	1.290,87	324	324	100%
416	15°	33	18	401.075	93%	1.237,89	324	324	100%
417	20°	33	18	384.308	89%	1.186,13	324	324	100%
418	25°	33	18	362.947	84%	1.120,21	324	324	100%
419	30°	33	18	337.803	78%	1.045,70	323	324	100%
420	35°	33	18	302.623	70%	989,16	306	324	94%

BRASÍLIA (Lat.: -15°47') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO LESTE

n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	82.427	98%	1.526,43	54	54	100%
2	10°	6	3	83.874	100%	1.553,21	54	54	100%
3	15°	6	3	78.962	94%	1.462,26	54	54	100%
4	20°	6	3	74.877	89%	1.386,62	54	54	100%
5	25°	6	3	68.691	82%	1.322,75	52	54	96%
6	30°	6	3	65.512	78%	1.335,62	49	54	91%
7	35°	6	3	59.271	71%	1.286,27	46	54	85%
8	5°	9	3	88.637	99%	1.641,42	54	54	100%
9	10°	9	3	89.763	100%	1.662,28	54	54	100%
10	15°	9	3	85.634	95%	1.585,82	54	54	100%
11	20°	9	3	82.081	91%	1.520,02	54	54	100%
12	25°	9	3	78.189	87%	1.447,94	54	54	100%
13	30°	9	3	77.246	86%	1.430,48	54	54	100%

14	35°	9	3	73.385	82%	1.358,99	54	54	100%
15	5°	12	3	90.436	99%	1.674,74	54	54	100%
16	10°	12	3	91.750	100%	1.699,07	54	54	100%
17	15°	12	3	88.030	96%	1.630,19	54	54	100%
18	20°	12	3	84.867	92%	1.571,61	54	54	100%
19	25°	12	3	81.655	89%	1.512,13	54	54	100%
20	30°	12	3	80.488	88%	1.490,52	54	54	100%
21	35°	12	3	76.916	84%	1.424,37	54	54	100%
22	5°	15	3	92.616	99%	1.715,11	54	54	100%
23	10°	15	3	94.000	100%	1.740,73	54	54	100%
24	15°	15	3	90.884	97%	1.683,04	54	54	100%
25	20°	15	3	87.992	94%	1.629,49	54	54	100%
26	25°	15	3	85.338	91%	1.580,34	54	54	100%
27	30°	15	3	84.237	90%	1.559,95	54	54	100%
28	35°	15	3	80.817	86%	1.496,62	54	54	100%
29	5°	18	3	92.888	99%	1.720,15	54	54	100%
30	10°	18	3	94.266	100%	1.745,67	54	54	100%
31	15°	18	3	91.252	97%	1.689,85	54	54	100%
32	20°	18	3	88.546	94%	1.639,74	54	54	100%
33	25°	18	3	86.058	91%	1.593,66	54	54	100%
34	30°	18	3	85.122	90%	1.576,34	54	54	100%
35	35°	18	3	82.010	87%	1.518,71	54	54	100%
36	5°	21	3	93.130	99%	1.724,63	54	54	100%
37	10°	21	3	94.530	100%	1.750,56	54	54	100%
38	15°	21	3	91.587	97%	1.696,05	54	54	100%
39	20°	21	3	88.960	94%	1.647,40	54	54	100%
40	25°	21	3	86.543	92%	1.602,65	54	54	100%
41	30°	21	3	85.620	91%	1.585,56	54	54	100%
42	35°	21	3	82.586	87%	1.529,37	54	54	100%
43	5°	24	3	93.670	99%	1.734,63	54	54	100%
44	10°	24	3	95.064	100%	1.760,45	54	54	100%
45	15°	24	3	92.318	97%	1.709,59	54	54	100%
46	20°	24	3	89.666	94%	1.660,49	54	54	100%
47	25°	24	3	87.491	92%	1.620,21	54	54	100%
48	30°	24	3	86.480	91%	1.601,49	54	54	100%
49	35°	24	3	83.506	88%	1.546,40	54	54	100%
50	5°	27	3	93.923	98%	1.739,31	54	54	100%
51	10°	27	3	95.460	100%	1.767,78	54	54	100%
52	15°	27	3	92.854	97%	1.719,53	54	54	100%
53	20°	27	3	90.431	95%	1.674,64	54	54	100%
54	25°	27	3	88.496	93%	1.638,81	54	54	100%
55	30°	27	3	87.513	92%	1.620,61	54	54	100%
56	35°	27	3	84.641	89%	1.567,43	54	54	100%
57	5°	30	3	93.961	98%	1.740,01	54	54	100%
58	10°	30	3	95.505	100%	1.768,61	54	54	100%
59	15°	30	3	92.925	97%	1.720,84	54	54	100%
60	20°	30	3	90.539	95%	1.676,64	54	54	100%
61	25°	30	3	88.639	93%	1.641,46	54	54	100%
62	30°	30	3	87.733	92%	1.624,68	54	54	100%
63	35°	30	3	84.904	89%	1.572,29	54	54	100%

64	5°	33	3	94.000	98%	1.740,75	54	54	100%
65	10°	33	3	95.542	100%	1.769,30	54	54	100%
66	15°	33	3	92.982	97%	1.721,88	54	54	100%
67	20°	33	3	90.615	95%	1.678,06	54	54	100%
68	25°	33	3	88.729	93%	1.643,12	54	54	100%
69	30°	33	3	87.837	92%	1.626,62	54	54	100%
70	35°	33	3	85.020	89%	1.574,45	54	54	100%
71	5°	6	6	107.693	100%	1.331,51	81	108	75%
72	10°	6	6	104.555	97%	1.291,76	81	108	75%
73	15°	6	6	98.091	91%	1.314,19	75	108	69%
74	20°	6	6	87.052	81%	1.291,38	67	108	62%
75	25°	6	6	80.107	74%	1.301,29	62	108	57%
76	30°	6	6	73.206	68%	1.263,04	58	108	54%
77	35°	6	6	61.230	57%	1.266,13	48	108	45%
78	5°	9	6	146.964	100%	1.365,32	108	108	100%
79	10°	9	6	142.331	97%	1.349,37	105	108	98%
80	15°	9	6	136.122	93%	1.336,10	102	108	94%
81	20°	9	6	128.050	87%	1.278,32	100	108	93%
82	25°	9	6	122.058	83%	1.281,85	95	108	88%
83	30°	9	6	113.549	77%	1.233,29	92	108	85%
84	35°	9	6	97.289	66%	1.213,69	80	108	74%
85	5°	12	6	158.404	100%	1.466,70	108	108	100%
86	10°	12	6	155.889	98%	1.443,41	108	108	100%
87	15°	12	6	152.778	96%	1.414,62	108	108	100%
88	20°	12	6	145.821	92%	1.350,20	108	108	100%
89	25°	12	6	142.550	90%	1.324,33	108	108	100%
90	30°	12	6	134.838	85%	1.281,60	105	108	97%
91	35°	12	6	124.145	78%	1.222,86	102	108	94%
92	5°	15	6	167.057	100%	1.546,83	108	108	100%
93	10°	15	6	165.296	99%	1.530,52	108	108	100%
94	15°	15	6	162.430	97%	1.503,98	108	108	100%
95	20°	15	6	155.845	93%	1.443,01	108	108	100%
96	25°	15	6	153.476	92%	1.421,07	108	108	100%
97	30°	15	6	147.925	89%	1.369,67	108	108	100%
98	35°	15	6	140.370	84%	1.299,72	108	108	100%
99	5°	18	6	171.682	100%	1.589,65	108	108	100%
100	10°	18	6	169.762	99%	1.571,87	108	108	100%
101	15°	18	6	167.113	97%	1.547,34	108	108	100%
102	20°	18	6	161.087	94%	1.491,55	108	108	100%
103	25°	18	6	158.632	92%	1.468,81	108	108	100%
104	30°	18	6	153.712	90%	1.423,26	108	108	100%
105	35°	18	6	146.742	85%	1.358,72	108	108	100%
106	5°	21	6	174.998	100%	1.620,35	108	108	100%
107	10°	21	6	173.835	99%	1.609,59	108	108	100%
108	15°	21	6	171.275	98%	1.585,88	108	108	100%
109	20°	21	6	165.461	95%	1.532,04	108	108	100%
110	25°	21	6	163.154	93%	1.510,68	108	108	100%
111	30°	21	6	158.553	91%	1.468,08	108	108	100%
112	35°	21	6	151.832	87%	1.405,85	108	108	100%
113	5°	24	6	176.745	100%	1.636,53	108	108	100%

114	10°	24	6	175.386	99%	1.623,95	108	108	100%
115	15°	24	6	173.042	98%	1.602,24	108	108	100%
116	20°	24	6	167.252	95%	1.548,64	108	108	100%
117	25°	24	6	165.128	93%	1.528,96	108	108	100%
118	30°	24	6	160.852	91%	1.489,37	108	108	100%
119	35°	24	6	154.330	87%	1.428,99	108	108	100%
120	5°	27	6	178.664	100%	1.654,30	108	108	100%
121	10°	27	6	177.409	99%	1.642,67	108	108	100%
122	15°	27	6	175.297	98%	1.623,12	108	108	100%
123	20°	27	6	169.825	95%	1.572,46	108	108	100%
124	25°	27	6	167.737	94%	1.553,12	108	108	100%
125	30°	27	6	163.902	92%	1.517,61	108	108	100%
126	35°	27	6	157.638	88%	1.459,61	108	108	100%
127	5°	30	6	179.375	100%	1.660,88	108	108	100%
128	10°	30	6	178.051	99%	1.648,62	108	108	100%
129	15°	30	6	175.955	98%	1.629,21	108	108	100%
130	20°	30	6	170.492	95%	1.578,63	108	108	100%
131	25°	30	6	168.490	94%	1.560,09	108	108	100%
132	30°	30	6	164.801	92%	1.525,93	108	108	100%
133	35°	30	6	158.669	88%	1.469,15	108	108	100%
134	5°	33	6	180.334	100%	1.669,76	108	108	100%
135	10°	33	6	179.191	99%	1.659,18	108	108	100%
136	15°	33	6	177.189	98%	1.640,64	108	108	100%
137	20°	33	6	171.879	95%	1.591,48	108	108	100%
138	25°	33	6	170.004	94%	1.574,11	108	108	100%
139	30°	33	6	166.382	92%	1.540,58	108	108	100%
140	35°	33	6	160.277	89%	1.484,04	108	108	100%
141	5°	6	9	110.844	100%	1.346,01	82	162	51%
142	10°	6	9	107.134	97%	1.316,80	81	162	50%
143	15°	6	9	98.393	89%	1.311,91	75	162	46%
144	20°	6	9	87.052	79%	1.291,38	67	162	42%
145	25°	6	9	80.232	72%	1.275,35	63	162	39%
146	30°	6	9	73.204	66%	1.263,00	58	162	36%
147	35°	6	9	61.226	55%	1.266,04	48	162	30%
148	5°	9	9	158.424	100%	1.312,98	121	162	74%
149	10°	9	9	151.273	95%	1.317,94	115	162	71%
150	15°	9	9	144.881	91%	1.295,43	112	162	69%
151	20°	9	9	130.612	82%	1.265,25	103	162	64%
152	25°	9	9	124.196	78%	1.245,08	100	162	62%
153	30°	9	9	114.866	73%	1.224,85	94	162	58%
154	35°	9	9	96.545	61%	1.217,16	79	162	49%
155	5°	12	9	200.435	100%	1.312,86	153	162	94%
156	10°	12	9	196.168	98%	1.302,58	151	162	93%
157	15°	12	9	189.576	95%	1.292,80	147	162	91%
158	20°	12	9	174.885	87%	1.250,43	140	162	86%
159	25°	12	9	165.984	83%	1.249,79	133	162	82%
160	30°	12	9	155.189	77%	1.212,60	128	162	79%
161	35°	12	9	133.637	67%	1.185,99	113	162	70%
162	5°	15	9	225.756	100%	1.393,55	162	162	100%
163	10°	15	9	222.790	99%	1.377,29	162	162	100%

164	15°	15	9	218.108	97%	1.357,41	161	162	99%
165	20°	15	9	208.242	92%	1.298,43	160	162	99%
166	25°	15	9	203.258	90%	1.287,83	158	162	97%
167	30°	15	9	191.645	85%	1.248,91	153	162	95%
168	35°	15	9	174.634	77%	1.197,76	146	162	90%
169	5°	18	9	237.742	100%	1.467,54	162	162	100%
170	10°	18	9	234.832	99%	1.449,58	162	162	100%
171	15°	18	9	230.751	97%	1.424,39	162	162	100%
172	20°	18	9	221.511	93%	1.367,36	162	162	100%
173	25°	18	9	218.252	92%	1.347,23	162	162	100%
174	30°	18	9	210.507	89%	1.299,42	162	162	100%
175	35°	18	9	198.664	84%	1.237,32	161	162	99%
176	5°	21	9	247.604	100%	1.528,42	162	162	100%
177	10°	21	9	244.897	99%	1.511,71	162	162	100%
178	15°	21	9	240.662	97%	1.485,57	162	162	100%
179	20°	21	9	231.798	94%	1.430,85	162	162	100%
180	25°	21	9	228.540	92%	1.410,74	162	162	100%
181	30°	21	9	221.148	89%	1.365,11	162	162	100%
182	35°	21	9	210.533	85%	1.299,59	162	162	100%
183	5°	24	9	252.664	100%	1.559,65	162	162	100%
184	10°	24	9	250.365	99%	1.545,46	162	162	100%
185	15°	24	9	246.545	98%	1.521,88	162	162	100%
186	20°	24	9	237.584	94%	1.466,57	162	162	100%
187	25°	24	9	234.131	93%	1.445,25	162	162	100%
188	30°	24	9	227.747	90%	1.405,85	162	162	100%
189	35°	24	9	217.316	86%	1.341,46	162	162	100%
190	5°	27	9	257.886	100%	1.591,89	162	162	100%
191	10°	27	9	255.618	99%	1.577,89	162	162	100%
192	15°	27	9	251.912	98%	1.555,01	162	162	100%
193	20°	27	9	243.408	94%	1.502,52	162	162	100%
194	25°	27	9	240.006	93%	1.481,52	162	162	100%
195	30°	27	9	233.978	91%	1.444,31	162	162	100%
196	35°	27	9	224.184	87%	1.383,85	162	162	100%
197	5°	30	9	260.815	100%	1.609,97	162	162	100%
198	10°	30	9	258.333	99%	1.594,65	162	162	100%
199	15°	30	9	254.752	98%	1.572,54	162	162	100%
200	20°	30	9	246.172	94%	1.519,58	162	162	100%
201	25°	30	9	242.854	93%	1.499,10	162	162	100%
202	30°	30	9	237.362	91%	1.465,20	162	162	100%
203	35°	30	9	227.680	87%	1.405,43	162	162	100%
204	5°	33	9	263.738	100%	1.628,01	162	162	100%
205	10°	33	9	261.280	99%	1.612,84	162	162	100%
206	15°	33	9	257.789	98%	1.591,29	162	162	100%
207	20°	33	9	249.475	95%	1.539,97	162	162	100%
208	25°	33	9	246.357	93%	1.520,72	162	162	100%
209	30°	33	9	240.883	91%	1.486,93	162	162	100%
210	35°	33	9	231.282	88%	1.427,67	162	162	100%
211	5°	6	12	112.462	100%	1.319,98	85	216	39%
212	10°	6	12	106.307	95%	1.300,87	82	216	38%
213	15°	6	12	98.393	87%	1.311,91	75	216	35%

214	20°	6	12	86.026	76%	1.276,16	67	216	31%
215	25°	6	12	78.389	70%	1.259,86	62	216	29%
216	30°	6	12	70.808	63%	1.238,99	57	216	26%
217	35°	6	12	61.226	54%	1.266,05	48	216	22%
218	5°	9	12	163.427	100%	1.337,16	122	216	57%
219	10°	9	12	154.900	95%	1.313,82	118	216	55%
220	15°	9	12	145.272	89%	1.293,38	112	216	52%
221	20°	9	12	127.216	78%	1.232,36	103	216	48%
222	25°	9	12	119.166	73%	1.210,30	98	216	46%
223	30°	9	12	112.217	69%	1.196,60	94	216	43%
224	35°	9	12	96.443	59%	1.217,72	79	216	37%
225	5°	12	12	209.034	100%	1.323,67	158	216	73%
226	10°	12	12	202.988	97%	1.303,71	156	216	72%
227	15°	12	12	194.048	93%	1.277,30	152	216	70%
228	20°	12	12	170.621	82%	1.218,37	140	216	65%
229	25°	12	12	161.744	77%	1.195,45	135	216	63%
230	30°	12	12	151.491	72%	1.187,89	128	216	59%
231	35°	12	12	133.094	64%	1.187,49	112	216	52%
232	5°	15	12	259.062	100%	1.320,00	196	216	91%
233	10°	15	12	253.926	98%	1.302,18	195	216	90%
234	15°	15	12	243.762	94%	1.290,57	189	216	87%
235	20°	15	12	219.955	85%	1.225,03	180	216	83%
236	25°	15	12	211.228	82%	1.210,61	174	216	81%
237	30°	15	12	200.026	77%	1.193,62	168	216	78%
238	35°	15	12	178.516	69%	1.184,42	151	216	70%
239	5°	18	12	292.896	100%	1.356,75	216	216	100%
240	10°	18	12	287.967	98%	1.342,88	214	216	99%
241	15°	18	12	279.660	95%	1.324,15	211	216	98%
242	20°	18	12	261.375	89%	1.247,50	210	216	97%
243	25°	18	12	252.911	86%	1.237,76	204	216	95%
244	30°	18	12	243.201	83%	1.206,35	202	216	93%
245	35°	18	12	225.686	77%	1.180,61	191	216	89%
246	5°	21	12	308.824	100%	1.429,74	216	216	100%
247	10°	21	12	305.090	99%	1.412,46	216	216	100%
248	15°	21	12	299.559	97%	1.386,85	216	216	100%
249	20°	21	12	283.980	92%	1.314,72	216	216	100%
250	25°	21	12	279.068	90%	1.294,14	216	216	100%
251	30°	21	12	269.665	87%	1.260,00	214	216	99%
252	35°	21	12	256.395	83%	1.217,45	211	216	98%
253	5°	24	12	319.741	100%	1.480,28	216	216	100%
254	10°	24	12	316.879	99%	1.467,04	216	216	100%
255	15°	24	12	311.622	97%	1.442,70	216	216	100%
256	20°	24	12	296.509	93%	1.372,73	216	216	100%
257	25°	24	12	291.807	91%	1.350,96	216	216	100%
258	30°	24	12	284.167	89%	1.315,59	216	216	100%
259	35°	24	12	273.245	85%	1.265,02	216	216	100%
260	5°	27	12	329.620	100%	1.526,02	216	216	100%
261	10°	27	12	326.642	99%	1.512,23	216	216	100%
262	15°	27	12	321.653	98%	1.489,13	216	216	100%
263	20°	27	12	307.213	93%	1.422,28	216	216	100%

264	25°	27	12	302.178	92%	1.398,97	216	216	100%
265	30°	27	12	294.759	89%	1.364,62	216	216	100%
266	35°	27	12	284.131	86%	1.315,42	216	216	100%
267	5°	30	12	334.867	100%	1.550,31	216	216	100%
268	10°	30	12	331.913	99%	1.536,63	216	216	100%
269	15°	30	12	327.107	98%	1.514,38	216	216	100%
270	20°	30	12	312.905	93%	1.448,63	216	216	100%
271	25°	30	12	308.277	92%	1.427,21	216	216	100%
272	30°	30	12	301.007	90%	1.393,55	216	216	100%
273	35°	30	12	290.263	87%	1.343,81	216	216	100%
274	5°	33	12	339.838	100%	1.573,32	216	216	100%
275	10°	33	12	336.496	99%	1.557,85	216	216	100%
276	15°	33	12	331.767	98%	1.535,96	216	216	100%
277	20°	33	12	318.025	94%	1.472,34	216	216	100%
278	25°	33	12	313.410	92%	1.450,97	216	216	100%
279	30°	33	12	306.142	90%	1.417,32	216	216	100%
280	35°	33	12	295.215	87%	1.366,74	216	216	100%
281	5°	6	15	106.625	100%	1.356,03	79	270	29%
282	10°	6	15	105.718	99%	1.321,81	80	270	30%
283	15°	6	15	101.712	95%	1.356,16	75	270	28%
284	20°	6	15	87.609	82%	1.308,39	67	270	25%
285	25°	6	15	77.866	73%	1.263,02	62	270	23%
286	30°	6	15	73.951	69%	1.299,44	57	270	21%
287	35°	6	15	61.226	57%	1.266,04	48	270	18%
288	5°	9	15	160.179	100%	1.286,27	125	270	46%
289	10°	9	15	154.380	96%	1.300,16	119	270	44%
290	15°	9	15	148.867	93%	1.325,39	112	270	42%
291	20°	9	15	129.524	81%	1.285,73	101	270	37%
292	25°	9	15	120.346	75%	1.246,98	97	270	36%
293	30°	9	15	114.336	71%	1.236,20	92	270	34%
294	35°	9	15	96.443	60%	1.217,71	79	270	29%
295	5°	12	15	210.090	100%	1.301,67	161	270	60%
296	10°	12	15	204.607	97%	1.291,71	158	270	59%
297	15°	12	15	197.888	94%	1.302,58	152	270	56%
298	20°	12	15	172.951	82%	1.235,02	140	270	52%
299	25°	12	15	163.304	78%	1.210,73	135	270	50%
300	30°	12	15	153.181	73%	1.207,10	127	270	47%
301	35°	12	15	133.087	63%	1.187,43	112	270	42%
302	5°	15	15	263.324	100%	1.308,70	201	270	75%
303	10°	15	15	257.626	98%	1.305,89	197	270	73%
304	15°	15	15	251.240	95%	1.300,42	193	270	72%
305	20°	15	15	220.526	84%	1.224,53	180	270	67%
306	25°	15	15	210.866	80%	1.206,88	175	270	65%
307	30°	15	15	201.071	76%	1.197,28	168	270	62%
308	35°	15	15	177.671	67%	1.186,37	150	270	55%
309	5°	18	15	319.028	100%	1.300,19	245	270	91%
310	10°	18	15	313.484	98%	1.294,05	242	270	90%
311	15°	18	15	305.089	96%	1.296,48	235	270	87%
312	20°	18	15	271.759	85%	1.215,11	224	270	83%
313	25°	18	15	265.026	83%	1.199,49	221	270	82%

314	30°	18	15	251.430	79%	1.188,29	212	270	78%
315	35°	18	15	228.666	72%	1.171,92	195	270	72%
316	5°	21	15	357.070	100%	1.342,77	266	270	98%
317	10°	21	15	354.012	99%	1.333,68	265	270	98%
318	15°	21	15	348.275	98%	1.325,25	263	270	97%
319	20°	21	15	320.673	90%	1.236,74	259	270	96%
320	25°	21	15	311.559	87%	1.229,76	253	270	94%
321	30°	21	15	299.531	84%	1.207,15	248	270	92%
322	35°	21	15	278.231	78%	1.179,95	236	270	87%
323	5°	24	15	378.549	100%	1.402,03	270	270	100%
324	10°	24	15	375.911	99%	1.392,26	270	270	100%
325	15°	24	15	372.515	98%	1.379,69	270	270	100%
326	20°	24	15	348.487	92%	1.293,28	269	270	100%
327	25°	24	15	341.905	90%	1.280,11	267	270	99%
328	30°	24	15	331.827	88%	1.249,82	265	270	98%
329	35°	24	15	314.925	83%	1.208,83	261	270	96%
330	5°	27	15	393.431	100%	1.457,15	270	270	100%
331	10°	27	15	390.200	99%	1.445,18	270	270	100%
332	15°	27	15	387.025	98%	1.433,43	270	270	100%
333	20°	27	15	364.961	93%	1.351,71	270	270	100%
334	25°	27	15	359.759	91%	1.332,44	270	270	100%
335	30°	27	15	350.831	89%	1.301,54	270	270	100%
336	35°	27	15	337.398	86%	1.253,52	269	270	100%
337	5°	30	15	402.883	100%	1.492,16	270	270	100%
338	10°	30	15	399.638	99%	1.480,14	270	270	100%
339	15°	30	15	396.003	98%	1.466,68	270	270	100%
340	20°	30	15	374.945	93%	1.388,69	270	270	100%
341	25°	30	15	369.557	92%	1.368,73	270	270	100%
342	30°	30	15	361.111	90%	1.337,45	270	270	100%
343	35°	30	15	347.756	86%	1.287,99	270	270	100%
344	5°	33	15	411.498	100%	1.524,07	270	270	100%
345	10°	33	15	407.720	99%	1.510,07	270	270	100%
346	15°	33	15	403.752	98%	1.495,38	270	270	100%
347	20°	33	15	383.373	93%	1.419,90	270	270	100%
348	25°	33	15	377.513	92%	1.398,20	270	270	100%
349	30°	33	15	369.613	90%	1.368,94	270	270	100%
350	35°	33	15	355.855	86%	1.317,98	270	270	100%
351	5°	6	18	113.683	100%	1.334,31	85	324	26%
352	10°	6	18	103.987	91%	1.325,01	78	324	24%
353	15°	6	18	95.750	84%	1.259,53	76	324	23%
354	20°	6	18	87.804	77%	1.306,61	67	324	21%
355	25°	6	18	80.508	71%	1.307,80	62	324	19%
356	30°	6	18	70.519	62%	1.239,78	57	324	18%
357	35°	6	18	61.226	54%	1.266,05	48	324	15%
358	5°	9	18	160.284	100%	1.340,73	120	324	37%
359	10°	9	18	152.701	95%	1.299,15	118	324	36%
360	15°	9	18	143.600	90%	1.278,49	112	324	35%
361	20°	9	18	133.768	83%	1.272,53	105	324	32%
362	25°	9	18	124.350	78%	1.261,41	99	324	30%
363	30°	9	18	109.116	68%	1.220,94	89	324	28%

