

Universidade de Brasília
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pesquisa e Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Linha de pesquisa: Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do ambiente construído

Dissertação | Programa de Pesquisa e Pós-graduação da FAU

**CONDICIONANTES SOLARES COMO PRINCÍPIO ORIENTADOR DA
FORMA URBANA:
UM ESTUDO DE CASO APLICADO NO CONTEXTO DO DISTRITO FEDERAL**

Autora:

Márcia Bocacio Birck

Orientadora:

Prof^a Dr^a Cláudia Naves David Amorim

Brasília, julho de 2017

MÁRCIA BOCACIO BIRCK

**CONDICIONANTES SOLARES COMO PRINCÍPIO ORIENTADOR DA
FORMA URBANA:
UM ESTUDO DE CASO APLICADO NO CONTEXTO DO DISTRITO FEDERAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, dentro da linha de pesquisa Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do ambiente construído.

Orientador: Prof^ª Dr^ª Cláudia Naves David Amorim

Brasília
2017

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

BM319c Bocacio Birck, Márcia
Condicionantes solares como princípio orientador da forma urbana: Um estudo de caso aplicado no contexto do Distrito Federal / Márcia Bocacio Birck; orientador Cláudia Naves David Amorim. -- Brasília, 2017.
249 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -- Universidade de Brasília, 2017.

1. forma urbana. 2. planejamento urbano. 3. energia solar. 4. iluminância. 5. irradiância. I. Naves David Amorim, Cláudia, orient. II. Título.



Agradecimentos

Agradeço à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, que incentivou a permanência na pesquisa.

À minha orientadora Cláudia Amorim, por toda a atenção e paciência com os desvios de rota. Sou grata pelos ensinamentos, pelas críticas construtivas, pelas oportunidades de projetos, e, principalmente, por ter despertado em mim o interesse pela eficiência energética.

À Maria do Carmo Bezerra e Rômulo Ribeiro, professores do mestrado e membros da banca de qualificação. Agradeço por todas as contribuições. À Eleonora Sad de Assis, agradeço a disponibilidade, o entusiasmo e as críticas realizadas na banca final.

Ao professor Benamy Turkienicz, pela disponibilidade de utilização do software CityZoom, pela atenção e ensinamentos transmitidos. Ao Renato Silveira, pela ajuda técnica com o *software*.

Ao Erick Kill, pela ajuda com o *software* ArcGIS.

Ao suporte técnico do software Meteororm, que me disponibilizou o arquivo climático utilizado pelo *software* Citysim.

Ao apoio dos membros do grupo de pesquisa organizado pela professora Cláudia Amorim - Anderson Gomes, João Francisco Costa, Larissa Sudbrack, Nathalia Mendes, Pammila Japiassú, Tássia Latorraca e Themis Martins - cujas críticas e suporte emocional motivaram o desenvolvimento do trabalho. Agradeço pela atenção e carinho.

À Gabriela Heusi, voluntária de iniciação científica do LACAM – Laboratório da Controle Ambiental, pela ajuda com o *software* Citysim e demais contribuições.

À Júlia Fernandes, Milena Cintra e Juliana Andrade, que compartilham os ideais de qualidade ambiental no setor das construções. Agradeço por terem acreditado no meu potencial e me motivado a seguir na área da pesquisa. Ao Caio Frederico e Silva, pelo esclarecimento em um momento de confusão.

Agradeço à minha mãe, que acompanhou minha jornada, compartilhando felicidade a cada vitória e me confortando nos momentos difíceis. A admiração que tenho por ela me inspirou a seguir em frente. Ao meu pai, que sempre se preocupou e me ensinou, desde cedo, valores como responsabilidade, integridade e respeito. Creio que ambos me instruíram a consciência ambiental e a esperança de um futuro mais colaborativo, correto e inteligente.

Ao suporte emocional dos demais membros da família e amigos.

Agradeço à Deus, sem o qual, eu não poderia ter finalizado este trabalho.



Resumo

Condicionantes solares como princípio orientador da forma urbana:

Um estudo de caso aplicado no contexto do Distrito Federal

A forma urbana é um aspecto importante no uso de energia dos edifícios, tendo em vista que esta influencia a acessibilidade das edificações ao sol, interferindo em seus níveis de acesso à radiação (irradiância), à iluminação natural (iluminância) e no seu potencial de produção energética. O planejamento e desenho da forma urbana contemplando o adequado acesso dos edifícios ao sol proporciona economia de energia e melhora a qualidade de vida dos usuários, sendo, por isso, essencial considerar a energia solar no desenho da cidade. Neste contexto, o estudo objetiva otimizar as formas urbanas em relação ao aproveitamento da energia solar nas envoltórias dos edifícios em uma região de clima tropical de altitude, levando-se em consideração três estratégias: maximização dos níveis de irradiância na cobertura; minimização dos níveis de irradiância nas fachadas e o recebimento de um nível satisfatório de iluminância nas fachadas. Aplica-se à região administrativa do Gama (Distrito Federal), polo de concentração populacional da região centro-oeste brasileira, onde vem ocorrendo um processo de verticalização. Busca-se avaliar o desempenho solar de diferentes formas urbanas, identificando-se a influência dos parâmetros de ocupação da LUOS (instrumento de ordenamento territorial que possivelmente irá regular o tipo de utilização dos lotes e restringirá seus parâmetros de ocupação) nos níveis de irradiância e iluminância nas envoltórias dos edifícios. Como método, classificam-se as três formas urbanas mais representativas (classes tipo-morfológicas de referência) da malha urbana do Gama, por meio de um método estatístico de agrupamento, no *software* ArcGIS. Definem-se cenários para cada classe, que são avaliados em relação ao desempenho solar, calculando-se a irradiância recebida pelas coberturas e fachadas e a iluminância recebida pelas fachadas, por meio do *software* DIVA, inserido no Grasshopper e associado ao Rhinoceros. Os resultados são analisados comparativamente, baseados nas estratégias determinadas, e, aqueles cenários com melhor desempenho são considerados como forma urbana otimizada. Como resultado final, tem-se a caracterização da forma urbana do Gama e sua classificação em classes tipo-morfológicas; determinam-se as formas urbanas otimizadas para cada classe e define-se qual é a magnitude do impacto dos parâmetros estudados nos níveis de irradiância e iluminância nas envoltórias. Conclui-se que, a fim de garantir o adequado aproveitamento da energia solar, os limites dos parâmetros de ocupação determinados pela LUOS precisam ser revistos e que, além da adequação dos limites dos parâmetros de ocupação, é importante que o desenho dos lotes (tamanho, afastamentos e orientação) também contribua para o aproveitamento da energia solar.

Palavras-chave: forma urbana, planejamento urbano, energia solar, iluminância, irradiância



Abstract

Solar constraints as guiding principle for urban form:

A case study applied in the context of the Distrito Federal (Brazil)

The urban form is an important aspect of the buildings' energy use, since it influences the buildings' access to the sun, interfering in their levels of radiation (irradiance), natural light (illuminance) and energy production potential. The planning and design of the urban form, contemplating the adequate buildings' access to the sun, provides energy savings and improves the quality of life of users, hence it is essential to consider solar energy in the cities' design. In that regard, the study aims to optimize urban forms based on the use of solar energy in a region with tropical climate, considering three strategies: maximization of the levels of irradiance on the roofs, minimization of the levels of irradiance on the façades and the reception of a satisfactory level of illumination on the façades. It is applied to the administrative region of Gama (Distrito Federal, Brazil), pole of population aggregation of the central-western region of Brazil, which is verticalizing. It intends to evaluate the solar performance of different urban forms in a tropical climate region, by identifying the influence of parameters of occupation defined by LUOS (instrument of urban planning that will possibly regulate the use of the lots and will restrict its parameters of occupation) on the irradiance and illuminance levels on buildings' envelope. As a research method, Gama's three most representative urban forms (type-morphological classes of reference) are identified and classified, through a statistical method of grouping, in the ArcGIS software. Scenarios are defined for each class, which are evaluated in regard of solar performance, by the calculation of the irradiance received by the roofs and facades and the illuminance received by facades, through the DIVA software, inserted into the Grasshopper and associated with the Rhinoceros. The results are analyzed comparatively, based on certain strategies, and the best performing scenarios are considered as optimized urban form. As a final result, it is defined the characterization of the urban form of Gama and its classification in type-morphological classes of reference; it is determined the optimized urban forms for each class and it is defined the magnitude of the impact of the parameters studied in the levels of irradiance and illuminance on the envelopes. It is concluded that, in order to ensure the proper utilization of the solar energy, the parameters' limits determined by LUOS need to be reviewed and that, apart from the adjustment of the parameters' limits, it is important that the design of lots (size, distances and orientation) also contributes to the use of solar energy.

Keywords: urban form, urban planning, solar energy, illuminance, irradiance



Lista de Figuras

Figura 1 - Proporções da distribuição de consumo da energia elétrica brasileira, por setor.	4
Figura 2 - Ilustração das trocas radiativas urbanas.....	10
Figura 3 - Fatores que mais afetam a performance energética de um edifício.....	12
Figura 4 - Vistas das cidades de Londres, Toulouse e Berlim, respectivamente, no modelo DEM.	12
Figura 5 - Identificação das zonas passivas das cidades de Londres, Toulouse e Berlim, respectivamente.	13
Figura 6 - Forma urbana estudada versus consumo energético, para edifícios de escritório.	14
Figura 7 - Forma urbana estudada versus consumo energético, para edifícios residenciais (o consumo advindo de iluminação artificial não é incluído para esse tipo de edifício).....	14
Figura 8 - Distribuição da luz natural (valores acima de 200 lux) em um edifício com refletância de 45% (A) e com refletância de 75% (B).....	15
Figura 9 e 10 - À esquerda, forma e densidade dos blocos analisados e, à direita, orientação e entorno dos blocos analisados.	16
Figura 11 - Potencial de geração FV de acordo com as densidades estudadas, para a orientação leste-oeste, sem considerar os blocos do entorno.	17
Figura 12 - Potencial de geração FV de acordo com as densidades estudadas, para a orientação leste-oeste, considerando os blocos do entorno.	17
Figura 13 - Render no RADIANCE de Barra Funda – Brasil.	19
Figura 14 - Render no RADIANCE do bairro da Luz – Brasil.	19
Figura 15 - Render no RADIANCE do bairro Matthaeus – Suíça	20
Figura 16 - Potencial técnico fotovoltaico / consumo residencial por Unidade Federativa, considerando o ano base de 2013.	21
Figura 17 e 18 - À esquerda, média anual da irradiação solar no Brasil e, à direita, na Alemanha.....	23
Figura 19 - Distribuição da potência instalada de painéis fotovoltaicos no mundo, no ano de 2012.....	23
Figura 20 - Vetores de expansão do DF – De 1990 a 1995.....	26
Figura 21 - Vetores de expansão do DF – De 2005 a 2010.....	26
Figura 22 - Vista aérea do Gama, em 1960.	27
Figura 23 - Vista aérea atual do Gama.	27
Figura 24 - Localização do Gama, em relação ao DF.	28
Figura 25 - Limites do Gama.....	28
Figura 26 - Mapa de Macrozoneamento do Gama.	29



Figura 27 - Mapa de Zoneamento do Gama.	30
Figura 28 - Mapa de Zoneamento Territorial do Gama.	30
Figura 29 - Mapa de Regularização Fundiária do Gama.	31
Figura 30 - Mapa dos Zoneamentos de Uso do Gama.	33
Figura 31 - Tipos climáticos do DF.	38
Figura 32 - Irradiação média anual, em Wh/m ²	39
Figura 33 - Distribuição da média de irradiação global por regiões do Brasil.	39
Figura 34 - Irradiação média mensal para a região centro-oeste, em Wh/m ²	39
Figura 35 - Ilustração da média anual de insolação, em horas.	40
Figura 36 - Rosa dos ventos, no período quente e úmido, para Brasília.	43
Figura 37 - Rosa dos ventos, no período seco, para Brasília.	43
Figura 38 - Frequência de velocidade dos ventos, para Brasília.	44
Figura 39 - Carta bioclimática para Brasília.	46
Figura 40 - Distribuição das classes tipo-morfológicas urbanas de referência em Maceió.	50
Figura 41 e 42 - Plantas temáticas do coeficiente de aproveitamento e porosidade de Maceió.	51
Figura 43 - Modelo geométrico simplificado utilizado na otimização da classe 4.	51
Figura 44 - Resultados da otimização da classe 4.	52
Figura 45 - Representação do método utilizado.	52
Figura 46 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas, calculadas pelo <i>software</i> DIVA.	57
Figura 47 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas, calculadas pelo <i>software</i> Citysim.	57
Figura 48 – Exemplos de uma quadra com os mesmos parâmetros de ocupação.	59
Figura 49 – Foto do estado atual da quadra simulada na Figura 48.	59
Figura 50 – Representação do padrão de cálculo estruturado no Grasshopper.	69
Figura 51 – Padrão de cálculo da irradiância anual total por metro quadrado nas coberturas,.....	70
Figura 52 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m ²).	70
Figura 53 – Padrão de cálculo da iluminância média anual nas fachadas nordeste,	71
Figura 54 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).	71
Figura 55 – Padrão de cálculo de projeção de sombras, estruturado no Grasshopper. ..	72
Figura 56 - Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de verão (22 de dezembro), das 8h às 16h.	73
Figura 57 - Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de verão (22 de dezembro), das 8h às 16h.	73
Figura 58 - Planta temática de altura média ponderada do Gama.	78
Figura 59 - Planta temática de coeficiente de forma do Gama.	79
Figura 60 - Planta temática de contiguidade do Gama.	80
Figura 61 - Planta temática de densidade construída do Gama.	81



Figura 62 - Planta temática de rugosidade do Gama.	82
Figura 63 – Distribuição das cinco classes tipo-morfológicas do Gama.....	84
Figura 64 – Distribuição das três classes tipo-morfológicas do Gama.....	85
Figura 65 – Modelo 3D das três classes tipo-morfológicas do Gama.	85
Figura 66 – Planta da Classe tipo-morfológica 1.	87
Figura 67 – Perspectiva da Classe tipo-morfológica 1.	87
Figura 68 – Projeção de sombra da Classe 1, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.	88
Figura 69 – Projeção de sombra da Classe 1, no solstício de inverno (22 de junho), das 12h às 16h.	88
Figura 70 – Projeção de sombra da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	88
Figura 71 – Projeção de sombra da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	88
Figura 72 – Projeção de sombra da Classe 1, no solstício de verão (22 de dezembro), das 8h às 12h.	88
Figura 73 – Projeção de sombra da Classe 1, no solstício de verão (22 de dezembro), das 12 às 16h.	88
Figura 74 – Planta da Classe tipo-morfológica 2.	89
Figura 75 – Perspectiva da Classe tipo-morfológica 2.	89
Figura 76 – Projeção de sombra da Classe 2, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.	90
Figura 77 – Projeção de sombra da Classe 2, no solstício de inverno (22 de junho), das 12h às 16h.	90
Figura 78 – Projeção de sombra da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	90
Figura 79 – Projeção de sombra da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	90
Figura 80 – Projeção de sombra da Classe 2, no solstício de verão (22 de dezembro), das 8h às 12h.	90
Figura 81 – Projeção de sombra da Classe 2, no solstício de verão (22 de dezembro), das 12h às 16h.	90
Figura 82 – Planta da Classe tipo-morfológica 3.	91
Figura 83 – Perspectiva da Classe tipo-morfológica 3.	91
Figura 84 – Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.	92
Figura 85 – Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de inverno (22 de junho), das 12h às 16h.	92
Figura 86 – Projeção de sombra da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	92



Figura 87 – Projeção de sombra da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	92
Figura 88 – Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de verão (22 de dezembro), das 8h às 12h.	92
Figura 89 – Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de verão (22 de dezembro), das 12 às 16h.	92
Figura 90 – Perspectiva da Classe 1.	93
Figura 91 – Perspectiva da Classe 2.	93
Figura 92 – Perspectiva da Classe 3.	93
Figura 93 – Projeção de sombra da Classe 1, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.	96
Figura 94 – Projeção de sombra da Classe 2, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.	96
Figura 95 – Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.	96
Figura 96 – Perspectiva do cenário com os edifícios intercalados.	99
Figura 97 – Perspectiva do cenário com os edifícios intercalados.	104
Figura 98 – Perspectiva do cenário com os edifícios intercalados.	107
Figura 99 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	113
Figura 100 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	113
Figura 101 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	116
Figura 102 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	116
Figura 103 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	119
Figura 104 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	119
Figura 105 – Projeção de sombra de um cenário com afastamentos laterais, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.	124
Figura 106 – Projeção de sombra de um cenário sem afastamentos laterais, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.	124
Figura 107 – Projeção de sombra de um cenário com afastamentos laterais, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.	124
Figura 108 – Projeção de sombra de um cenário com 3 e 4 pavimentos, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.	124
Figura 109 – Projeção de sombra da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	125



Figura 110 – Projeção de sombra da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.....	125
Figura 111 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	128
Figura 112 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	128
Figura 113 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	131
Figura 114 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	131
Figura 115 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	159
Figura 116 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	159
Figura 117 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	162
Figura 118 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	162
Figura 119 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.	165
Figura 120 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.	165