364	35°	9	18	96.443	60%	1.217,71	79	324	24%
365	5°	12	18	207.849	100%	1.293,56	161	324	50%
366	10°	12	18	201.488	97%	1.288,37	156	324	48%
367	15°	12	18	193.789	93%	1.275,60	152	324	47%
368	20°	12	18	177.641	85%	1.261,75	141	324	43%
369	25°	12	18	166.161	80%	1.248,02	133	324	41%
370	30°	12	18	150.800	73%	1.198,54	126	324	39%
371	35°	12	18	133.085	64%	1.187,41	112	324	35%
372	5°	15	18	264.960	100%	1.291,98	205	324	63%
373	10°	15	18	257.192	97%	1.286,28	200	324	62%
374	15°	15	18	248.743	94%	1.283,50	194	324	60%
375	20°	15	18	224.345	85%	1.250,95	179	324	55%
376	25°	15	18	215.479	81%	1.246,55	173	324	53%
377	30°	15	18	198.118	75%	1.195,28	166	324	51%
378	35°	15	18	177.470	67%	1.186,93	150	324	46%
379	5°	18	18	326.835	100%	1.290,97	253	324	78%
380	10°	18	18	318.046	97%	1.283,48	248	324	76%
381	15°	18	18	308.696	94%	1.272,24	243	324	75%
382	20°	18	18	275.126	84%	1.222,30	225	324	69%
383	25°	18	18	269.842	83%	1.216,49	222	324	68%
384	30°	18	18	249.369	76%	1.177,55	212	324	65%
385	35°	18	18	228.560	70%	1.171,38	195	324	60%
386	5°	21	18	378.774	100%	1.307,02	290	324	89%
387	10°	21	18	375.660	99%	1.292,40	291	324	90%
388	15°	21	18	367.046	97%	1.282,48	286	324	88%
389	20°	21	18	331.840	88%	1.216,47	273	324	84%
390	25°	21	18	329.374	87%	1.211,82	272	324	84%
391	30°	21	18	309.343	82%	1.171,89	264	324	81%
392	35°	21	18	282.873	75%	1.170,44	242	324	75%
393	5°	24	18	422.163	100%	1.331,20	317	324	98%
394	10°	24	18	416.682	99%	1.323,43	315	324	97%
395	15°	24	18	409.605	97%	1.315,37	311	324	96%
396	20°	24	18	380.762	90%	1.235,96	308	324	95%
397	25°	24	18	373.651	89%	1.244,26	300	324	93%
398	30°	24	18	356.027	84%	1.196,21	298	324	92%
399	35°	24	18	335.710	80%	1.178,42	285	324	88%
400	5°	27	18	450.153	100%	1.389,36	324	324	100%
401	10°	27	18	446.333	99%	1.377,57	324	324	100%
402	15°	27	18	440.213	98%	1.360,70	324	324	100%
403	20°	27	18	414.024	92%	1.283,56	323	324	100%
404	25°	27	18	408.706	91%	1.284,39	318	324	98%
405	30°	27	18	391.069	87%	1.236,89	316	324	98%
406	35°	27	18	373.886	83%	1.211,87	309	324	95%
407	5°	30	18	464.789	100%	1.434,53	324	324	100%
408	10°	30	18	460.468	99%	1.421,20	324	324	100%
409	15°	30	18	454.013	98%	1.401,27	324	324	100%
410	20°	30	18	429.936	93%	1.326,96	324	324	100%
411	25°	30	18	426.695	92%	1.317,32	324	324	100%
412	30°	30	18	410.314	88%	1.270,28	323	324	100%
413	35°	30	18	396.525	85%	1.235,28	321	324	99%

414	5°	33	18	477.154	100%	1.472,70	324	324	100%
415	10°	33	18	472.663	99%	1.458,84	324	324	100%
416	15°	33	18	465.119	97%	1.435,55	324	324	100%
417	20°	33	18	442.350	93%	1.365,28	324	324	100%
418	25°	33	18	438.848	92%	1.354,47	324	324	100%
419	30°	33	18	423.466	89%	1.306,99	324	324	100%
420	35°	33	18	410.689	86%	1.267,56	324	324	100%

BRASÍLIA (Lat.: -15°47') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO OESTE									
nº	Ângulo (°)	Afastamento (m)	Nº de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	80.043	99%	1.482,27	54	54	100%
2	10°	6	3	80.797	100%	1.496,25	54	54	100%
3	15°	6	3	75.608	94%	1.400,16	54	54	100%
4	20°	6	3	72.752	90%	1.347,26	54	54	100%
5	25°	6	3	70.460	87%	1.371,09	51	54	95%
6	30°	6	3	66.534	82%	1.349,02	49	54	91%
7	35°	6	3	60.191	74%	1.250,06	48	54	89%
8	5°	9	3	86.759	100%	1.606,64	54	54	100%
9	10°	9	3	87.126	100%	1.613,44	54	54	100%
10	15°	9	3	83.074	95%	1.538,41	54	54	100%
11	20°	9	3	80.693	93%	1.494,31	54	54	100%
12	25°	9	3	80.343	92%	1.487,84	54	54	100%
13	30°	9	3	77.864	89%	1.441,92	54	54	100%
14	35°	9	3	72.957	84%	1.351,06	54	54	100%
15	5°	12	3	88.899	99%	1.646,27	54	54	100%
16	10°	12	3	89.713	100%	1.661,36	54	54	100%
17	15°	12	3	86.038	96%	1.593,29	54	54	100%
18	20°	12	3	83.978	94%	1.555,14	54	54	100%
19	25°	12	3	83.816	93%	1.552,14	54	54	100%
20	30°	12	3	81.706	91%	1.513,08	54	54	100%
21	35°	12	3	77.079	86%	1.427,39	54	54	100%
22	5°	15	3	91.568	99%	1.695,70	54	54	100%
23	10°	15	3	92.509	100%	1.713,14	54	54	100%
24	15°	15	3	89.651	97%	1.660,20	54	54	100%
25	20°	15	3	88.014	95%	1.629,90	54	54	100%
26	25°	15	3	88.027	95%	1.630,13	54	54	100%
27	30°	15	3	86.045	93%	1.593,43	54	54	100%
28	35°	15	3	82.047	89%	1.519,40	54	54	100%
29	5°	18	3	91.905	99%	1.701,94	54	54	100%
30	10°	18	3	92.865	100%	1.719,72	54	54	100%
31	15°	18	3	90.116	97%	1.668,82	54	54	100%
32	20°	18	3	88.724	96%	1.643,04	54	54	100%
33	25°	18	3	88.790	96%	1.644,26	54	54	100%

34	30°	18	3	87.089	94%	1.612,76	54	54	100%
35	35°	18	3	83.497	90%	1.546,24	54	54	100%
36	5°	21	3	92.213	99%	1.707,64	54	54	100%
37	10°	21	3	93.198	100%	1.725,89	54	54	100%
38	15°	21	3	90.556	97%	1.676,97	54	54	100%
39	20°	21	3	89.262	96%	1.653,00	54	54	100%
40	25°	21	3	89.326	96%	1.654,19	54	54	100%
41	30°	21	3	87.688	94%	1.623,85	54	54	100%
42	35°	21	3	84.201	90%	1.559,27	54	54	100%
43	5°	24	3	92.973	99%	1.721,73	54	54	100%
44	10°	24	3	94.032	100%	1.741,33	54	54	100%
45	15°	24	3	91.623	97%	1.696,73	54	54	100%
46	20°	24	3	90.217	96%	1.670,69	54	54	100%
47	25°	24	3	90.349	96%	1.673,13	54	54	100%
48	30°	24	3	88.824	94%	1.644,89	54	54	100%
49	35°	24	3	85.379	91%	1.581,09	54	54	100%
50	5°	27	3	93.338	99%	1.728,48	54	54	100%
51	10°	27	3	94.474	100%	1.749,53	54	54	100%
52	15°	27	3	92.227	98%	1.707,91	54	54	100%
53	20°	27	3	91.203	97%	1.688,95	54	54	100%
54	25°	27	3	91.374	97%	1.692,11	54	54	100%
55	30°	27	3	90.083	95%	1.668,20	54	54	100%
56	35°	27	3	87.056	92%	1.612,15	54	54	100%
57	5°	30	3	93.384	99%	1.729,34	54	54	100%
58	10°	30	3	94.533	100%	1.750,61	54	54	100%
59	15°	30	3	92.315	98%	1.709,54	54	54	100%
60	20°	30	3	91.327	97%	1.691,24	54	54	100%
61	25°	30	3	91.562	97%	1.695,60	54	54	100%
62	30°	30	3	90.318	96%	1.672,55	54	54	100%
63	35°	30	3	87.329	92%	1.617,20	54	54	100%
64	5°	33	3	93.433	99%	1.730,24	54	54	100%
65	10°	33	3	94.585	100%	1.751,58	54	54	100%
66	15°	33	3	92.392	98%	1.710,97	54	54	100%
67	20°	33	3	91.429	97%	1.693,12	54	54	100%
68	25°	33	3	91.673	97%	1.697,65	54	54	100%
69	30°	33	3	90.438	96%	1.674,79	54	54	100%
70	35°	33	3	87.470	92%	1.619,82	54	54	100%
71	5°	6	6	108.634	100%	1.365,43	80	108	74%
72	10°	6	6	100.146	92%	1.347,14	74	108	69%
73	15°	6	6	94.884	87%	1.348,17	70	108	65%
74	20°	6	6	86.875	80%	1.327,14	65	108	61%
75	25°	6	6	80.942	75%	1.281,13	63	108	58%
76	30°	6	6	73.617	68%	1.270,13	58	108	54%
77	35°	6	6	64.337	59%	1.274,25	50	108	47%
78	5°	9	6	147.557	100%	1.370,84	108	108	100%
79	10°	9	6	141.580	96%	1.342,24	105	108	98%
80	15°	9	6	136.787	93%	1.317,03	104	108	96%
81	20°	9	6	130.115	88%	1.287,38	101	108	94%
82	25°	9	6	121.386	82%	1.262,85	96	108	89%
83	30°	9	6	112.941	77%	1.252,40	90	108	84%

84	35°	9	6	99.814	68%	1.250,80	80	108	74%
85	5°	12	6	158.535	100%	1.467,92	108	108	100%
86	10°	12	6	155.243	98%	1.437,43	108	108	100%
87	15°	12	6	151.875	96%	1.406,25	108	108	100%
88	20°	12	6	147.366	93%	1.364,50	108	108	100%
89	25°	12	6	142.142	90%	1.322,74	107	108	99%
90	30°	12	6	136.440	86%	1.295,72	105	108	97%
91	35°	12	6	128.882	81%	1.255,06	103	108	95%
92	5°	15	6	167.234	100%	1.548,46	108	108	100%
93	10°	15	6	164.760	99%	1.525,56	108	108	100%
94	15°	15	6	161.933	97%	1.499,38	108	108	100%
95	20°	15	6	157.908	94%	1.462,11	108	108	100%
96	25°	15	6	153.977	92%	1.425,71	108	108	100%
97	30°	15	6	150.310	90%	1.391,76	108	108	100%
98	35°	15	6	144.901	87%	1.341,68	108	108	100%
99	5°	18	6	171.769	100%	1.590,46	108	108	100%
100	10°	18	6	169.565	99%	1.570,05	108	108	100%
101	15°	18	6	166.989	97%	1.546,19	108	108	100%
102	20°	18	6	163.569	95%	1.514,52	108	108	100%
103	25°	18	6	159.849	93%	1.480,08	108	108	100%
104	30°	18	6	156.301	91%	1.447,23	108	108	100%
105	35°	18	6	151.594	88%	1.403,65	108	108	100%
106	5°	21	6	175.336	100%	1.623,48	108	108	100%
107	10°	21	6	173.634	99%	1.607,72	108	108	100%
108	15°	21	6	171.216	98%	1.585,33	108	108	100%
109	20°	21	6	168.107	96%	1.556,55	108	108	100%
110	25°	21	6	165.024	94%	1.528,00	108	108	100%
111	30°	21	6	161.640	92%	1.496,66	108	108	100%
112	35°	21	6	156.937	90%	1.453,12	108	108	100%
113	5°	24	6	177.185	100%	1.640,60	108	108	100%
114	10°	24	6	175.551	99%	1.625,48	108	108	100%
115	15°	24	6	173.413	98%	1.605,68	108	108	100%
116	20°	24	6	170.277	96%	1.576,64	108	108	100%
117	25°	24	6	167.416	94%	1.550,15	108	108	100%
118	30°	24	6	164.330	93%	1.521,57	108	108	100%
119	35°	24	6	159.702	90%	1.478,72	108	108	100%
120	5°	27	6	179.132	100%	1.658,63	108	108	100%
121	10°	27	6	177.787	99%	1.646,18	108	108	100%
122	15°	27	6	175.940	98%	1.629,07	108	108	100%
123	20°	27	6	173.296	97%	1.604,59	108	108	100%
124	25°	27	6	170.609	95%	1.579,71	108	108	100%
125	30°	27	6	167.573	94%	1.551,60	108	108	100%
126	35°	27	6	163.457	91%	1.513,49	108	108	100%
127	5°	30	6	179.913	100%	1.665,86	108	108	100%
128	10°	30	6	178.579	99%	1.653,51	108	108	100%
129	15°	30	6	176.644	98%	1.635,60	108	108	100%
130	20°	30	6	174.057	97%	1.611,63	108	108	100%
131	25°	30	6	171.504	95%	1.588,00	108	108	100%
132	30°	30	6	168.565	94%	1.560,79	108	108	100%
133	35°	30	6	164.527	91%	1.523,39	108	108	100%

134	5°	33	6	181.016	100%	1.676,08	108	108	100%
135	10°	33	6	179.807	99%	1.664,88	108	108	100%
136	15°	33	6	178.120	98%	1.649,26	108	108	100%
137	20°	33	6	175.629	97%	1.626,20	108	108	100%
138	25°	33	6	173.227	96%	1.603,95	108	108	100%
139	30°	33	6	170.427	94%	1.578,03	108	108	100%
140	35°	33	6	166.478	92%	1.541,46	108	108	100%
141	5°	6	9	107.371	100%	1.335,46	80	162	50%
142	10°	6	9	97.252	91%	1.306,63	74	162	46%
143	15°	6	9	94.448	88%	1.315,06	72	162	44%
144	20°	6	9	87.734	82%	1.293,45	68	162	42%
145	25°	6	9	80.940	75%	1.281,10	63	162	39%
146	30°	6	9	73.760	69%	1.266,70	58	162	36%
147	35°	6	9	64.741	60%	1.270,93	51	162	31%
148	5°	9	9	158.051	100%	1.326,37	119	162	74%
149	10°	9	9	145.052	92%	1.282,17	113	162	70%
150	15°	9	9	144.345	91%	1.280,00	113	162	70%
151	20°	9	9	135.814	86%	1.256,84	108	162	67%
152	25°	9	9	123.461	78%	1.251,64	99	162	61%
153	30°	9	9	113.758	72%	1.236,77	92	162	57%
154	35°	9	9	99.315	63%	1.222,04	81	162	50%
155	5°	12	9	200.181	100%	1.331,88	150	162	93%
156	10°	12	9	191.771	96%	1.278,98	150	162	93%
157	15°	12	9	187.314	94%	1.288,71	145	162	90%
158	20°	12	9	177.368	89%	1.266,28	140	162	86%
159	25°	12	9	166.868	83%	1.237,71	135	162	83%
160	30°	12	9	153.635	77%	1.231,05	125	162	77%
161	35°	12	9	137.305	69%	1.204,74	114	162	70%
162	5°	15	9	226.370	100%	1.397,35	162	162	100%
163	10°	15	9	219.383	97%	1.354,22	162	162	100%
164	15°	15	9	217.969	96%	1.346,24	162	162	100%
165	20°	15	9	210.862	93%	1.316,24	160	162	99%
166	25°	15	9	202.541	89%	1.285,98	158	162	97%
167	30°	15	9	194.724	86%	1.262,56	154	162	95%
168	35°	15	9	180.411	80%	1.223,04	148	162	91%
169	5°	18	9	237.664	100%	1.467,06	162	162	100%
170	10°	18	9	231.643	97%	1.429,89	162	162	100%
171	15°	18	9	229.975	97%	1.419,60	162	162	100%
172	20°	18	9	224.453	94%	1.385,51	162	162	100%
173	25°	18	9	218.737	92%	1.350,23	162	162	100%
174	30°	18	9	213.718	90%	1.319,25	162	162	100%
175	35°	18	9	204.635	86%	1.269,53	161	162	99%
176	5°	21	9	246.993	100%	1.524,65	162	162	100%
177	10°	21	9	241.504	98%	1.490,76	162	162	100%
178	15°	21	9	239.848	97%	1.480,54	162	162	100%
179	20°	21	9	235.061	95%	1.451,00	162	162	100%
180	25°	21	9	229.819	93%	1.418,64	162	162	100%
181	30°	21	9	224.651	91%	1.386,73	162	162	100%
182	35°	21	9	216.758	88%	1.338,02	162	162	100%
183	5°	24	9	252.016	100%	1.555,65	162	162	100%

184	10°	24	9	247.439	98%	1.527,40	162	162	100%
185	15°	24	9	245.833	98%	1.517,49	162	162	100%
186	20°	24	9	240.972	96%	1.487,48	162	162	100%
187	25°	24	9	236.640	94%	1.460,74	162	162	100%
188	30°	24	9	231.839	92%	1.431,10	162	162	100%
189	35°	24	9	223.740	89%	1.381,11	162	162	100%
190	5°	27	9	257.104	100%	1.587,06	162	162	100%
191	10°	27	9	253.209	98%	1.563,02	162	162	100%
192	15°	27	9	251.662	98%	1.553,47	162	162	100%
193	20°	27	9	247.539	96%	1.528,02	162	162	100%
194	25°	27	9	243.304	95%	1.501,87	162	162	100%
195	30°	27	9	238.746	93%	1.473,74	162	162	100%
196	35°	27	9	231.481	90%	1.428,89	162	162	100%
197	5°	30	9	259.950	100%	1.604,63	162	162	100%
198	10°	30	9	256.265	99%	1.581,89	162	162	100%
199	15°	30	9	254.710	98%	1.572,29	162	162	100%
200	20°	30	9	250.639	96%	1.547,16	162	162	100%
201	25°	30	9	246.817	95%	1.523,56	162	162	100%
202	30°	30	9	242.192	93%	1.495,01	162	162	100%
203	35°	30	9	235.014	90%	1.450,71	162	162	100%
204	5°	33	9	262.988	100%	1.623,38	162	162	100%
205	10°	33	9	259.485	99%	1.601,76	162	162	100%
206	15°	33	9	258.089	98%	1.593,14	162	162	100%
207	20°	33	9	254.318	97%	1.569,87	162	162	100%
208	25°	33	9	250.595	95%	1.546,89	162	162	100%
209	30°	33	9	246.166	94%	1.519,54	162	162	100%
210	35°	33	9	239.482	91%	1.478,28	162	162	100%
211	5°	6	12	106.857	100%	1.340,07	80	216	37%
212	10°	6	12	103.243	97%	1.390,48	74	216	34%
213	15°	6	12	92.971	87%	1.301,02	71	216	33%
214	20°	6	12	84.577	79%	1.251,32	68	216	31%
215	25°	6	12	78.746	74%	1.263,79	62	216	29%
216	30°	6	12	70.897	66%	1.243,16	57	216	26%
217	35°	6	12	62.307	58%	1.254,92	50	216	23%
218	5°	9	12	155.955	100%	1.309,45	119	216	55%
219	10°	9	12	149.762	96%	1.321,70	113	216	52%
220	15°	9	12	136.655	88%	1.252,45	109	216	51%
221	20°	9	12	127.862	82%	1.227,90	104	216	48%
222	25°	9	12	119.671	77%	1.214,32	99	216	46%
223	30°	9	12	110.104	71%	1.195,88	92	216	43%
224	35°	9	12	96.123	62%	1.205,91	80	216	37%
225	5°	12	12	203.962	100%	1.299,21	157	216	73%
226	10°	12	12	197.777	97%	1.288,12	154	216	71%
227	15°	12	12	184.678	91%	1.235,88	149	216	69%
228	20°	12	12	173.510	85%	1.220,44	142	216	66%
229	25°	12	12	162.524	80%	1.199,88	135	216	63%
230	30°	12	12	149.754	73%	1.185,14	126	216	59%
231	35°	12	12	135.370	66%	1.164,17	116	216	54%
232	5°	15	12	253.440	100%	1.315,27	193	216	89%
233	10°	15	12	248.226	98%	1.290,62	192	216	89%

234	15°	15	12	233.205	92%	1.261,72	185	216	86%
235	20°	15	12	222.469	88%	1.246,95	178	216	83%
236	25°	15	12	212.210	84%	1.209,79	175	216	81%
237	30°	15	12	199.272	79%	1.193,17	167	216	77%
238	35°	15	12	180.563	71%	1.173,02	154	216	71%
239	5°	18	12	290.900	100%	1.347,32	216	216	100%
240	10°	18	12	285.008	98%	1.328,90	214	216	99%
241	15°	18	12	274.413	94%	1.289,78	213	216	98%
242	20°	18	12	263.793	91%	1.272,15	207	216	96%
243	25°	18	12	254.126	87%	1.233,56	206	216	95%
244	30°	18	12	243.002	84%	1.212,77	200	216	93%
245	35°	18	12	227.975	78%	1.178,71	193	216	90%
246	5°	21	12	306.921	100%	1.420,93	216	216	100%
247	10°	21	12	302.432	99%	1.400,15	216	216	100%
248	15°	21	12	294.161	96%	1.361,86	216	216	100%
249	20°	21	12	288.232	94%	1.334,41	216	216	100%
250	25°	21	12	279.674	91%	1.298,03	215	216	100%
251	30°	21	12	271.840	89%	1.270,16	214	216	99%
252	35°	21	12	261.298	85%	1.226,58	213	216	99%
253	5°	24	12	318.139	100%	1.472,87	216	216	100%
254	10°	24	12	314.589	99%	1.456,43	216	216	100%
255	15°	24	12	306.741	96%	1.420,10	216	216	100%
256	20°	24	12	300.919	95%	1.393,15	216	216	100%
257	25°	24	12	293.787	92%	1.360,13	216	216	100%
258	30°	24	12	287.292	90%	1.330,06	216	216	100%
259	35°	24	12	277.509	87%	1.284,76	216	216	100%
260	5°	27	12	328.353	100%	1.520,15	216	216	100%
261	10°	27	12	325.335	99%	1.506,18	216	216	100%
262	15°	27	12	317.919	97%	1.471,85	216	216	100%
263	20°	27	12	312.356	95%	1.446,09	216	216	100%
264	25°	27	12	305.344	93%	1.413,63	216	216	100%
265	30°	27	12	298.731	91%	1.383,01	216	216	100%
266	35°	27	12	289.180	88%	1.338,79	216	216	100%
267	5°	30	12	333.839	100%	1.545,55	216	216	100%
268	10°	30	12	331.102	99%	1.532,88	216	216	100%
269	15°	30	12	323.846	97%	1.499,29	216	216	100%
270	20°	30	12	318.248	95%	1.473,37	216	216	100%
271	25°	30	12	311.833	93%	1.443,67	216	216	100%
272	30°	30	12	305.560	92%	1.414,63	216	216	100%
273	35°	30	12	296.053	89%	1.370,62	216	216	100%
274	5°	33	12	338.793	100%	1.568,49	216	216	100%
275	10°	33	12	336.098	99%	1.556,01	216	216	100%
276	15°	33	12	329.157	97%	1.523,88	216	216	100%
277	20°	33	12	323.692	96%	1.498,57	216	216	100%
278	25°	33	12	317.492	94%	1.469,87	216	216	100%
279	30°	33	12	311.309	92%	1.441,25	216	216	100%
280	35°	33	12	302.201	89%	1.399,08	216	216	100%
281	5°	6	15	112.446	100%	1.350,22	83	270	31%
282	10°	6	15	100.741	90%	1.309,18	77	270	28%
283	15°	6	15	102.655	91%	1.355,72	76	270	28%

284	20°	6	15	87.517	78%	1.315,26	67	270	25%
285	25°	6	15	78.671	70%	1.303,37	60	270	22%
286	30°	6	15	71.532	64%	1.265,61	57	270	21%
287	35°	6	15	62.311	55%	1.266,49	49	270	18%
288	5°	9	15	156.657	100%	1.328,72	118	270	44%
289	10°	9	15	149.253	95%	1.295,94	115	270	43%
290	15°	9	15	143.842	92%	1.341,18	107	270	40%
291	20°	9	15	130.711	83%	1.258,17	104	270	38%
292	25°	9	15	119.827	76%	1.262,80	95	270	35%
293	30°	9	15	110.801	71%	1.227,44	90	270	33%
294	35°	9	15	96.767	62%	1.224,12	79	270	29%
295	5°	12	15	201.524	100%	1.302,59	155	270	57%
296	10°	12	15	196.073	97%	1.277,01	154	270	57%
297	15°	12	15	188.617	94%	1.283,37	147	270	54%
298	20°	12	15	172.581	86%	1.226,06	141	270	52%
299	25°	12	15	163.428	81%	1.210,31	135	270	50%
300	30°	12	15	150.903	75%	1.192,82	127	270	47%
301	35°	12	15	134.189	67%	1.181,76	114	270	42%
302	5°	15	15	255.954	100%	1.293,48	198	270	73%
303	10°	15	15	246.791	96%	1.271,26	194	270	72%
304	15°	15	15	238.758	93%	1.269,52	188	270	70%
305	20°	15	15	221.512	87%	1.231,85	180	270	67%
306	25°	15	15	211.994	83%	1.204,85	176	270	65%
307	30°	15	15	199.269	78%	1.185,91	168	270	62%
308	35°	15	15	180.279	70%	1.173,46	154	270	57%
309	5°	18	15	311.045	100%	1.297,15	240	270	89%
310	10°	18	15	301.340	97%	1.266,35	238	270	88%
311	15°	18	15	292.157	94%	1.267,71	230	270	85%
312	20°	18	15	273.040	88%	1.233,41	221	270	82%
313	25°	18	15	263.643	85%	1.199,09	220	270	81%
314	30°	18	15	249.696	80%	1.179,59	212	270	78%
315	35°	18	15	230.303	74%	1.160,51	198	270	74%
316	5°	21	15	354.295	100%	1.330,39	266	270	99%
317	10°	21	15	344.786	97%	1.297,75	266	270	98%
318	15°	21	15	339.030	96%	1.289,33	263	270	97%
319	20°	21	15	324.026	91%	1.255,62	258	270	96%
320	25°	21	15	311.009	88%	1.225,41	254	270	94%
321	30°	21	15	298.288	84%	1.206,23	247	270	92%
322	35°	21	15	279.766	79%	1.176,87	238	270	88%
323	5°	24	15	375.528	100%	1.390,85	270	270	100%
324	10°	24	15	367.909	98%	1.362,63	270	270	100%
325	15°	24	15	364.413	97%	1.349,68	270	270	100%
326	20°	24	15	352.952	94%	1.309,85	269	270	100%
327	25°	24	15	343.017	91%	1.277,24	269	270	99%
328	30°	24	15	332.699	89%	1.251,97	266	270	98%
329	35°	24	15	317.295	84%	1.216,25	261	270	97%
330	5°	27	15	391.069	100%	1.448,40	270	270	100%
331	10°	27	15	384.394	98%	1.423,68	270	270	100%
332	15°	27	15	380.906	97%	1.410,76	270	270	100%
333	20°	27	15	370.288	95%	1.371,44	270	270	100%

334	25°	27	15	361.313	92%	1.338,20	270	270	100%
335	30°	27	15	353.171	90%	1.308,04	270	270	100%
336	35°	27	15	341.323	87%	1.267,54	269	270	100%
337	5°	30	15	400.649	100%	1.483,89	270	270	100%
338	10°	30	15	394.719	99%	1.461,92	270	270	100%
339	15°	30	15	390.956	98%	1.447,98	270	270	100%
340	20°	30	15	380.382	95%	1.408,82	270	270	100%
341	25°	30	15	372.065	93%	1.378,02	270	270	100%
342	30°	30	15	364.193	91%	1.348,86	270	270	100%
343	35°	30	15	352.565	88%	1.305,80	270	270	100%
344	5°	33	15	409.304	100%	1.515,94	270	270	100%
345	10°	33	15	403.279	99%	1.493,63	270	270	100%
346	15°	33	15	399.516	98%	1.479,69	270	270	100%
347	20°	33	15	389.501	95%	1.442,59	270	270	100%
348	25°	33	15	381.326	93%	1.412,32	270	270	100%
349	30°	33	15	373.271	91%	1.382,48	270	270	100%
350	35°	33	15	361.781	88%	1.339,93	270	270	100%
351	5°	6	18	111.453	100%	1.285,50	87	324	27%
352	10°	6	18	106.491	96%	1.323,03	80	324	25%
353	15°	6	18	98.339	88%	1.274,48	77	324	24%
354	20°	6	18	88.199	79%	1.310,14	67	324	21%
355	25°	6	18	78.671	71%	1.303,37	60	324	19%
356	30°	6	18	71.532	64%	1.265,61	57	324	17%
357	35°	6	18	62.311	56%	1.266,49	49	324	15%
358	5°	9	18	159.305	100%	1.316,68	121	324	37%
359	10°	9	18	150.674	95%	1.317,20	114	324	35%
360	15°	9	18	144.630	91%	1.283,55	113	324	35%
361	20°	9	18	135.633	85%	1.268,54	107	324	33%
362	25°	9	18	121.050	76%	1.262,52	96	324	30%
363	30°	9	18	110.614	69%	1.232,33	90	324	28%
364	35°	9	18	96.756	61%	1.225,38	79	324	24%
365	5°	12	18	202.784	100%	1.311,50	155	324	48%
366	10°	12	18	199.898	99%	1.271,86	157	324	49%
367	15°	12	18	191.102	94%	1.282,99	149	324	46%
368	20°	12	18	176.034	87%	1.268,99	139	324	43%
369	25°	12	18	163.664	81%	1.240,16	132	324	41%
370	30°	12	18	149.744	74%	1.217,43	123	324	38%
371	35°	12	18	133.108	66%	1.196,58	111	324	34%
372	5°	15	18	254.272	100%	1.297,37	196	324	60%
373	10°	15	18	248.358	98%	1.285,90	193	324	60%
374	15°	15	18	239.025	94%	1.279,92	187	324	58%
375	20°	15	18	223.989	88%	1.250,22	179	324	55%
376	25°	15	18	213.752	84%	1.227,19	174	324	54%
377	30°	15	18	200.772	79%	1.203,89	167	324	51%
378	35°	15	18	179.696	71%	1.191,54	151	324	47%
379	5°	18	18	314.208	100%	1.275,56	246	324	76%
380	10°	18	18	304.799	97%	1.263,21	241	324	74%
381	15°	18	18	293.374	93%	1.251,65	234	324	72%
382	20°	18	18	274.920	87%	1.231,06	223	324	69%
383	25°	18	18	266.581	85%	1.202,11	222	324	68%

384	30°	18	18	251.481	80%	1.184,67	212	324	66%
385	35°	18	18	230.564	73%	1.167,83	197	324	61%
386	5°	21	18	368.656	100%	1.290,95	286	324	88%
387	10°	21	18	360.275	98%	1.265,99	285	324	88%
388	15°	21	18	349.943	95%	1.252,79	279	324	86%
389	20°	21	18	334.044	91%	1.229,01	272	324	84%
390	25°	21	18	321.724	87%	1.203,61	267	324	83%
391	30°	21	18	308.429	84%	1.181,72	261	324	81%
392	35°	21	18	285.924	78%	1.161,58	246	324	76%
393	5°	24	18	416.013	100%	1.315,41	316	324	98%
394	10°	24	18	406.377	98%	1.291,56	315	324	97%
395	15°	24	18	398.168	96%	1.280,36	311	324	96%
396	20°	24	18	383.996	92%	1.252,43	307	324	95%
397	25°	24	18	370.987	89%	1.225,71	303	324	93%
398	30°	24	18	357.348	86%	1.204,65	297	324	92%
399	35°	24	18	336.594	81%	1.179,66	285	324	88%
400	5°	27	18	444.260	100%	1.371,17	324	324	100%
401	10°	27	18	437.608	99%	1.350,64	324	324	100%
402	15°	27	18	430.866	97%	1.330,20	324	324	100%
403	20°	27	18	419.706	94%	1.298,63	323	324	100%
404	25°	27	18	406.608	92%	1.272,28	320	324	99%
405	30°	27	18	394.261	89%	1.249,00	316	324	97%
406	35°	27	18	376.377	85%	1.217,34	309	324	95%
407	5°	30	18	459.055	100%	1.416,84	324	324	100%
408	10°	30	18	453.185	99%	1.398,72	324	324	100%
409	15°	30	18	446.071	97%	1.376,76	324	324	100%
410	20°	30	18	435.609	95%	1.344,47	324	324	100%
411	25°	30	18	424.856	93%	1.311,28	324	324	100%
412	30°	30	18	415.248	90%	1.282,82	324	324	100%
413	35°	30	18	401.250	87%	1.244,42	322	324	100%
414	5°	33	18	471.538	100%	1.455,36	324	324	100%
415	10°	33	18	465.889	99%	1.437,93	324	324	100%
416	15°	33	18	458.685	97%	1.415,70	324	324	100%
417	20°	33	18	448.794	95%	1.385,17	324	324	100%
418	25°	33	18	438.381	93%	1.353,03	324	324	100%
419	30°	33	18	428.961	91%	1.323,95	324	324	100%
420	35°	33	18	415.741	88%	1.283,15	324	324	100%

PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO NORTE

n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	58.891	93%	1.284,71	46	54	85%
2	10°	6	3	63.468	100%	1.384,55	46	54	85%
3	15°	6	3	61.950	98%	1.358,56	46	54	84%

4	20°	6	3	61.588	97%	1.368,62	45	54	83%
5	25°	6	3	61.832	97%	1.296,27	48	54	88%
6	30°	6	3	62.837	99%	1.337,52	47	54	87%
7	35°	6	3	57.974	91%	1.334,59	43	54	80%
8	5°	9	3	72.599	93%	1.344,42	54	54	100%
9	10°	9	3	77.021	99%	1.426,31	54	54	100%
10	15°	9	3	76.264	98%	1.412,30	54	54	100%
11	20°	9	3	77.148	99%	1.428,67	54	54	100%
12	25°	9	3	75.669	97%	1.401,27	54	54	100%
13	30°	9	3	77.751	100%	1.439,83	54	54	100%
14	35°	9	3	75.646	97%	1.400,85	54	54	100%
15	5°	12	3	75.203	92%	1.392,65	54	54	100%
16	10°	12	3	79.787	98%	1.477,53	54	54	100%
17	15°	12	3	79.567	97%	1.473,46	54	54	100%
18	20°	12	3	80.795	99%	1.496,21	54	54	100%
19	25°	12	3	80.122	98%	1.483,74	54	54	100%
20	30°	12	3	81.816	100%	1.515,11	54	54	100%
21	35°	12	3	80.032	98%	1.482,07	54	54	100%
22	5°	15	3	76.961	91%	1.425,21	54	54	100%
23	10°	15	3	81.646	96%	1.511,96	54	54	100%
24	15°	15	3	81.913	96%	1.516,91	54	54	100%
25	20°	15	3	83.459	98%	1.545,55	54	54	100%
26	25°	15	3	83.391	98%	1.544,28	54	54	100%
27	30°	15	3	84.936	100%	1.572,88	54	54	100%
28	35°	15	3	83.305	98%	1.542,68	54	54	100%
29	5°	18	3	77.278	90%	1.431,08	54	54	100%
30	10°	18	3	81.951	96%	1.517,60	54	54	100%
31	15°	18	3	82.282	96%	1.523,74	54	54	100%
32	20°	18	3	83.882	98%	1.553,36	54	54	100%
33	25°	18	3	83.917	98%	1.554,03	54	54	100%
34	30°	18	3	85.585	100%	1.584,91	54	54	100%
35	35°	18	3	84.146	98%	1.558,27	54	54	100%
36	5°	21	3	77.619	90%	1.437,39	54	54	100%
37	10°	21	3	82.257	96%	1.523,28	54	54	100%
38	15°	21	3	82.656	96%	1.530,67	54	54	100%
39	20°	21	3	84.282	98%	1.560,77	54	54	100%
40	25°	21	3	84.404	98%	1.563,05	54	54	100%
41	30°	21	3	86.058	100%	1.593,67	54	54	100%
42	35°	21	3	84.645	98%	1.567,50	54	54	100%
43	5°	24	3	78.101	90%	1.446,30	54	54	100%
44	10°	24	3	82.789	95%	1.533,12	54	54	100%
45	15°	24	3	83.361	96%	1.543,73	54	54	100%
46	20°	24	3	85.055	98%	1.575,10	54	54	100%
47	25°	24	3	85.344	98%	1.580,44	54	54	100%
48	30°	24	3	86.947	100%	1.610,13	54	54	100%
49	35°	24	3	85.569	98%	1.584,62	54	54	100%
50	5°	27	3	78.238	89%	1.448,84	54	54	100%
51	10°	27	3	82.981	95%	1.536,69	54	54	100%
52	15°	27	3	83.627	96%	1.548,66	54	54	100%
53	20°	27	3	85.434	98%	1.582,10	54	54	100%

54	25°	27	3	85.836	98%	1.589,56	54	54	100%
55	30°	27	3	87.530	100%	1.620,93	54	54	100%
56	35°	27	3	86.269	99%	1.597,58	54	54	100%
57	5°	30	3	78.328	89%	1.450,51	54	54	100%
58	10°	30	3	83.077	95%	1.538,46	54	54	100%
59	15°	30	3	83.764	95%	1.551,19	54	54	100%
60	20°	30	3	85.603	98%	1.585,25	54	54	100%
61	25°	30	3	86.066	98%	1.593,81	54	54	100%
62	30°	30	3	87.791	100%	1.625,75	54	54	100%
63	35°	30	3	86.568	99%	1.603,12	54	54	100%
64	5°	33	3	78.405	89%	1.451,94	54	54	100%
65	10°	33	3	83.145	95%	1.539,73	54	54	100%
66	15°	33	3	83.857	95%	1.552,90	54	54	100%
67	20°	33	3	85.720	97%	1.587,41	54	54	100%
68	25°	33	3	86.214	98%	1.596,55	54	54	100%
69	30°	33	3	87.958	100%	1.628,85	54	54	100%
70	35°	33	3	86.748	99%	1.606,45	54	54	100%
71	5°	6	6	58.952	90%	1.292,80	46	108	42%
72	10°	6	6	62.107	95%	1.323,68	47	108	43%
73	15°	6	6	63.387	97%	1.340,68	47	108	44%
74	20°	6	6	63.246	97%	1.346,24	47	108	43%
75	25°	6	6	65.201	100%	1.329,28	49	108	45%
76	30°	6	6	64.038	98%	1.322,55	48	108	45%
77	35°	6	6	57.718	89%	1.336,07	43	108	40%
78	5°	9	6	90.310	89%	1.216,78	74	108	69%
79	10°	9	6	92.594	92%	1.243,54	74	108	69%
80	15°	9	6	97.999	97%	1.262,22	78	108	72%
81	20°	9	6	100.423	99%	1.266,52	79	108	73%
82	25°	9	6	100.887	100%	1.307,51	77	108	71%
83	30°	9	6	101.173	100%	1.274,53	79	108	73%
84	35°	9	6	91.092	90%	1.277,94	71	108	66%
85	5°	12	6	114.651	89%	1.209,39	95	108	88%
86	10°	12	6	118.754	93%	1.237,02	96	108	89%
87	15°	12	6	122.485	95%	1.274,29	96	108	89%
88	20°	12	6	126.072	98%	1.280,44	98	108	91%
89	25°	12	6	128.376	100%	1.307,83	98	108	91%
90	30°	12	6	128.368	100%	1.290,78	99	108	92%
91	35°	12	6	120.065	94%	1.266,51	95	108	88%
92	5°	15	6	130.736	90%	1.246,53	105	108	97%
93	10°	15	6	135.628	93%	1.284,36	106	108	98%
94	15°	15	6	139.396	96%	1.320,04	106	108	98%
95	20°	15	6	142.512	98%	1.339,65	106	108	98%
96	25°	15	6	145.410	100%	1.366,89	106	108	98%
97	30°	15	6	145.026	100%	1.362,13	106	108	99%
98	35°	15	6	140.270	96%	1.325,31	106	108	98%
99	5°	18	6	138.758	91%	1.284,79	108	108	100%
100	10°	18	6	143.074	94%	1.324,76	108	108	100%
101	15°	18	6	146.996	96%	1.361,08	108	108	100%
102	20°	18	6	150.026	98%	1.389,13	108	108	100%
103	25°	18	6	152.683	100%	1.413,73	108	108	100%

104	30°	18	6	152.877	100%	1.415,52	108	108	100%
105	35°	18	6	149.175	98%	1.381,25	108	108	100%
106	5°	21	6	142.230	90%	1.316,95	108	108	100%
107	10°	21	6	147.209	93%	1.363,04	108	108	100%
108	15°	21	6	151.309	96%	1.401,01	108	108	100%
109	20°	21	6	154.506	98%	1.430,61	108	108	100%
110	25°	21	6	157.351	100%	1.456,95	108	108	100%
111	30°	21	6	157.816	100%	1.461,26	108	108	100%
112	35°	21	6	154.187	98%	1.427,65	108	108	100%
113	5°	24	6	144.566	90%	1.338,58	108	108	100%
114	10°	24	6	149.511	93%	1.384,36	108	108	100%
115	15°	24	6	153.865	96%	1.424,68	108	108	100%
116	20°	24	6	157.213	98%	1.455,68	108	108	100%
117	25°	24	6	160.079	99%	1.482,22	108	108	100%
118	30°	24	6	161.012	100%	1.490,86	108	108	100%
119	35°	24	6	157.578	98%	1.459,06	108	108	100%
120	5°	27	6	146.022	89%	1.352,05	108	108	100%
121	10°	27	6	151.102	92%	1.399,10	108	108	100%
122	15°	27	6	155.646	95%	1.441,17	108	108	100%
123	20°	27	6	159.222	97%	1.474,28	108	108	100%
124	25°	27	6	162.123	99%	1.501,14	108	108	100%
125	30°	27	6	163.410	100%	1.513,06	108	108	100%
126	35°	27	6	160.227	98%	1.483,59	108	108	100%
127	5°	30	6	147.258	89%	1.363,50	108	108	100%
128	10°	30	6	152.463	92%	1.411,70	108	108	100%
129	15°	30	6	157.139	95%	1.454,99	108	108	100%
130	20°	30	6	160.825	97%	1.489,12	108	108	100%
131	25°	30	6	163.845	99%	1.517,09	108	108	100%
132	30°	30	6	165.251	100%	1.530,10	108	108	100%
133	35°	30	6	162.202	98%	1.501,87	108	108	100%
134	5°	33	6	148.362	89%	1.373,72	108	108	100%
135	10°	33	6	153.724	92%	1.423,37	108	108	100%
136	15°	33	6	158.487	95%	1.467,47	108	108	100%
137	20°	33	6	162.353	97%	1.503,27	108	108	100%
138	25°	33	6	165.484	99%	1.532,26	108	108	100%
139	30°	33	6	167.050	100%	1.546,76	108	108	100%
140	35°	33	6	164.097	98%	1.519,42	108	108	100%
141	5°	6	9	61.777	94%	1.300,03	48	162	29%
142	10°	6	9	62.803	96%	1.321,60	48	162	29%
143	15°	6	9	63.387	97%	1.340,68	47	162	29%
144	20°	6	9	63.246	96%	1.346,24	47	162	29%
145	25°	6	9	65.669	100%	1.319,46	50	162	31%
146	30°	6	9	64.037	98%	1.322,53	48	162	30%
147	35°	6	9	57.716	88%	1.336,01	43	162	27%
148	5°	9	9	92.355	90%	1.238,34	75	162	46%
149	10°	9	9	95.603	93%	1.254,63	76	162	47%
150	15°	9	9	97.997	96%	1.262,20	78	162	48%
151	20°	9	9	100.344	98%	1.266,97	79	162	49%
152	25°	9	9	102.537	100%	1.275,82	80	162	50%
153	30°	9	9	100.846	98%	1.276,21	79	162	49%

154	35°	9	9	90.865	89%	1.279,07	71	162	44%
155	5°	12	9	121.572	88%	1.195,39	102	162	63%
156	10°	12	9	126.643	92%	1.217,95	104	162	64%
157	15°	12	9	131.115	95%	1.234,61	106	162	66%
158	20°	12	9	134.498	97%	1.240,19	108	162	67%
159	25°	12	9	136.933	99%	1.267,20	108	162	67%
160	30°	12	9	137.963	100%	1.244,26	111	162	68%
161	35°	12	9	124.875	91%	1.238,84	101	162	62%
162	5°	15	9	153.478	86%	1.179,87	130	162	80%
163	10°	15	9	159.858	89%	1.208,30	132	162	82%
164	15°	15	9	165.858	93%	1.232,96	135	162	83%
165	20°	15	9	174.403	98%	1.230,36	142	162	87%
166	25°	15	9	174.808	98%	1.273,65	137	162	85%
167	30°	15	9	178.771	100%	1.245,36	144	162	89%
168	35°	15	9	163.475	91%	1.236,20	132	162	82%
169	5°	18	9	174.167	88%	1.193,58	146	162	90%
170	10°	18	9	182.536	92%	1.221,79	149	162	92%
171	15°	18	9	187.701	95%	1.255,36	150	162	92%
172	20°	18	9	193.870	98%	1.270,86	153	162	94%
173	25°	18	9	198.373	100%	1.302,68	152	162	94%
174	30°	18	9	198.119	100%	1.291,10	153	162	95%
175	35°	18	9	190.871	96%	1.253,42	152	162	94%
176	5°	21	9	190.461	89%	1.217,63	156	162	97%
177	10°	21	9	198.230	93%	1.249,56	159	162	98%
178	15°	21	9	204.338	96%	1.284,17	159	162	98%
179	20°	21	9	209.037	98%	1.307,79	160	162	99%
180	25°	21	9	213.839	100%	1.340,85	159	162	98%
181	30°	21	9	213.320	100%	1.334,59	160	162	99%
182	35°	21	9	207.133	97%	1.297,83	160	162	99%
183	5°	24	9	200.095	90%	1.248,09	160	162	99%
184	10°	24	9	207.477	93%	1.288,36	161	162	99%
185	15°	24	9	213.435	96%	1.325,35	161	162	99%
186	20°	24	9	218.226	98%	1.353,09	161	162	100%
187	25°	24	9	223.012	100%	1.382,76	161	162	100%
188	30°	24	9	223.306	100%	1.384,59	161	162	100%
189	35°	24	9	218.044	98%	1.345,95	162	162	100%
190	5°	27	9	206.542	90%	1.274,95	162	162	100%
191	10°	27	9	213.691	93%	1.319,08	162	162	100%
192	15°	27	9	219.883	95%	1.357,30	162	162	100%
193	20°	27	9	224.971	98%	1.388,71	162	162	100%
194	25°	27	9	229.870	100%	1.418,95	162	162	100%
195	30°	27	9	230.591	100%	1.423,40	162	162	100%
196	35°	27	9	225.410	98%	1.391,42	162	162	100%
197	5°	30	9	210.595	89%	1.299,97	162	162	100%
198	10°	30	9	217.680	92%	1.343,70	162	162	100%
199	15°	30	9	224.216	95%	1.384,05	162	162	100%
200	20°	30	9	229.552	97%	1.416,99	162	162	100%
201	25°	30	9	234.573	99%	1.447,98	162	162	100%
202	30°	30	9	235.953	100%	1.456,50	162	162	100%
203	35°	30	9	230.961	98%	1.425,68	162	162	100%

204	5°	33	9	213.905	89%	1.320,40	162	162	100%
205	10°	33	9	221.330	92%	1.366,23	162	162	100%
206	15°	33	9	228.106	95%	1.408,06	162	162	100%
207	20°	33	9	233.799	97%	1.443,21	162	162	100%
208	25°	33	9	239.112	99%	1.476,00	162	162	100%
209	30°	33	9	240.724	100%	1.485,95	162	162	100%
210	35°	33	9	235.843	98%	1.455,82	162	162	100%
211	5°	6	12	57.684	91%	1.265,00	46	216	21%
212	10°	6	12	59.935	95%	1.314,38	46	216	21%
213	15°	6	12	63.387	100%	1.340,68	47	216	22%
214	20°	6	12	62.816	99%	1.326,91	47	216	22%
215	25°	6	12	62.639	99%	1.321,50	47	216	22%
216	30°	6	12	60.714	96%	1.321,03	46	216	21%
217	35°	6	12	57.716	91%	1.336,01	43	216	20%
218	5°	9	12	91.514	93%	1.220,19	75	216	35%
219	10°	9	12	94.181	95%	1.235,97	76	216	35%
220	15°	9	12	97.997	99%	1.262,20	78	216	36%
221	20°	9	12	97.396	99%	1.229,74	79	216	37%
222	25°	9	12	98.840	100%	1.229,82	80	216	37%
223	30°	9	12	98.226	99%	1.243,06	79	216	37%
224	35°	9	12	90.861	92%	1.279,01	71	216	33%
225	5°	12	12	124.265	92%	1.195,77	104	216	48%
226	10°	12	12	128.224	95%	1.214,24	106	216	49%
227	15°	12	12	131.115	97%	1.234,60	106	216	49%
228	20°	12	12	130.137	97%	1.199,97	108	216	50%
229	25°	12	12	134.609	100%	1.198,44	112	216	52%
230	30°	12	12	134.272	100%	1.211,95	111	216	51%
231	35°	12	12	124.846	93%	1.238,55	101	216	47%
232	5°	15	12	159.173	90%	1.183,53	134	216	62%
233	10°	15	12	164.787	93%	1.204,06	137	216	63%
234	15°	15	12	170.245	96%	1.217,77	140	216	65%
235	20°	15	12	173.296	97%	1.179,13	147	216	68%
236	25°	15	12	175.787	99%	1.201,47	146	216	68%
237	30°	15	12	177.798	100%	1.205,33	148	216	68%
238	35°	15	12	164.468	93%	1.230,31	134	216	62%
239	5°	18	12	191.844	88%	1.173,79	163	216	76%
240	10°	18	12	199.877	92%	1.192,73	168	216	78%
241	15°	18	12	206.206	95%	1.210,98	170	216	79%
242	20°	18	12	210.456	97%	1.183,40	178	216	82%
243	25°	18	12	212.577	98%	1.215,21	175	216	81%
244	30°	18	12	216.992	100%	1.206,11	180	216	83%
245	35°	18	12	206.586	95%	1.209,80	171	216	79%
246	5°	21	12	217.266	88%	1.177,02	185	216	85%
247	10°	21	12	227.141	92%	1.200,09	189	216	88%
248	15°	21	12	235.227	96%	1.222,09	192	216	89%
249	20°	21	12	239.661	97%	1.206,57	199	216	92%
250	25°	21	12	242.843	99%	1.238,11	196	216	91%
251	30°	21	12	245.909	100%	1.235,23	199	216	92%
252	35°	21	12	235.885	96%	1.230,88	192	216	89%
253	5°	24	12	239.432	89%	1.191,56	201	216	93%