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Informações para Londres, Toulouse e Berlim.	13
Tabela 2 - Informações de consumo para Londres, Toulouse e Berlim.	13
Tabela 3 - Resultados encontrados para o Brasil.....	19
Tabela 4 - Resultados encontrados para a Suíça.....	20
Tabela 5 - Potencial Técnico Fotovoltaico Residencial.	21
Tabela 6 - Regiões administrativas do DF.	27
Tabela 7 - População e taxa de crescimento anual do DF e do Brasil, de 2010 a 2015.	28
Tabela 8 – Tabela de parâmetros de ocupação do solo da região administrativa do Gama.....	36
Tabela 9 - Direção dos ventos, em Brasília.	44
Tabela 10 - Características das classes de referência.	50
Tabela 11 - Resultados do <i>software</i> DIVA para diferentes tamanho de malha de análise e para diferentes métodos de cálculo.	56
Tabela 12 - Resultados do <i>software</i> Citysim.	57



Tabela 13 – Fórmulas utilizadas para o cálculo dos parâmetros morfológicos mais relevantes.....	61
Tabela 14 - Parâmetros de ocupação dos usos RO1 (2), RO2 e CSIIR2 (2).....	63
Tabela 15 - Caracterização dos cenários a serem estudados.	64
Tabela 16 - Parâmetros de ocupação dos usos RE3-Setro Central-Tipo B, CSIIR2 (1) e CSIIR2 (2).	65
Tabela 17 - Caracterização dos cenários a serem estudados.	66
Tabela 18 - Parâmetros de ocupação do uso CSIIR2-Leste Industrial (1).	67
Tabela 19 - Caracterização dos cenários a serem estudados.	68
Tabela 20 - Limite mínimo de iluminância a ser recebido.	74
Tabela 21 – Características morfológicas das cinco classes.....	84
Tabela 22 – Características morfológicas das três classes.	85
Tabela 23 – Características morfológicas das três classes.	85
Tabela 24 – Características morfológicas das três classes.	86
Tabela 25 – Parâmetros de ocupação utilizados.....	87
Tabela 26 – Parâmetros de ocupação utilizados.....	89
Tabela 27 – Parâmetros de ocupação utilizados.....	91
Tabela 28 – Parâmetros de ocupação das três classes.	93
Tabela 29 – Níveis de irradiância, iluminância e potencial energético para as três classes.	94
Tabela 30 – Avaliação da iluminância para as três classes.	94
Tabela 31 – Viabilidade de utilização de sistemas fotovoltaicos nas coberturas e fachadas.	95
Tabela 32 – Resultados dos Cenários da Classe 1.....	97
Tabela 33 – Resultados do cenário com os edifícios intercalados.	100
Tabela 34 – Resultados dos Cenários da Classe 2.....	100
Tabela 35 – Cenários que passaram na análise de iluminância.	102
Tabela 36 – Classificação dos cenários que passaram na etapa 1.	102
Tabela 37 – Classificação dos cenários otimizados.....	103
Tabela 38 – Resultados do cenário com os edifícios intercalados.	104
Tabela 39 – Resultados dos Cenários da Classe 3.....	104
Tabela 40 – Cenários que passaram na análise de iluminância.....	106
Tabela 41 – Classificação dos cenários que passaram na etapa 1.	106
Tabela 42 – Classificação dos cenários que passaram na etapa 1.	107
Tabela 43 – Resultados do cenário com os edifícios intercalados.	108
Tabela 44 – Cálculo da influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1.	111
Tabela 45 – Agrupamento dos resultados da Tabela 37.....	112
Tabela 46 – Cálculo da influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2.	114
Tabela 47 – Agrupamento dos resultados da Tabela 46.....	115



Tabela 48 – Cálculo da influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3.	117
Tabela 49 – Agrupamento dos resultados da Tabela 48.	118
Tabela 50 – Resumo dos resultados da influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância.	119
Tabela 51 – Máximas variações da taxa de ocupação.	120
Tabela 52 – Cálculo da influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1.	122
Tabela 53 – Agrupamento dos resultados da Tabela 52.	123
Tabela 54 – Cálculo da influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2.	126
Tabela 55 – Agrupamento dos resultados da Tabela 54.	127
Tabela 56 – Cálculo da influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3.	129
Tabela 57 – Agrupamento dos resultados da Tabela 56.	130
Tabela 58 – Resumo dos resultados da influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância.	131
Tabela 59 – Máximas variações do número de pavimentos.	132
Tabela 60 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1: comparação de cenários com o mesmo número de pavimentos e com taxas de ocupação que aumentam.	135
Tabela 61 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1: comparação de cenários com a mesma taxa de ocupação e com números de pavimentos que aumentam.	136
Tabela 62 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1: comparação de cenários com taxas de ocupação que diminuem e com números de pavimentos que aumentam.	138
Tabela 63 – Agrupamento dos resultados da Tabela 46.	139
Tabela 64 – Agrupamento dos resultados da Tabela 61.	139
Tabela 65 – Agrupamento dos resultados da Tabela 62.	140
Tabela 66 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2: comparação de cenários com o mesmo número de pavimentos e com taxas de ocupação que aumentam.	141
Tabela 67 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2: comparação de cenários com a mesma taxa de ocupação e com números de pavimentos que aumentam.	143
Tabela 68 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2: comparação de cenários com taxas de ocupação que diminuem e com números de pavimentos que aumentam.	145
Tabela 69 – Agrupamento dos resultados da Tabela 66.	146
Tabela 70 – Agrupamento dos resultados da Tabela 67.	146



Tabela 71 – Agrupamento dos resultados da Tabela 68.....	147
Tabela 72 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3: comparação de cenários com o mesmo número de pavimentos e com taxas de ocupação que aumentam.....	148
Tabela 73 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3: comparação de cenários com a mesma taxa de ocupação e com números de pavimentos que aumentam.....	149
Tabela 74 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3: comparação de cenários com taxas de ocupação que diminuem e com números de pavimentos que aumentam.....	150
Tabela 75 – Agrupamento dos resultados da Tabela 72.....	151
Tabela 76 – Agrupamento dos resultados da Tabela 73.....	151
Tabela 77 – Agrupamento dos resultados da Tabela 74.....	152
Tabela 78 – Resumo dos resultados da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância: comparação de cenários com o mesmo número de pavimentos e com taxas de ocupação que aumentam.....	153
Tabela 79 – Resumo dos resultados da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância: comparação de cenários com a mesma taxa de ocupação e com números de pavimentos que aumentam.....	154
Tabela 80 – Resumo dos resultados da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância: comparação de cenários com taxas de ocupação que diminuem e com números de pavimentos que aumentam.....	155
Tabela 81 – Máximas variações da taxa de ocupação.....	156
Tabela 82 – Cálculo da influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1.....	158
Tabela 83 – Agrupamento dos resultados da Tabela 82.....	159
Tabela 84 – Cálculo da influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2.....	161
Tabela 85 – Agrupamento dos resultados da Tabela 84.....	162
Tabela 86 – Cálculo da influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3.....	164
Tabela 87 – Agrupamento dos resultados da Tabela 86.....	165
Tabela 88 – Resumo dos resultados da influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância.....	166
Tabela 89 – Máximas variações dos afastamentos.....	167
Tabela 90 – Máximas variações da Classe 1.....	168
Tabela 91 – Máximas variações da Classe 2.....	169
Tabela 92 – Máximas variações da Classe 3.....	169
Tabela 93 – Iluminâncias para Brasília, considerando o Céu Parcialmente Encoberto.....	191



Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Fonte energética brasileira.	5
Gráfico 2 - Valores mensais de insolação, em Brasília.	40
Gráfico 3 - Valores mensais de precipitação, em Brasília.	41
Gráfico 4 - Valores mensais de nebulosidade, em Brasília.	41
Gráfico 5 - Valores mensais de temperatura e umidade relativa, em Brasília.....	42
Gráfico 6 - Comparação entre valores de temperatura máxima, em Brasília.....	43
Gráfico 7 - Comparação entre valores de temperatura média, em Brasília.	43



Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CODEPLAN	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
COE	Código de Obras e Edificações
CSII	Comercial, Prestação de Serviços, Institucional e Industrial
CSIIND	Comercial, Prestação de Serviços, Institucional e Industrial Não Obrigatório
CSIIR	Comercial, Prestação de Serviços, Institucional, Industrial e Residencial
CSIIR NO	Comercial, Prestação de Serviços, Institucional, Industrial e Residencial Não Obrigatório
DF	Distrito Federal
EP	Equipamentos Públicos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FLD	Fator de Luz Diurna
IEA	International Energy Agency – Agência Internacional de Energia
INST	Institucional
LUOS	Lei de Uso e Ocupação do Solo
MME	Ministério de Minas e Energia
NGB	Norma de Edificação, Uso e Gabarito
PAC	Posto de Abastecimento de Combustíveis
PDL	Plano Diretor Local
PDOT	Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal
PR	Planta Urbanística
RE	Residencial Exclusivo
RO	Residencial Obrigatório
SEGETH	Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação
UDI	Useful Daylight Illuminance – Autonomia de Luz Natural Útil



Sumário

Introdução	1
I. Justificativa.....	4
II. Problemática.....	5
III. Objetivos.....	8
Capítulo 1: Referencial Teórico	9
1.1. Forma urbana e energia solar nas edificações	9
1.1.1. A influência da forma urbana no acesso dos edifícios à energia solar.....	10
1.1.2. Forma urbana e consumo energético.....	11
1.1.3. Forma urbana e produção energética.....	15
1.2. A energia solar no Brasil.....	18
1.2.1. O potencial brasileiro de geração fotovoltaica.....	18
1.2.2. Inserção da geração fotovoltaica no Brasil.....	23
1.3. O caso de estudo.....	25
1.3.1. Urbanização do Distrito Federal (DF).....	25
1.3.2. Caracterização do DF.....	27
1.3.3. Caracterização territorial do Gama/DF.....	28
1.3.4. A Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) e os parâmetros de ocupação utilizados na pesquisa.....	32
1.3.5. Caracterização climática do Gama/DF.....	38
1.3.6. Demanda e produção energética no DF.....	44
Capítulo 2: Procedimentos Metodológicos	49
2.1. Referencial Metodológico.....	49
2.2. Aspectos gerais do método	52
2.3. Especificação dos softwares utilizados.....	55
2.3.1. Comparação entre o DIVA e o Citysim	56
2.4. Procedimentos metodológicos.....	58
2.4.1. Simulação dos potenciais construtivos.....	58
2.4.2. Estudo da forma urbana: Identificação das classes tipo-morfológicas	60
2.4.3. Os parâmetros avaliados e a construção dos cenários.....	62
2.4.4. Modelagem dos cenários.....	68
2.4.5. Desempenho Solar: Cálculo da irradiância e da iluminância.....	69
2.4.6. Sistematização dos dados de saída.....	72
2.4.7. Comparação dos resultados entre as classes tipo-morfológicas.....	72
2.4.8. Otimização: Análise dos resultados.....	73
2.4.9. Cálculo da influência dos parâmetros de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância nas envoltórias dos edifícios.....	76



Capítulo 3: Resultados	77
3.1. Estudo da forma urbana: Identificação das classes tipo-morfológicas	77
3.1.1. Plantas temáticas.....	77
3.1.2. A identificação e a distribuição das classes tipo-morfológicas de referência.....	83
3.1.3. As classes tipo-morfológicas do Gama.....	86
3.1.4. A identificação e a distribuição das classes tipo-morfológicas.....	93
3.2. Otimização das classes: A análise dos resultados	97
3.2.1. Classe 1.....	97
3.2.2. Classe 2.....	100
3.2.3. Classe 3.....	104
3.2.3. Conclusão e considerações finais.....	108
3.3. A influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância dos edifícios	110
3.3.1. Classe 1.....	110
3.3.2. Classe 2.....	113
3.3.3. Classe 3.....	116
3.3.4. Conclusão.....	119
3.4. A influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância dos edifícios	121
3.4.1. Classe 1.....	121
3.4.2. Classe 2.....	125
3.4.3. Classe 3.....	128
3.4.4. Conclusão.....	131
3.5. A influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância dos edifícios	134
3.5.1. Classe 1.....	134
3.5.2. Classe 2.....	140
3.5.3. Classe 3.....	147
3.5.4. Conclusão.....	153
3.6. A influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância dos edifícios	157
3.6.1. Classe 1.....	157
3.6.2. Classe 2.....	160
3.6.3. Classe 3.....	163
3.6.4. Conclusão.....	166
3.6.5. Comparação entre a influência dos parâmetros de ocupação estudados e os níveis de irradiância e iluminância nas classes tipo-morfológicas.....	167
Capítulo 4: Conclusão	171
4.1. Limitações do trabalho.....	175
4.2. Sugestões para trabalhos futuros.....	176
Referências bibliográficas.....	177
Glossário.....	189
Apêndices	190
Anexos.....	193





Introdução

O desenvolvimento urbano, quando planejado adequadamente, propicia avanços tecnológicos para responder às demandas socioeconômicas e ambientais de determinado local. Porém, o planejamento urbano inadequado, que desconsidera o local de intervenção, pode gerar efeitos negativos nas diferentes dimensões urbanas, e, no caso do meio ambiente, modificações severas no clima local, na qualidade ambiental dos espaços e um aumento expressivo na demanda de energia das edificações. O crescente processo de urbanização contribui expressivamente para as mudanças climáticas locais e globais, devido às mudanças gradativas nas propriedades físicas das superfícies do solo, afetando, entre outros, as condições térmicas, a captação solar e a aerodinâmica da atmosfera (OKE, 1987).

O crescimento urbano em países em desenvolvimento tem se dado de maneira insustentável, com deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente, sendo esse processo ainda mais significativo na América Latina, onde a população urbana é aproximadamente 80% do total (UN, 2015). O desenvolvimento urbano não considerou as condições naturais do meio físico, e, dessa maneira, provocou alterações prejudiciais ao meio ambiente e ao ser humano. Segundo Rogers e Gumuchdjian (2008), é nas cidades de crescimento rápido do mundo em desenvolvimento que a crise tem se expandido mais rapidamente.

Em 1900, somente um décimo da população mundial vivia em cidades, nos anos 2000, metade da população era urbana, e, em um prazo de 30 anos, tal proporção será de, no mínimo, 75% dos habitantes. De acordo com Rogers e Gumuchdjian (2008, p. 4), “O crescimento da população urbana, por todo o mundo, e os padrões, a grosso modo, ineficientes de moradia estão acelerando a taxa de aumento da poluição e erosão”.

A população brasileira passou a se concentrar maciçamente em áreas urbanas nos últimos 50 anos. Em 2010, 84,35% da população já morava em centros urbanos, e, de acordo com projeções da Organização das Nações Unidas (ONU), tal percentual aumentará para aproximadamente 91%, em 2050 (UN, 2015).

Segundo Leite (2012), o maior desafio do século 21 é o desenvolvimento sustentável, tendo a cidade um papel fundamental, dentre outros aspectos, pelo fato de que dois terços do consumo mundial de energia advêm das cidades, que se gera na cidade 75% dos resíduos, e que os recursos hídricos estão se esgotando. Sendo assim, embora o crescimento populacional constitua-se como um grande desafio aos planejadores dos espaços construídos, representa também oportunidade para melhorar o contexto urbano existente, conforme demonstra a citação a seguir.

Em nenhum outro lugar a implementação da “sustentabilidade” pode ser mais poderosa e benéfica do que na cidade. De fato, os benefícios oriundos dessa posição possuem um potencial tão grande que a sustentabilidade do meio



ambiente deve transformar-se no princípio orientador do moderno desenho urbano (ROGERS; GUMUCHDJIAN, 2008, p. 5).

Muitos estudos creditam a importância de dois aspectos na determinação do consumo energético na cidade: a morfologia construída e a organização e distribuição das funções dos espaços no tecido urbano¹ (MARTINS, 2014).

A morfologia urbana é um dos principais instrumentos no entendimento e planejamento da cidade, constituindo-se como um dos aspectos cruciais de transformação das cidades (DEL RIO, 2000). Ela se refere ao estudo da forma urbana, da sua constituição e de como seus elementos (ruas, edifícios, espaços públicos, entre outros) se relacionam entre si (ALLAIN, 2004).

A forma urbana é um aspecto importante no uso de energia dos edifícios, tendo em vista que esta influencia o acesso das edificações ao sol, interferindo em seus níveis de radiação (irradiância), de iluminação natural (iluminância) e no seu potencial de produção energética. A irradiância recebida associa-se ao aumento da carga térmica no interior das edificações e ao aumento da possibilidade de utilização do recurso solar para produção energética fotovoltaica; enquanto a iluminância associa-se ao aumento da disponibilidade de iluminação natural (COLOMBERT, 2008), (TREGENZA; LOE, 2015).

Os parâmetros da forma urbana intervêm no consumo edifício, podendo este aumentar em até 30%, e também intervêm na utilização dos sistemas fotovoltaicos, uma vez que edificações altas podem reduzir consideravelmente a incidência da radiação solar nas edificações vizinhas. A pesquisa em questão estudará a influência do coeficiente de aproveitamento, da taxa de ocupação do solo, da altura dos edifícios e dos afastamentos² nos níveis de irradiância e iluminância recebidos pelas envoltórias de edifícios de uma quadra.

A fim de possibilitar uma melhor eficiência energética das construções, é necessária a concepção de formas urbanas que tenham como objetivo a diminuição do consumo de recursos energéticos não-renováveis, através de medidas e estratégias de adaptação que diminuam os impactos ambientais. Além disso, deve-se incentivar a utilização de fontes de energia renováveis.

Sabe-se que, em regiões de clima tropical (incluindo o tropical de altitude), o potencial de aproveitamento da energia solar é extremamente elevado. No entanto, o aproveitamento de tal recurso nas envoltórias dos edifícios pode influenciar a construção de formas urbanas dispersas, aumentando-se a carga térmica recebida pela edificação. A

¹ O trabalho em questão se restringe ao estudo da energia operacional (utilizada no resfriamento, aquecimento e iluminação dos edifícios), desconsiderando o processamento de energia e a energia de transporte. Nesse sentido, foca-se na influência exercida pela forma urbana no consumo energético da cidade.

² O coeficiente de aproveitamento é a relação entre a área edificável e a área do terreno. A taxa de ocupação é a relação entre a área de projeção horizontal das edificações e a área do lote. Os afastamentos são as distâncias entre as projeções horizontais dos perímetros externos das edificações e os limites do lote.



construção da cidade compacta, por outro lado, pode limitar a disponibilidade de iluminação natural e de radiação solar a ser utilizada como fonte de energia renovável (MARTINS, 2014).

Sendo assim, quais seriam as melhores formas urbanas em relação ao aproveitamento da energia solar nas envoltórias dos edifícios, levando-se em consideração a disponibilidade de iluminação natural, o controle térmico e a produção energética³, em uma região de clima tropical de altitude?

O estudo aplica-se à cidade do Gama (DF), polo de concentração populacional da região sudeste do Distrito Federal (DF), onde vem ocorrendo um processo de verticalização. A forma urbana do Gama se subordinará à Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), um instrumento de ordenamento territorial que está fase de aprovação e que possivelmente irá regular o tipo de utilização dos lotes e restringirá seus parâmetros de ocupação.

A pesquisa objetiva definir formas urbanas⁴, adequadas ao contexto climático, que permitam a utilização da iluminação natural e a produção de energia solar fotovoltaica, com o menor ganho possível de carga térmica⁵. Dessa maneira, determinam-se as formas urbanas otimizadas, levando-se em consideração três estratégias: maximização dos níveis de irradiância na cobertura (objetivando-se produzir energia através de painéis fotovoltaicos); minimização dos níveis de irradiância nas fachadas (objetivando-se diminuir a carga térmica nos ambientes) e o recebimento de um nível satisfatório de iluminância nas fachadas (garantindo-se uma adequada disponibilidade de iluminação natural nos ambientes).

Busca-se avaliar o desempenho solar⁶ de diferentes formas urbanas, identificando as que melhor aproveitariam o recurso solar, de acordo com as estratégias propostas. Determinam-se, também, o impacto e a magnitude dos parâmetros de ocupação da LUOS nos níveis de irradiância e iluminância nas envoltórias dos edifícios. Sendo assim, o trabalho pretende contribuir para uma revisão da forma urbana proposta pela LUOS.

³ A pesquisa se aprofundará na investigação da produção energética por meio de painéis fotovoltaicos.

⁴ Utiliza-se a escala espacial de 250m x 250m, correspondente a uma quadra do Gama. Nessa escala, é possível integrar a intervenção do arquiteto e a do urbanista sobre a forma urbana e a envoltória dos edifícios.

⁵ Objetiva-se o menor ganho possível de carga térmica, proveniente da radiação incidente (irradiância) nas fachadas. Não é considerada a carga térmica advinda da irradiância nas coberturas.

⁶ O desempenho solar refere-se ao cálculo dos níveis de irradiância e iluminância. Calculam-se a irradiância anual nas fachadas e nas coberturas por metro quadrado (kWh/m².ano) e a iluminância média anual nas fachadas (lux).



I. Justificativa

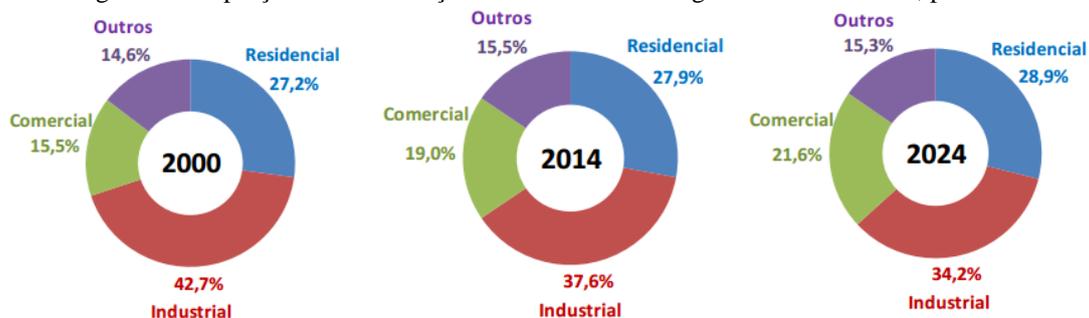
O uso eficiente da energia elétrica é um dos grandes assuntos mundiais com implicações nas áreas social e ambiental. No Brasil, o consumo de energia é crescente, sendo o setor de edificações um dos maiores consumidores de energia elétrica. As edificações residenciais, comerciais e públicas são responsáveis por aproximadamente 45% do consumo total de energia elétrica do país, advindo da iluminação artificial e da climatização de ambientes, desconsiderando-se a parcela de energia embutida nos materiais que compõem as edificações (MME; EPE, 2015).

Em reação a crise de energia no Brasil ocorrida no ano de 2001, promulgou-se a Lei de Eficiência Energética (nº. 10.295/2001) e incrementou-se o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), pela criação do seu subprograma Procel Edifica. Em consequência disso, houve uma significativa redução do consumo de energia nas edificações, principalmente no setor residencial. Todavia, as economias obtidas já foram ultrapassadas, e, desde 2005, o crescimento do consumo de energia elétrica nas edificações supera o crescimento do PIB (MME, s.d.).

O setor residencial apresentou crescimento no consumo energético de 5,7%, de 2014 para 2015. Segundo a “Projeção da demanda de energia elétrica” (MME; EPE, 2015), o aumento do consumo residencial de energia elétrica é resultado do crescimento médio de 2,0% ao ano do número de consumidores e de 2,2% ao ano do consumo por consumidor residencial.

Estima-se que o crescimento médio anual da demanda total de energia elétrica brasileira aumente 4,1% nos próximos 10 anos, atingindo 786 TWh em 2024, contra os 525 TWh atuais. Identifica-se o maior crescimento na classe comercial (5,2% ao ano), seguida da residencial (4,3% ao ano), demais classes (3,7% ao ano) e industrial (2,9% ao ano), conforme ilustra a Figura 1. Tais dados fomentarão o Plano Decenal de Expansão de Energia e o Plano Nacional de Energia de Longo Prazo (MME; EPE, 2015).

Figura 1 - Proporções da distribuição de consumo da energia elétrica brasileira, por setor.



Fonte: MME e EPE (2015).

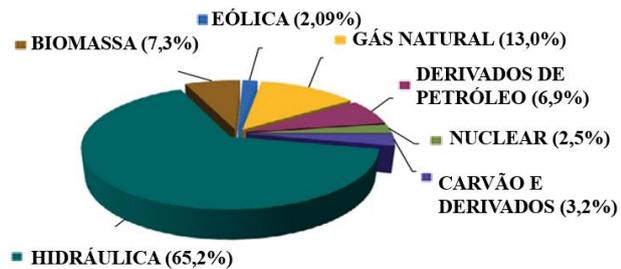
Apesar do Brasil dispor de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, concentrada na geração hidráulica (65,2%), tal fonte de energia é responsável por diversos impactos ambientais e sociais, no momento da instalação das usinas: modificação no



clima local, perda da vegetação nativa, queima de combustíveis fósseis, interferência na infraestrutura, população afetada, entre outros. Além disso, as usinas dependem da pluviometria para assegurar seu funcionamento e, quando não podem contar com esse recurso, termoelétricas (fontes extremamente poluentes) são acionadas para complementar a demanda energética (MME e EPE, 2015).

Apesar disso, os planos de expansão da geração de energia priorizam a construção de usinas hidrelétricas, que vem sendo planejadas predominantemente para a região da Amazônia. O Gráfico 1 demonstra que a participação de outras fontes renováveis de energia é pouco expressiva, apesar do grande potencial eólico e solar no Brasil (MME e EPE, 2015).

Gráfico 1 - Fonte energética brasileira.



Fonte: MME e EPE (2015).

Nesse contexto, torna-se necessária a diminuição do consumo de recursos energéticos não-renováveis, através de medidas e estratégias de adaptação que diminuam os impactos ambientais.

De acordo com Maizia *et al.* (2009), o setor das construções tem potencial de reverter a situação atual e contribuir significativamente para a conservação de energia, por meio da racionalização de parâmetros da forma urbana, como a densidade e compacidade do tecido urbano.

II. Problemática

A forma urbana compacta, caracterizada por cidades densas, com edifícios altos e com pouco afastamentos entre si, tem a acessibilidade ao recurso solar restringida, limitando-se consideravelmente a possibilidade de aproveitamento da energia solar nas envoltórias dos edifícios. Os níveis de irradiância (associados à carga térmica e à produção energética) e iluminância (associados à disponibilidade de iluminação natural) recebidos nas envoltórias são geralmente muito baixos, o que impossibilita a utilização da iluminação natural, e a consequente redução do consumo energético dos edifícios, e também impossibilita a utilização de painéis fotovoltaicos para produção energética. Por outro lado, a forma urbana dispersa, composta por edifícios baixos e com grandes afastamentos entre si, promove o aumento dos níveis de irradiância e iluminância recebidos pela envoltória dos edifícios, o que, embora permita a utilização da energia solar para iluminação natural e produção energética, também promove o aumento da carga térmica recebida pela envoltória dos edifícios, aumentando-se consequentemente o



seu consumo. Nesse sentido, a grande questão relativa a otimização das formas urbanas consiste no seu adensamento ou dispersão e o consequente impacto ambiental desta escolha.

A qualidade ambiental das edificações depende da qualidade ambiental urbana, e, tendo em vista as atuais restrições energéticas, o espaço urbano deveria contribuir para a adaptação das edificações à nova realidade. Entretanto, as cidades brasileiras continuam crescendo desordenadamente, e, muitas vezes a valorização imobiliária promove a ocupação inadequada dos espaços urbanos, com a verticalização dos edifícios no centro urbano. Tal ocupação afeta, por exemplo, o acesso das edificações ao sol, e, consequentemente a eficiência energética das edificações (PEREZ, 2013).

A eficiência energética das edificações depende da viabilização de um espaço urbano em equilíbrio com as condições ambientais e adaptado às solicitações climáticas locais. Nesse sentido, é necessário o conhecimento das características climáticas da região na qual serão realizadas intervenções arquitetônicas e urbanas, de maneira que se possa aproveitar as potencialidades do clima específico e reduzir seu efeito negativo. Informações sobre insolação, por exemplo, podem orientar os planejadores, projetistas e gestores urbanos a criarem espaços com diferentes efeitos térmicos. Sendo assim, a análise ambiental pode oferecer subsídios ao planejamento urbano. Entretanto, nota-se o despreparado dos planejadores, projetistas e gestores urbanos para projetar levando-se em consideração o aproveitamento solar nas envoltórias das edificações (BARBIRATO *et al.*, 2016).

A relação entre forma urbana e consumo energético dos edifícios é normalmente negligenciada no processo de planejamento urbano, possivelmente devido à complexidade dos processos envolvidos (RATTI *et al.*, 2005). As ferramentas simplificadas desenvolvidas para analisar o consumo energético dos edifícios geralmente consideram os edifícios como isolados, negligenciando ou simplificando a importância dos fenômenos que ocorrem na escala urbana (STROMANN-ANDERSEN; SATTRUP, 2012). Como exemplo, tem-se o “BIPV design”, um *software* focado na integração arquitetônica com os sistemas fotovoltaicos, que permite definir características da edificação, como uso do edifício e área disponível para a instalação dos painéis, porém, desconsidera o contexto urbano (SANTOS, 2013).

Além disso, muitas vezes os planejadores urbanos não têm o conhecimento técnico para quantificar o potencial da produção de energia solar fotovoltaica em seus projetos, uma vez que o desenho urbano é um processo que envolve diversos fatores, sendo a energia solar “apenas” um dos componentes que os arquitetos e urbanistas devem contemplar (KANTERS; HORVAT, 2012).

Outra adversidade é que as legislações técnicas vigentes relativas ao planejamento urbano geralmente não incorporam os aspectos energéticos e ambientais reconhecidos no meio acadêmico (BARBIRATO *et al.*, 2016).



No contexto internacional, verifica-se uma maior preocupação com a qualidade ambiental urbana, uma vez que vigora a “Diretiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios” (2010), criada com o objetivo de tornar mais restritas as exigências regulamentares de conforto térmico relativo a construção e renovação de edifícios e certificações energéticas. Ela determina que, até o ano de 2020, todos os novos edifícios e grandes reformas sejam caracterizados como edifícios de balanço energético quase nulo (ECEE, 2010), ou seja, os edifícios deverão ser capazes de produzir grande parte da energia elétrica que consomem. Esta exigência, por sua vez, estimula o acesso das edificações a fontes de energia renováveis locais (KANTERS; HORVAT, 2012).

No contexto brasileiro, a legislação, de maneira geral, prioriza a especulação e valorização imobiliária em detrimento da qualidade ambiental e do uso racional dos recursos naturais, provocando a excessiva verticalização das áreas centrais (comprometendo o acesso dos edifícios ao sol e à iluminação natural) e a horizontalização das periferias urbanas (PEREZ, 2013).

A maioria dos instrumentos de planejamento urbano local continua a não possuir diretrizes solares e a não associar aspectos ambientais, como o recurso solar, à forma urbana. Em alguns casos, por exemplo, os pequenos afastamentos entre edifícios propostos pelas normas urbanísticas promovem o não atendimento aos níveis mínimos de iluminância (ANDRADE, 2014).

Outro agravante é que, na formulação e revisão de alguns Códigos de Obras e Edificações, existem valores de referência que foram copiados de índices técnicos presentes em outras cidades brasileiras (BUSON, 1998). Nesse sentido, destaca-se a relevância de revisões dessa natureza, baseadas em pesquisas que considerem os condicionantes locais. De acordo com Barbirato *et al.* (2016), os parâmetros urbanísticos não deveriam ser utilizados universalmente, tendo em vista que a adequação ambiental dos assentamentos construtivos depende de diversos condicionantes globais e locais.

Sendo assim, ressalta-se a importância da ampliação de estudos urbanos de análise ambiental, que abordem a influência da forma urbana na determinação da disponibilidade de iluminação natural, do controle térmico e da produção energética; bem como de estudos relativos à sistematização de procedimentos metodológicos que possibilitem a incorporação dos aspectos energéticos no processo de planejamento urbano.



III. Objetivos

Objetivo Geral: Definir formas urbanas otimizadas, em relação ao aproveitamento da energia solar, levando-se em consideração a disponibilidade de luz natural, o controle térmico e a produção energética, em região de clima tropical de altitude.

Objetivos Específicos:

- Identificar e classificar as formas urbanas mais representativas da cidade escolhida, as denominadas classes tipo-morfológicas urbanas de referência;
- Definir, a partir do que foi proposto pela LUOS, cenários a serem avaliados para cada classe tipo-morfológica;
- Avaliar e comparar os níveis de irradiância e iluminância nas envoltórias desses cenários;
- Definir as possíveis formas urbanas otimizadas;
- Determinar a magnitude do impacto dos parâmetros estudados nos níveis de irradiância e iluminância nas envoltórias.



Capítulo 1: Referencial Teórico

O referencial teórico refere-se à revisão bibliográfica contextualizada da temática na qual o estudo está inserido. Apresenta-se a importância do planejamento urbano adequado ao clima local e que considera a energia solar. Estuda-se sobre a relação entre forma urbana e consumo e produção energética dos edifícios. Abordam-se também aspectos relacionados à energia solar no Brasil, como a inserção da geração fotovoltaica e o potencial brasileiro de geração fotovoltaica.

O item “O caso de estudo” embasa a escolha do caso de estudo e aprofunda sua análise, apresentando caracterizações territoriais e climáticas do Gama (DF), bem como seu processo de urbanização. Apresenta-se a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) e questiona-se a adequação do impacto ambiental decorrente da verticalização promovida pela LUOS. Discute-se também sobre a demanda e produção energética no Distrito Federal, justificando-se as estratégias a serem utilizadas no processo de otimização.

1.1. Forma urbana e energia solar nas edificações

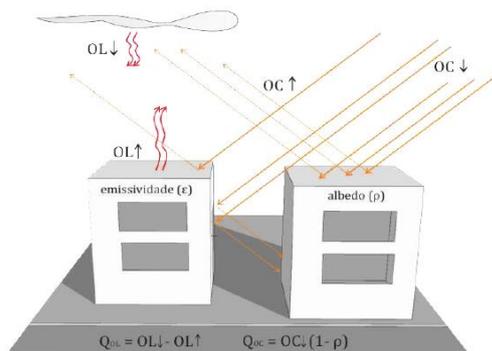
A adequada utilização dos elementos climatológicos no planejamento e na construção propiciam uma melhor qualidade climática urbana. Nesse sentido, estudam-se como os elementos e fatores do clima (em especial, a radiação) interagem com a forma urbana.

O clima é resultante de fatores globais (latitude, altitude, continentalidade, entre outros) e locais (revestimento do solo, topografia) e de elementos climáticos (temperatura, umidade, velocidade dos ventos, entre outros) que atuam em uma certa localidade. Os fatores climáticos condicionam, determinam e dão origem ao clima, enquanto os elementos definem e produzem os componentes do clima (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977). Os elementos climáticos que mais influenciam o conforto humano são a temperatura do ar e a umidade do ar, sendo a radiação um dos fatores climáticos mais significativos (GIVONI, 1976).