254	10°	24	12	249.902	93%	1.221,42	205	216	95%
255	15°	24	12	257.731	96%	1.250,15	206	216	95%
256	20°	24	12	260.659	97%	1.248,37	209	216	97%
257	25°	24	12	266.537	99%	1.277,25	209	216	97%
258	30°	24	12	268.410	100%	1.279,97	210	216	97%
259	35°	24	12	264.725	99%	1.257,00	211	216	98%
260	5°	27	12	255.439	90%	1.212,56	211	216	98%
261	10°	27	12	264.712	93%	1.247,70	212	216	98%
262	15°	27	12	272.989	96%	1.281,64	213	216	99%
263	20°	27	12	275.864	97%	1.287,34	214	216	99%
264	25°	27	12	282.186	99%	1.314,81	215	216	99%
265	30°	27	12	284.024	100%	1.321,53	215	216	100%
266	35°	27	12	280.742	99%	1.301,18	216	216	100%
267	5°	30	12	265.471	90%	1.231,77	216	216	100%
268	10°	30	12	274.748	93%	1.273,40	216	216	100%
269	15°	30	12	282.975	96%	1.310,07	216	216	100%
270	20°	30	12	285.877	97%	1.323,50	216	216	100%
271	25°	30	12	292.544	99%	1.354,37	216	216	100%
272	30°	30	12	294.532	100%	1.363,57	216	216	100%
273	35°	30	12	290.615	99%	1.345,44	216	216	100%
274	5°	33	12	272.023	90%	1.259,36	216	216	100%
275	10°	33	12	281.238	93%	1.302,03	216	216	100%
276	15°	33	12	289.857	96%	1.341,93	216	216	100%
277	20°	33	12	293.686	97%	1.359,66	216	216	100%
278	25°	33	12	300.568	99%	1.391,52	216	216	100%
279	30°	33	12	302.945	100%	1.402,52	216	216	100%
280	35°	33	12	299.009	99%	1.384,30	216	216	100%
281	5°	6	15	61.777	94%	1.300,03	48	270	18%
282	10°	6	15	61.455	94%	1.293,24	48	270	18%
283	15°	6	15	65.586	100%	1.387,18	47	270	18%
284	20°	6	15	62.584	95%	1.340,71	47	270	17%
285	25°	6	15	62.998	96%	1.284,36	49	270	18%
286	30°	6	15	62.373	95%	1.378,72	45	270	17%
287	35°	6	15	57.716	88%	1.336,01	43	270	16%
288	5°	9	15	90.908	90%	1.231,81	74	270	27%
289	10°	9	15	94.844	94%	1.253,06	76	270	28%
290	15°	9	15	100.844	100%	1.298,87	78	270	29%
291	20°	9	15	97.483	97%	1.275,29	76	270	28%
292	25°	9	15	95.424	95%	1.276,40	75	270	28%
293	30°	9	15	97.554	97%	1.289,88	76	270	28%
294	35°	9	15	90.861	90%	1.279,01	71	270	26%
295	5°	12	15	120.855	90%	1.181,37	102	270	38%
296	10°	12	15	126.343	94%	1.217,18	104	270	38%
297	15°	12	15	134.215	100%	1.263,79	106	270	39%
298	20°	12	15	130.394	97%	1.228,86	106	270	39%
299	25°	12	15	133.620	100%	1.222,28	109	270	40%
300	30°	12	15	132.927	99%	1.236,65	107	270	40%
301	35°	12	15	124.840	93%	1.238,50	101	270	37%
302	5°	15	15	157.859	89%	1.163,12	136	270	50%
303	10°	15	15	164.514	92%	1.195,77	138	270	51%

304	15°	15	15	173.516	97%	1.241,17	140	270	52%
305	20°	15	15	172.843	97%	1.182,32	146	270	54%
306	25°	15	15	178.072	100%	1.196,00	149	270	55%
307	30°	15	15	177.094	99%	1.208,42	147	270	54%
308	35°	15	15	164.439	92%	1.230,10	134	270	50%
309	5°	18	15	195.598	90%	1.152,13	170	270	63%
310	10°	18	15	202.983	93%	1.182,89	172	270	64%
311	15°	18	15	212.150	97%	1.223,47	173	270	64%
312	20°	18	15	210.328	97%	1.170,83	180	270	67%
313	25°	18	15	216.181	99%	1.193,45	181	270	67%
314	30°	18	15	217.625	100%	1.197,06	182	270	67%
315	35°	18	15	205.318	94%	1.211,75	169	270	63%
316	5°	21	15	228.493	88%	1.155,23	198	270	73%
317	10°	21	15	242.399	93%	1.175,44	206	270	76%
318	15°	21	15	253.751	97%	1.209,03	210	270	78%
319	20°	21	15	251.451	96%	1.164,61	216	270	80%
320	25°	21	15	258.307	99%	1.191,07	217	270	80%
321	30°	21	15	260.886	100%	1.191,43	219	270	81%
322	35°	21	15	247.386	95%	1.203,47	206	270	76%
323	5°	24	15	261.069	87%	1.164,19	224	270	83%
324	10°	24	15	274.957	92%	1.188,44	231	270	86%
325	15°	24	15	287.692	96%	1.224,43	235	270	87%
326	20°	24	15	288.384	96%	1.186,76	243	270	90%
327	25°	24	15	293.697	98%	1.221,14	241	270	89%
328	30°	24	15	299.075	100%	1.216,79	246	270	91%
329	35°	24	15	288.138	96%	1.215,77	237	270	88%
330	5°	27	15	286.870	88%	1.175,46	244	270	90%
331	10°	27	15	300.316	92%	1.207,11	249	270	92%
332	15°	27	15	312.159	96%	1.249,44	250	270	93%
333	20°	27	15	314.268	96%	1.220,93	257	270	95%
334	25°	27	15	321.266	99%	1.252,21	257	270	95%
335	30°	27	15	325.850	100%	1.255,39	260	270	96%
336	35°	27	15	322.181	99%	1.239,54	260	270	96%
337	5°	30	15	306.341	88%	1.190,97	257	270	95%
338	10°	30	15	321.354	92%	1.223,65	263	270	97%
339	15°	30	15	336.120	97%	1.262,85	266	270	99%
340	20°	30	15	335.148	96%	1.250,88	268	270	99%
341	25°	30	15	344.731	99%	1.283,34	269	270	99%
342	30°	30	15	347.478	100%	1.291,26	269	270	100%
343	35°	30	15	344.536	99%	1.276,06	270	270	100%
344	5°	33	15	323.941	90%	1.207,70	268	270	99%
345	10°	33	15	336.543	93%	1.249,79	269	270	100%
346	15°	33	15	349.603	97%	1.294,82	270	270	100%
347	20°	33	15	348.934	97%	1.292,35	270	270	100%
348	25°	33	15	357.891	99%	1.325,52	270	270	100%
349	30°	33	15	361.116	100%	1.337,47	270	270	100%
350	35°	33	15	357.328	99%	1.323,44	270	270	100%
351	5°	6	18	61.777	94%	1.300,03	48	324	15%
352	10°	6	18	62.803	96%	1.321,60	48	324	15%
353	15°	6	18	59.635	91%	1.335,91	45	324	14%

354	20°	6	18	62.584	96%	1.340,71	47	324	14%
355	25°	6	18	65.439	100%	1.334,13	49	324	15%
356	30°	6	18	60.436	92%	1.314,97	46	324	14%
357	35°	6	18	57.716	88%	1.336,01	43	324	13%
358	5°	9	18	92.875	94%	1.238,34	75	324	23%
359	10°	9	18	94.203	95%	1.247,56	76	324	23%
360	15°	9	18	93.684	94%	1.230,42	76	324	24%
361	20°	9	18	97.483	98%	1.275,29	76	324	24%
362	25°	9	18	99.174	100%	1.299,45	76	324	24%
363	30°	9	18	93.852	95%	1.256,38	75	324	23%
364	35°	9	18	90.861	92%	1.279,01	71	324	22%
365	5°	12	18	123.589	92%	1.198,96	103	324	32%
366	10°	12	18	126.826	94%	1.202,03	106	324	33%
367	15°	12	18	129.220	96%	1.216,76	106	324	33%
368	20°	12	18	131.140	97%	1.244,68	105	324	33%
369	25°	12	18	134.899	100%	1.263,10	107	324	33%
370	30°	12	18	128.289	95%	1.234,85	104	324	32%
371	35°	12	18	124.840	93%	1.238,49	101	324	31%
372	5°	15	18	157.015	89%	1.177,99	133	324	41%
373	10°	15	18	162.492	92%	1.192,78	136	324	42%
374	15°	15	18	169.760	96%	1.214,31	140	324	43%
375	20°	15	18	170.321	97%	1.221,20	139	324	43%
376	25°	15	18	176.400	100%	1.247,88	141	324	44%
377	30°	15	18	169.870	96%	1.218,49	139	324	43%
378	35°	15	18	164.436	93%	1.230,07	134	324	41%
379	5°	18	18	192.652	88%	1.159,79	166	324	51%
380	10°	18	18	201.184	92%	1.181,28	170	324	53%
381	15°	18	18	208.940	95%	1.204,96	173	324	54%
382	20°	18	18	210.472	96%	1.186,90	177	324	55%
383	25°	18	18	219.184	100%	1.217,28	180	324	56%
384	30°	18	18	212.303	97%	1.190,77	178	324	55%
385	35°	18	18	205.290	94%	1.211,58	169	324	52%
386	5°	21	18	230.385	86%	1.144,65	201	324	62%
387	10°	21	18	242.231	91%	1.166,98	208	324	64%
388	15°	21	18	253.801	95%	1.190,21	213	324	66%
389	20°	21	18	254.217	95%	1.165,28	218	324	67%
390	25°	21	18	267.057	100%	1.195,53	223	324	69%
391	30°	21	18	259.692	97%	1.174,39	221	324	68%
392	35°	21	18	244.133	91%	1.210,26	202	324	62%
393	5°	24	18	274.089	87%	1.137,91	241	324	74%
394	10°	24	18	288.973	91%	1.160,96	249	324	77%
395	15°	24	18	300.970	95%	1.188,10	253	324	78%
396	20°	24	18	300.110	95%	1.162,54	258	324	80%
397	25°	24	18	315.984	100%	1.196,23	264	324	82%
398	30°	24	18	313.683	99%	1.167,10	269	324	83%
399	35°	24	18	301.059	95%	1.191,27	253	324	78%
400	5°	27	18	307.138	88%	1.152,14	267	324	82%
401	10°	27	18	323.291	92%	1.177,23	275	324	85%
402	15°	27	18	333.858	95%	1.208,58	276	324	85%
403	20°	27	18	339.812	97%	1.177,70	289	324	89%

404	25°	27	18	350.981	100%	1.222,76	287	324	89%
405	30°	27	18	350.588	100%	1.198,59	292	324	90%
406	35°	27	18	345.065	98%	1.206,69	286	324	88%
407	5°	30	18	334.727	88%	1.161,52	288	324	89%
408	10°	30	18	352.532	92%	1.189,38	296	324	91%
409	15°	30	18	367.619	96%	1.216,64	302	324	93%
410	20°	30	18	370.050	97%	1.200,84	308	324	95%
411	25°	30	18	381.744	100%	1.246,55	306	324	95%
412	30°	30	18	381.072	100%	1.230,85	310	324	96%
413	35°	30	18	378.352	99%	1.232,10	307	324	95%
414	5°	33	18	362.010	89%	1.176,23	308	324	95%
415	10°	33	18	377.955	93%	1.210,93	312	324	96%
416	15°	33	18	391.240	96%	1.244,40	314	324	97%
417	20°	33	18	393.610	97%	1.238,59	318	324	98%
418	25°	33	18	407.129	100%	1.282,70	317	324	98%
419	30°	33	18	405.411	100%	1.272,48	319	324	98%
420	35°	33	18	407.055	100%	1.267,61	321	324	99%

PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO SUL									
n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	65.241	100%	1.208,17	54	54	100%
2	10°	6	3	62.116	95%	1.202,40	52	54	96%
3	15°	6	3	55.639	85%	1.103,95	50	54	93%
4	20°	6	3	48.755	75%	1.053,93	46	54	86%
5	25°	6	3	39.009	60%	1.052,03	37	54	69%
6	30°	6	3	27.589	42%	1.061,93	26	54	48%
7	35°	6	3	19.686	30%	1.018,94	19	54	36%
8	5°	9	3	68.076	100%	1.260,66	54	54	100%
9	10°	9	3	66.551	98%	1.232,43	54	54	100%
10	15°	9	3	60.156	88%	1.136,74	53	54	98%
11	20°	9	3	55.332	81%	1.071,08	52	54	96%
12	25°	9	3	46.990	69%	1.044,21	45	54	83%
13	30°	9	3	34.956	51%	1.023,90	34	54	63%
14	35°	9	3	23.085	34%	1.001,93	23	54	43%
15	5°	12	3	69.298	100%	1.283,30	54	54	100%
16	10°	12	3	67.755	98%	1.254,72	54	54	100%
17	15°	12	3	62.278	90%	1.153,29	54	54	100%
18	20°	12	3	57.557	83%	1.087,62	53	54	98%
19	25°	12	3	50.038	72%	1.052,99	48	54	88%
20	30°	12	3	39.031	56%	1.020,42	38	54	71%
21	35°	12	3	27.203	39%	985,62	28	54	51%
22	5°	15	3	70.146	100%	1.299,00	54	54	100%
23	6°	15	3	68.591	98%	1.270,21	54	54	100%

24	15°	15	3	63.283	90%	1.171,91	54	54	100%
25	20°	15	3	59.490	85%	1.101,66	54	54	100%
26	25°	15	3	53.480	76%	1.057,33	51	54	94%
27	30°	15	3	44.005	63%	1.013,00	43	54	80%
28	35°	15	3	31.603	45%	975,40	32	54	60%
29	5°	18	3	70.483	100%	1.305,24	54	54	100%
30	10°	18	3	68.860	98%	1.275,19	54	54	100%
31	15°	18	3	63.568	90%	1.177,18	54	54	100%
32	20°	18	3	59.794	85%	1.107,29	54	54	100%
33	25°	18	3	54.634	78%	1.057,57	52	54	96%
34	30°	18	3	46.591	66%	1.005,86	46	54	86%
35	35°	18	3	33.546	48%	970,66	35	54	64%
36	5°	21	3	70.813	100%	1.311,35	54	54	100%
37	10°	21	3	69.160	98%	1.280,74	54	54	100%
38	15°	21	3	63.882	90%	1.182,99	54	54	100%
39	20°	21	3	60.131	85%	1.113,54	54	54	100%
40	25°	21	3	55.945	79%	1.057,16	53	54	98%
41	30°	21	3	46.887	66%	1.012,25	46	54	86%
42	35°	21	3	34.532	49%	972,19	36	54	66%
43	5°	24	3	71.219	100%	1.318,86	54	54	100%
44	10°	24	3	69.613	98%	1.289,13	54	54	100%
45	15°	24	3	64.450	90%	1.193,52	54	54	100%
46	20°	24	3	60.782	85%	1.125,59	54	54	100%
47	25°	24	3	56.603	79%	1.069,60	53	54	98%
48	30°	24	3	48.284	68%	1.019,95	47	54	88%
49	35°	24	3	35.395	50%	979,94	36	54	67%
50	5°	27	3	71.354	100%	1.321,38	54	54	100%
51	10°	27	3	69.748	98%	1.291,63	54	54	100%
52	15°	27	3	64.685	91%	1.197,87	54	54	100%
53	20°	27	3	61.075	86%	1.131,02	54	54	100%
54	25°	27	3	57.801	81%	1.070,38	54	54	100%
55	30°	27	3	49.048	69%	1.025,67	48	54	89%
56	35°	27	3	36.424	51%	982,32	37	54	69%
57	5°	30	3	71.424	100%	1.322,66	54	54	100%
58	10°	30	3	69.825	98%	1.293,06	54	54	100%
59	15°	30	3	64.792	91%	1.199,85	54	54	100%
60	20°	30	3	61.209	86%	1.133,51	54	54	100%
61	25°	30	3	57.972	81%	1.073,56	54	54	100%
62	30°	30	3	49.783	70%	1.025,60	49	54	90%
63	35°	30	3	37.433	52%	980,95	38	54	71%
64	5°	33	3	71.497	100%	1.324,02	54	54	100%
65	10°	33	3	69.884	98%	1.294,15	54	54	100%
66	15°	33	3	64.869	91%	1.201,29	54	54	100%
67	20°	33	3	61.305	86%	1.135,28	54	54	100%
68	25°	33	3	58.083	81%	1.075,61	54	54	100%
69	30°	33	3	49.893	70%	1.027,88	49	54	90%
70	35°	33	3	37.916	53%	981,25	39	54	72%
71	5°	6	6	86.253	100%	1.165,90	74	108	68%
72	10°	6	6	78.122	91%	1.118,58	70	108	65%
73	15°	6	6	65.861	76%	1.100,98	60	108	55%

74	20°	6	6	55.440	64%	1.060,25	52	108	48%
75	25°	6	6	39.000	45%	1.051,78	37	108	34%
76	30°	6	6	27.750	32%	1.041,67	27	108	25%
77	35°	6	6	20.432	24%	1.008,98	20	108	19%
78	5°	9	6	110.662	100%	1.152,37	96	108	89%
79	10°	9	6	102.213	92%	1.106,92	92	108	86%
80	15°	9	6	87.578	79%	1.080,00	81	108	75%
81	20°	9	6	72.437	65%	1.044,36	69	108	64%
82	25°	9	6	53.574	48%	1.012,36	53	108	49%
83	30°	9	6	37.616	34%	995,14	38	108	35%
84	35°	9	6	25.372	23%	982,26	26	108	24%
85	5°	12	6	122.380	100%	1.168,19	105	108	97%
86	10°	12	6	115.227	94%	1.122,09	103	108	95%
87	15°	12	6	103.010	84%	1.078,75	95	108	88%
88	20°	12	6	89.307	73%	1.030,07	87	108	80%
89	25°	12	6	66.662	54%	995,56	67	108	62%
90	30°	12	6	46.427	38%	977,62	47	108	44%
91	35°	12	6	29.825	24%	970,87	31	108	28%
92	5°	15	6	129.287	100%	1.197,10	108	108	100%
93	10°	15	6	121.658	94%	1.151,41	106	108	98%
94	15°	15	6	112.313	87%	1.094,67	103	108	95%
95	20°	15	6	101.508	79%	1.035,38	98	108	91%
96	25°	15	6	81.462	63%	984,91	83	108	77%
97	30°	15	6	57.799	45%	962,36	60	108	56%
98	35°	15	6	36.919	29%	952,50	39	108	36%
99	5°	18	6	131.877	100%	1.221,08	108	108	100%
100	10°	18	6	125.947	96%	1.166,17	108	108	100%
101	15°	18	6	116.860	89%	1.106,00	106	108	98%
102	20°	18	6	106.895	81%	1.043,70	102	108	95%
103	25°	18	6	89.878	68%	982,92	91	108	85%
104	30°	18	6	67.628	51%	949,56	71	108	66%
105	35°	18	6	41.338	31%	943,78	44	108	41%
106	5°	21	6	133.724	100%	1.238,19	108	108	100%
107	10°	21	6	127.714	96%	1.182,53	108	108	100%
108	15°	21	6	120.264	90%	1.113,55	108	108	100%
109	20°	21	6	111.743	84%	1.047,75	107	108	99%
110	25°	21	6	94.543	71%	986,37	96	108	89%
111	30°	21	6	74.061	55%	946,23	78	108	72%
112	35°	21	6	45.318	34%	940,60	48	108	45%
113	5°	24	6	135.085	100%	1.250,79	108	108	100%
114	10°	24	6	129.110	96%	1.195,47	108	108	100%
115	15°	24	6	121.715	90%	1.126,99	108	108	100%
116	20°	24	6	114.282	85%	1.058,17	108	108	100%
117	25°	24	6	97.893	72%	995,15	98	108	91%
118	30°	24	6	77.380	57%	953,89	81	108	75%
119	35°	24	6	51.950	38%	934,52	56	108	51%
120	5°	27	6	135.984	100%	1.259,11	108	108	100%
121	10°	27	6	130.029	96%	1.203,97	108	108	100%
122	15°	27	6	122.706	90%	1.136,16	108	108	100%
123	20°	27	6	115.328	85%	1.067,85	108	108	100%

124	25°	27	6	101.307	74%	998,79	101	108	94%
125	30°	27	6	81.874	60%	954,91	86	108	79%
126	35°	27	6	57.631	42%	929,83	62	108	57%
127	5°	30	6	136.721	100%	1.265,94	108	108	100%
128	10°	30	6	130.799	96%	1.211,10	108	108	100%
129	15°	30	6	123.478	90%	1.143,32	108	108	100%
130	20°	30	6	116.133	85%	1.075,30	108	108	100%
131	25°	30	6	103.131	75%	1.004,30	103	108	95%
132	30°	30	6	83.531	61%	960,79	87	108	81%
133	35°	30	6	60.608	44%	931,43	65	108	60%
134	5°	33	6	137.341	100%	1.271,68	108	108	100%
135	10°	33	6	131.469	96%	1.217,31	108	108	100%
136	15°	33	6	124.183	90%	1.149,84	108	108	100%
137	20°	33	6	116.920	85%	1.082,59	108	108	100%
138	25°	33	6	105.377	77%	1.009,36	104	108	97%
139	30°	33	6	86.888	63%	964,46	90	108	83%
140	35°	33	6	65.733	48%	930,01	71	108	65%
141	5°	6	9	85.210	100%	1.149,00	74	162	46%
142	10°	6	9	78.122	92%	1.118,58	70	162	43%
143	15°	6	9	64.455	76%	1.095,05	59	162	36%
144	20°	6	9	54.071	63%	1.057,72	51	162	32%
145	25°	6	9	40.014	47%	1.058,58	38	162	23%
146	30°	6	9	27.750	33%	1.041,66	27	162	16%
147	35°	6	9	19.738	23%	1.021,62	19	162	12%
148	5°	9	9	116.051	100%	1.126,82	103	162	64%
149	10°	9	9	104.741	90%	1.097,92	95	162	59%
150	15°	9	9	87.959	76%	1.068,11	82	162	51%
151	20°	9	9	72.876	63%	1.034,15	70	162	44%
152	25°	9	9	52.364	45%	1.027,96	51	162	31%
153	30°	9	9	37.613	32%	995,05	38	162	23%
154	35°	9	9	23.502	20%	1.004,34	23	162	14%
155	5°	12	9	140.997	100%	1.123,30	126	162	77%
156	10°	12	9	129.217	92%	1.087,68	119	162	73%
157	15°	12	9	109.302	78%	1.060,05	103	162	64%
158	20°	12	9	94.469	67%	1.014,49	93	162	57%
159	25°	12	9	65.380	46%	1.005,22	65	162	40%
160	30°	12	9	46.094	33%	977,39	47	162	29%
161	35°	12	9	28.152	20%	985,72	29	162	18%
162	5°	15	9	162.355	100%	1.133,13	143	162	88%
163	10°	15	9	151.792	93%	1.091,64	139	162	86%
164	15°	15	9	131.871	81%	1.055,64	125	162	77%
165	20°	15	9	114.479	71%	1.010,05	113	162	70%
166	25°	15	9	83.443	51%	982,49	85	162	52%
167	30°	15	9	57.857	36%	959,49	60	162	37%
168	35°	15	9	35.600	22%	957,77	37	162	23%
169	5°	18	9	177.448	100%	1.142,76	155	162	96%
170	10°	18	9	165.434	93%	1.104,00	150	162	92%
171	15°	18	9	149.550	84%	1.053,46	142	162	88%
172	20°	18	9	127.814	72%	1.012,22	126	162	78%
173	25°	18	9	97.951	55%	969,71	101	162	62%

174	30°	18	9	68.922	39%	941,94	73	162	45%
175	35°	18	9	39.584	22%	945,86	42	162	26%
176	5°	21	9	187.851	100%	1.159,58	162	162	100%
177	10°	21	9	176.806	94%	1.117,47	158	162	98%
178	15°	21	9	163.842	87%	1.056,57	155	162	96%
179	20°	21	9	143.057	76%	1.010,08	142	162	87%
180	25°	21	9	111.746	59%	962,99	116	162	72%
181	30°	21	9	78.943	42%	933,79	85	162	52%
182	35°	21	9	45.089	24%	934,10	48	162	30%
183	5°	24	9	191.633	100%	1.182,92	162	162	100%
184	10°	24	9	182.702	95%	1.135,36	161	162	99%
185	15°	24	9	169.188	88%	1.074,83	157	162	97%
186	20°	24	9	154.995	81%	1.015,83	153	162	94%
187	25°	24	9	125.121	65%	964,10	130	162	80%
188	30°	24	9	91.547	48%	931,21	98	162	61%
189	35°	24	9	52.634	27%	924,86	57	162	35%
190	5°	27	9	194.851	100%	1.202,78	162	162	100%
191	10°	27	9	186.717	96%	1.152,57	162	162	100%
192	15°	27	9	174.182	89%	1.088,50	160	162	99%
193	20°	27	9	160.909	83%	1.028,11	157	162	97%
194	25°	27	9	135.469	70%	967,98	140	162	86%
195	30°	27	9	104.261	54%	928,01	112	162	69%
196	35°	27	9	63.138	32%	912,27	69	162	43%
197	5°	30	9	196.709	100%	1.214,25	162	162	100%
198	10°	30	9	188.648	96%	1.164,50	162	162	100%
199	15°	30	9	177.691	90%	1.096,86	162	162	100%
200	20°	30	9	165.543	84%	1.035,68	160	162	99%
201	25°	30	9	141.820	72%	973,30	146	162	90%
202	30°	30	9	113.332	58%	928,42	122	162	75%
203	35°	30	9	70.908	36%	909,43	78	162	48%
204	5°	33	9	198.384	100%	1.224,59	162	162	100%
205	10°	33	9	190.350	96%	1.175,00	162	162	100%
206	15°	33	9	179.452	90%	1.107,73	162	162	100%
207	20°	33	9	168.915	85%	1.043,85	162	162	100%
208	25°	33	9	146.022	74%	981,53	149	162	92%
209	30°	33	9	120.684	61%	932,72	129	162	80%
210	35°	33	9	81.695	41%	905,91	90	162	56%
211	5°	6	12	83.431	100%	1.125,01	74	216	34%
212	10°	6	12	78.105	94%	1.130,97	69	216	32%
213	15°	6	12	63.956	77%	1.095,52	58	216	27%
214	20°	6	12	52.758	63%	1.039,37	51	216	24%
215	25°	6	12	38.096	46%	1.061,75	36	216	17%
216	30°	6	12	27.115	33%	1.046,11	26	216	12%
217	35°	6	12	19.679	24%	1.018,58	19	216	9%
218	5°	9	12	111.740	100%	1.105,57	101	216	47%
219	10°	9	12	105.033	94%	1.100,98	95	216	44%
220	15°	9	12	87.497	78%	1.053,29	83	216	38%
221	20°	9	12	71.492	64%	1.014,50	70	216	33%
222	25°	9	12	50.677	45%	1.015,16	50	216	23%
223	30°	9	12	34.323	31%	1.009,80	34	216	16%