A radiação incidente (irradiância) nas superfícies opacas pode ser absorvida e/ou refletida, sendo o balanço radiativo das superfícies alterado de acordo com a forma construída, textura urbana e por fatores e elementos climáticos de cada local, entre outros (MARTINS, 2014). A Figura 2 demonstra as trocas radiativas urbanas, na qual a radiação solar incidente (luz visível e infravermelho próximo) sofre absorção e difusão; a radiação térmica atmosférica descendente de onda longa (radiação infravermelha) é emitida pelos elementos na atmosfera e atinge uma dada superfície ao nível do solo; e a radiação térmica ascendente (radiação infravermelha) é emitida pelo meio.



Figura 2 - Ilustração das trocas radiativas urbanas.



Legenda

- OL ↓ : a radiação atmosférica descendente;
- OL ↑ : a radiação de onda longa;
- OC ↓ : a radiação solar global recebida sobre uma superfície horizontal.

Fonte: MARTINS (2014).

A radiação solar incidente (irradiância) e a radiação absorvida pela envoltória dos edifícios influenciam a temperatura no interior das edificações. Ao absorver uma fração da energia radiante recebida, as superfícies da envoltória são aquecidas e, conforme a sua capacidade de armazenar, conduzir e emitir energia térmica, esse calor é cedido, com maior ou menor intensidade, para o meio circundante, elevando-se a temperatura do ar ambiente. Nesse sentido, a radiação solar incidente (irradiância) e absorvida pelo edifício se relacionam com a carga térmica no interior da edificação (COLOMBERT, 2008).

A radiação solar também se relaciona com a iluminação natural. Essa é espectralmente composta por 9% de radiação ultravioleta, 45% de radiação na faixa da luz visível e 46% por radiação infravermelho; sendo a luz visível um tipo de radiação eletromagnética à qual os olhos humanos são sensíveis. A iluminância refere-se à luz solar incidente sobre uma superfície (TREGENZA; LOE, 2015).

A radiação total nas superfícies horizontais urbanas é aproximadamente de 10 a 20% menor que em um arredor rural próximo, e a duração da insolação é entre 5 e 15% menor. Isso acontece porque a massa edificada urbana modifica a duração da exposição solar nos espaços urbanos, provocando o sombreamento dos espaços urbanos e dos edifícios entre si (LANDSBERG, 1981).

1.1.1. A influência da forma urbana no acesso dos edifícios à energia solar

O acesso dos edifícios à energia solar, no contexto das formas urbanas, depende de fatores espaciais, como a altura dos edifícios, sua implantação e seus afastamentos, e de fatores temporais, influenciados pela implantação dos edifícios (GROSSO, 1998).

A radiação solar interage com a forma urbana de diversas maneiras, por exemplo, a forma dos edifícios e seus afastamentos geram diferentes padrões de obstrução e projeção de sombras. A absorção e reflexão solar também é influenciada pelas características físicas das superfícies (material, cor, textura, entre outros). O albedo das superfícies, a emissividade, a capacidade térmica e a condutividade térmica desempenham um papel relevante no balanço radiativo em superfícies urbanas, por poderem retardar o processo



de aquecimento e de retorno do calor absorvido para o meio (GIVONI, 1998; COLOMBERT, 2008). O albedo refere-se à relação entre a energia solar refletida por uma superfície e a energia solar incidente; a emissividade, à razão entre a radiação infravermelha emitida por uma superfície a uma determinada temperatura e a radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura; a capacidade térmica, é a quantidade de calor que um material consegue armazenar, em relação ao seu volume; e a condutividade térmica refere-se à capacidade de um corpo em conduzir calor.

21 A capacidade térmica ($J/^\circ C$) é a quantidade de calor que pode armazenar um material em relação ao seu volume. Ela é definida pela quantidade de calor necessária para elevar em um grau celsius, a temperatura de um metro cúbico do material. 22 A condutividade térmica $W/m/^\circ C$ quantifica a habilidade de um corpo em conduzir calor.

Tendo em vista que a forma urbana (configuração do grupo de edificações, dimensões dos edifícios e seus afastamentos) e as propriedades dos materiais utilizados afetam a incidência da radiação solar e a perda de calor, o planejamento urbano pode melhorar significativamente as condições dos ambientes externos e internos (LITTLEFAIR, 2001).

Ratti *et al.* (2005) ressaltam a importância da forma urbana no consumo e produção energética de uma edificação, uma vez que esta influencia a disponibilidade de radiação solar e iluminação natural nas fachadas. Áreas urbanas muito densas são geralmente impossibilitadas de utilizar iluminação natural, o que promove o aumento do consumo energético (LEDER E PEREIRA, 2003). Além disso, a implantação dos edifícios é um fator fundamental para garantir a adequada produção energética, por meio dos sistemas fotovoltaicos, já que um dos principais fatores que influenciam negativamente o desempenho destes sistemas é o sombreamento (MONTAVON, 2010). Nesse sentido, a forma urbana e o acesso dos edifícios à energia solar se relaciona diretamente com o consumo energético e com a produção energética dos edifícios. Apresentam-se a seguir, estudos sobre a forma urbana e o consumo energético de edifícios e estudos sobre a forma urbana e a produção energética de edifícios.

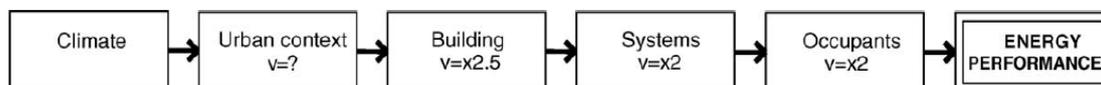
1.1.2. Forma urbana e consumo energético

O efeito da forma urbana no consumo energético de edifícios ainda é um assunto controverso e que precisa ser estudado (RATTI *et al.*, 2005). De acordo com Baker e Steemers (2000), entende-se que a performance energética de um edifício depende de cinco fatores: do clima no qual este está inserido, da forma urbana, da forma do edifício, da eficiência dos sistemas e do comportamento dos usuários, conforme ilustra a Figura 3. A forma do edifício tem o potencial de variar aproximadamente 2,5 vezes o consumo energético, enquanto que os sistemas e os usuários podem variar 2 vezes, dependendo do



contexto climático⁷. Entretanto, desconhece-se a contribuição da forma urbana na variação do consumo de um edifício.

Figura 3 - Fatores que mais afetam a performance energética de um edifício.



Fonte: Baker e Steemer, 2000.

Nesse contexto, buscando estudar os efeitos da forma urbana no consumo energético, desenvolveram-se os estudos de Ratti *et al.* (2005) e Stomann-Andersen *et al.* (2012), apresentados a seguir.

- *Consumo energético e textura urbana (RATTI et al., 2005)*

Ratti *et al.* (2005) exploram os efeitos de diferentes formas urbanas no consumo energético de edifícios, investigando a influência da compactidade dos edifícios e da proporção entre zona-passiva⁸ e zona-não-passiva na diminuição do consumo energético. Para isso, estudam-se as áreas centrais de Londres, Toulouse e Berlim, ilustradas na Figura 4.

Utiliza-se o modelo digital de elevação (DEM), que é uma forma compacta de armazenar informações 3D utilizando uma matriz 2D com valores de altura. Cada pixel representa uma altura e pode ser apresentado em tons de cinza.

Figura 4 - Vistas das cidades de Londres, Toulouse e Berlim, respectivamente, no modelo DEM.



Fonte: Ratti *et al.*, 2005.

Calcula-se o volume, a superfície construída e a proporção entre superfície e volume⁹, que indica a compactidade dos edifícios, conforme apresenta na Tabela 1..

⁷ Tendo em vista a complexidade da definição do impacto dos fatores que mais afetam a performance energética de um edifício, ressalta-se que tais valores são estimativas baseadas em alguns critérios.

⁸ Partes de um edifício que podem ser naturalmente iluminadas e ventiladas são chamados "zonas passivas". Por uma regra geral estabelecida pelo método LT, a zona prolonga-se aproximadamente por 6 m (ou duas vezes a altura do teto) da fachada (BAKER; STEEMERS, 2000).

⁹ O volume, a superfície construída e a proporção entre superfície e volume são calculados em um modelo digital de elevação (DEM).



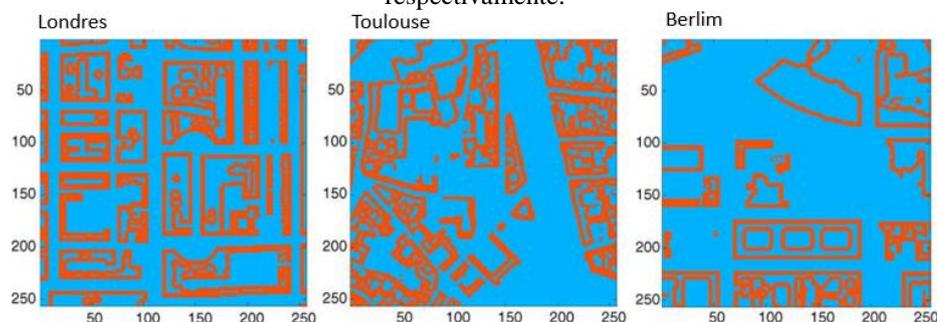
Tabela 1 - Informações para Londres, Toulouse e Berlim.

	Londres	Toulouse	Berlim
Área construída no térreo (m ²)	89,663	64,368	55,978
Área não construída no térreo (m ²)	70,377	95,632	104,022
Volume construído (m ³)	1221,499	966,768	10042,199
Superfície vertical (m ³)	174,757	174,888	119,698
Compacidade	0,216	0,248	0,169

Fonte: Ratti *et al.* (2005).

Detectam-se as zonas passivas, como ilustrado na Figura 5, e calcula-se o consumo energético¹⁰, conforme a Tabela 2.

Figura 5 - Identificação das zonas passivas das cidades de Londres, Toulouse e Berlim, respectivamente.



Fonte: Ratti *et al.*, 2005.

Tabela 2 - Informações de consumo para Londres, Toulouse e Berlim.

	Londres	Toulouse	Berlim
Média da energia consumida em zonas passivas e não passivas (kWhm ² /ano)	0,0683	0,0668	0,0731
Média da energia consumida em zonas passivas (kWhm ² /ano)	0,0590	0,0599	0,0585

Fonte: Ratti *et al.* (2005).

Conclui-se que a proporção entre zona-passiva e zona-não-passiva é um melhor parâmetro do consumo energético que a compacidade, tendo em vista que o menor consumo energético encontrado é de Toulouse, seguido por Londres e Berlim, porém, a menor proporção de compacidade é de Berlim, seguido por Toulouse e Londres. Além disso, partes de edifícios dentro da zona passiva apresentaram uma redução significativa no consumo de energia (quase 50%), em comparação com as zonas não-passivas.

Verifica-se também uma diferença de aproximadamente 10% entre o consumo anual de energia em Toulouse e Berlim, devido aos efeitos da forma urbana, estimando-se, de uma maneira simplificada, os efeitos da textura urbana no consumo energético.

¹⁰ Detectam-se as zonas passivas no modelo DEM. Utiliza-se o método LT (lighting and thermal) para calcular o consumo de energia, sendo necessário derivar os parâmetros do LT no modelo DEM, por meio de processamento de imagem.

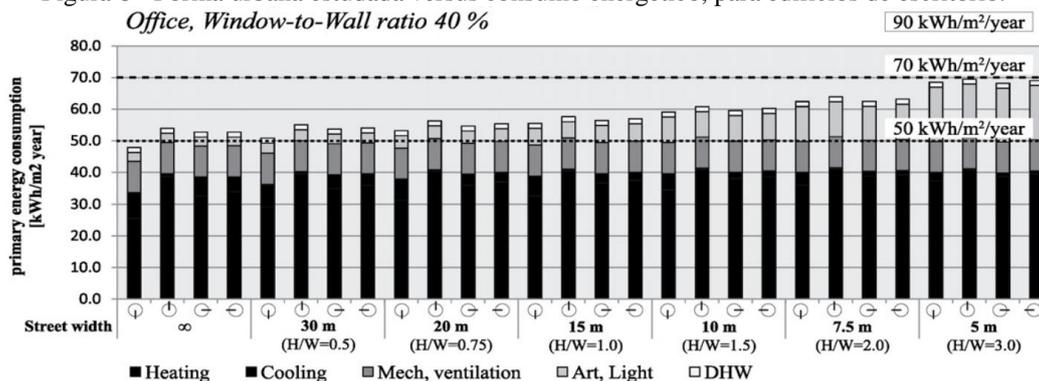


- *O cânion urbano e o consumo energético em edifícios: A densidade urbana contra a iluminação natural e os ganhos solares passivos (STROMANN-ANDERSEN e SATTRUP, 2012)*

Stromann-Andersen e Sattrup (2012) analisam como a distribuição da radiação solar e da iluminação natural afeta o consumo energético para aquecimento, resfriamento e iluminação artificial em diferentes pavimentos de edifícios de baixo consumo energético. Analisam-se dois tipos diferentes de edifício (residências e escritórios), em quatro orientações (norte, sul, leste e oeste) e em sete padrões urbanos típicos de Copenhague, Dinamarca.

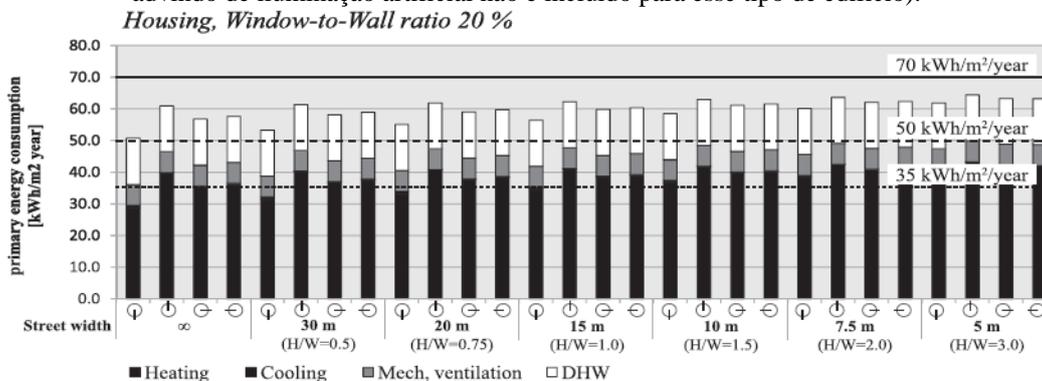
Realizam-se cálculos energéticos no IES-Virtual Environment 6.0.2, ApacheSim/RADIANCE, um *software* capaz de integrar as simulações térmicas e lumínicas com a produção horária detalhada do consumo de energia elétrica. Demonstra-se, nas Figuras 6 e 7, que à medida em que a relação H/W¹¹ aumenta, há um aumento geral no consumo energético. Além disso, o consumo de unidades habitacionais em um mesmo edifício varia de acordo com o pavimento em que estas se encontram, sendo o consumo maior em pavimentos mais baixos, na maioria dos casos.

Figura 6 - Forma urbana estudada versus consumo energético, para edifícios de escritório.



Fonte: Stromann-Andersen e Sattrup (2012).

Figura 7 - Forma urbana estudada versus consumo energético, para edifícios residenciais (o consumo advindo de iluminação artificial não é incluído para esse tipo de edifício).



Fonte: Stromann-Andersen e Sattrup (2012).

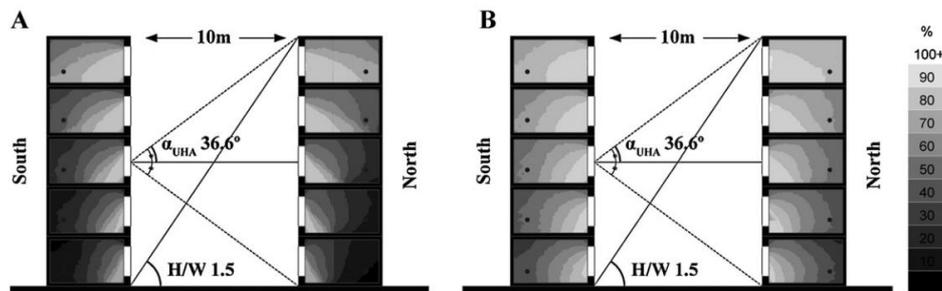
¹¹ É a razão da altura média construída pela distância entre os edifícios, também conhecida como prospecto médio.



Verifica-se que a forma urbana tem um impacto significativo no consumo energético, podendo o contexto urbano contribuir com um aumento no consumo de até 30% para edifícios de escritório e 19% para edifícios residenciais, em comparação com edifícios implantados em locais desobstruídos. Sendo assim, indica-se que a forma urbana é um fator fundamental no uso de energia em edifícios.

Conclui-se também que a disponibilidade e distribuição da luz natural e o consumo energético associado à iluminação artificial são afetados de forma significativa pela refletância urbana. Nos pavimentos mais baixos, em edifícios implantados em densidades urbanas elevadas, a maior fração de iluminação natural disponível vem da luz refletida. A Figura 8 ilustra a distribuição de luz natural (valores acima de 200 lux) em um edifício com refletância de 45% em A e com 75% em B. Nota-se que a refletância de 75% promove uma iluminação significativamente melhor e mais bem distribuída nos pavimentos mais baixos, quando comparada com a de 45%.

Figura 8 - Distribuição da luz natural (valores acima de 200 lux) em um edifício com refletância de 45% (A) e com refletância de 75% (B).



Fonte: Stromann-Andersen e Sattrup (2012).

1.1.3. Forma urbana e produção energética

A geração de energia fotovoltaica é influenciada pelos níveis de irradiância no local de instalação, pela área de envoltória disponível e viável para instalação dos sistemas, pela eficiência dos painéis fotovoltaicos e pelos fatores de perda e ganho na geração, entre outros (LANGE, 2012) (ENOVA, 2015).

A implantação dos edifícios é um fator fundamental para garantir a adequada utilização dos sistemas fotovoltaicos (MONTAVON, 2010). Um dos principais fatores que influenciam negativamente o desempenho destes sistemas é o sombreamento, uma vez que este afeta diretamente a energia solar disponível no local. Sendo assim, a viabilização da captação solar se relaciona com a forma urbana, uma vez que edificações altas podem reduzir consideravelmente a incidência da radiação solar nas edificações vizinhas, projetando sombras ou produzindo obstruções (MONTAVON, 2010; ENOVA, 2015). Além disso, a geração fotovoltaica aumenta de acordo com a área de envoltória disponível e viável para a instalação dos sistemas.

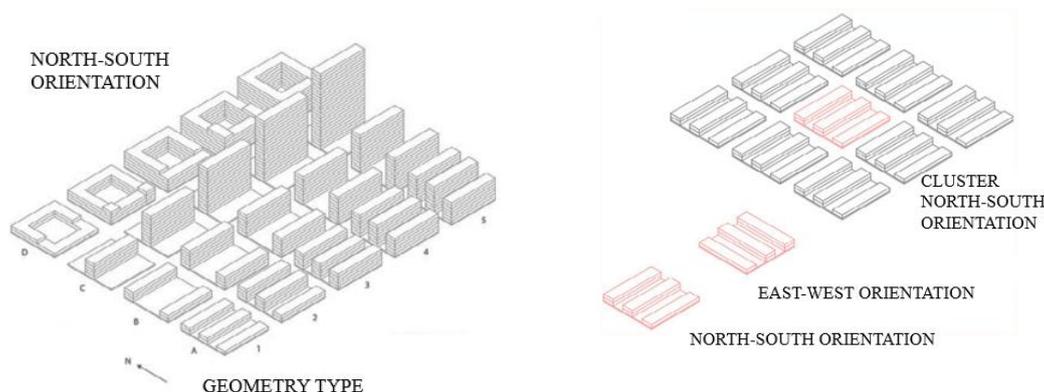


Nesse contexto, Kanters e Horvat (2012) exploram a influência de diferentes formas urbanas no potencial de produção local de energia.

- *A energia solar como um parâmetro de projeto no planejamento urbano (KANTERS e HORVAT, 2012)*

O estudo de aplica a cidade de Lund, Suécia e são analisados os parâmetros representados nas Figuras 9 e 10: forma dos blocos, densidade construída, orientação e entorno dos blocos.

Figura 9 e 10 - À esquerda, forma e densidade dos blocos analisados e, à direita, orientação e entorno dos blocos analisados.



Fonte: Kanters e Horvat (2012).

Calcula-se o desempenho solar dos blocos a partir do seu potencial de geração fotovoltaica¹² (percentual da envoltória do edifício que recebe uma quantidade de radiação solar maior ou igual ao limite definido) e da sua cobertura de eletricidade (razão entre a energia elétrica produzida em um edifício por meio da energia solar e a demanda anual de eletricidade do edifício¹³).

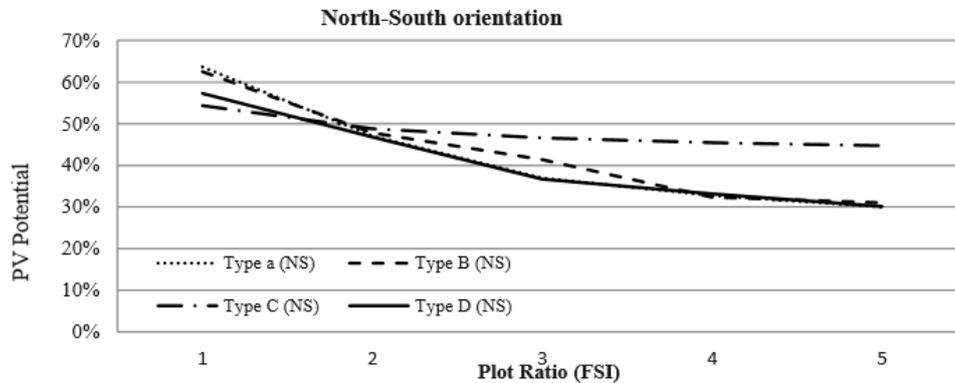
Verifica-se um declínio do potencial de geração fotovoltaica com o aumento da densidade, conforme ilustra a imagem a seguir. Na maioria dos blocos com densidade construída 1, o consumo de energia elétrica pode ser atendido com a eletricidade produzida. Porém, com o aumento da densidade, a produção não é mais capaz de atender ao consumo. Em apenas 8 dos 60 casos estudados (13%), o consumo de energia elétrica pode ser atendido com a eletricidade produzida. Além disso, quando os blocos do entorno são considerados, nota-se uma diminuição no potencial de fotovoltaico de até 75%, conforme ilustram as Figuras 11 e 12.

¹² No Ecotect, foram identificadas e selecionadas as superfícies com uma radiação solar anual acima de 650 kWh/m²/ano, valor escolhido por produzir cerca de 100 kWh/m²/ano com uma célula fotovoltaica eficiente.

¹³ Considerou-se um consumo elétrico padrão de 50 kWh/m²/ano, calculado pela soma de 30 kWh/m²/ano, valor que representa a média do consumo elétrico de uma residência anualmente na Suécia, e 20 kWh/m²/ano, valor relacionado ao uso compartilhado de energia.

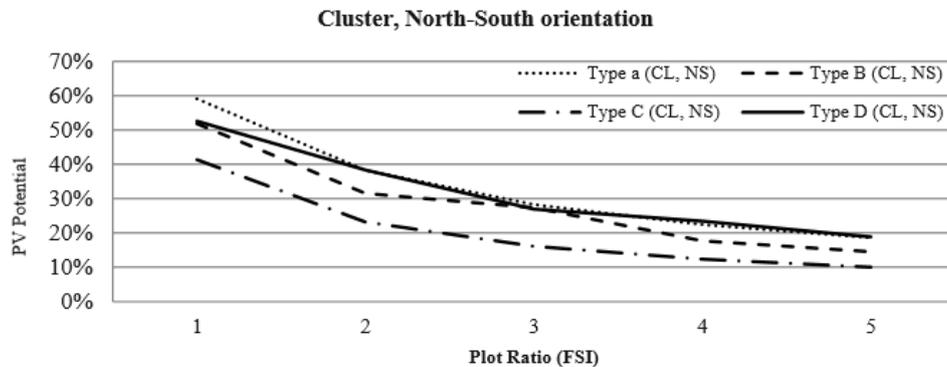


Figura 11 - Potencial de geração FV de acordo com as densidades estudadas, para a orientação leste-oeste, sem considerar os blocos do entorno.



Fonte: Kanters e Horvat (2012).

Figura 12 - Potencial de geração FV de acordo com as densidades estudadas, para a orientação leste-oeste, considerando os blocos do entorno.



Fonte: Kanters e Horvat (2012).

De acordo com Martins (2014), os parâmetros mais influentes da forma urbana relacionados ao consumo e a produção energética dos edifícios são altura construída, largura, profundidade, distância entre edifícios, o coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação do solo, coeficiente de forma, verticalidade, prospecto médio e o albedo.

Adolphe *et al.* (2002) apresentam catorze parâmetros morfológicos relacionados aos efeitos microclimáticos urbanos, aplicados na microescala e na escala da cidade. Na microescala, os parâmetros considerados como mais influentes foram o prospecto equivalente da rua, o comprimento equivalente, fatores de obstrução construída, o fator de sombra projetada, densidade de impermeabilização, densidade de área vegetalizada, percentual envidraçamento na fachada e o albedo das superfícies. No tecido urbano, os parâmetros determinados foram a densidade construída, a taxa de impermeabilização e a rugosidade.

Groleau e Marenne (1995) identificam, como principais parâmetros morfológicos relacionados à insolação em um tecido urbano, a altura média dos edifícios, a densidade média, o nível de homogeneidade (elevado ou baixo), a sinuosidade, o prospecto médio das ruas e a tipologia dos espaços abertos.



É possível, em função dos objetivos e da escala de interesse do trabalho em questão, delimitar um conjunto de parâmetros da forma urbana mais influentes na disponibilidade de iluminação natural, no controle térmico e na produção energética fotovoltaica dos edifícios. Tendo em vista que o trabalho avalia a forma urbana proposta pela LUOS, estuda-se o impacto dos parâmetros de ocupação da LUOS (coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação, afastamentos e altura máxima/número de pavimentos) nos níveis de iluminância nas fachadas (associados à disponibilidade de iluminação natural), nos níveis de irradiância nas fachadas (associados ao controle térmico) e nos níveis de irradiância nas coberturas (associados à produção energética).

1.2. A energia solar no Brasil

A energia solar incidente em fachadas e coberturas pode ser utilizada para produção de eletricidade, a partir dos painéis fotovoltaicos, ou para aquecimento de água, a partir dos coletores solares¹⁴ (MONTAVON, 2010).

O Brasil possui condições climatológicas favoráveis à utilização dos sistemas fotovoltaicos, entretanto, a participação dessa fonte renovável ainda é pouco expressiva (MME; EPE, 2015). Nesse sentido, investiga-se o potencial brasileiro de geração fotovoltaica e as políticas orientadas à inserção da geração fotovoltaica no Brasil.

1.2.1. O potencial brasileiro de geração fotovoltaica

Houve um grande crescimento mundial dos sistemas fotovoltaicos nos últimos anos, incentivado por programas promovidos por países como Alemanha, Austrália, China, EUA, entre outros. O padrão geográfico de implantação desses sistemas, entretanto, está mudando, tendo seu desenvolvimento se iniciado na Alemanha e Itália, e posteriormente se expandido para outros países, geralmente com céus mais ensolarados, como é o caso do Brasil (IEA, 2014).

De acordo com a CRESESB (2008), o potencial energético solar brasileiro é bastante elevado e incomparável a qualquer outro sistema de energia, sendo uma das alternativas energéticas mais promissoras.

Em razão de seu vasto território e da alta irradiação solar, o Brasil pode ampliar consideravelmente a participação da fonte solar fotovoltaica em sua matriz energética. (...) O Brasil tem potencial para gerar dezenas de milhares de GWh de energia solar, muito mais que a soma de todas as demais fontes juntas (WWF, 2015, p. 6).

O Brasil possui alto potencial de utilização do recurso solar, por sua disponibilidade de alta irradiação solar, por ter sol aproximadamente 280 dias por ano, em média, e pela

¹⁴ O trabalho em questão se restringe à investigação da produção energética por meio de painéis fotovoltaicos.



grande extensão do território brasileiro. Além disso, possui uma das maiores reservas mundiais de silício, material utilizado na composição da placa fotovoltaica (WWF, 2015) (CABRAL *et al.*, 2013).

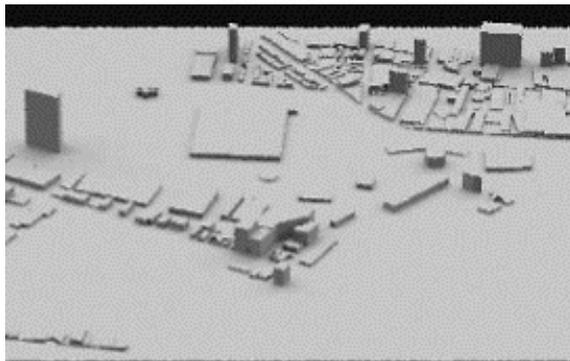
É importante ressaltar que mesmo as regiões com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético. (...) existe uma infinidade de pequenos aproveitamentos da energia solar no Brasil, mas isso ainda é pouco significativo, diante do grande potencial existente (ANEEL, Ano desconhecido, p. 33).

Ressaltam-se dois estudos que abordam o potencial solar brasileiro, um realizado por Montavon (2010) e outro pela Empresa de Pesquisa Energética – MME e EPE (2014).

- *Otimização da forma urbana pela avaliação do potencial solar (MONTAVON, 2010)*

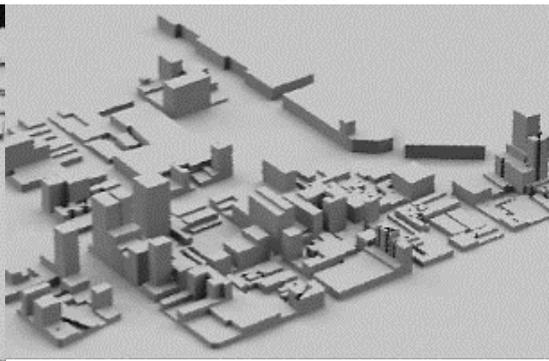
Montavon (2010) analisou o potencial de produção energética de dois bairros brasileiros, da cidade de São Paulo, ilustradas nas Figuras 13 e 14, e comparou os resultados com outros bairros europeus.

Figura 13 - Render no RADIANCE de Barra Funda – Brasil.



Fonte: Montavon (2010).

Figura 14 - Render no RADIANCE do bairro da Luz – Brasil.



Fonte: Montavon (2010).

As avaliações de Barra Funda e do bairro da Luz, apresentadas na Tabela 3, indicam que 83,2% da área das fachadas de Barra Funda e 70,1% da área das fachadas do bairro da Luz recebem níveis adequados de iluminação natural e que 79,3% e 64,9% das fachadas, respectivamente, recebem uma quantidade de irradiação solar viável para instalação de coletores solares térmicos, porém estas não recebem quantidade necessária para produção energética por meio de geração fotovoltaica.

Tabela 3 - Resultados encontrados para o Brasil.

Bairro	Viabilidade – Luz natural	Viabilidade – Solar térmica		Viabilidade – Geração Fotovoltaica	
	Fachadas	Cobertura	Fachadas	Cobertura	Fachadas
Barra Funda	83,2%	99,7%	79,3%	97,6%	17,2%
Luz	70,1%	96,2%	64,9%	81,9%	12,4%

Fonte: Montavon (2010).



A avaliação para o bairro de Matthaeus, na Suíça, ilustrado na Figura 15, reflete a alta densidade do local. Em relação aos coletores solares, 92,2% da área de cobertura e 46,7% da área de fachadas são apropriadas para o aquecimento de água, conforme indica a Tabela 4. Porém, a geração fotovoltaica tem um menor potencial produtivo, com apenas 49,4% da área de cobertura e 1,3% da área das fachadas sendo adequadas para tal uso.

Figura 15 - Render no RADIANCE do bairro Matthaeus – Suíça



Fonte: Montavon (2010).

Tabela 4 - Resultados encontrados para a Suíça.

Bairro	Viabilidade – Luz natural	Viabilidade – Solar térmica		Viabilidade - Geração Fotovoltaica	
	Fachadas	Cobertura	Fachadas	Cobertura	Fachadas
Matthaeus	51,2%	92,2%	46,7%	49,4%	1,3%

Fonte: Montavon (2010).

Nota-se que o potencial de geração fotovoltaica a partir das fachadas e da cobertura no bairro de Matthaeus é muito baixo quando comparado com os valores encontrados para Barra Funda e para o bairro da Luz. Os ganhos térmicos solares também são maiores nos bairros brasileiros. Nesse sentido, verifica-se que, além da forma urbana (orientação dos edifícios, proximidade entre edifícios e inclinação das superfícies, entre outros), o contexto geográfico (diferentes latitudes, entre outros) pode alterar significativamente a performance energética dos bairros.

- *Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos (MME; EPE, 2014)*

Com o objetivo de viabilizar a geração fotovoltaica na matriz energética brasileira, a EPE levantou o potencial técnico da geração fotovoltaica distribuída em edificações residenciais brasileiras. Para isso, utilizou-se a metodologia de Lange (2012), na qual são mapeados os níveis de irradiação solar no país e a área de cobertura disponível¹⁵ para instalação dos sistemas fotovoltaicos. Calcula-se a energia solar total incidente por setor censitário¹⁶ e, por fim, agrupam-se tais valores por unidade federativa (MME; EPE, 2014).

O estudo também elaborou uma planta relacionando o potencial fotovoltaico e o consumo de eletricidade residencial, sendo este último dado retirado do Anuário estatístico de energia elétrica 2014 – ano base 2013 (EPE, 2014).

Conclui-se que todos os estados teriam condições de suprir a demanda de consumo elétrico residencial, a partir da energia fotovoltaica, uma vez que o potencial de produção

¹⁵ A área útil de telhados é obtida multiplicando-se a área total por um fator conservador de aproveitamento de 30%.

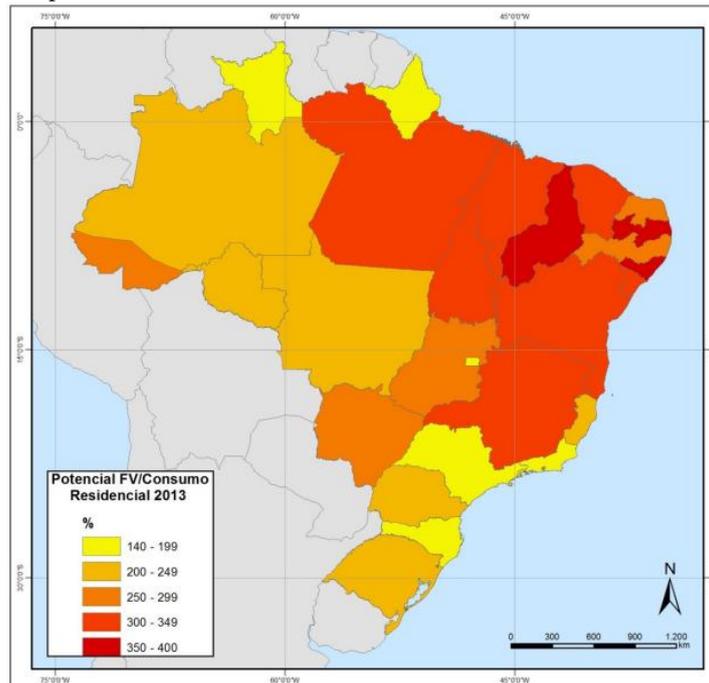
¹⁶ Considerou-se um fator de eficiência na conversão do recurso solar em eletricidade de 12%.



energética supera o consumo em aproximadamente de 1,4 a quase 4 vezes, como demonstra a Figura 16.