224	35°	9	12	22.854	20%	1.002,37	23	216	11%
225	5°	12	12	136.496	100%	1.100,60	124	216	57%
226	10°	12	12	129.261	95%	1.088,06	119	216	55%
227	15°	12	12	106.425	78%	1.045,53	102	216	47%
228	20°	12	12	91.284	67%	996,33	92	216	42%
229	25°	12	12	64.823	47%	987,56	66	216	30%
230	30°	12	12	42.045	31%	982,82	43	216	20%
231	35°	12	12	26.769	20%	982,72	27	216	13%
232	5°	15	12	168.115	100%	1.093,01	154	216	71%
233	10°	15	12	155.883	93%	1.081,85	144	216	67%
234	15°	15	12	131.020	78%	1.035,41	127	216	59%
235	20°	15	12	112.027	67%	990,78	113	216	52%
236	25°	15	12	82.307	49%	969,12	85	216	39%
237	30°	15	12	51.440	31%	960,61	54	216	25%
238	35°	15	12	32.676	19%	959,65	34	216	16%
239	5°	18	12	194.409	100%	1.092,98	178	216	82%
240	10°	18	12	179.386	92%	1.077,97	166	216	77%
241	15°	18	12	154.493	79%	1.026,05	151	216	70%
242	20°	18	12	128.352	66%	990,60	130	216	60%
243	25°	18	12	95.611	49%	959,08	100	216	46%
244	30°	18	12	62.127	32%	936,63	66	216	31%
245	35°	18	12	35.704	18%	948,32	38	216	17%
246	5°	21	12	214.220	100%	1.106,22	194	216	90%
247	10°	21	12	199.965	93%	1.083,30	185	216	85%
248	15°	21	12	174.778	82%	1.027,68	170	216	79%
249	20°	21	12	148.741	69%	986,47	151	216	70%
250	25°	21	12	108.528	51%	953,26	114	216	53%
251	30°	21	12	71.448	33%	926,69	77	216	36%
252	35°	21	12	41.000	19%	932,25	44	216	20%
253	5°	24	12	231.045	100%	1.122,02	206	216	95%
254	10°	24	12	220.887	96%	1.088,87	203	216	94%
255	15°	24	12	192.259	83%	1.038,01	185	216	86%
256	20°	24	12	172.155	75%	984,64	175	216	81%
257	25°	24	12	128.362	56%	946,41	136	216	63%
258	30°	24	12	85.946	37%	917,05	94	216	43%
259	35°	24	12	48.485	21%	918,28	53	216	24%
260	5°	27	12	245.501	100%	1.138,48	216	216	100%
261	10°	27	12	233.840	95%	1.107,04	211	216	98%
262	15°	27	12	209.824	85%	1.045,77	201	216	93%
263	20°	27	12	188.250	77%	993,82	189	216	88%
264	25°	27	12	149.465	61%	943,23	158	216	73%
265	30°	27	12	104.669	43%	907,40	115	216	53%
266	35°	27	12	57.597	23%	903,49	64	216	30%
267	5°	30	12	249.446	100%	1.154,84	216	216	100%
268	10°	30	12	239.626	96%	1.120,11	214	216	99%
269	15°	30	12	220.238	88%	1.052,66	209	216	97%
270	20°	30	12	199.544	80%	999,32	200	216	92%
271	25°	30	12	163.845	66%	944,57	173	216	80%
272	30°	30	12	120.125	48%	905,10	133	216	61%
273	35°	30	12	67.624	27%	895,21	76	216	35%

274	5°	33	12	253.717	100%	1.174,61	216	216	100%
275	10°	33	12	245.432	97%	1.136,26	216	216	100%
276	15°	33	12	226.442	89%	1.068,83	212	216	98%
277	20°	33	12	209.703	83%	1.009,54	208	216	96%
278	25°	33	12	176.666	70%	951,35	186	216	86%
279	30°	33	12	138.022	54%	905,83	152	216	71%
280	35°	33	12	83.114	33%	887,97	94	216	43%
281	5°	6	15	88.581	100%	1.157,92	76	270	28%
282	10°	6	15	76.327	86%	1.105,23	69	270	26%
283	15°	6	15	68.674	78%	1.126,55	61	270	23%
284	20°	6	15	53.397	60%	1.067,08	50	270	19%
285	25°	6	15	38.289	43%	1.060,04	36	270	13%
286	30°	6	15	27.115	31%	1.046,11	26	270	10%
287	35°	6	15	19.679	22%	1.018,58	19	270	7%
288	5°	9	15	114.493	100%	1.132,81	101	270	37%
289	10°	9	15	104.216	91%	1.081,52	96	270	36%
290	15°	9	15	93.149	81%	1.094,84	85	270	32%
291	20°	9	15	71.560	63%	1.041,63	69	270	25%
292	25°	9	15	52.198	46%	1.021,08	51	270	19%
293	30°	9	15	34.584	30%	1.011,23	34	270	13%
294	35°	9	15	22.854	20%	1.002,37	23	270	8%
295	5°	12	15	138.177	100%	1.114,96	124	270	46%
296	10°	12	15	126.580	92%	1.076,64	118	270	44%
297	15°	12	15	112.393	81%	1.080,91	104	270	39%
298	20°	12	15	90.167	65%	1.014,70	89	270	33%
299	25°	12	15	64.783	47%	1.003,46	65	270	24%
300	30°	12	15	40.937	30%	997,50	41	270	15%
301	35°	12	15	26.534	19%	987,13	27	270	10%
302	5°	15	15	167.363	100%	1.098,40	152	270	56%
303	10°	15	15	153.336	92%	1.068,17	144	270	53%
304	15°	15	15	135.571	81%	1.063,30	128	270	47%
305	20°	15	15	111.545	67%	998,16	112	270	41%
306	25°	15	15	81.033	48%	982,58	82	270	31%
307	30°	15	15	50.531	30%	975,88	52	270	19%
308	35°	15	15	31.840	19%	968,36	33	270	12%
309	5°	18	15	195.538	100%	1.089,41	179	270	66%
310	10°	18	15	178.113	91%	1.062,28	168	270	62%
311	15°	18	15	157.925	81%	1.045,52	151	270	56%
312	20°	18	15	126.722	65%	994,84	127	270	47%
313	25°	18	15	94.138	48%	969,10	97	270	36%
314	30°	18	15	59.332	30%	954,97	62	270	23%
315	35°	18	15	34.627	18%	958,67	36	270	13%
316	5°	21	15	226.226	100%	1.086,89	208	270	77%
317	10°	21	15	204.716	90%	1.058,95	193	270	72%
318	15°	21	15	180.721	80%	1.038,80	174	270	64%
319	20°	21	15	147.920	65%	985,54	150	270	56%
320	25°	21	15	108.155	48%	958,82	113	270	42%
321	30°	21	15	66.741	30%	945,07	71	270	26%
322	35°	21	15	38.257	17%	948,85	40	270	15%
323	5°	24	15	256.867	100%	1.087,96	236	270	87%

324	10°	24	15	237.671	93%	1.052,95	226	270	84%
325	15°	24	15	206.719	80%	1.035,09	200	270	74%
326	20°	24	15	176.420	69%	975,88	181	270	67%
327	25°	24	15	126.985	49%	951,84	133	270	49%
328	30°	24	15	79.336	31%	931,50	85	270	32%
329	35°	24	15	45.465	18%	930,89	49	270	18%
330	5°	27	15	277.082	100%	1.106,38	250	270	93%
331	10°	27	15	266.577	96%	1.057,84	252	270	93%
332	15°	27	15	230.872	83%	1.038,56	222	270	82%
333	20°	27	15	201.429	73%	977,76	206	270	76%
334	25°	27	15	148.786	54%	945,21	157	270	58%
335	30°	27	15	94.465	34%	918,56	103	270	38%
336	35°	27	15	52.594	19%	917,87	57	270	21%
337	5°	30	15	292.043	100%	1.114,33	262	270	97%
338	10°	30	15	276.854	95%	1.073,33	258	270	96%
339	15°	30	15	250.178	86%	1.039,42	241	270	89%
340	20°	30	15	217.691	75%	982,85	221	270	82%
341	25°	30	15	168.130	58%	940,32	179	270	66%
342	30°	30	15	111.092	38%	910,07	122	270	45%
343	35°	30	15	61.419	21%	905,88	68	270	25%
344	5°	33	15	303.093	100%	1.130,86	268	270	99%
345	10°	33	15	286.805	95%	1.091,72	263	270	97%
346	15°	33	15	265.637	88%	1.049,25	253	270	94%
347	20°	33	15	235.765	78%	990,28	238	270	88%
348	25°	33	15	191.415	63%	940,24	204	270	75%
349	30°	33	15	133.514	44%	904,01	148	270	55%
350	35°	33	15	76.766	25%	892,22	86	270	32%
351	5°	6	18	87.376	100%	1.134,16	77	324	24%
352	10°	6	18	78.406	90%	1.126,52	70	324	21%
353	15°	6	18	65.372	75%	1.089,53	60	324	19%
354	20°	6	18	53.397	61%	1.067,08	50	324	15%
355	25°	6	18	38.289	44%	1.060,04	36	324	11%
356	30°	6	18	27.115	31%	1.046,11	26	324	8%
357	35°	6	18	19.679	23%	1.018,58	19	324	6%
358	5°	9	18	118.610	100%	1.128,33	105	324	32%
359	10°	9	18	104.424	88%	1.103,62	95	324	29%
360	15°	9	18	90.976	77%	1.058,11	86	324	27%
361	20°	9	18	72.465	61%	1.039,37	70	324	22%
362	25°	9	18	52.198	44%	1.021,08	51	324	16%
363	30°	9	18	34.584	29%	1.011,23	34	324	11%
364	35°	9	18	22.854	19%	1.002,37	23	324	7%
365	5°	12	18	143.739	100%	1.127,90	127	324	39%
366	10°	12	18	127.596	89%	1.085,83	118	324	36%
367	15°	12	18	111.369	77%	1.057,03	105	324	33%
368	20°	12	18	92.862	65%	1.018,23	91	324	28%
369	25°	12	18	64.783	45%	1.003,45	65	324	20%
370	30°	12	18	40.937	28%	997,50	41	324	13%
371	35°	12	18	26.534	18%	987,14	27	324	8%
372	5°	15	18	171.348	100%	1.118,82	153	324	47%
373	10°	15	18	154.397	90%	1.074,89	144	324	44%

374	15°	15	18	136.335	80%	1.049,30	130	324	40%
375	20°	15	18	111.718	65%	1.013,32	110	324	34%
376	25°	15	18	82.258	48%	983,47	84	324	26%
377	30°	15	18	50.590	30%	975,88	52	324	16%
378	35°	15	18	31.840	19%	968,36	33	324	10%
379	5°	18	18	197.394	100%	1.105,67	179	324	55%
380	10°	18	18	179.282	91%	1.065,25	168	324	52%
381	15°	18	18	158.045	80%	1.040,94	152	324	47%
382	20°	18	18	126.772	64%	1.007,57	126	324	39%
383	25°	18	18	95.298	48%	973,22	98	324	30%
384	30°	18	18	59.172	30%	957,48	62	324	19%
385	35°	18	18	34.627	18%	958,67	36	324	11%
386	5°	21	18	225.254	100%	1.098,70	205	324	63%
387	10°	21	18	204.040	91%	1.062,05	192	324	59%
388	15°	21	18	179.957	80%	1.034,95	174	324	54%
389	20°	21	18	145.856	65%	996,90	146	324	45%
390	25°	21	18	107.426	48%	967,80	111	324	34%
391	30°	21	18	66.849	30%	949,02	70	324	22%
392	35°	21	18	38.175	17%	949,62	40	324	12%
393	5°	24	18	261.256	100%	1.088,02	240	324	74%
394	10°	24	18	238.563	91%	1.051,45	227	324	70%
395	15°	24	18	206.970	79%	1.027,71	201	324	62%
396	20°	24	18	173.929	67%	980,99	177	324	55%
397	25°	24	18	124.179	48%	961,29	129	324	40%
398	30°	24	18	79.081	30%	937,43	84	324	26%
399	35°	24	18	44.492	17%	936,28	48	324	15%
400	5°	27	18	295.870	100%	1.090,49	271	324	84%
401	10°	27	18	278.712	94%	1.043,40	267	324	82%
402	15°	27	18	237.885	80%	1.023,96	232	324	72%
403	20°	27	18	202.484	68%	976,77	207	324	64%
404	25°	27	18	146.935	50%	951,77	154	324	48%
405	30°	27	18	91.513	31%	928,59	99	324	30%
406	35°	27	18	50.550	17%	925,82	55	324	17%
407	5°	30	18	324.947	100%	1.087,40	299	324	92%
408	10°	30	18	308.456	95%	1.042,04	296	324	91%
409	15°	30	18	264.099	81%	1.019,84	259	324	80%
410	20°	30	18	226.918	70%	974,23	233	324	72%
411	25°	30	18	165.988	51%	945,31	176	324	54%
412	30°	30	18	104.864	32%	920,58	114	324	35%
413	35°	30	18	58.414	18%	914,57	64	324	20%
414	5°	33	18	344.785	100%	1.100,11	313	324	97%
415	10°	33	18	324.459	94%	1.060,64	306	324	94%
416	15°	33	18	292.531	85%	1.021,91	286	324	88%
417	20°	33	18	253.086	73%	977,09	259	324	80%
418	25°	33	18	195.893	57%	937,11	209	324	65%
419	30°	33	18	124.136	36%	912,43	136	324	42%
420	35°	33	18	71.861	21%	900,52	80	324	25%

PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO LESTE									
n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	67.153	100%	1.243,57	54	54	100%
2	10°	6	3	66.649	99%	1.282,70	52	54	96%
3	15°	6	3	60.312	90%	1.234,89	49	54	90%
4	20°	6	3	52.821	79%	1.232,98	43	54	79%
5	25°	6	3	48.459	72%	1.204,54	40	54	75%
6	30°	6	3	44.427	66%	1.209,89	37	54	68%
7	35°	6	3	40.094	60%	1.180,62	34	54	63%
8	5°	9	3	72.971	99%	1.351,32	54	54	100%
9	10°	9	3	73.875	100%	1.368,05	54	54	100%
10	15°	9	3	70.563	96%	1.306,73	54	54	100%
11	20°	9	3	67.887	92%	1.257,17	54	54	100%
12	25°	9	3	64.337	87%	1.191,43	54	54	100%
13	30°	9	3	62.973	85%	1.185,94	53	54	98%
14	35°	9	3	58.396	79%	1.150,43	51	54	94%
15	5°	12	3	74.986	99%	1.388,63	54	54	100%
16	10°	12	3	76.121	100%	1.409,64	54	54	100%
17	15°	12	3	73.252	96%	1.356,52	54	54	100%
18	20°	12	3	70.964	93%	1.314,16	54	54	100%
19	25°	12	3	68.162	90%	1.262,26	54	54	100%
20	30°	12	3	67.285	88%	1.246,03	54	54	100%
21	35°	12	3	64.716	85%	1.198,44	54	54	100%
22	5°	15	3	77.261	98%	1.430,75	54	54	100%
23	10°	15	3	78.459	100%	1.452,95	54	54	100%
24	15°	15	3	76.227	97%	1.411,60	54	54	100%
25	20°	15	3	74.210	95%	1.374,27	54	54	100%
26	25°	15	3	71.980	92%	1.332,96	54	54	100%
27	30°	15	3	71.190	91%	1.318,34	54	54	100%
28	35°	15	3	68.805	88%	1.274,16	54	54	100%
29	5°	18	3	77.576	98%	1.436,60	54	54	100%
30	10°	18	3	78.773	100%	1.458,75	54	54	100%
31	15°	18	3	76.660	97%	1.419,63	54	54	100%
32	20°	18	3	74.856	95%	1.386,22	54	54	100%
33	25°	18	3	72.811	92%	1.348,36	54	54	100%
34	30°	18	3	72.234	92%	1.337,67	54	54	100%
35	35°	18	3	70.214	89%	1.300,25	54	54	100%
36	5°	21	3	77.844	98%	1.441,56	54	54	100%
37	10°	21	3	79.068	100%	1.464,22	54	54	100%
38	15°	21	3	77.037	97%	1.426,61	54	54	100%
39	20°	21	3	75.315	95%	1.394,72	54	54	100%
40	25°	21	3	73.346	93%	1.358,27	54	54	100%
41	30°	21	3	72.784	92%	1.347,85	54	54	100%
42	35°	21	3	70.843	90%	1.311,90	54	54	100%
43	5°	24	3	78.434	98%	1.452,49	54	54	100%

44	10°	24	3	79.645	100%	1.474,90	54	54	100%
45	15°	24	3	77.825	98%	1.441,20	54	54	100%
46	20°	24	3	76.083	96%	1.408,95	54	54	100%
47	25°	24	3	74.376	93%	1.377,33	54	54	100%
48	30°	24	3	73.714	93%	1.365,08	54	54	100%
49	35°	24	3	71.850	90%	1.330,55	54	54	100%
50	5°	27	3	78.724	98%	1.457,85	54	54	100%
51	10°	27	3	80.110	100%	1.483,52	54	54	100%
52	15°	27	3	78.457	98%	1.452,90	54	54	100%
53	20°	27	3	76.965	96%	1.425,27	54	54	100%
54	25°	27	3	75.533	94%	1.398,76	54	54	100%
55	30°	27	3	74.902	93%	1.387,08	54	54	100%
56	35°	27	3	73.146	91%	1.354,56	54	54	100%
57	5°	30	3	78.771	98%	1.458,72	54	54	100%
58	10°	30	3	80.165	100%	1.484,53	54	54	100%
59	15°	30	3	78.540	98%	1.454,45	54	54	100%
60	20°	30	3	77.088	96%	1.427,57	54	54	100%
61	25°	30	3	75.694	94%	1.401,75	54	54	100%
62	30°	30	3	75.140	94%	1.391,48	54	54	100%
63	35°	30	3	73.428	92%	1.359,78	54	54	100%
64	5°	33	3	78.820	98%	1.459,63	54	54	100%
65	10°	33	3	80.214	100%	1.485,44	54	54	100%
66	15°	33	3	78.613	98%	1.455,80	54	54	100%
67	20°	33	3	77.184	96%	1.429,33	54	54	100%
68	25°	33	3	75.806	95%	1.403,82	54	54	100%
69	30°	33	3	75.268	94%	1.393,85	54	54	100%
70	35°	33	3	73.570	92%	1.362,40	54	54	100%
71	5°	6	6	73.234	100%	1.183,87	62	108	57%
72	10°	6	6	67.464	92%	1.212,95	56	108	51%
73	15°	6	6	63.314	86%	1.210,14	52	108	48%
74	20°	6	6	53.773	73%	1.224,35	44	108	41%
75	25°	6	6	49.609	68%	1.213,23	41	108	38%
76	30°	6	6	44.438	61%	1.210,18	37	108	34%
77	35°	6	6	40.075	55%	1.180,07	34	108	31%
78	5°	9	6	102.374	100%	1.192,34	86	108	80%
79	10°	9	6	98.893	97%	1.170,19	85	108	78%
80	15°	9	6	93.045	91%	1.181,97	79	108	73%
81	20°	9	6	83.348	81%	1.169,30	71	108	66%
82	25°	9	6	77.590	76%	1.168,70	66	108	61%
83	30°	9	6	72.728	71%	1.127,05	65	108	60%
84	35°	9	6	61.903	60%	1.123,87	55	108	51%
85	5°	12	6	121.727	100%	1.211,93	100	108	93%
86	10°	12	6	118.866	98%	1.202,13	99	108	92%
87	15°	12	6	116.578	96%	1.187,63	98	108	91%
88	20°	12	6	107.643	88%	1.158,94	93	108	86%
89	25°	12	6	101.999	84%	1.161,59	88	108	81%
90	30°	12	6	95.339	78%	1.116,26	85	108	79%
91	35°	12	6	81.202	67%	1.109,31	73	108	68%
92	5°	15	6	136.452	100%	1.263,45	108	108	100%
93	10°	15	6	135.168	99%	1.251,55	108	108	100%

94	15°	15	6	133.235	98%	1.233,66	108	108	100%
95	20°	15	6	127.534	93%	1.194,81	107	108	99%
96	25°	15	6	124.518	91%	1.185,55	105	108	97%
97	30°	15	6	116.114	85%	1.155,02	101	108	93%
98	35°	15	6	106.916	78%	1.122,12	95	108	88%
99	5°	18	6	141.384	100%	1.309,11	108	108	100%
100	10°	18	6	139.941	99%	1.295,75	108	108	100%
101	15°	18	6	138.264	98%	1.280,22	108	108	100%
102	20°	18	6	134.051	95%	1.241,21	108	108	100%
103	25°	18	6	132.109	93%	1.223,23	108	108	100%
104	30°	18	6	127.573	90%	1.185,18	108	108	100%
105	35°	18	6	122.307	87%	1.143,91	107	108	99%
106	5°	21	6	144.950	100%	1.342,13	108	108	100%
107	10°	21	6	144.272	100%	1.335,85	108	108	100%
108	15°	21	6	142.669	98%	1.321,01	108	108	100%
109	20°	21	6	138.692	96%	1.284,18	108	108	100%
110	25°	21	6	136.850	94%	1.267,13	108	108	100%
111	30°	21	6	132.865	92%	1.230,23	108	108	100%
112	35°	21	6	128.382	89%	1.188,73	108	108	100%
113	5°	24	6	146.803	100%	1.359,29	108	108	100%
114	10°	24	6	145.962	99%	1.351,51	108	108	100%
115	15°	24	6	144.591	98%	1.338,81	108	108	100%
116	20°	24	6	140.641	96%	1.302,23	108	108	100%
117	25°	24	6	138.993	95%	1.286,98	108	108	100%
118	30°	24	6	135.383	92%	1.253,55	108	108	100%
119	35°	24	6	131.112	89%	1.214,00	108	108	100%
120	5°	27	6	149.029	100%	1.379,90	108	108	100%
121	10°	27	6	148.289	100%	1.373,05	108	108	100%
122	15°	27	6	147.181	99%	1.362,78	108	108	100%
123	20°	27	6	143.584	96%	1.329,48	108	108	100%
124	25°	27	6	141.959	95%	1.314,43	108	108	100%
125	30°	27	6	138.832	93%	1.285,48	108	108	100%
126	35°	27	6	134.844	90%	1.248,55	108	108	100%
127	5°	30	6	149.793	100%	1.386,97	108	108	100%
128	10°	30	6	148.996	99%	1.379,60	108	108	100%
129	15°	30	6	147.930	99%	1.369,73	108	108	100%
130	20°	30	6	144.359	96%	1.336,65	108	108	100%
131	25°	30	6	142.824	95%	1.322,45	108	108	100%
132	30°	30	6	139.865	93%	1.295,05	108	108	100%
133	35°	30	6	136.000	91%	1.259,26	108	108	100%
134	5°	33	6	150.921	100%	1.397,42	108	108	100%
135	10°	33	6	150.342	100%	1.392,06	108	108	100%
136	15°	33	6	149.391	99%	1.383,25	108	108	100%
137	20°	33	6	145.997	97%	1.351,82	108	108	100%
138	25°	33	6	144.627	96%	1.339,14	108	108	100%
139	30°	33	6	141.722	94%	1.312,24	108	108	100%
140	35°	33	6	137.914	91%	1.276,98	108	108	100%
141	5°	6	9	75.174	100%	1.211,69	62	162	38%
142	10°	6	9	70.962	94%	1.197,06	59	162	37%
143	15°	6	9	63.314	84%	1.210,14	52	162	32%