Nota-se que as regiões com maior potencial de geração são as mais populosas, as quais, mesmo com uma possível menor irradiação, possuem maior número de residências, e, portanto, maior área de cobertura disponível para instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Figura 16 - Potencial técnico fotovoltaico / consumo residencial por Unidade Federativa, considerando o ano base de 2013.



Fonte: MME e EPE (2014).

Apresenta-se, na Tabela 5, o potencial técnico fotovoltaico residencial e a sua relação com o consumo elétrico residencial para cada unidade federativa, no ano base de 2013.

Tabela 5 - Potencial Técnico Fotovoltaico Residencial.

UF	Potencial Fotovoltaico Residencial (MW médios)	Potencial Fotovoltaico Residencial (GWh/ano)	Consumo Residencial Anual 2013 (GWh)	Potencial Fotovoltaico/Consumo Residencial
São Paulo	7.100	62.196	38.783	160%
Minas Gerais	3.675	32.193	10.118	318%
Rio de Janeiro	2.685	23.521	12.833	183%
Bahia	2.360	20.674	6.144	337%
Rio Grande do Sul	1.970	17.257	7.750	223%
Paraná	1.960	17.170	6.986	246%
Ceará	1.430	12.527	3.751	334%
Pernambuco	1.410	12.352	4.563	271%
Goiás	1.220	10.687	3.958	270%



UF	Potencial Fotovoltaico Residencial (MW médios)	Potencial Fotovoltaico Residencial (GWh/ano)	Consumo Residencial Anual 2013 (GWh)	Potencial Fotovoltaico/Consumo Residencial
Santa Catarina	1.075	9.417	4.935	191%
Maranhão	1.020	8.935	2.563	349%
Pará	1.020	8.935	2.632	339%
Paraná	655	5.738	1.603	358%
Espírito Santo	595	5.212	2.213	236%
Mato Grosso	570	4.993	2.182	229%
Rio Grande do Norte	555	4.862	1.805	269%
Piauí	555	4.862	1.328	366%
Mato Grosso do Sul	505	4.424	1.571	282%
Alagoas	505	4.424	1.227	361%
Amazonas	420	3.679	1.784	206%
Distrito Federal	410	3.592	2.191	164%
Sergipe	350	3.066	979	313%
Rondônia	265	2.321	1.084	214%
Tocantins	255	2.234	695	321%
Acre	110	964	373	258%
Amapá	80	701	500	140%
Roraima	65	569	345	165%
Brasil	32.820	287.505	124.896	230%

Fonte: MME e EPE (2014).

O estudo constatou que o potencial estimado de geração fotovoltaica no Brasil é 2,3 vezes maior que o consumo elétrico residencial para o ano de 2013, demonstrando que a geração distribuída fotovoltaica poderia suprir plenamente o consumo elétrico residencial, gerando excedentes.

Embora o DF possua uma das menores relações entre o potencial fotovoltaico e o consumo residencial quando comparado aos demais estados (devido à baixa densidade da região¹⁷ e, portanto, menor área de cobertura disponível para instalação dos sistemas fotovoltaicos por metro quadrado), a superioridade do potencial em relação ao consumo é de 1,64 vezes nesta unidade federativa.

¹⁷ A configuração urbana do Plano Piloto é caracterizada por ser de baixa densidade, inspirada no modelo das cidades-jardim (ACIOLY *et al.*, 2011).

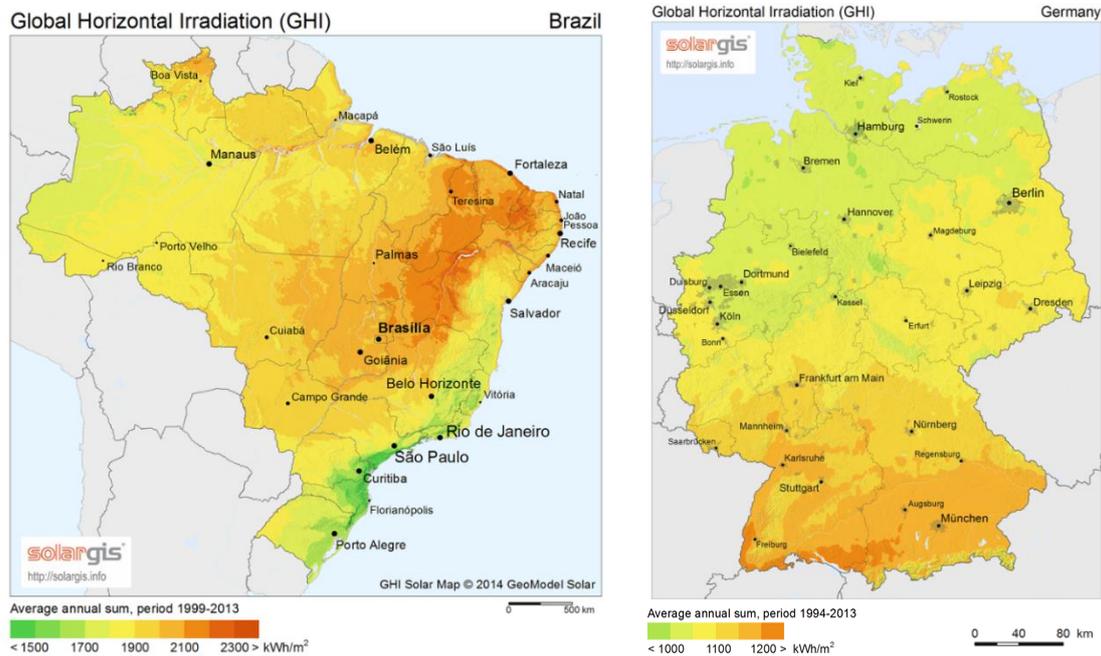


1.2.2. Inserção da geração fotovoltaica no Brasil

A utilização de energia solar fotovoltaica no Brasil, um país de baixa latitude, com alta disponibilidade e uniformidade de radiação solar, ou seja, com condições climatológicas favoráveis à utilização dos sistemas fotovoltaicos, ainda é incipiente (CRONEMBERGER, 2015).

Quando comparado com a Alemanha, as condições climatológicas do Brasil são mais favoráveis a utilização dos sistemas fotovoltaicos. A região menos ensolarada do Brasil recebe aproximadamente 25% mais irradiação solar que os maiores valores registrados na Alemanha, como ilustram as Figuras 17 e 18 (RÜTHER e SALAMONI, 2011).

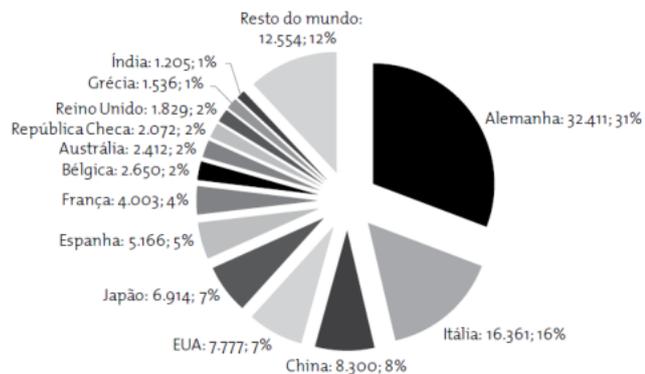
Figura 17 e 18 - À esquerda, média anual da irradiação solar no Brasil e, à direita, na Alemanha.



Fonte: Solargis (2016).

Porém, na comparação mercadológica, a Alemanha é considerada o país com a maior potência fotovoltaica instalada, conforme demonstra a Figura 19. Em 2012, a Alemanha foi o principal produtor de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos (28 TWh), seguida da Itália (18,9 TWh), Estados Unidos (15,0 TWh) e Espanha (11,9 TWh), tendo o Brasil produzido apenas 0,042 TWh (SILVA, 2015).

Figura 19 - Distribuição da potência instalada de painéis fotovoltaicos no mundo, no ano de 2012.



Fonte: Esposito e Fuchs (2013).



Embora com pequena capacidade instalada, o Brasil tem buscado inserir a geração fotovoltaica na matriz brasileira. O estímulo a utilização desse recurso tem-se dado por ações de diversos agentes, em diferentes esferas, dentre elas, a regulatória, tributária, normativa, de pesquisa e desenvolvimento e de fomento econômico. Nesse contexto, destacam-se medidas de incentivo como a publicação da Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012), a publicação da nota técnica “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira” (EPE, 2012) e a criação do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (MME, 2015).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a Resolução Normativa nº 482, na qual se determinam as condições gerais para micro e mini geração distribuídas de energia elétrica no país, possibilitando que o consumidor gere sua energia elétrica a partir de fontes renováveis e forneça o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

A publicação da nota técnica “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira” (EPE, 2014) - relacionada às principais aplicações da energia solar para geração de eletricidade no Brasil, com destaque para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica - demonstrou que a inserção fotovoltaica “estaria mais próxima de se realizar naturalmente via geração distribuída, especialmente na autoprodução residencial e comercial, dada a iminência da ocorrência da paridade tarifária¹⁸” (EPE, 2014, p. 5).

Há um grande potencial de expansão da geração distribuída, uma vez que o investimento para os consumidores gerarem sua energia está cada vez mais baixo. De acordo com o MME, o preço de instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência média é de R\$ 27 mil e a expectativa é que o preço caia pela metade até 2030, permitindo um *payback* de 10 anos (MME, 2015).

Dentre os benefícios da geração distribuída, tem-se o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, a redução no carregamento das redes, a diminuição das perdas, o baixo impacto ambiental e a diversificação da matriz energética (ANEEL, 2016).

De acordo com a International Energy Agency (IEA, 2014), os sistemas residenciais e comerciais, relacionados à geração distribuída, serão responsáveis, até 2020, por aproximadamente 60% da geração fotovoltaica mundial, enquanto que as centrais fotovoltaicas representarão 40% do total, e menos de 1% será advindo de sistemas isolados. Nesse sentido, é possível perceber que existe uma maior atratividade econômica dos sistemas de pequeno porte.

Em 2015, o Ministério de Minas e Energia (MME) lançou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), com o principal objetivo de estimular a geração de energia pelos próprios consumidores, a partir de fontes renováveis de energia - com destaque para a solar fotovoltaica (MME, 2015).

¹⁸ Compensação do custo da energia gerada por um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica e as tarifas praticadas pelas distribuidoras.



O programa se propõe a ampliar a geração distribuída de energia elétrica com fontes renováveis em residências, instalações industriais e comerciais, escolas técnicas, universidades federais, hospitais e edifícios público. Para isso, pretende criar e expandir as linhas de crédito e as formas de financiamento de projetos para a instalação de sistemas de geração distribuída; incentivar o estabelecimento de indústrias fabricantes de componentes e equipamentos de geração, a partir de fontes renováveis; promover a atração de investimentos e favorecer a transferência e nacionalização de tecnologias competitivas para energias renováveis e desenvolver a capacitação e formação de recursos humanos para atuar em todos os elos da cadeia produtiva das energias renováveis (MME, 2015).

A viabilização do ProGD ocorreu devido a iniciativas em diversas esferas (órgãos do Poder Executivo, dos estados e do órgão regulador), empreendidas pelo MME. Outro motivador para a criação do programa foi a renovação da concessão das empresas distribuidoras de energia elétrica, permitindo melhorias nas redes de distribuição e instalação de equipamentos modernos, através das metas de qualidade e investimentos que as empresas devem cumprir (MME, 2015).

1.3. O caso de estudo

Apresenta-se, a seguir, o embasamento para a escolha da região administrativa do Gama (DF) como caso de estudo, contendo caracterizações territoriais e climáticas da área em questão, bem como seu processo de urbanização. Discute-se também sobre a demanda e produção energética no Distrito Federal.

1.3.1. Urbanização do Distrito Federal (DF)

Os planos urbanísticos de Lúcio Costa previam a construção inicial do Plano Piloto de Brasília e a construção de núcleos pequenos e periféricos ao Plano Piloto apenas quando este atingisse a população prevista para tal área (entre 500 e 700 mil habitantes). Entretanto, mesmo antes da inauguração da nova capital, já se verificava o surgimento de núcleos urbanos formados ao redor de Brasília (PAVIANI *et al.*, 2010).

Brasília foi, desde a sua inauguração, um grande polo atrator de população no Brasil. Um grande número de pessoas veio em busca de trabalho na construção da nova capital e não retornou para a sua cidade de origem. Para suprir a demanda por habitações, absorvendo o intenso fluxo populacional e erradicando as favelas que estavam sendo criadas, a NOVACAP criou assentamentos improvisados na periferia, que depois se consolidaram como Regiões Administrativas (RAs) (OLIVEIRA; MANIÇÓBA, 2014). O Gama, uma das RAs mais antigas do DF, inaugurado em 1960, surgiu como uma cidade planejada com o objetivo de abrigar as famílias de trabalhadores da construção de Brasília alojados em vilas irregulares (SEGETH., s.d.).



Entre 1990 e 1995, os vetores de expansão urbana do DF se direcionavam para Samambaia, Gama, Santa Maria, São Sebastião, Paranoá e Sobradinho, conforme ilustra a Figura 20. Entretanto, as tendências mais recentes de expansão se orientam para o sul do DF, englobando regiões como o Eixo Gama, Entorno Sul (Novo Gama, de Valparaíso e da Cidade Ocidental) e Luziânia, como demonstra a Figura 21 (OLIVEIRA; MANIÇOBA, 2014).

Figura 20 - Vetores de expansão do DF – De 1990 a 1995.



Fonte: Anjos (2012).

Figura 21 - Vetores de expansão do DF – De 2005 a 2010.



Fonte: Anjos (2012).

Brasília continua a representar o núcleo político-financeiro-geográfico do DF, sendo as demais RAs dependentes economicamente e socialmente dela. A população migra para o Plano Piloto durante o dia, local onde trabalham ou estudam, e retornam à noite¹⁹ (FREITAS, 2013). Porém, verifica-se o surgimento e desenvolvimento de novos polos em outras RAs, sendo os principais localizados em Ceilândia, Taguatinga, Planaltina e Gama (SILVA, 2013).

A formação de novas centralidades²⁰ é reforçada no PDOT (2012), que tem, em seus objetivos gerais, promover o desenvolvimento de novas centralidades no DF.

O Gama é considerada a “capital do entorno”, por ser um polo econômico e de influência para cidades goianas vizinhas (Novo Gama, Valparaíso, Cidade Ocidental, Luziânia e Santo Antônio do Descoberto). Consolidou-se como polo de concentração populacional da região sudeste do DF, gerando em seu entorno focos habitacionais (ADF, 2016). Nesse sentido, a cidade não funciona mais como um assentamento ou um dormitório como foi proposto no plano original da cidade (FRAZÃO, 2009).

¹⁹ 46,42% dos trabalhadores residentes do Gama trabalham na própria RA, 33,33% no Plano Piloto (RA – I) e 7,21% em outros locais (CODEPLAN, 2015).

²⁰ As centralidades são espaços que congregam atividade e promovem atratividade e convívio social (SEGETH, 2013).



Figura 22 - Vista aérea do Gama, em 1960.



Fonte: Arquivo público do DF *apud* FREITAS (2013).

Figura 23 - Vista aérea atual do Gama.



Fonte: MGF Imóveis (2016).

1.3.2. Caracterização do DF

O DF consiste em um território autônomo dividido em 31 Regiões Administrativas (RAs), apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Regiões administrativas do DF.

Número das RAs	Nome das RAs	Lei de criação	Número das RAs	Nome das RAs	Lei de criação
RA-I	Brasília	Lei 4.545 de 10/12/1964	RA-XVI	Lago Sul	Lei 643 de 10/01/1994
RA-II	Gama	Lei 4.545 de 10/12/1964	RA-XVII	Riacho Fundo	Lei 620 de 15/12/1993
RA-III	Taguatinga	Lei 4.545 de 10/12/1964	RA-XVIII	Lago Norte	Lei 641 de 10/01/1994
RA-IV	Brazlândia	Lei 4.545 de 10/12/1964	RA-XIX	Candangolândia	Lei 658 de 27/01/1994
RA-V	Sobradinho	Lei 4.545 de 10/12/1964	RA-XX	Águas Claras	Lei 3.153 de 06/05/2003
RA-VI	Planaltina	Lei 4.545 de 10/12/1964	RA-XXI	Riacho Fundo II	Lei 3.153 de 06/05/2003
RA-VII	Paranoá	Lei 4.545 de 10/12/1964	RA-XXII	Sudoeste/Octogonal	Lei 3.153 de 06/05/2003
RA-VIII	Núcleo Bandeirante	Lei 049 de 25/10/1989	RA-XXIII	Varjão	Lei 3.153 de 06/05/2003
RA-IX	Ceilândia	Lei 049 de 25/10/1989	RA-XXIV	Park Way	Lei 3.255 de 29/12/2003
RA-X	Guará	Lei 049 de 25/10/1989	RA-XXV	SCIA	Lei 3.315 de 27/01/2004
RA-XI	Cruzeiro	Lei 049 de 25/10/1989	RA-XXVI	Sobradinho II	Lei 3.315 de 27/01/2004
RA-XII	Samambaia	Lei 049 de 25/10/1989	RA-XXVII	Jardim Botânico	Lei 3.435 de 31/08/2004
RA-XIII	Santa Maria	Lei 348 de 4/11/1992	RA-XXVIII	Itapoã	Lei 3.527 de 03/01/2005
RA-XIV	São Sebastião	Lei 705 de 10/05/1994	RA-XXIX	SIA	Lei 3.618 de 14/07/2005
RA-XV	Recanto das Emas	Lei 510 de 28/07/1993	RA XXX	Vicente Pires	Lei 4.327 de 26/05/2009
			RA XXXI	Fercal	Lei 685 de 14/12/2011

Fonte: CODEPLAN (2012).