144	20°	6	9	53.773	72%	1.224,35	44	162	27%
145	25°	6	9	49.586	66%	1.210,89	41	162	25%
146	30°	6	9	44.438	59%	1.210,17	37	162	23%
147	35°	6	9	40.074	53%	1.180,03	34	162	21%
148	5°	9	9	104.185	100%	1.207,94	86	162	53%
149	10°	9	9	101.585	98%	1.185,64	86	162	53%
150	15°	9	9	93.246	90%	1.180,93	79	162	49%
151	20°	9	9	83.345	80%	1.169,26	71	162	44%
152	25°	9	9	78.306	75%	1.147,84	68	162	42%
153	30°	9	9	72.430	70%	1.128,72	64	162	40%
154	35°	9	9	61.698	59%	1.125,06	55	162	34%
155	5°	12	9	132.266	100%	1.176,33	112	162	69%
156	10°	12	9	125.825	95%	1.186,14	106	162	65%
157	15°	12	9	122.746	93%	1.165,02	105	162	65%
158	20°	12	9	109.976	83%	1.150,62	96	162	59%
159	25°	12	9	103.734	78%	1.134,07	91	162	56%
160	30°	12	9	96.355	73%	1.111,74	87	162	53%
161	35°	12	9	80.849	61%	1.109,96	73	162	45%
162	5°	15	9	163.782	100%	1.174,32	139	162	86%
163	10°	15	9	159.755	98%	1.171,91	136	162	84%
164	15°	15	9	154.338	94%	1.172,43	132	162	81%
165	20°	15	9	140.951	86%	1.153,26	122	162	75%
166	25°	15	9	134.570	82%	1.146,35	117	162	72%
167	30°	15	9	123.272	75%	1.130,11	109	162	67%
168	35°	15	9	108.508	66%	1.113,59	97	162	60%
169	5°	18	9	188.063	100%	1.190,87	158	162	97%
170	10°	18	9	184.201	98%	1.184,42	156	162	96%
171	15°	18	9	179.320	95%	1.179,43	152	162	94%
172	20°	18	9	169.555	90%	1.148,75	148	162	91%
173	25°	18	9	161.872	86%	1.149,98	141	162	87%
174	30°	18	9	150.281	80%	1.125,19	134	162	82%
175	35°	18	9	136.777	73%	1.100,20	124	162	77%
176	5°	21	9	201.052	100%	1.241,06	162	162	100%
177	10°	21	9	199.292	99%	1.230,20	162	162	100%
178	15°	21	9	196.738	98%	1.214,43	162	162	100%
179	20°	21	9	189.679	94%	1.180,04	161	162	99%
180	25°	21	9	185.298	92%	1.171,36	158	162	98%
181	30°	21	9	175.469	87%	1.139,48	154	162	95%
182	35°	21	9	164.413	82%	1.104,93	149	162	92%
183	5°	24	9	206.573	100%	1.275,14	162	162	100%
184	10°	24	9	205.098	99%	1.266,04	162	162	100%
185	15°	24	9	203.014	98%	1.253,17	162	162	100%
186	20°	24	9	196.805	95%	1.214,85	162	162	100%
187	25°	24	9	193.941	94%	1.199,17	162	162	100%
188	30°	24	9	187.833	91%	1.165,94	161	162	99%
189	35°	24	9	179.519	87%	1.125,65	159	162	98%
190	5°	27	9	212.350	100%	1.310,80	162	162	100%
191	10°	27	9	211.061	99%	1.302,85	162	162	100%
192	15°	27	9	209.066	98%	1.290,53	162	162	100%
193	20°	27	9	203.368	96%	1.255,36	162	162	100%

194	25°	27	9	200.826	95%	1.239,66	162	162	100%
195	30°	27	9	195.519	92%	1.206,91	162	162	100%
196	35°	27	9	189.132	89%	1.167,48	162	162	100%
197	5°	30	9	215.501	100%	1.330,25	162	162	100%
198	10°	30	9	213.990	99%	1.320,92	162	162	100%
199	15°	30	9	212.155	98%	1.309,60	162	162	100%
200	20°	30	9	206.441	96%	1.274,33	162	162	100%
201	25°	30	9	203.941	95%	1.258,89	162	162	100%
202	30°	30	9	199.194	92%	1.229,59	162	162	100%
203	35°	30	9	192.924	90%	1.190,89	162	162	100%
204	5°	33	9	218.870	100%	1.351,05	162	162	100%
205	10°	33	9	217.372	99%	1.341,80	162	162	100%
206	15°	33	9	215.625	99%	1.331,02	162	162	100%
207	20°	33	9	210.174	96%	1.297,37	162	162	100%
208	25°	33	9	207.882	95%	1.283,22	162	162	100%
209	30°	33	9	203.141	93%	1.253,96	162	162	100%
210	35°	33	9	196.995	90%	1.216,02	162	162	100%
211	5°	6	12	73.025	100%	1.177,06	62	216	29%
212	10°	6	12	69.858	96%	1.170,16	60	216	28%
213	15°	6	12	63.314	87%	1.210,14	52	216	24%
214	20°	6	12	55.762	76%	1.203,85	46	216	21%
215	25°	6	12	49.679	68%	1.205,20	41	216	19%
216	30°	6	12	43.176	59%	1.181,61	37	216	17%
217	35°	6	12	40.074	55%	1.180,03	34	216	16%
218	5°	9	12	106.710	100%	1.193,62	89	216	41%
219	10°	9	12	100.771	94%	1.179,43	85	216	40%
220	15°	9	12	93.246	87%	1.180,93	79	216	37%
221	20°	9	12	82.184	77%	1.152,97	71	216	33%
222	25°	9	12	77.086	72%	1.129,96	68	216	32%
223	30°	9	12	72.376	68%	1.106,17	65	216	30%
224	35°	9	12	61.696	58%	1.125,02	55	216	25%
225	5°	12	12	134.471	100%	1.193,39	113	216	52%
226	10°	12	12	128.884	96%	1.178,96	109	216	51%
227	15°	12	12	122.746	91%	1.165,02	105	216	49%
228	20°	12	12	107.569	80%	1.125,43	96	216	44%
229	25°	12	12	101.062	75%	1.105,22	91	216	42%
230	30°	12	12	94.515	70%	1.090,52	87	216	40%
231	35°	12	12	80.743	60%	1.110,32	73	216	34%
232	5°	15	12	168.865	100%	1.191,79	142	216	66%
233	10°	15	12	161.992	96%	1.184,41	137	216	63%
234	15°	15	12	155.934	92%	1.167,52	134	216	62%
235	20°	15	12	138.369	82%	1.126,33	123	216	57%
236	25°	15	12	130.255	77%	1.111,30	117	216	54%
237	30°	15	12	121.153	72%	1.109,77	109	216	51%
238	35°	15	12	107.867	64%	1.115,25	97	216	45%
239	5°	18	12	204.612	100%	1.171,29	175	216	81%
240	10°	18	12	198.879	97%	1.163,45	171	216	79%
241	15°	18	12	191.389	94%	1.153,22	166	216	77%
242	20°	18	12	171.204	84%	1.114,39	154	216	71%
243	25°	18	12	163.168	80%	1.101,44	148	216	69%

244	30°	18	12	150.344	73%	1.099,73	137	216	63%
245	35°	18	12	137.898	67%	1.095,48	126	216	58%
246	5°	21	12	235.213	100%	1.179,72	199	216	92%
247	10°	21	12	229.876	98%	1.172,54	196	216	91%
248	15°	21	12	223.241	95%	1.164,90	192	216	89%
249	20°	21	12	207.451	88%	1.118,39	185	216	86%
250	25°	21	12	198.253	84%	1.112,53	178	216	83%
251	30°	21	12	186.808	79%	1.095,90	170	216	79%
252	35°	21	12	169.828	72%	1.092,00	156	216	72%
253	5°	24	12	256.811	100%	1.198,26	214	216	99%
254	10°	24	12	253.002	99%	1.193,18	212	216	98%
255	15°	24	12	247.098	96%	1.184,10	209	216	97%
256	20°	24	12	235.056	92%	1.130,62	208	216	96%
257	25°	24	12	227.255	88%	1.123,25	202	216	94%
258	30°	24	12	217.957	85%	1.100,79	198	216	92%
259	35°	24	12	203.331	79%	1.085,47	187	216	87%
260	5°	27	12	268.394	100%	1.242,57	216	216	100%
261	10°	27	12	266.302	99%	1.232,88	216	216	100%
262	15°	27	12	263.051	98%	1.219,18	216	216	100%
263	20°	27	12	251.074	94%	1.170,67	214	216	99%
264	25°	27	12	246.447	92%	1.156,21	213	216	99%
265	30°	27	12	237.800	89%	1.131,09	210	216	97%
266	35°	27	12	228.670	85%	1.107,90	206	216	96%
267	5°	30	12	273.828	100%	1.267,72	216	216	100%
268	10°	30	12	271.919	99%	1.258,89	216	216	100%
269	15°	30	12	269.082	98%	1.245,75	216	216	100%
270	20°	30	12	258.428	94%	1.196,43	216	216	100%
271	25°	30	12	255.093	93%	1.180,99	216	216	100%
272	30°	30	12	248.692	91%	1.152,31	216	216	100%
273	35°	30	12	242.466	89%	1.123,78	216	216	100%
274	5°	33	12	279.430	100%	1.293,66	216	216	100%
275	10°	33	12	277.161	99%	1.283,15	216	216	100%
276	15°	33	12	274.500	98%	1.270,83	216	216	100%
277	20°	33	12	264.388	95%	1.224,02	216	216	100%
278	25°	33	12	261.023	93%	1.208,44	216	216	100%
279	30°	33	12	254.789	91%	1.179,58	216	216	100%
280	35°	33	12	248.435	89%	1.150,16	216	216	100%
281	5°	6	15	74.946	100%	1.211,54	62	270	23%
282	10°	6	15	70.433	94%	1.188,13	59	270	22%
283	15°	6	15	65.337	87%	1.248,80	52	270	19%
284	20°	6	15	56.382	75%	1.201,67	47	270	17%
285	25°	6	15	49.062	65%	1.199,85	41	270	15%
286	30°	6	15	47.074	63%	1.214,50	39	270	14%
287	35°	6	15	40.074	53%	1.180,03	34	270	13%
288	5°	9	15	101.355	100%	1.201,03	84	270	31%
289	10°	9	15	99.530	98%	1.196,86	83	270	31%
290	15°	9	15	95.605	94%	1.210,80	79	270	29%
291	20°	9	15	83.564	82%	1.178,29	71	270	26%
292	25°	9	15	75.408	74%	1.140,47	66	270	24%
293	30°	9	15	72.714	72%	1.152,00	63	270	23%

294	35°	9	15	61.696	61%	1.125,01	55	270	20%
295	5°	12	15	133.123	100%	1.160,41	115	270	42%
296	10°	12	15	129.495	97%	1.166,94	111	270	41%
297	15°	12	15	125.382	94%	1.190,03	105	270	39%
298	20°	12	15	113.135	85%	1.142,43	99	270	37%
299	25°	12	15	102.458	77%	1.123,82	91	270	34%
300	30°	12	15	93.750	70%	1.131,42	83	270	31%
301	35°	12	15	80.740	61%	1.110,29	73	270	27%
302	5°	15	15	168.547	100%	1.167,54	144	270	53%
303	10°	15	15	162.647	96%	1.173,50	139	270	51%
304	15°	15	15	158.587	94%	1.187,38	134	270	49%
305	20°	15	15	140.200	83%	1.146,26	122	270	45%
306	25°	15	15	131.375	78%	1.132,74	116	270	43%
307	30°	15	15	121.946	72%	1.132,27	108	270	40%
308	35°	15	15	107.860	64%	1.115,17	97	270	36%
309	5°	18	15	206.575	100%	1.164,72	177	270	66%
310	10°	18	15	202.328	98%	1.158,81	175	270	65%
311	15°	18	15	195.362	95%	1.167,04	167	270	62%
312	20°	18	15	171.908	83%	1.117,01	154	270	57%
313	25°	18	15	162.675	79%	1.107,99	147	270	54%
314	30°	18	15	151.069	73%	1.112,36	136	270	50%
315	35°	18	15	136.880	66%	1.097,85	125	270	46%
316	5°	21	15	243.787	100%	1.170,25	208	270	77%
317	10°	21	15	240.764	99%	1.163,28	207	270	77%
318	15°	21	15	235.401	97%	1.162,13	203	270	75%
319	20°	21	15	209.705	86%	1.109,55	189	270	70%
320	25°	21	15	201.140	83%	1.098,41	183	270	68%
321	30°	21	15	189.269	78%	1.094,74	173	270	64%
322	35°	21	15	170.590	70%	1.089,33	157	270	58%
323	5°	24	15	285.024	100%	1.156,80	246	270	91%
324	10°	24	15	280.377	98%	1.156,39	242	270	90%
325	15°	24	15	274.065	96%	1.161,68	236	270	87%
326	20°	24	15	252.059	88%	1.098,30	229	270	85%
327	25°	24	15	241.945	85%	1.094,73	221	270	82%
328	30°	24	15	230.438	81%	1.082,17	213	270	79%
329	35°	24	15	208.563	73%	1.076,84	194	270	72%
330	5°	27	15	313.087	100%	1.179,50	265	270	98%
331	10°	27	15	310.228	99%	1.176,18	264	270	98%
332	15°	27	15	304.435	97%	1.179,98	258	270	96%
333	20°	27	15	284.319	91%	1.118,66	254	270	94%
334	25°	27	15	273.286	87%	1.117,73	245	270	91%
335	30°	27	15	264.293	84%	1.098,20	241	270	89%
336	35°	27	15	246.853	79%	1.084,40	228	270	84%
337	5°	30	15	325.691	100%	1.206,26	270	270	100%
338	10°	30	15	324.174	100%	1.200,65	270	270	100%
339	15°	30	15	322.404	99%	1.194,62	270	270	100%
340	20°	30	15	303.390	93%	1.135,40	267	270	99%
341	25°	30	15	296.863	91%	1.127,68	263	270	98%
342	30°	30	15	285.911	88%	1.108,83	258	270	95%
343	35°	30	15	272.473	84%	1.087,98	250	270	93%

344	5°	33	15	334.415	100%	1.238,57	270	270	100%
345	10°	33	15	332.475	99%	1.231,39	270	270	100%
346	15°	33	15	330.587	99%	1.224,40	270	270	100%
347	20°	33	15	314.118	94%	1.164,57	270	270	100%
348	25°	33	15	309.534	93%	1.152,57	269	270	99%
349	30°	33	15	301.313	90%	1.129,91	267	270	99%
350	35°	33	15	292.244	87%	1.102,97	265	270	98%
351	5°	6	18	75.174	100%	1.211,69	62	324	19%
352	10°	6	18	70.715	94%	1.197,74	59	324	18%
353	15°	6	18	61.292	82%	1.180,96	52	324	16%
354	20°	6	18	56.382	75%	1.201,67	47	324	14%
355	25°	6	18	50.635	67%	1.238,32	41	324	13%
356	30°	6	18	45.551	61%	1.174,29	39	324	12%
357	35°	6	18	40.074	53%	1.180,03	34	324	10%
358	5°	9	18	107.163	100%	1.198,69	89	324	28%
359	10°	9	18	98.220	92%	1.191,41	82	324	25%
360	15°	9	18	90.509	84%	1.152,83	79	324	24%
361	20°	9	18	83.662	78%	1.177,68	71	324	22%
362	25°	9	18	77.326	72%	1.167,89	66	324	20%
363	30°	9	18	72.118	67%	1.102,21	65	324	20%
364	35°	9	18	61.696	58%	1.125,02	55	324	17%
365	5°	12	18	132.221	100%	1.197,66	110	324	34%
366	10°	12	18	127.361	96%	1.167,27	109	324	34%
367	15°	12	18	121.242	92%	1.150,74	105	324	33%
368	20°	12	18	114.104	86%	1.142,87	100	324	31%
369	25°	12	18	103.739	78%	1.151,51	90	324	28%
370	30°	12	18	92.781	70%	1.099,44	84	324	26%
371	35°	12	18	80.740	61%	1.110,29	73	324	22%
372	5°	15	18	167.021	100%	1.174,79	142	324	44%
373	10°	15	18	160.802	96%	1.172,37	137	324	42%
374	15°	15	18	155.545	93%	1.164,61	134	324	41%
375	20°	15	18	144.855	87%	1.150,74	126	324	39%
376	25°	15	18	135.326	81%	1.148,68	118	324	36%
377	30°	15	18	119.447	72%	1.122,83	106	324	33%
378	35°	15	18	107.858	65%	1.115,16	97	324	30%
379	5°	18	18	207.703	100%	1.147,60	181	324	56%
380	10°	18	18	201.783	97%	1.148,19	176	324	54%
381	15°	18	18	192.588	93%	1.151,29	167	324	52%
382	20°	18	18	175.536	85%	1.137,48	154	324	48%
383	25°	18	18	166.283	80%	1.135,81	146	324	45%
384	30°	18	18	148.993	72%	1.105,62	135	324	42%
385	35°	18	18	136.583	66%	1.098,64	124	324	38%
386	5°	21	18	249.365	100%	1.152,23	216	324	67%
387	10°	21	18	243.030	97%	1.147,61	212	324	65%
388	15°	21	18	235.044	94%	1.148,80	205	324	63%
389	20°	21	18	212.871	85%	1.120,97	190	324	59%
390	25°	21	18	204.287	82%	1.123,69	182	324	56%
391	30°	21	18	187.119	75%	1.092,16	171	324	53%
392	35°	21	18	169.882	68%	1.090,67	156	324	48%
393	5°	24	18	292.588	100%	1.147,00	255	324	79%

394	10°	24	18	284.196	97%	1.149,52	247	324	76%
395	15°	24	18	278.441	95%	1.145,85	243	324	75%
396	20°	24	18	255.130	87%	1.100,03	232	324	72%
397	25°	24	18	248.589	85%	1.100,73	226	324	70%
398	30°	24	18	229.458	78%	1.072,58	214	324	66%
399	35°	24	18	209.134	71%	1.075,13	195	324	60%
400	5°	27	18	337.104	100%	1.152,02	293	324	90%
401	10°	27	18	332.887	99%	1.149,27	290	324	89%
402	15°	27	18	322.583	96%	1.151,26	280	324	86%
403	20°	27	18	297.114	88%	1.103,73	269	324	83%
404	25°	27	18	289.667	86%	1.108,18	261	324	81%
405	30°	27	18	273.589	81%	1.074,16	255	324	79%
406	35°	27	18	253.307	75%	1.075,89	235	324	73%
407	5°	30	18	367.284	100%	1.159,03	317	324	98%
408	10°	30	18	360.566	98%	1.158,89	311	324	96%
409	15°	30	18	352.569	96%	1.157,18	305	324	94%
410	20°	30	18	330.839	90%	1.101,92	300	324	93%
411	25°	30	18	322.677	88%	1.105,66	292	324	90%
412	30°	30	18	303.643	83%	1.077,21	282	324	87%
413	35°	30	18	286.383	78%	1.071,63	267	324	82%
414	5°	33	18	384.493	100%	1.187,59	324	324	100%
415	10°	33	18	381.326	99%	1.182,19	323	324	100%
416	15°	33	18	375.604	98%	1.172,74	320	324	99%
417	20°	33	18	354.589	92%	1.118,65	317	324	98%
418	25°	33	18	347.210	90%	1.123,00	309	324	95%
419	30°	33	18	331.188	86%	1.088,40	304	324	94%
420	35°	33	18	318.422	83%	1.076,48	296	324	91%

PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1') - RESULTADOS DA ORIENTAÇÃO OESTE

n°	Ângulo (°)	Afastamento (m)	N° de pav.	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Varição (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total proteções solares (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	6	3	65512	100%	1.213,18	54	54	100%
2	10°	6	3	64675	99%	1.234,73	52	54	97%
3	15°	6	3	58757	90%	1.172,10	50	54	93%
4	20°	6	3	51960	79%	1.183,06	44	54	81%
5	25°	6	3	49056	75%	1.211,25	40	54	75%
6	30°	6	3	45663	70%	1.213,80	38	54	70%
7	35°	6	3	39378	60%	1.175,12	34	54	62%
8	5°	9	3	71624	100%	1.326,37	54	54	100%
9	10°	9	3	71708	100%	1.327,92	54	54	100%
10	15°	9	3	68175	95%	1.262,50	54	54	100%
11	20°	9	3	66135	92%	1.224,71	54	54	100%
12	25°	9	3	65600	91%	1.214,81	54	54	100%
13	30°	9	3	62439	87%	1.183,90	53	54	98%

14	35°	9	3	56615	79%	1.131,40	50	54	93%
15	5°	12	3	73738	99%	1.365,52	54	54	100%
16	10°	12	3	74142	100%	1.373,00	54	54	100%
17	15°	12	3	70977	96%	1.314,40	54	54	100%
18	20°	12	3	69316	93%	1.283,62	54	54	100%
19	25°	12	3	68964	93%	1.277,10	54	54	100%
20	30°	12	3	67073	90%	1.242,10	54	54	100%
21	35°	12	3	63401	86%	1.174,10	54	54	100%
22	5°	15	3	76154	99%	1.410,27	54	54	100%
23	10°	15	3	76652	100%	1.419,48	54	54	100%
24	15°	15	3	74181	97%	1.373,72	54	54	100%
25	20°	15	3	72835	95%	1.348,80	54	54	100%
26	25°	15	3	72622	95%	1.344,86	54	54	100%
27	30°	15	3	70803	92%	1.311,17	54	54	100%
28	35°	15	3	67695	88%	1.253,61	54	54	100%
29	5°	18	3	76501	99%	1.416,68	54	54	100%
30	10°	18	3	77012	100%	1.426,15	54	54	100%
31	15°	18	3	74647	97%	1.382,36	54	54	100%
32	20°	18	3	73536	95%	1.361,78	54	54	100%
33	25°	18	3	73369	95%	1.358,69	54	54	100%
34	30°	18	3	71859	93%	1.330,72	54	54	100%
35	35°	18	3	69106	90%	1.279,74	54	54	100%
36	5°	21	3	76777	99%	1.421,80	54	54	100%
37	10°	21	3	77304	100%	1.431,56	54	54	100%
38	15°	21	3	75033	97%	1.389,50	54	54	100%
39	20°	21	3	74008	96%	1.370,52	54	54	100%
40	25°	21	3	73843	96%	1.367,47	54	54	100%
41	30°	21	3	72382	94%	1.340,41	54	54	100%
42	35°	21	3	69721	90%	1.291,13	54	54	100%
43	5°	24	3	77440	99%	1.434,08	54	54	100%
44	10°	24	3	78024	100%	1.444,89	54	54	100%
45	15°	24	3	75954	97%	1.406,56	54	54	100%
46	20°	24	3	74831	96%	1.385,77	54	54	100%
47	25°	24	3	74721	96%	1.383,73	54	54	100%
48	30°	24	3	73339	94%	1.358,14	54	54	100%
49	35°	24	3	70730	91%	1.309,81	54	54	100%
50	5°	27	3	77804	99%	1.440,81	54	54	100%
51	10°	27	3	78465	100%	1.453,06	54	54	100%
52	15°	27	3	76556	98%	1.417,70	54	54	100%
53	20°	27	3	75781	97%	1.403,36	54	54	100%
54	25°	27	3	75709	96%	1.402,03	54	54	100%
55	30°	27	3	74560	95%	1.380,73	54	54	100%
56	35°	27	3	72320	92%	1.339,27	54	54	100%
57	5°	30	3	77848	99%	1.441,63	54	54	100%
58	10°	30	3	78518	100%	1.454,04	54	54	100%
59	15°	30	3	76635	98%	1.419,16	54	54	100%
60	20°	30	3	75893	97%	1.405,42	54	54	100%
61	25°	30	3	75881	97%	1.405,20	54	54	100%
62	30°	30	3	74773	95%	1.384,69	54	54	100%
63	35°	30	3	72569	92%	1.343,87	54	54	100%

64	5°	33	3	77893	99%	1.442,46	54	54	100%
65	10°	33	3	78564	100%	1.454,89	54	54	100%
66	15°	33	3	76702	98%	1.420,41	54	54	100%
67	20°	33	3	75981	97%	1.407,06	54	54	100%
68	25°	33	3	75978	97%	1.406,99	54	54	100%
69	30°	33	3	74879	95%	1.386,65	54	54	100%
70	35°	33	3	72693	93%	1.346,17	54	54	100%
71	5°	6	6	75269	100%	1.210,88	62	108	58%
72	10°	6	6	67719	90%	1.211,65	56	108	52%
73	15°	6	6	64725	86%	1.186,10	55	108	51%
74	20°	6	6	55194	73%	1.210,40	46	108	42%
75	25°	6	6	49824	66%	1.203,49	41	108	38%
76	30°	6	6	44328	59%	1.204,23	37	108	34%
77	35°	6	6	40019	53%	1.187,87	34	108	31%
78	5°	9	6	102458	100%	1.221,48	84	108	78%
79	10°	9	6	94776	93%	1.202,14	79	108	73%
80	15°	9	6	90376	88%	1.198,30	75	108	70%
81	20°	9	6	82843	81%	1.185,16	70	108	65%
82	25°	9	6	78386	77%	1.142,99	69	108	63%
83	30°	9	6	71477	70%	1.128,64	63	108	59%
84	35°	9	6	61369	60%	1.131,43	54	108	50%
85	5°	12	6	124703	100%	1.212,24	103	108	95%
86	10°	12	6	120405	97%	1.191,31	101	108	94%
87	15°	12	6	114682	92%	1.182,04	97	108	90%
88	20°	12	6	108409	87%	1.164,93	93	108	86%
89	25°	12	6	101286	81%	1.135,62	89	108	83%
90	30°	12	6	92653	74%	1.126,75	82	108	76%
91	35°	12	6	81791	66%	1.123,35	73	108	67%
92	5°	15	6	136806	100%	1.266,72	108	108	100%
93	10°	15	6	134522	98%	1.245,57	108	108	100%
94	15°	15	6	131898	96%	1.221,27	108	108	100%
95	20°	15	6	127870	93%	1.194,94	107	108	99%
96	25°	15	6	122511	90%	1.170,45	105	108	97%
97	30°	15	6	116771	85%	1.152,27	101	108	94%
98	35°	15	6	108876	80%	1.131,30	96	108	89%
99	5°	18	6	141516	100%	1.310,33	108	108	100%
100	10°	18	6	139375	98%	1.290,51	108	108	100%
101	15°	18	6	136919	97%	1.267,77	108	108	100%
102	20°	18	6	134156	95%	1.242,18	108	108	100%
103	25°	18	6	130715	92%	1.210,32	108	108	100%
104	30°	18	6	127554	90%	1.181,05	108	108	100%
105	35°	18	6	122819	87%	1.153,55	106	108	99%
106	5°	21	6	145021	100%	1.342,79	108	108	100%
107	10°	21	6	143312	99%	1.326,96	108	108	100%
108	15°	21	6	140950	97%	1.305,10	108	108	100%
109	20°	21	6	138435	95%	1.281,81	108	108	100%
110	25°	21	6	135545	93%	1.255,05	108	108	100%
111	30°	21	6	132439	91%	1.226,29	108	108	100%
112	35°	21	6	128794	89%	1.192,54	108	108	100%
113	5°	24	6	146754	100%	1.358,83	108	108	100%

114	10°	24	6	145090	99%	1.343,42	108	108	100%
115	15°	24	6	142951	97%	1.323,62	108	108	100%
116	20°	24	6	140390	96%	1.299,91	108	108	100%
117	25°	24	6	137675	94%	1.274,77	108	108	100%
118	30°	24	6	134880	92%	1.248,89	108	108	100%
119	35°	24	6	131290	89%	1.215,65	108	108	100%
120	5°	27	6	148782	100%	1.377,61	108	108	100%
121	10°	27	6	147331	99%	1.364,17	108	108	100%
122	15°	27	6	145460	98%	1.346,85	108	108	100%
123	20°	27	6	143327	96%	1.327,10	108	108	100%
124	25°	27	6	140750	95%	1.303,24	108	108	100%
125	30°	27	6	137977	93%	1.277,56	108	108	100%
126	35°	27	6	134839	91%	1.248,51	108	108	100%
127	5°	30	6	149582	100%	1.385,02	108	108	100%
128	10°	30	6	148120	99%	1.371,48	108	108	100%
129	15°	30	6	146173	98%	1.353,45	108	108	100%
130	20°	30	6	144082	96%	1.334,09	108	108	100%
131	25°	30	6	141624	95%	1.311,33	108	108	100%
132	30°	30	6	138932	93%	1.286,41	108	108	100%
133	35°	30	6	135870	91%	1.258,06	108	108	100%
134	5°	33	6	150733	100%	1.395,67	108	108	100%
135	10°	33	6	149364	99%	1.383,00	108	108	100%
136	15°	33	6	147648	98%	1.367,11	108	108	100%
137	20°	33	6	145664	97%	1.348,74	108	108	100%
138	25°	33	6	143332	95%	1.327,14	108	108	100%
139	30°	33	6	140765	93%	1.303,38	108	108	100%
140	35°	33	6	137813	91%	1.276,05	108	108	100%
141	5°	6	9	71398	100%	1.218,60	59	162	36%
142	10°	6	9	65742	92%	1.176,28	56	162	35%
143	15°	6	9	62485	88%	1.194,98	52	162	32%
144	20°	6	9	54547	76%	1.212,16	45	162	28%
145	25°	6	9	49824	70%	1.203,49	41	162	26%
146	30°	6	9	44327	62%	1.204,22	37	162	23%
147	35°	6	9	40615	57%	1.208,79	34	162	21%
148	5°	9	9	102639	100%	1.199,61	86	162	53%
149	10°	9	9	93442	91%	1.171,84	80	162	49%
150	15°	9	9	89326	87%	1.181,56	76	162	47%
151	20°	9	9	83469	81%	1.164,63	72	162	44%
152	25°	9	9	78306	76%	1.143,32	68	162	42%
153	30°	9	9	71348	70%	1.127,68	63	162	39%
154	35°	9	9	61771	60%	1.128,86	55	162	34%
155	5°	12	9	133439	100%	1.178,89	113	162	70%
156	10°	12	9	123035	92%	1.153,63	107	162	66%
157	15°	12	9	119158	89%	1.156,98	103	162	64%
158	20°	12	9	110570	83%	1.147,11	96	162	60%
159	25°	12	9	103112	77%	1.128,76	91	162	56%
160	30°	12	9	94790	71%	1.110,60	85	162	53%
161	35°	12	9	83743	63%	1.096,40	76	162	47%
162	5°	15	9	164145	100%	1.188,94	138	162	85%
163	10°	15	9	156060	95%	1.156,77	135	162	83%

164	15°	15	9	150641	92%	1.167,76	129	162	80%
165	20°	15	9	142150	87%	1.154,57	123	162	76%
166	25°	15	9	133428	81%	1.136,04	117	162	73%
167	30°	15	9	122466	75%	1.125,81	109	162	67%
168	35°	15	9	109537	67%	1.107,10	99	162	61%
169	5°	18	9	190614	100%	1.193,20	160	162	99%
170	10°	18	9	182641	96%	1.165,62	157	162	97%
171	15°	18	9	178197	93%	1.168,12	153	162	94%
172	20°	18	9	171157	90%	1.150,48	149	162	92%
173	25°	18	9	160433	84%	1.133,24	142	162	87%
174	30°	18	9	148842	78%	1.124,52	132	162	82%
175	35°	18	9	135882	71%	1.103,93	123	162	76%
176	5°	21	9	201284	100%	1.242,50	162	162	100%
177	10°	21	9	196130	97%	1.210,68	162	162	100%
178	15°	21	9	194474	97%	1.201,13	162	162	100%
179	20°	21	9	189709	94%	1.181,55	161	162	99%
180	25°	21	9	183290	91%	1.155,17	159	162	98%
181	30°	21	9	174535	87%	1.138,07	153	162	95%
182	35°	21	9	165713	82%	1.107,41	150	162	92%
183	5°	24	9	206410	100%	1.274,14	162	162	100%
184	10°	24	9	202008	98%	1.246,96	162	162	100%
185	15°	24	9	200414	97%	1.237,13	162	162	100%
186	20°	24	9	196524	95%	1.213,11	162	162	100%
187	25°	24	9	192293	93%	1.186,99	162	162	100%
188	30°	24	9	187144	91%	1.162,97	161	162	99%
189	35°	24	9	179074	87%	1.128,60	159	162	98%
190	5°	27	9	211778	100%	1.307,27	162	162	100%
191	10°	27	9	207948	98%	1.283,63	162	162	100%
192	15°	27	9	206273	97%	1.273,29	162	162	100%
193	20°	27	9	203032	96%	1.253,28	162	162	100%
194	25°	27	9	198847	94%	1.227,45	162	162	100%
195	30°	27	9	194715	92%	1.201,94	162	162	100%
196	35°	27	9	188978	89%	1.166,53	162	162	100%
197	5°	30	9	214634	100%	1.324,90	162	162	100%
198	10°	30	9	210962	98%	1.302,23	162	162	100%
199	15°	30	9	209246	97%	1.291,64	162	162	100%
200	20°	30	9	206049	96%	1.271,91	162	162	100%
201	25°	30	9	202182	94%	1.248,04	162	162	100%
202	30°	30	9	197964	92%	1.222,00	162	162	100%
203	35°	30	9	192334	90%	1.187,25	162	162	100%
204	5°	33	9	217866	100%	1.344,85	162	162	100%
205	10°	33	9	214325	98%	1.322,99	162	162	100%
206	15°	33	9	212697	98%	1.312,95	162	162	100%
207	20°	33	9	209712	96%	1.294,52	162	162	100%
208	25°	33	9	205899	95%	1.270,98	162	162	100%
209	30°	33	9	201823	93%	1.245,82	162	162	100%
210	35°	33	9	196631	90%	1.213,77	162	162	100%
211	5°	6	12	71989	99%	1.228,70	59	216	27%
212	10°	6	12	72401	100%	1.224,45	59	216	27%
213	15°	6	12	62580	86%	1.207,19	52	216	24%

214	20°	6	12	53539	74%	1.189,76	45	216	21%
215	25°	6	12	49538	68%	1.201,79	41	216	19%
216	30°	6	12	44692	62%	1.177,65	38	216	18%
217	35°	6	12	39524	55%	1.178,41	34	216	16%
218	5°	9	12	101910	100%	1.199,50	85	216	39%
219	10°	9	12	98540	97%	1.223,33	81	216	37%
220	15°	9	12	87983	86%	1.166,58	75	216	35%
221	20°	9	12	81064	80%	1.135,83	71	216	33%
222	25°	9	12	77045	76%	1.124,90	68	216	32%
223	30°	9	12	70903	70%	1.099,26	64	216	30%
224	35°	9	12	61297	60%	1.111,06	55	216	26%
225	5°	12	12	129292	100%	1.180,75	109	216	51%
226	10°	12	12	126115	98%	1.182,51	107	216	49%
227	15°	12	12	114581	89%	1.138,75	101	216	47%
228	20°	12	12	107310	83%	1.120,62	96	216	44%
229	25°	12	12	100669	78%	1.102,01	91	216	42%
230	30°	12	12	92592	72%	1.081,80	86	216	40%
231	35°	12	12	80599	62%	1.085,95	74	216	34%
232	5°	15	12	166617	100%	1.165,32	143	216	66%
233	10°	15	12	159192	96%	1.169,07	136	216	63%
234	15°	15	12	147392	88%	1.135,44	130	216	60%
235	20°	15	12	139040	83%	1.126,01	123	216	57%
236	25°	15	12	130409	78%	1.105,25	118	216	55%
237	30°	15	12	119606	72%	1.094,69	109	216	51%
238	35°	15	12	107139	64%	1.090,14	98	216	45%
239	5°	18	12	201056	100%	1.163,92	173	216	80%
240	10°	18	12	193762	96%	1.156,23	168	216	78%
241	15°	18	12	183852	91%	1.123,86	164	216	76%
242	20°	18	12	175134	87%	1.110,90	158	216	73%
243	25°	18	12	161098	80%	1.098,14	147	216	68%
244	30°	18	12	148203	74%	1.088,13	136	216	63%
245	35°	18	12	135420	67%	1.074,25	126	216	58%
246	5°	21	12	232782	100%	1.177,27	198	216	92%
247	10°	21	12	226297	97%	1.160,32	195	216	90%
248	15°	21	12	215287	92%	1.138,36	189	216	88%
249	20°	21	12	206021	89%	1.128,57	183	216	85%
250	25°	21	12	196281	84%	1.102,58	178	216	82%
251	30°	21	12	182453	78%	1.089,92	167	216	78%
252	35°	21	12	167758	72%	1.072,69	156	216	72%
253	5°	24	12	256060	100%	1.190,92	215	216	100%
254	10°	24	12	251262	98%	1.175,00	214	216	99%
255	15°	24	12	242384	95%	1.149,45	211	216	98%
256	20°	24	12	235934	92%	1.134,84	208	216	96%
257	25°	24	12	225641	88%	1.110,33	203	216	94%
258	30°	24	12	214721	84%	1.093,40	196	216	91%
259	35°	24	12	199574	78%	1.073,67	186	216	86%
260	5°	27	12	267082	100%	1.236,49	216	216	100%
261	10°	27	12	263511	99%	1.219,96	216	216	100%
262	15°	27	12	256929	96%	1.190,48	216	216	100%
263	20°	27	12	251736	94%	1.173,27	215	216	99%

264	25°	27	12	243698	91%	1.144,44	213	216	99%
265	30°	27	12	235277	88%	1.122,29	210	216	97%
266	35°	27	12	225013	84%	1.094,00	206	216	95%
267	5°	30	12	272618	100%	1.262,12	216	216	100%
268	10°	30	12	269333	99%	1.246,91	216	216	100%
269	15°	30	12	262948	96%	1.217,35	216	216	100%
270	20°	30	12	258753	95%	1.197,93	216	216	100%
271	25°	30	12	252389	93%	1.168,47	216	216	100%
272	30°	30	12	246505	90%	1.143,13	216	216	100%
273	35°	30	12	238112	87%	1.111,64	214	216	99%
274	5°	33	12	278085	100%	1.287,43	216	216	100%
275	10°	33	12	274754	99%	1.272,01	216	216	100%
276	15°	33	12	268614	97%	1.243,58	216	216	100%
277	20°	33	12	264467	95%	1.224,38	216	216	100%
278	25°	33	12	258259	93%	1.195,65	216	216	100%
279	30°	33	12	252604	91%	1.169,46	216	216	100%
280	35°	33	12	245590	88%	1.136,99	216	216	100%
281	5°	6	15	73836	100%	1.260,22	59	270	22%
282	10°	6	15	67291	91%	1.213,11	55	270	21%
283	15°	6	15	67030	91%	1.233,07	54	270	20%
284	20°	6	15	56492	77%	1.197,89	47	270	17%
285	25°	6	15	49589	67%	1.204,78	41	270	15%
286	30°	6	15	44735	61%	1.179,72	38	270	14%
287	35°	6	15	39496	53%	1.179,69	33	270	12%
288	5°	9	15	104616	100%	1.216,75	86	270	32%
289	10°	9	15	96339	92%	1.170,30	82	270	30%
290	15°	9	15	95111	91%	1.210,99	79	270	29%
291	20°	9	15	83125	79%	1.173,59	71	270	26%
292	25°	9	15	76579	73%	1.151,90	66	270	25%
293	30°	9	15	69684	67%	1.123,22	62	270	23%
294	35°	9	15	61039	58%	1.120,39	54	270	20%
295	5°	12	15	130496	100%	1.194,36	109	270	40%
296	10°	12	15	125205	96%	1.161,24	108	270	40%
297	15°	12	15	121723	93%	1.196,18	102	270	38%
298	20°	12	15	109522	84%	1.146,59	96	270	35%
299	25°	12	15	102250	78%	1.121,53	91	270	34%
300	30°	12	15	89907	69%	1.115,75	81	270	30%
301	35°	12	15	79816	61%	1.103,96	72	270	27%
302	5°	15	15	165113	100%	1.171,51	141	270	52%
303	10°	15	15	157540	95%	1.166,44	135	270	50%
304	15°	15	15	152060	92%	1.176,57	129	270	48%
305	20°	15	15	139229	84%	1.131,67	123	270	46%
306	25°	15	15	131059	79%	1.121,89	117	270	43%
307	30°	15	15	119441	72%	1.112,42	107	270	40%
308	35°	15	15	106751	65%	1.106,12	97	270	36%
309	5°	18	15	200678	100%	1.156,71	173	270	64%
310	10°	18	15	193636	96%	1.143,21	169	270	63%
311	15°	18	15	185778	93%	1.144,45	162	270	60%
312	20°	18	15	172120	86%	1.108,45	155	270	58%
313	25°	18	15	161380	80%	1.100,07	147	270	54%

314	30°	18	15	148017	74%	1.091,33	136	270	50%
315	35°	18	15	135943	68%	1.079,68	126	270	47%
316	5°	21	15	240471	100%	1.154,50	208	270	77%
317	10°	21	15	229616	95%	1.139,48	202	270	75%
318	15°	21	15	223710	93%	1.134,15	197	270	73%
319	20°	21	15	210479	88%	1.106,79	190	270	70%
320	25°	21	15	198510	83%	1.090,29	182	270	67%
321	30°	21	15	184195	77%	1.078,68	171	270	63%
322	35°	21	15	168622	70%	1.067,36	158	270	59%
323	5°	24	15	280527	100%	1.149,61	244	270	90%
324	10°	24	15	272599	97%	1.126,39	242	270	90%
325	15°	24	15	262909	94%	1.130,21	233	270	86%
326	20°	24	15	251110	90%	1.101,94	228	270	84%
327	25°	24	15	238678	85%	1.082,88	220	270	82%
328	30°	24	15	223658	80%	1.069,47	209	270	77%
329	35°	24	15	205377	73%	1.058,59	194	270	72%
330	5°	27	15	311527	100%	1.170,58	266	270	99%
331	10°	27	15	304052	98%	1.147,93	265	270	98%
332	15°	27	15	296510	95%	1.145,14	259	270	96%
333	20°	27	15	282228	91%	1.123,43	251	270	93%
334	25°	27	15	270790	87%	1.101,31	246	270	91%
335	30°	27	15	258447	83%	1.083,23	239	270	88%
336	35°	27	15	239761	77%	1.069,60	224	270	83%
337	5°	30	15	323382	100%	1.197,71	270	270	100%
338	10°	30	15	317362	98%	1.175,41	270	270	100%
339	15°	30	15	313957	97%	1.162,80	270	270	100%
340	20°	30	15	303293	94%	1.135,42	267	270	99%
341	25°	30	15	292352	90%	1.112,07	263	270	97%
342	30°	30	15	279541	86%	1.095,08	255	270	95%
343	35°	30	15	266586	82%	1.069,47	249	270	92%
344	5°	33	15	332021	100%	1.229,71	270	270	100%
345	10°	33	15	325757	98%	1.206,51	270	270	100%
346	15°	33	15	322323	97%	1.193,79	270	270	100%
347	20°	33	15	314273	95%	1.164,36	270	270	100%
348	25°	33	15	305805	92%	1.136,78	269	270	100%
349	30°	33	15	296061	89%	1.114,86	266	270	98%
350	35°	33	15	286104	86%	1.086,44	263	270	98%
351	5°	6	18	69452	98%	1.185,39	59	324	18%
352	10°	6	18	71100	100%	1.196,97	59	324	18%
353	15°	6	18	62827	88%	1.206,35	52	324	16%
354	20°	6	18	56492	79%	1.197,89	47	324	15%
355	25°	6	18	49589	70%	1.204,78	41	324	13%
356	30°	6	18	44735	63%	1.179,72	38	324	12%
357	35°	6	18	39496	56%	1.179,69	33	324	10%
358	5°	9	18	105145	100%	1.177,70	89	324	28%
359	10°	9	18	101673	97%	1.184,18	86	324	26%
360	15°	9	18	91425	87%	1.162,72	79	324	24%
361	20°	9	18	83480	79%	1.175,11	71	324	22%
362	25°	9	18	76579	73%	1.151,90	66	324	21%
363	30°	9	18	69684	66%	1.123,22	62	324	19%

364	35°	9	18	61039	58%	1.120,39	54	324	17%
365	5°	12	18	130591	100%	1.187,73	110	324	34%
366	10°	12	18	124718	96%	1.186,44	105	324	32%
367	15°	12	18	121386	93%	1.152,10	105	324	33%
368	20°	12	18	113838	87%	1.140,21	100	324	31%
369	25°	12	18	102513	78%	1.124,05	91	324	28%
370	30°	12	18	89798	69%	1.118,56	80	324	25%
371	35°	12	18	79946	61%	1.104,83	72	324	22%
372	5°	15	18	166275	100%	1.177,75	141	324	44%
373	10°	15	18	160917	97%	1.157,01	139	324	43%
374	15°	15	18	154843	93%	1.162,23	133	324	41%
375	20°	15	18	143571	86%	1.148,75	125	324	39%
376	25°	15	18	132555	80%	1.130,34	117	324	36%
377	30°	15	18	118905	72%	1.122,17	106	324	33%
378	35°	15	18	106452	64%	1.110,26	96	324	30%
379	5°	18	18	200381	100%	1.160,62	173	324	53%
380	10°	18	18	195203	97%	1.146,77	170	324	53%
381	15°	18	18	186359	93%	1.151,64	162	324	50%
382	20°	18	18	173778	87%	1.131,59	154	324	47%
383	25°	18	18	162972	81%	1.116,86	146	324	45%
384	30°	18	18	147586	74%	1.106,01	133	324	41%
385	35°	18	18	135063	67%	1.091,95	124	324	38%
386	5°	21	18	238811	100%	1.152,17	207	324	64%
387	10°	21	18	232482	97%	1.143,99	203	324	63%
388	15°	21	18	223764	94%	1.138,40	197	324	61%
389	20°	21	18	211806	89%	1.112,54	190	324	59%
390	25°	21	18	200180	84%	1.101,10	182	324	56%
391	30°	21	18	184581	77%	1.089,17	169	324	52%
392	35°	21	18	168130	70%	1.079,00	156	324	48%
393	5°	24	18	286478	100%	1.132,24	253	324	78%
394	10°	24	18	276714	97%	1.123,76	246	324	76%
395	15°	24	18	267272	93%	1.117,54	239	324	74%
396	20°	24	18	254281	89%	1.094,10	232	324	72%
397	25°	24	18	240975	84%	1.083,13	222	324	69%
398	30°	24	18	226281	79%	1.067,01	212	324	65%
399	35°	24	18	207028	72%	1.057,94	196	324	60%
400	5°	27	18	328487	100%	1.142,36	288	324	89%
401	10°	27	18	320312	98%	1.128,06	284	324	88%
402	15°	27	18	309417	94%	1.120,71	276	324	85%
403	20°	27	18	295102	90%	1.103,14	268	324	83%
404	25°	27	18	281984	86%	1.087,53	259	324	80%
405	30°	27	18	268663	82%	1.068,80	251	324	78%
406	35°	27	18	248562	76%	1.057,76	235	324	73%
407	5°	30	18	362713	100%	1.145,90	317	324	98%
408	10°	30	18	353086	97%	1.131,25	312	324	96%
409	15°	30	18	340705	94%	1.123,77	303	324	94%
410	20°	30	18	328068	90%	1.103,38	297	324	92%
411	25°	30	18	314382	87%	1.084,15	290	324	90%
412	30°	30	18	297390	82%	1.070,17	278	324	86%
413	35°	30	18	280519	77%	1.052,17	267	324	82%

414	5°	33	18	380100	100%	1.173,15	324	324	100%
415	10°	33	18	372731	98%	1.153,61	323	324	100%
416	15°	33	18	365537	96%	1.138,32	321	324	99%
417	20°	33	18	353624	93%	1.119,10	316	324	98%
418	25°	33	18	339649	89%	1.098,33	309	324	95%
419	30°	33	18	325516	86%	1.080,08	301	324	93%
420	35°	33	18	309361	81%	1.060,04	292	324	90%

APÊNDICE 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE IRRADIAÇÃO SOLAR NOS PVS

BELÉM (Lat.: -1°27') - RESULTADOS DOS PVs NA COBERTURA - CENÁRIO 9PAV. E 18M AFASTAMENTO								
nº	PV Cobertura Inclinação p/ Norte (°)	PV Afasta mento (m)	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total PV (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	1,1	214.873	100%	1.841,67	117	117	100%
2	10°	1,1	212.163	99%	1.818,45	117	117	100%
3	15°	1,1	206.699	96%	1.771,61	117	117	100%
4	20°	1,1	198.770	93%	1.703,65	117	117	100%
5	25°	1,1	189.934	88%	1.627,92	117	117	100%
6	30°	1,1	181.109	84%	1.552,29	117	117	100%
7	35°	1,1	171.598	80%	1.470,76	117	117	100%
8	5°	1,2	193.385	90%	1.841,67	105	105	100%
9	10°	1,2	191.248	89%	1.821,32	105	105	100%
10	15°	1,2	187.375	87%	1.784,43	105	105	100%
11	20°	1,2	181.158	84%	1.725,23	105	105	100%
12	25°	1,2	174.870	81%	1.665,35	105	105	100%
13	30°	1,2	167.481	78%	1.594,98	105	105	100%
14	35°	1,2	158.735	74%	1.511,68	105	105	100%
15	5°	1,3	171.898	80%	1.841,67	93	93	100%
16	10°	1,3	170.159	79%	1.823,04	93	93	100%
17	15°	1,3	166.974	78%	1.788,91	93	93	100%
18	20°	1,3	162.475	76%	1.740,72	93	93	100%
19	25°	1,3	156.210	73%	1.673,59	93	93	100%
20	30°	1,3	149.838	70%	1.605,32	93	93	100%
21	35°	1,3	142.991	67%	1.531,97	93	93	100%
22	5°	1,4	171.898	80%	1.841,67	93	93	100%
23	10°	1,4	170.393	79%	1.825,55	93	93	100%
24	15°	1,4	167.639	78%	1.796,04	93	93	100%
25	20°	1,4	162.897	76%	1.745,23	93	93	100%
26	25°	1,4	157.467	73%	1.687,06	93	93	100%
27	30°	1,4	150.174	70%	1.608,93	93	93	100%
28	35°	1,4	143.516	67%	1.537,60	93	93	100%
29	5°	1,5	150.411	70%	1.841,67	82	82	100%
30	10°	1,5	149.310	69%	1.828,19	82	82	100%
31	15°	1,5	146.707	68%	1.796,32	82	82	100%
32	20°	1,5	143.004	67%	1.750,98	82	82	100%
33	25°	1,5	138.221	64%	1.692,42	82	82	100%
34	30°	1,5	132.851	62%	1.626,67	82	82	100%
35	35°	1,5	126.452	59%	1.548,31	82	82	100%
36	5°	1,6	150.411	70%	1.841,67	82	82	100%
37	10°	1,6	149.367	70%	1.828,89	82	82	100%
38	15°	1,6	146.849	68%	1.798,06	82	82	100%
39	20°	1,6	143.632	67%	1.758,67	82	82	100%
40	25°	1,6	138.256	64%	1.692,84	82	82	100%
41	30°	1,6	132.886	62%	1.627,10	82	82	100%
42	35°	1,6	126.861	59%	1.553,32	82	82	100%