Atualmente, o DF apresenta um dos maiores índices de crescimento populacional do Brasil, com uma taxa de crescimento de aproximadamente 2,18%, valor acima da média nacional de 0,82%, conforme ilustra a Tabela 7 (IBGE, 2016).

Tabela 7 - População e taxa de crescimento anual do DF e do Brasil, de 2010 a 2015.

Anos	População DF	População Brasil	Taxa de crescimento anual do DF (%)	Taxa de crescimento anual do Brasil (%)
2010	2.562.963	190.747.855	-1,68	-0,38
2011	2.609.998	192.379.287	1,83	0,85
2012	2.648.532	193.946.886	1,47	0,81
2013	2.789.761	201.032.714	5,33	3,65
2014	2.852.372	202.768.562	2,24	0,86
2015	2.914.830	204.450.649	2,18	0,82

Fonte: IBGE (2016).

O DF caracteriza-se por suas elevadas taxas de crescimento populacional, por uma rápida ocupação desse território e uma necessidade de monitoramento e redefinição constante dos limites de suas 31 Regiões Administrativas. Os valores imobiliários elevados em Brasília inviabilizam a aquisição de moradias por grande parte da população e, dessa maneira, aumenta-se a demanda por habitações ao redor desta cidade (FERREIRA, 2006).

Observa-se o aumento da oferta de habitações em edifícios multifamiliares nas cidades próximas à Brasília, até mesmo onde não haviam edifícios residenciais em altura até pouco tempo atrás. Em algumas Regiões Administrativas, como no Gama, caso de estudo da dissertação, devido aos interesses imobiliários, as alturas de gabarito e o potencial construtivo foram modificados, levando-se à verticalização das construções (FREITAS, 2013).

1.3.3. Caracterização territorial do Gama/DF

O Gama (Região Administrativa II) localiza-se na região sudoeste do DF e situa-se a aproximadamente 30km do Plano Piloto. Limita-se, ao norte, com o Recanto das Emas (RA XV); ao sul, com o estado de Goiás (Novo Gama); à leste, com Riacho Fundo II (RA XXI), Park Way (RA XXIV) e Santa Maria (RA XIII); e, à oeste, com o estado de Goiás (Santo Antônio do Descoberto), conforme demonstram as Figuras 24 e 25 (DEURA/CODEPLAN, 2015).

Figura 24 - Localização do Gama, em relação ao DF.



Fonte: DEURA/CODEPLAN (2015).

Figura 25 - Limites do Gama.



Fonte: DEURA/CODEPLAN (2015).



O Gama possui uma área de 27559,42 m², sendo 87,83% pertencente à Zona Rural (correspondente a 24206,55 m²), 10,02% à Zona Urbana (2761,52 m²) e 2,15% à Zona de Proteção Integral (591,35 m²) (DEURA/CODEPLAN, 2015). A cidade conta com uma população estimada de 141911 habitantes, com média de 3,26 moradores por domicílio urbano (CODEPLAN, 2015).

O desenvolvimento da forma urbana do Gama e a distribuição de usos e ocupação do solo subordinam-se à legislação urbanística e edilícia, que abrange Plantas Urbanísticas (PR's), Normas de Gabarito (GB's), Normas de Edificação, Uso e Gabarito (NGB's), os Códigos de Obras e Edificações (COE's), Plano Diretor Local (PDL), Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT) e a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) (em fase de aprovação).

A zona urbana do Gama insere-se em uma área com pouca possibilidade de crescimento horizontal, devido à sua limitação espacial com as Zonas Rurais de Uso Controlado e a Macrozona de Proteção Integral, conforme demonstra a Figura 26.

Figura 26 - Mapa de Macrozoneamento do Gama.



Fonte: Adaptado de PDOT (2012).

Segundo o PDOT (2012), a Macrozona Urbana do Gama divide-se em Zona Urbana Consolidada e Zona Urbana de Uso Controlado II, como ilustra a Figura 27. A Zona Urbana Consolidada refere-se à áreas de baixa, média ou alta densidade demográfica que são predominantemente urbanizadas ou estão em processo de urbanização; e a Zona Urbana de Uso Controlado II representa o ordenamento territorial urbano que considera a conservação dos recursos naturais, promovendo a recuperação ambiental e a proteção dos recursos hídricos, no qual apresenta-se um limite máximo a ser atingido pelos coeficientes de aproveitamento.



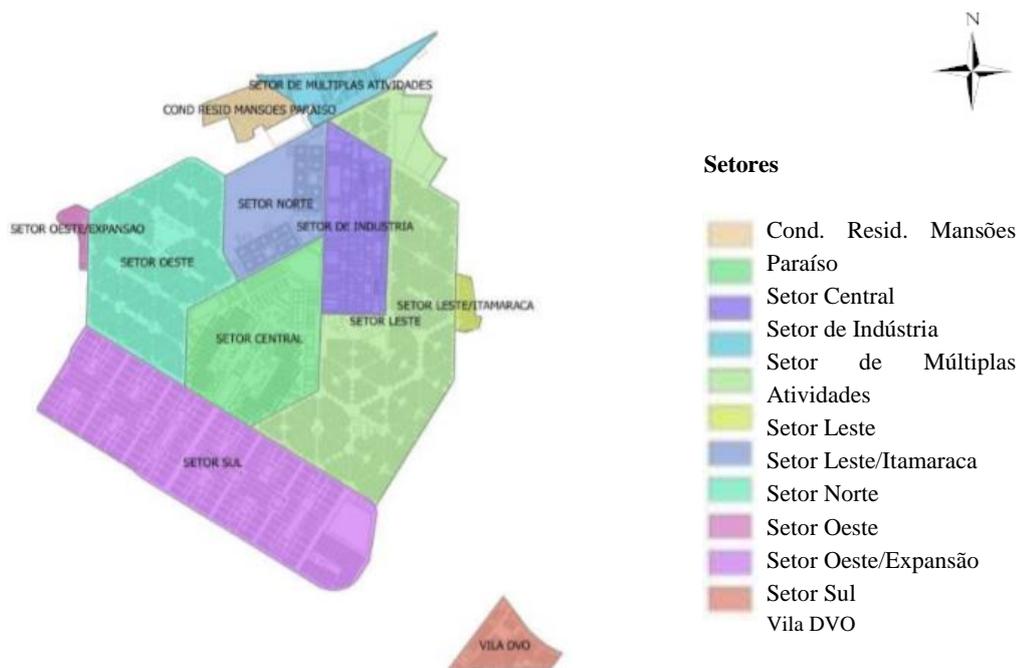
Figura 27 - Mapa de Zoneamento do Gama.



Fonte: Adaptado de PDOT (2012).

A Zona Urbana Consolidada do Gama é dividida em 9 setores, conforme ilustra a Figura 28. Os mapas de macrozoneamento não consideram o Cond. Mansões Paraíso e o Setor de Múltiplas Atividades como parte da Zona Urbana.

Figura 28 - Mapa de Zoneamento Territorial do Gama.

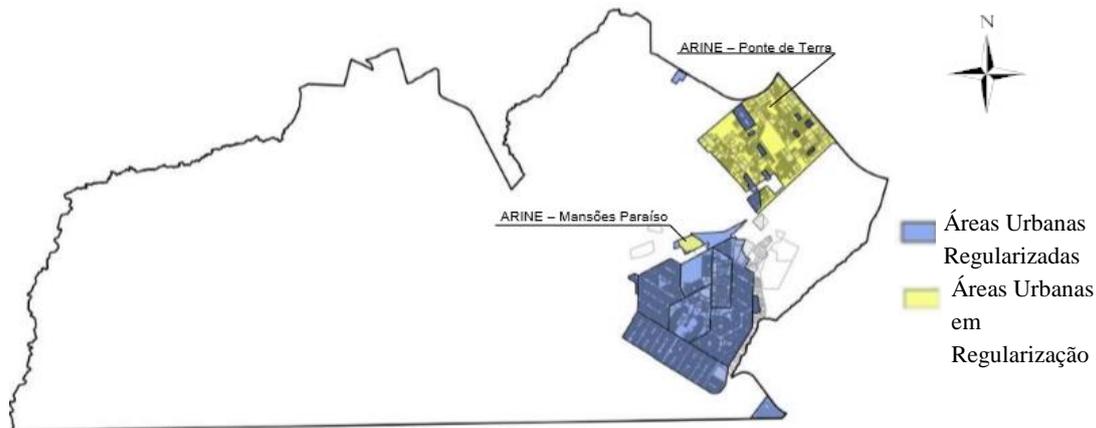


Fonte: DEURA/COPEPLAN (2015).

A necessidade por moradias motivou o processo de ocupação irregular do solo (FERREIRA, 2014). A Ponte de Terra e Mansões Paraíso são exemplos de áreas que estão sendo regularizadas. De acordo com DEURA/CODEPLAN (2015), 63,66% das áreas urbanas são regularizadas (o correspondente a 1599,62 m²) e 36,34% estão em regularização (912,86 m²), como mostra a Figura 29.



Figura 29 - Mapa de Regularização Fundiária do Gama.



Fonte: Adaptado de PDOT (2012).

A dinâmica urbana também incentivou o processo de verticalização. Tanto o PDL (2006) quanto o PDOT (2012) preconizam o adensamento de áreas já construídas em detrimento da expansão horizontal da malha urbana. As estratégias de ocupação são apresentadas no artigo 4º do PDL (2006), que estabelece:

III - flexibilização das regras de uso e ocupação do solo, restringindo-as àquelas necessárias à garantia do bem-estar da coletividade, com o objetivo de estimular o desenvolvimento econômico da cidade concomitantemente com a qualidade de vida urbana, e assegurar a recuperação e preservação dos recursos naturais;

VII - estímulo ao adensamento e à consolidação das áreas urbanas já constituídas, com preferência sobre a criação de novas áreas (SEGETH, 2006, p. 2).

O PDOT (2012) contém, no Anexo II relativo a oferta de áreas habitacionais, a diretriz de adensamento:

XXIX – adensamento da área urbana do Gama, na Região Administrativa do Gama (SEGETH, 2012, p. 278).

A lei de uso e ocupação do solo (LUOS) é um instrumento de ordenamento territorial que está fase de aprovação e que possivelmente irá regular o tipo de utilização para os lotes urbanos do Gama, sendo, portanto, o documento cuja dissertação se aprofundará na investigação. A LUOS também prevê a verticalização da cidade do Gama (SEGETH, 2016).

A verticalização proposta para o Gama motivou a realização de estudos de impacto ambiental na área. Romero *et al.* (2010) analisaram o potencial de crescimento do setor leste industrial do Gama, por meio de simulações no ENVI-met e demonstraram a inviabilidade da extrema verticalização do setor. De acordo com Romero *et al.* (2010), a forma urbana do setor leste industrial em 2010 já não promovia o conforto ambiental nos espaços urbanos, e, com a mudança de gabarito em todo o setor, seria garantida a falta de



qualidade ambiental em seus espaços públicos. Observou-se que o aumento do gabarito modificaria a movimentação dos ventos, de maneira a gerar locais com sombra de ventos e com canalização, responsáveis pela diminuição da umidade.

Nesse sentido, também é importante estudar a adequação das estratégias de adensamento vertical propostas pela LUOS ao contexto climático e ambiental do Gama, do ponto de vista dos espaços internos.

1.3.4. A Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) e os parâmetros de ocupação utilizados na pesquisa

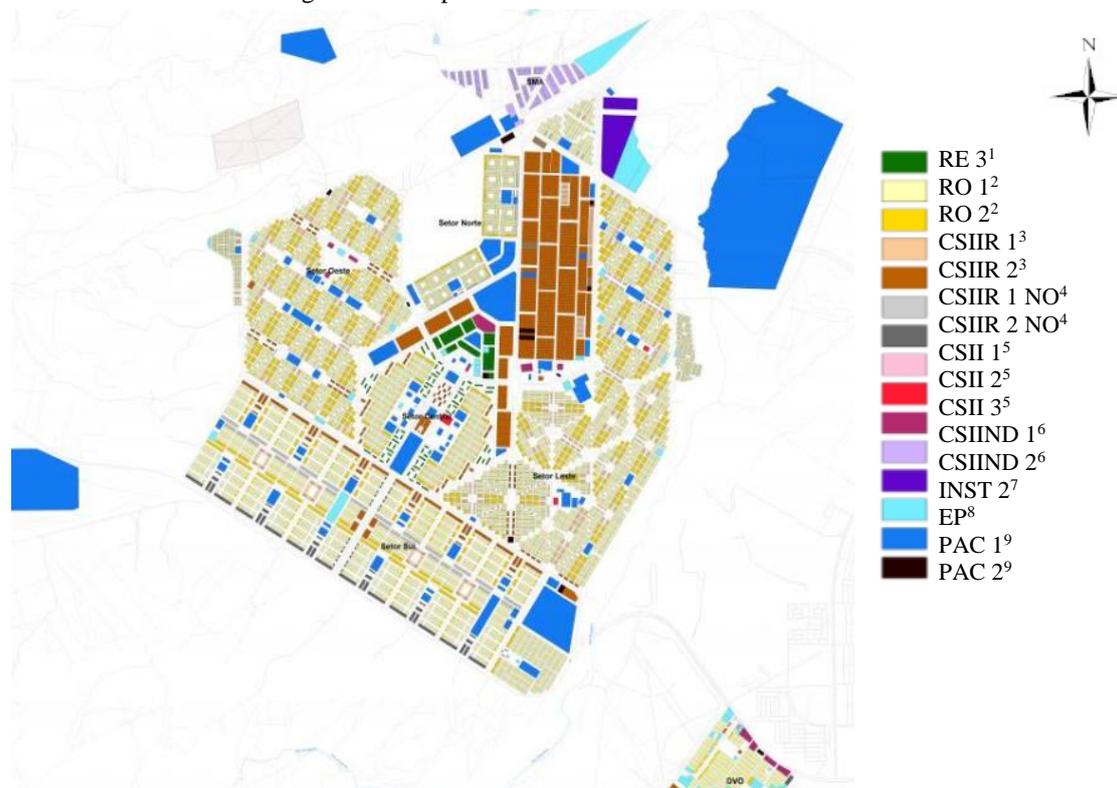
A aplicação de instrumentos legais de controle do uso e da ocupação do solo objetiva a obtenção de uma adequada densidade populacional e edilícia nos aglomerados urbanos. Estes instrumentos determinam o uso da terra, a densidade populacional, a localização e a dimensão dos lotes, o volume dos edifícios, seus usos específicos, entre outros (SILVA, 1997).

No contexto do Distrito Federal, tem-se a lei de uso e ocupação do solo (LUOS), um instrumento de ordenamento territorial que está em fase de aprovação e que possivelmente irá regular o tipo de utilização para os lotes urbanos de 26 regiões administrativas do Distrito Federal²¹, incluindo o Gama. A LUOS determina o uso e os parâmetros de ocupação dos lotes, sendo composta pelo Mapa de Zoneamento de Usos da Região Administrativa do Gama (SEGETH, 2016), apresentado na Figura 30, e pela Tabela de parâmetros de ocupação do solo da região administrativa do Gama (SEGETH, 2016), apresentada na Tabela 8.

²¹ A LUOS abrange as Unidades de Planejamento Territorial do Distrito Federal descritas no PDOT, com exceção da Unidade de Planejamento Territorial Central. São elas: Lago Sul (RA XVI), Lago Norte (RA XVIII), Varjão (RA XXIII), Park Way (RA XXIV), SAI (RA XXIX), SCIA (RA XXV), Núcleo Bandeirante (RA VIII), Riacho Fundo (RA XVII), Guará (RA X), Águas Claras (RA XX), Vicente Pires (RA XXX), Taguatinga (RA III), Ceilândia (RA IX), Samambaia (RA XII), Brazlândia (RA IV), Sobradinho (RA V), Sobradinho II (RA XXVI), Planaltina (RA VI), Paranoá (RA VII), São Sebastião (RA XIV), Jardim Botânico (RA XXVII), Itapoã (RA XXVIII), Recanto das Emas (RA XV), Riacho Fundo (RA XXI), Gama (RA II), Santa Maria (RA XIII).



Figura 30 - Mapa dos Zoneamentos de Uso do Gama.



¹ RE - Residencial Exclusivo

² RO - Residencial Obrigatório

³ CSIIR - Comercial, Prestação de Serviços, Institucional, Industrial e Residencial

⁴ CSIIR NO - Comercial, Prestação de Serviços, Institucional, Industrial e Residencial Não Obrigatório

⁵ CSII - Comercial, Prestação de Serviços, Institucional e Industrial

⁶ CSIIND - Comercial, Prestação de Serviços, Institucional e Industrial Não Obrigatório

⁷ INST - Institucional

⁸ EP - Equipamentos Públicos

⁹ PAC - Posto de Abastecimento de Combustíveis

Fonte: SEGETH (2016).