43	5°	1,7	128.924	60%	1.841,67	70	70	100%
44	10°	1,7	128.028	60%	1.828,88	70	70	100%
45	15°	1,7	125.886	59%	1.798,28	70	70	100%
46	20°	1,7	123.141	57%	1.759,07	70	70	100%
47	25°	1,7	118.879	55%	1.698,18	70	70	100%
48	30°	1,7	114.153	53%	1.630,67	70	70	100%
49	35°	1,7	109.042	51%	1.557,67	70	70	100%
50	5°	1,8	128.923	60%	1.841,67	70	70	100%
51	10°	1,8	128.029	60%	1.828,89	70	70	100%
52	15°	1,8	125.892	59%	1.798,37	70	70	100%
53	20°	1,8	123.146	57%	1.759,14	70	70	100%
54	25°	1,8	119.583	56%	1.708,24	70	70	100%
55	30°	1,8	114.481	53%	1.635,36	70	70	100%
56	35°	1,8	109.233	51%	1.560,39	70	70	100%
57	5°	1,9	128.924	60%	1.841,67	70	70	100%
58	10°	1,9	128.029	60%	1.828,89	70	70	100%
59	15°	1,9	125.994	59%	1.799,82	70	70	100%
60	20°	1,9	123.152	57%	1.759,22	70	70	100%
61	25°	1,9	119.841	56%	1.711,92	70	70	100%
62	30°	1,9	114.667	53%	1.638,01	70	70	100%
63	35°	1,9	109.251	51%	1.560,65	70	70	100%
64	5°	2	107.436	50%	1.841,67	58	58	100%
65	10°	2	106.690	50%	1.828,88	58	58	100%
66	15°	2	105.091	49%	1.801,46	58	58	100%
67	20°	2	102.753	48%	1.761,40	58	58	100%
68	25°	2	99.893	46%	1.712,37	58	58	100%
69	30°	2	96.088	45%	1.647,14	58	58	100%
70	35°	2	91.290	42%	1.564,89	58	58	100%
71	5°	2,1	107.436	50%	1.841,67	58	58	100%
72	10°	2,1	106.690	50%	1.828,88	58	58	100%
73	15°	2,1	105.090	49%	1.801,45	58	58	100%
74	20°	2,1	102.756	48%	1.761,45	58	58	100%
75	25°	2,1	99.893	46%	1.712,37	58	58	100%
76	30°	2,1	96.088	45%	1.647,14	58	58	100%
77	35°	2,1	91.566	43%	1.569,63	58	58	100%
78	5°	2,2	107.436	50%	1.841,67	58	58	100%
79	10°	2,2	106.691	50%	1.828,89	58	58	100%
80	15°	2,2	105.177	49%	1.802,94	58	58	100%
81	20°	2,2	102.765	48%	1.761,60	58	58	100%
82	25°	2,2	99.902	46%	1.712,51	58	58	100%
83	30°	2,2	96.232	45%	1.649,61	58	58	100%
84	35°	2,2	91.925	43%	1.575,77	58	58	100%
85	5°	2,3	107.436	50%	1.841,67	58	58	100%
86	10°	2,3	106.691	50%	1.828,89	58	58	100%
87	15°	2,3	105.318	49%	1.805,36	58	58	100%
88	20°	2,3	102.768	48%	1.761,65	58	58	100%
89	25°	2,3	100.015	47%	1.714,45	58	58	100%
90	30°	2,3	96.388	45%	1.652,28	58	58	100%
91	35°	2,3	91.926	43%	1.575,80	58	58	100%
92	5°	2,4	85.949	40%	1.841,67	47	47	100%

93	10°	2,4	85.352	40%	1.828,88	47	47	100%
94	15°	2,4	84.253	39%	1.805,34	47	47	100%
95	20°	2,4	82.301	38%	1.763,51	47	47	100%
96	25°	2,4	80.040	37%	1.715,06	47	47	100%
97	30°	2,4	77.205	36%	1.654,32	47	47	100%
98	35°	2,4	73.719	34%	1.579,62	47	47	100%
99	5°	2,5	85.949	40%	1.841,67	47	47	100%
100	10°	2,5	85.352	40%	1.828,88	47	47	100%
101	15°	2,5	84.254	39%	1.805,35	47	47	100%
102	20°	2,5	82.303	38%	1.763,54	47	47	100%
103	25°	2,5	80.041	37%	1.715,07	47	47	100%
104	30°	2,5	77.215	36%	1.654,53	47	47	100%
105	35°	2,5	73.719	34%	1.579,62	47	47	100%

BRASÍLIA (Lat.: -15°47') - RESULTADOS DOS PVs NA COBERTURA - CENÁRIO 9PAV. E 18M AFASTAMENTO

n°	PV Cobertura Inclinação p/ Norte (°)	PV Afastamento (m)	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Variação (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total PV (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	1,1	238.944	99%	2.047,99	117	117	100%
2	10°	1,1	240.628	100%	2.062,42	117	117	100%
3	15°	1,1	238.387	99%	2.043,22	117	117	100%
4	20°	1,1	229.627	95%	1.968,13	117	117	100%
5	25°	1,1	221.071	92%	1.894,80	117	117	100%
6	30°	1,1	209.775	87%	1.797,98	117	117	100%
7	35°	1,1	202.956	84%	1.739,54	117	117	100%
8	5°	1,2	215.049	89%	2.047,99	105	105	100%
9	10°	1,2	216.893	90%	2.065,54	105	105	100%
10	15°	1,2	216.588	90%	2.062,64	105	105	100%
11	20°	1,2	213.152	89%	2.029,92	105	105	100%
12	25°	1,2	208.590	87%	1.986,47	105	105	100%
13	30°	1,2	201.247	84%	1.916,54	105	105	100%
14	35°	1,2	194.947	81%	1.856,55	105	105	100%
15	5°	1,3	191.155	79%	2.047,99	93	93	100%
16	10°	1,3	192.977	80%	2.067,50	93	93	100%
17	15°	1,3	193.154	80%	2.069,40	93	93	100%
18	20°	1,3	191.577	80%	2.052,51	93	93	100%
19	25°	1,3	187.537	78%	2.009,23	93	93	100%
20	30°	1,3	182.725	76%	1.957,67	93	93	100%
21	35°	1,3	177.861	74%	1.905,56	93	93	100%
22	5°	1,4	191.155	79%	2.047,99	93	93	100%
23	10°	1,4	193.231	80%	2.070,23	93	93	100%
24	15°	1,4	193.831	81%	2.076,65	93	93	100%
25	20°	1,4	192.216	80%	2.059,35	93	93	100%
26	25°	1,4	189.441	79%	2.029,62	93	93	100%
27	30°	1,4	184.077	76%	1.972,15	93	93	100%
28	35°	1,4	179.737	75%	1.925,66	93	93	100%
29	5°	1,5	167.261	70%	2.047,99	82	82	100%

30	10°	1,5	169.311	70%	2.073,09	82	82	100%
31	15°	1,5	169.627	70%	2.076,96	82	82	100%
32	20°	1,5	168.699	70%	2.065,59	82	82	100%
33	25°	1,5	166.408	69%	2.037,55	82	82	100%
34	30°	1,5	163.158	68%	1.997,75	82	82	100%
35	35°	1,5	158.708	66%	1.943,26	82	82	100%
36	5°	1,6	167.261	70%	2.047,99	82	82	100%
37	10°	1,6	169.373	70%	2.073,85	82	82	100%
38	15°	1,6	169.790	71%	2.078,96	82	82	100%
39	20°	1,6	169.340	70%	2.073,45	82	82	100%
40	25°	1,6	166.444	69%	2.037,99	82	82	100%
41	30°	1,6	163.195	68%	1.998,20	82	82	100%
42	35°	1,6	159.168	66%	1.948,90	82	82	100%
43	5°	1,7	143.366	60%	2.047,99	70	70	100%
44	10°	1,7	145.176	60%	2.073,84	70	70	100%
45	15°	1,7	145.551	60%	2.079,19	70	70	100%
46	20°	1,7	145.179	60%	2.073,88	70	70	100%
47	25°	1,7	143.073	59%	2.043,80	70	70	100%
48	30°	1,7	140.301	58%	2.004,20	70	70	100%
49	35°	1,7	136.776	57%	1.953,84	70	70	100%
50	5°	1,8	143.366	60%	2.047,99	70	70	100%
51	10°	1,8	145.176	60%	2.073,84	70	70	100%
52	15°	1,8	145.558	60%	2.079,30	70	70	100%
53	20°	1,8	145.184	60%	2.073,96	70	70	100%
54	25°	1,8	143.804	60%	2.054,24	70	70	100%
55	30°	1,8	140.660	58%	2.009,33	70	70	100%
56	35°	1,8	137.136	57%	1.958,98	70	70	100%
57	5°	1,9	143.366	60%	2.047,99	70	70	100%
58	10°	1,9	145.177	60%	2.073,84	70	70	100%
59	15°	1,9	145.668	61%	2.080,86	70	70	100%
60	20°	1,9	145.191	60%	2.074,06	70	70	100%
61	25°	1,9	144.083	60%	2.058,22	70	70	100%
62	30°	1,9	140.861	59%	2.012,20	70	70	100%
63	35°	1,9	137.155	57%	1.959,25	70	70	100%
64	5°	2	119.472	50%	2.047,99	58	58	100%
65	10°	2	120.980	50%	2.073,83	58	58	100%
66	15°	2	121.494	50%	2.082,65	58	58	100%
67	20°	2	121.137	50%	2.076,53	58	58	100%
68	25°	2	120.097	50%	2.058,71	58	58	100%
69	30°	2	117.935	49%	2.021,63	58	58	100%
70	35°	2	114.564	48%	1.963,85	58	58	100%
71	5°	2,1	119.472	50%	2.047,99	58	58	100%
72	10°	2,1	120.980	50%	2.073,84	58	58	100%
73	15°	2,1	121.494	50%	2.082,64	58	58	100%
74	20°	2,1	121.140	50%	2.076,58	58	58	100%
75	25°	2,1	120.097	50%	2.058,70	58	58	100%
76	30°	2,1	117.935	49%	2.021,63	58	58	100%
77	35°	2,1	114.865	48%	1.969,01	58	58	100%
78	5°	2,2	119.472	50%	2.047,99	58	58	100%
79	10°	2,2	120.980	50%	2.073,84	58	58	100%

80	15°	2,2	121.588	51%	2.084,26	58	58	100%
81	20°	2,2	121.150	50%	2.076,75	58	58	100%
82	25°	2,2	120.107	50%	2.058,87	58	58	100%
83	30°	2,2	118.091	49%	2.024,31	58	58	100%
84	35°	2,2	115.227	48%	1.975,21	58	58	100%
85	5°	2,3	119.472	50%	2.047,99	58	58	100%
86	10°	2,3	120.980	50%	2.073,84	58	58	100%
87	15°	2,3	121.740	51%	2.086,87	58	58	100%
88	20°	2,3	121.153	50%	2.076,80	58	58	100%
89	25°	2,3	120.236	50%	2.061,08	58	58	100%
90	30°	2,3	118.259	49%	2.027,20	58	58	100%
91	35°	2,3	115.228	48%	1.975,25	58	58	100%
92	5°	2,4	95.578	40%	2.047,99	47	47	100%
93	10°	2,4	96.784	40%	2.073,83	47	47	100%
94	15°	2,4	97.391	40%	2.086,85	47	47	100%
95	20°	2,4	97.017	40%	2.078,82	47	47	100%
96	25°	2,4	96.220	40%	2.061,75	47	47	100%
97	30°	2,4	94.710	39%	2.029,41	47	47	100%
98	35°	2,4	92.377	38%	1.979,41	47	47	100%
99	5°	2,5	95.578	40%	2.047,99	47	47	100%
100	10°	2,5	96.784	40%	2.073,83	47	47	100%
101	15°	2,5	97.392	40%	2.086,86	47	47	100%
102	20°	2,5	97.018	40%	2.078,85	47	47	100%
103	25°	2,5	96.220	40%	2.061,75	47	47	100%
104	30°	2,5	94.721	39%	2.029,64	47	47	100%
105	35°	2,5	92.377	38%	1.979,41	47	47	100%

PORTO ALEGRE (Lat.: -30°1') - RESULTADOS DOS PVs NA COBERTURA - CENÁRIO 9PAV. E 18M AFASTAMENTO

n°	PV Cobertura Inclinação p/ Norte (°)	PV Afasta- mento (m)	Irradiação Efetiva anual (kWh/ano)	Varição (%)	Média Irradiação Efetiva (kWh/m²)	Área efetiva irradiação ≥ a 800kWh/m² (m²)	Area total PV (m²)	Percentual de Área efetiva (%)
1	5°	1,1	200.095	98%	1.715,01	117	117	100%
2	10°	1,1	203.333	100%	1.742,76	117	117	100%
3	15°	1,1	199.771	98%	1.712,24	117	117	100%
4	20°	1,1	190.965	94%	1.636,76	117	117	100%
5	25°	1,1	186.737	92%	1.600,52	117	117	100%
6	30°	1,1	181.026	89%	1.551,57	117	117	100%
7	35°	1,1	176.722	87%	1.514,68	117	117	100%
8	5°	1,2	180.086	89%	1.715,01	105	105	100%
9	10°	1,2	183.398	90%	1.746,56	105	105	100%
10	15°	1,2	184.098	91%	1.753,23	105	105	100%
11	20°	1,2	180.214	89%	1.716,24	105	105	100%
12	25°	1,2	176.564	87%	1.681,47	105	105	100%
13	30°	1,2	170.442	84%	1.623,18	105	105	100%
14	35°	1,2	166.617	82%	1.586,75	105	105	100%
15	5°	1,3	160.076	79%	1.715,01	93	93	100%
16	10°	1,3	163.230	80%	1.748,80	93	93	100%
17	15°	1,3	164.869	81%	1.766,36	93	93	100%

18	20°	1,3	164.438	81%	1.761,74	93	93	100%
19	25°	1,3	160.067	79%	1.714,92	93	93	100%
20	30°	1,3	157.104	77%	1.683,17	93	93	100%
21	35°	1,3	153.627	76%	1.645,92	93	93	100%
22	5°	1,4	160.076	79%	1.715,01	93	93	100%
23	10°	1,4	163.537	80%	1.752,09	93	93	100%
24	15°	1,4	165.664	81%	1.774,88	93	93	100%
25	20°	1,4	165.478	81%	1.772,89	93	93	100%
26	25°	1,4	164.183	81%	1.759,01	93	93	100%
27	30°	1,4	158.616	78%	1.699,37	93	93	100%
28	35°	1,4	156.471	77%	1.676,39	93	93	100%
29	5°	1,5	140.067	69%	1.715,01	82	82	100%
30	10°	1,5	143.346	70%	1.755,17	82	82	100%
31	15°	1,5	144.986	71%	1.775,25	82	82	100%
32	20°	1,5	145.541	72%	1.782,05	82	82	100%
33	25°	1,5	144.748	71%	1.772,34	82	82	100%
34	30°	1,5	142.962	70%	1.750,46	82	82	100%
35	35°	1,5	139.528	69%	1.708,42	82	82	100%
36	5°	1,6	140.067	69%	1.715,01	82	82	100%
37	10°	1,6	143.412	71%	1.755,97	82	82	100%
38	15°	1,6	145.173	71%	1.777,54	82	82	100%
39	20°	1,6	146.297	72%	1.791,30	82	82	100%
40	25°	1,6	144.788	71%	1.772,82	82	82	100%
41	30°	1,6	142.997	70%	1.750,90	82	82	100%
42	35°	1,6	140.936	69%	1.725,66	82	82	100%
43	5°	1,7	120.057	59%	1.715,01	70	70	100%
44	10°	1,7	122.924	60%	1.755,97	70	70	100%
45	15°	1,7	124.452	61%	1.777,80	70	70	100%
46	20°	1,7	125.433	62%	1.791,81	70	70	100%
47	25°	1,7	124.717	61%	1.781,58	70	70	100%
48	30°	1,7	123.324	61%	1.761,69	70	70	100%
49	35°	1,7	121.209	60%	1.731,47	70	70	100%
50	5°	1,8	120.057	59%	1.715,01	70	70	100%
51	10°	1,8	122.924	60%	1.755,97	70	70	100%
52	15°	1,8	124.459	61%	1.777,89	70	70	100%
53	20°	1,8	125.439	62%	1.791,89	70	70	100%
54	25°	1,8	125.563	62%	1.793,66	70	70	100%
55	30°	1,8	123.940	61%	1.770,49	70	70	100%
56	35°	1,8	121.898	60%	1.741,31	70	70	100%
57	5°	1,9	120.057	59%	1.715,01	70	70	100%
58	10°	1,9	122.924	60%	1.755,97	70	70	100%
59	15°	1,9	124.607	61%	1.780,00	70	70	100%
60	20°	1,9	125.446	62%	1.791,99	70	70	100%
61	25°	1,9	125.865	62%	1.797,98	70	70	100%
62	30°	1,9	124.184	61%	1.773,97	70	70	100%
63	35°	1,9	121.924	60%	1.741,68	70	70	100%
64	5°	2	100.048	49%	1.715,01	58	58	100%
65	10°	2	102.436	50%	1.755,96	58	58	100%
66	15°	2	103.950	51%	1.781,90	58	58	100%
67	20°	2	104.704	51%	1.794,83	58	58	100%

68	25°	2	104.920	52%	1.798,53	58	58	100%
69	30°	2	104.109	51%	1.784,64	58	58	100%
70	35°	2	102.055	50%	1.749,42	58	58	100%
71	5°	2,1	100.048	49%	1.715,01	58	58	100%
72	10°	2,1	102.437	50%	1.755,97	58	58	100%
73	15°	2,1	103.949	51%	1.781,89	58	58	100%
74	20°	2,1	104.708	51%	1.794,90	58	58	100%
75	25°	2,1	104.920	52%	1.798,53	58	58	100%
76	30°	2,1	104.109	51%	1.784,64	58	58	100%
77	35°	2,1	102.441	50%	1.756,05	58	58	100%
78	5°	2,2	100.048	49%	1.715,01	58	58	100%
79	10°	2,2	102.437	50%	1.755,97	58	58	100%
80	15°	2,2	104.050	51%	1.783,63	58	58	100%
81	20°	2,2	104.717	52%	1.795,05	58	58	100%
82	25°	2,2	104.930	52%	1.798,71	58	58	100%
83	30°	2,2	104.278	51%	1.787,53	58	58	100%
84	35°	2,2	102.863	51%	1.763,28	58	58	100%
85	5°	2,3	100.048	49%	1.715,01	58	58	100%
86	10°	2,3	102.437	50%	1.755,97	58	58	100%
87	15°	2,3	104.214	51%	1.786,43	58	58	100%
88	20°	2,3	104.720	52%	1.795,11	58	58	100%
89	25°	2,3	105.079	52%	1.801,27	58	58	100%
90	30°	2,3	104.460	51%	1.790,65	58	58	100%
91	35°	2,3	102.866	51%	1.763,32	58	58	100%
92	5°	2,4	80.038	39%	1.715,01	47	47	100%
93	10°	2,4	81.949	40%	1.755,96	47	47	100%
94	15°	2,4	83.370	41%	1.786,41	47	47	100%
95	20°	2,4	83.899	41%	1.797,74	47	47	100%
96	25°	2,4	84.098	41%	1.802,02	47	47	100%
97	30°	2,4	83.682	41%	1.793,09	47	47	100%
98	35°	2,4	82.503	41%	1.767,84	47	47	100%
99	5°	2,5	80.038	39%	1.715,01	47	47	100%
100	10°	2,5	81.949	40%	1.755,96	47	47	100%
101	15°	2,5	83.370	41%	1.786,41	47	47	100%
102	20°	2,5	83.900	41%	1.797,77	47	47	100%
103	25°	2,5	84.099	41%	1.802,02	47	47	100%
104	30°	2,5	83.694	41%	1.793,36	47	47	100%
105	35°	2,5	82.503	41%	1.767,84	47	47	100%

ANEXOS

ANEXO 1 - TABELA A.1 E A.9 DA INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO (INI-C) RETIFICADA
Tabela A.1 – Valores de referência para edificações de escritório

Uso típico	Edificações de escritórios	
	Condição real	Condição de referência
Geometria		
Área (m ²)		Condição real
Orientação solar		Condição real
Pé-direito (piso a teto) (m)		Condição real
Aberturas		
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	Condição real	50 (0,50)
PAZ - Percentual de área de abertura zenital (%)	Condição real	0,00
Componentes construtivos		
Parede	Condição real	<u>Parede externa/interna conforme Tabela A.9</u> ~~Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)~~
Upar - Transmitância da parede externa (W/(m ² .K))	Condição real	2,39
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/(m ² .K))	Condição real	150
Cobertura	Condição real	<u>Cobertura conforme Tabela A.9</u> ~~Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)~~
Ucob - Transmitância da cobertura (W/(m ² .K))	Condição real	2,06
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/(m ² .K))	Condição real	233
<u>Piso</u>	<u>Condição real</u>	<u>Piso conforme Tabela A.9</u>
<u>Upiso</u> - Transmitância do piso (W/(m ² .K))	<u>Condição real</u>	<u>2,06</u>
<u>αPISO</u> - Absortância do piso (adimensional)	<u>Condição real</u>	<u>0,8</u>
<u>CTpiso</u> - Capacidade térmica do piso (kJ/(m ² .K))	<u>Condição real</u>	<u>233</u>
Vidro	Condição real	Vidro simples incolor (6 mm)
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82
Uvid - Transmitância do vidro (W/(m ² .K))	Condição real	5,7
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0 [±]
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0 [±]
AOV - Ângulo de obstrução vizinha (°)* [±]		Condição real
Iluminação e ganhos internos		
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	Condição real	14,1**
Ocupação (m ² /pessoa)		10,0
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)*		15,0
Horas de ocupação (horas)		10
Dias de ocupação (N _{ano})*		260
Situação do piso		Condição real
Situação da cobertura		Condição real
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento
Condicionamento de ar (refrigeração)		
COP - Coeficiente de performance (W/W)	Condição real	~~2,60~~ 3,24
Temperatura setpoint (°C)*		24,0
Condicionamento de ar (aquecimento)		
<u>COP - Coeficiente de performance (W/W)</u>	<u>Condição real</u>	<u>3,24</u>
<u>Temperatura setpoint (°C)*</u>		<u>20,0</u>
Aquecimento de água*****		
<u>Eficiência do sistema de aquecimento de água sem acumulação^a</u>	<u>Condição real</u>	<u>0,95</u>
<u>Eficiência do sistema de aquecimento de água com acumulação^b</u>	<u>Condição real</u>	<u>0,85</u>

<u>Temperatura de armazenamento</u>	<u>50 °C</u>	
<u>Temperatura de uso de água quente</u>	<u>38 °C (norte e nordeste)</u> <u>40 °C (demais regiões)</u>	
<u>Temperatura de uso de água fria (°C)</u>	<u>Condição real</u>	
<u>Perdas na tubulação – sistema de aquecimento de água sem acumulação</u>	<u>Condição real</u>	<u>0</u>
<u>Perdas de recirculação – sistema de aquecimento de água sem acumulação</u>	<u>Condição real</u>	<u>0</u>
<u>Perdas de armazenamento – sistema de aquecimento de água sem acumulação</u>	<u>Condição real</u>	<u>0</u>
<u>Perdas na tubulação – sistema de aquecimento de água com acumulação</u>	<u>Condição real</u>	<u>Isolamento de 5 mm,</u> <u>$\lambda=0,03 \text{ W/(m.K)}$</u>
<u>Perdas da recirculação – sistema de aquecimento de água com acumulação</u>	<u>Condição real</u>	<u>Isolamento de 5 mm,</u> <u>$\lambda=0,03 \text{ W/(m.K)}$</u>
<u>Perdas de armazenamento – sistema de aquecimento de água com acumulação</u>	<u>Condição real</u>	

¹ Somente nos casos de ângulos provenientes do autossombreamento: o ângulo a ser considerado deve ser o mesmo para a condição real e condição de referência.

* A utilização do ângulo de obstrução vizinha (AOV) é opcional.

** Adotar este valor para a avaliação parcial da envoltória no caso da utilização do método do edifício completo (Subitem B.III.4.1). Para o método da atividade dos edifícios e potência ajustada, devem ser adotados os valores de potência de iluminação limite (DPI) para a classificação D.

*** Em casos em que se deseje utilizar os valores reais ou levantados por meio de projeto, a DPE para a condição real e de referência devem ser iguais. Caso sejam adotados valores não tabelados, deve ser entregue memorial de cálculo e declaração de responsabilidade técnica (ART/RRT).

**** Os dias de ocupação desta tipologia foram calculados com base na média de dias de semana por ano, excluindo-se os fins de semana.

***** Caso exista a necessidade da edificação operar com um setpoint diferente, deverá, seguindo-se então com o método de simulação; nestes casos, deve-se utilizar o mesmo setpoint para a edificação real e sua condição de referência.

~~***** Tipologia com consumo de água quente não significativo para a avaliação do sistema.~~

^a Sistema de referência: chuveiro elétrico

^b Sistema de referência: boiler elétrico

Tabela A.9 – Elementos construtivos e suas respectivas características

	<u>e</u> (cm)	<u>λ</u> (W/(m.K))	<u>ρ</u> (kg/m³)	<u>c</u> (kJ/(kg.K))	<u>Rt</u> (m².K/W)	<u>Ut</u> (W/(m².K))	<u>CTt</u> (kJ/(m².K))
<u>Parede externa/interna</u>							
~~Argamassa externa~~ <u>Componente 1 (externo)</u>	2,50	1,15	2000	1,00	0,022	2,39	150
~~Bloco cerâmico~~ <u>Componente 2</u>	1,34	0,90	1600	0,920	0,015		
Câmara de ar	6,32	0,364	-	-	0,175		
~~Bloco cerâmico~~ <u>Componente 2</u>	1,34	0,90	1600	0,920	0,015		
~~Argamassa interna~~ <u>Componente 3 (interno)</u>	2,50	1,15	2000	1,00	0,022		
<u>Piso</u>							
<u>Componente 4</u>	<u>10,0</u>	<u>1,75</u>	<u>2200</u>	<u>1,00</u>	<u>0,0571</u>	<u>2,06</u>	<u>233</u>
<u>Cobertura</u>							
~~Telha de fibrocimento~~ <u>Componente 5</u>	0,800	0,950	1900	0,840	0,0084	2,06	233
Câmara de ar (> 5 cm)	25,0	1,190	-	-	0,2100		
~~Laje de concreto~~ <u>Componente 6 (10 cm)</u>	10,0	1,75	2200	1,00	0,0571		

* e – espessura (cm);

* λ – condutividade térmica (W/(m.K));

* ρ – peso específico aparente (kg/m³);

* c – calor específico (kJ/kgK);

* Rt – resistência térmica total (m².K/W);

* Ut – transmitância térmica total (W/(m².K));

* CTt – capacidade térmica total (kJ/(m².K)).