O uso refere-se ao conjunto das atividades permitidas no interior do lote, sendo estas submetidas a critérios de exclusividade, obrigatoriedade e simultaneidade. As atividades classificam-se em Residencial Exclusivo (RE); Residencial Obrigatório (RO); Comercial, Prestação de Serviços, Institucional, Industrial e Residencial Não Obrigatório (CSIIR NO); Comercial, Prestação de Serviços, Institucional, Industrial e Residencial (CSIIR), Comercial, Prestação de Serviços, Institucional e Industrial (CSII); Comercial, Prestação de Serviços, Institucional e Industrial Não Obrigatório (CSIInd); Equipamentos Públicos (EP); Institucional (INST); Posto de Abastecimento de Combustíveis (PAC).

No RE, permite-se exclusivamente o uso residencial; no RO, o uso residencial é obrigatório, sendo o uso não residencial permitido desde que este não incomode a vizinhança. No CSIIR, o uso não residencial é obrigatório, sendo o uso residencial permitido. No CSIIR NO, permite-se tanto o uso residencial quanto o uso não residencial e não há obrigatoriedade de nenhum tipo de uso. No CSII, permitem-se atividades que causem maior incomodidade dentro do tecido urbano, admitindo-se apenas atividades não residenciais. O CSIInd tem caráter predominantemente industrial e, nele, exclui-se o uso



residencial. O INST compreende atividades institucionais, públicas ou privadas. No EP, os lotes são destinados a Equipamentos Públicos Comunitários e Urbanos. O PAC compreende atividades de comércio varejista de combustíveis e lubrificantes.

Para cada uso, a LUOS determina parâmetros de ocupação do solo, apresentados na Tabela 8²². Define-se, por meio dos parâmetros de ocupação e das dimensões do lote, a densidade edilícia desejável para determinada zona. Eles impõem o limite de área edificável, a quantidade de área do terreno que pode ser ocupada, a quantidade de áreas livres permeáveis a serem conservadas no terreno, a altura máxima da edificação, os afastamentos obrigatórios, entre outros. São eles:

- Coeficiente de aproveitamento (CA): é a relação entre a área edificável e a área do lote, ou seja, ele indica o potencial construtivo do lote. Utiliza-se o coeficiente de aproveitamento dentro dos limites demarcados de taxa de ocupação máxima, de gabarito máximo, número de pavimentos máximo e afastamentos mínimos.
- Taxa de ocupação (TO): é a relação entre a área da projeção horizontal da edificação e a área do lote. A maximização do potencial construtivo do lote de acordo com a taxa de ocupação permitirá a construção de edificações mais baixas, porém com menos espaços livres dentro do lote e com menores afastamentos entre edificações; enquanto que a maximização do potencial de acordo com o coeficiente de aproveitamento produzirá edificações mais altas, com mais espaços livres e com maiores afastamentos. A taxa de ocupação impõe uma limitação horizontal aos projetos e o coeficiente de aproveitamento e o gabarito ou número de pavimentos estabelecem uma limitação vertical.
- Taxa de permeabilidade: é a relação entre área permeável e área total do lote.
- Afastamentos: são a distância entre as projeções horizontais dos perímetros externos das edificações e os limites do lote. Tem como objetivo garantir condições adequadas de iluminação e ventilação, propiciando ambientes internos e espaços urbanos saudáveis.
- Gabarito: é a altura da edificação, sendo o valor dependente do valor de pé esquerdo²³ e do número de pavimentos. Alguns municípios determinam o gabarito máximo em função da largura das vias, estabelecendo uma relação H/W (PEREZ, 2013) (SILVA, 1997).

Carvalho (2006) estudou as correlações entre parâmetros climáticos (condição do céu, radiação solar, umidade relativa do ar e vento) e parâmetros morfológicos (taxa de ocupação, índice de aproveitamento, densidade construída, fator de visão do céu, entre outros). O estudo aplicou-se a uma cidade brasileira de clima litorâneo com baixa latitude,

²² Nota-se que a categoria “EP”, relativa ao equipamento público, não se encontra caracterizada na Tabela 8, ou seja, não havia definição dos parâmetros de ocupação para tal categoria. Sendo assim, utilizaram-se parâmetros de ocupação baseados nos lotes e edifícios existentes. Considerou-se o coeficiente de aproveitamento máximo de 1, a taxa de ocupação de 40%, o número de pavimentos máximo de 1 e a altura máxima de 9 metros.

²³ Distância entre o piso e o teto.



João Pessoa²⁴. Dentre as conclusões, verifica-se que formas urbanas com menor índice de aproveitamento e maior fator de visão do céu tendem a apresentar temperaturas mais elevadas, por estarem mais expostas à radiação solar direta, e conseqüentemente à maior insolação. Percebe-se também que as formas urbanas com maiores taxas de ocupação apresentam menores temperaturas, por estarem menos expostas à radiação solar. Além disso, se constata que não é possível afirmar que o aumento da densidade construída e a conseqüente verticalização promova a elevação da temperatura, uma vez que, até um certo limite, a verticalização das edificações incentiva a redução da temperatura, por aumentar o sombreamento.

²⁴ Ressalta-se que os resultados encontrados se sujeitam à especificidade do clima do estudo de caso, não podendo serem extrapolados para o clima tropical de altitude.



Tabela 8 – Tabela de parâmetros de ocupação do solo da região administrativa do Gama.

UOS	ÁREA (m ²)	CFA B	CFA M	TX OCUP	TX PERM	TX PERM OBS	ALTURA MAX	# PAV	AFR	AFU	AF ESQ	AF DIR
RE 3	2.000 ≤ a < 3.000	2,82	3,00	70%	20%	aplica-se o artigo 42	27,00	7	3,00	-	-	-
RE 3 - Setor Central - Tipo A ⁽¹⁾	400 ≤ a < 1.000	8,00	8,00	100%	-	-	30,50	8	-	-	-	-
RE 3 - Setor Central - Tipo B ⁽²⁾	400 ≤ a < 1.000	9,00	9,00	100%	-	-	34,50	9	-	-	-	-
RO 1	a ≤ 200	1,60	2,00	100%	-	-	10,00	-	-	-	-	-
RO 1	200 ≤ a < 1.000	1,60	2,00	80%	10%	não se aplica o artigo 42	10,00	-	-	-	-	-
RO 2	125 ≤ a < 1.000	1,60	2,00	80%	10%	não se aplica o artigo 42	10,00	-	1,50	-	-	-
CSIIR 1 ⁽³⁾	a ≤ 125	1,60	4,00	100%	-	-	9,00	2	-	-	-	-
CSIIR 1 ⁽³⁾	125 ≤ a < 300	2,00	4,00	100%	-	-	16,00	4	-	-	-	-
CSIIR 1 ⁽³⁾	1.200 ≤ a < 2.100	1,60	4,00	80%	10%	não se aplica o artigo 42	30,50	8	-	-	-	-
CSIIR 1 - Vila DVO ⁽³⁾	a ≤ 150	2,50	3,00	100%	-	-	12,50	3	-	-	-	-
CSIIR 1 NO ⁽³⁾	125 ≤ a < 350	1,60	3,00	100%	-	-	12,50	3	-	-	-	-
CSIIR 2 ⁽³⁾	a ≤ 125	2,00	4,00	100%	-	-	12,50	3	-	-	-	-
CSIIR 2 ⁽³⁾	125 ≤ a < 550	2,00	4,00	100%	-	-	16,00	4	-	-	-	-
CSIIR 2 ⁽³⁾	700 ≤ a < 2.000	1,00	4,00	100%	-	-	23,50	6	-	-	-	-
CSIIR 2 ⁽³⁾	2.000 ≤ a < 3.500	3,00	6,00	60%	30%	aplica-se o artigo 42	37,50	10	-	3,00	3,00	3,00
CSIIR 2 - Setor Central ⁽³⁾	700 ≤ a < 2.100	3,50	6,00	100%	-	-	30,50	8	-	-	-	-
CSIIR 2 - Setor Leste Industrial ⁽³⁾	700 ≤ a < 2.000	2,50	3,00	60%	30%	aplica-se o artigo 42	73,50	20	-	3,00	3,00	3,00
CSIIR 2 - Setor Leste Industrial ⁽³⁾	2.000 ≤ a < 3.500	5,60	6,00	60%	30%	aplica-se o artigo 42	73,50	20	-	3,00	3,00	3,00
CSIIR 2 - Setor Leste Industrial ⁽³⁾	14.000 ≤ a < 15.000	2,50	3,00	60%	30%	aplica-se o artigo 42	73,50	20	-	-	-	-
CSIIR 2 NO ⁽³⁾	300 ≤ a < 800	1,61	4,00	100%	-	-	16,00	4	-	-	-	-
CSII 1 ⁽³⁾	a ≤ 125	2,00	3,00	100%	-	-	12,50	3	-	-	-	-
CSII 2 ⁽³⁾	900 ≤ a < 3.000	1,40	3,00	80%	10%	não se aplica o artigo 42	16,00	4	-	-	-	-
CSII 2 ⁽³⁾	3.000 ≤ a < 7.100	3,00	3,00	60%	30%	aplica-se o artigo 42	19,50	5	-	-	-	-
CSII 3 ⁽³⁾	1.000 ≤ a < 7.000	2,00	2,00	70%	20%	aplica-se o artigo 42	12,50	3	-	-	-	-
CSII 3 ⁽³⁾	15.000 ≤ a < 20.000	0,40	3,00	60%	30%	aplica-se o artigo 42	12,50	3	-	-	-	-

Condicionantes solares como princípio orientador da forma urbana:
Um estudo de caso aplicado ao contexto do Distrito Federal
CAPÍTULO 1



UOS	ÁREA (m ²)	CFA B	CFA M	TX OCUP	TX PERM	TX PERM OBS	ALTURA MAX	# PAV	AFR	AFU	AF ESQ	AF DIR
CSIIND 1 ⁽³⁾	$a \leq 300$	1,50	1,50	100%	-	-	9,00	2	-	-	-	-
CSIIND 1 ⁽³⁾	$300 \leq a < 1.000$	1,00	1,00	70%	20%	aplica-se o artigo 42	9,00	2	-	-	-	-
CSIIND 1 ⁽³⁾	$1.000 \leq a < 4.000$	1,00	1,00	50%	38%	aplica-se o artigo 42	9,00	2	-	-	-	-
CSIIND 2 ⁽³⁾	$30.000 \leq a < 110.000$	0,50	2,00	50%	40%	não se aplica, vide o disposto no parágrafo 3º do artigo 42	20,00	4	-	5,00	5,00	5,00
INST 2	$a \leq 125$	1,00	3,00	100%	-	-	12,50	3	-	-	-	-
INST 2	$250 \leq a < 1.000$	1,50	1,50	80%	10%	não se aplica o artigo 42	9,00	2	-	-	-	-
INST 2	$1.000 \leq a < 4.000$	1,50	1,50	70%	20%	aplica-se o artigo 42	12,50	3	-	-	-	-
INST 2	$4.000 \leq a < 8.000$	1,50	1,50	50%	30%	aplica-se o artigo 42	12,50	3	5,00	5,00	5,00	5,00
INST 2	$20.000 \leq a < 80.000$	0,50	1,00	40%	30%	não se aplica, vide o disposto no parágrafo 3º do artigo 42	16,00	4	5,00	5,00	5,00	5,00
PAC 1 ⁽⁴⁾	$400 \leq a < 6.500$	0,25	0,25	25%	-	-	9,00	-	-	-	-	-
PAC 2 ⁽⁴⁾	$800 \leq a < 6.600$	0,50	0,50	25%	-	-	9,00	-	-	-	-	-

Fonte: SEGETH (2016).

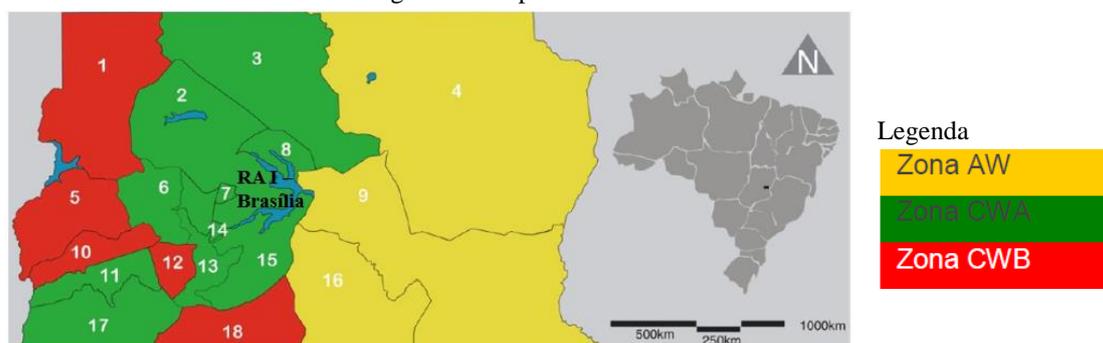


1.3.5. Caracterização climática do Gama/DF

O Distrito Federal (DF) situa-se entre os paralelos de 15°30' e 16°03' de latitude sul e os meridianos de 47°25' e 48°12' de longitude oeste, ocupando a região centro-oeste do Brasil e centro-leste do Estado de Goiás. A região está acima dos 1000 metros de altitude, e possui uma temperatura média de 21,1°C, se enquadrando nos limites da região tropical (CODEPLAN, 2012).

O Clima do DF é heterogêneo, sendo caracterizado por três zonas mesoclimáticas, representadas na Figura 31 e correspondentes às categorias Aw²⁵, Cwa²⁶ e Cwb²⁷ de Köppen, equivalentes aos climas mesotérmicos úmidos de verão quente e de verão fresco (SILVA, 2013)²⁸. Tendo em vista que, das cidades do DF, apenas Brasília possui dados para formatação das normais climatológicas²⁹, analisam-se irradiação solar, insolação, precipitações, nebulosidade, umidade do ar, temperatura do ar e velocidade do ar para Brasília, podendo tais dados serem extrapolados para o Gama, pela similaridade do clima.

Figura 31 - Tipos climáticos do DF.



Fonte: Silva (2013).

A RA do Gama encontra-se na zona Cwa, a mesma zona do Plano Piloto de Brasília, e seu clima pode ser classificado como Tropical de Altitude. Segundo Maciel (2002), é caracterizado por três períodos distintos:

- Período quente-úmido: atua dos meses de outubro a abril e é representado por um verão chuvoso, com temperatura média de 22°C. A partir de outubro, uma massa de ar quente proveniente da Amazônia provoca um aumento de umidade no DF, aumentando-se a nebulosidade e gerando-se fortes pancadas de chuva. O ápice de tal período se dá em dezembro e janeiro.
- Período seco: atua nos meses de maio a setembro e é representado por um inverno seco, com temperaturas médias mais baixas em seu início (cerca de 19°C), mas

²⁵ Clima tropical com estação seca de inverno.

²⁶ Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente.

²⁷ Clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado.

²⁸ Silva (2013) desenvolveu uma proposta de zoneamento mesoclimático para o DF, baseando-se em estudos de Köppen e na revisão do zoneamento bioclimático brasileiro sistematizada por Roriz (2012).

²⁹ Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), as normais climatológicas são “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas” (WMO, 1989, p. 2).



que aumentam ao longo do período. É um período de baixa nebulosidade, provocado pela massa de ar tropical quente e seca que vem do Pantanal.

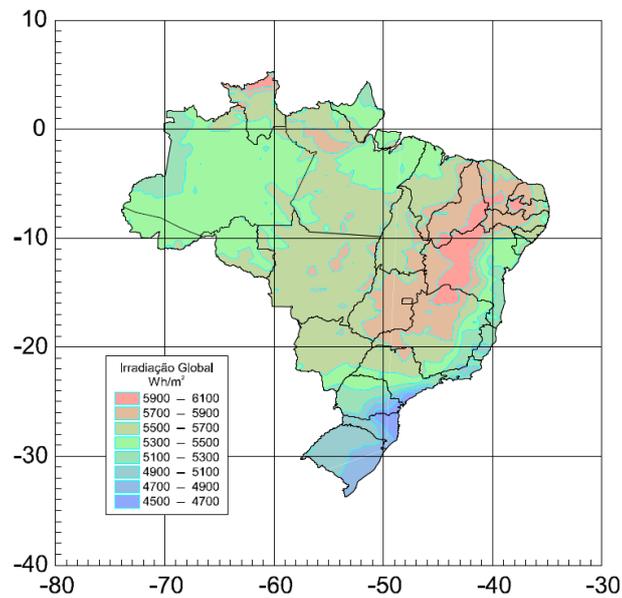
- Período quente-seco: dentro do período seco, identifica-se um terceiro período quente e seco, nos meses de agosto e setembro. Tal período caracteriza-se por ter temperaturas máximas mais elevadas, menor percentual de umidade relativa média e maiores amplitudes térmicas.

1.3.5.1. Irradiação solar

O Atlas de Irradiação Solar do Brasil (INMET; LABSOLAR, 1998) fornece dados de irradiação solar global, estimados a partir de imagens de satélite geostacionário e computados, por meio do modelo BRAZILSR. A Figura 32 ilustra a irradiação média anual para o Brasil.

Verifica-se que os maiores índices de irradiação se encontram na região Nordeste (5688 Wh/m²) e os menores na região Sul (5015 Wh/m²).

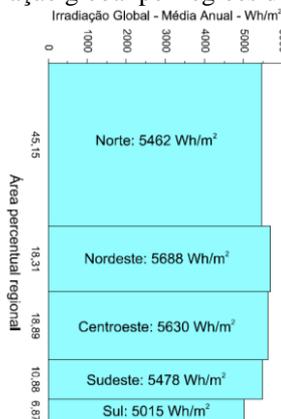
Figura 32 - Irradiação média anual, em Wh/m².



Fonte: INMET e LABSOLAR (1998).

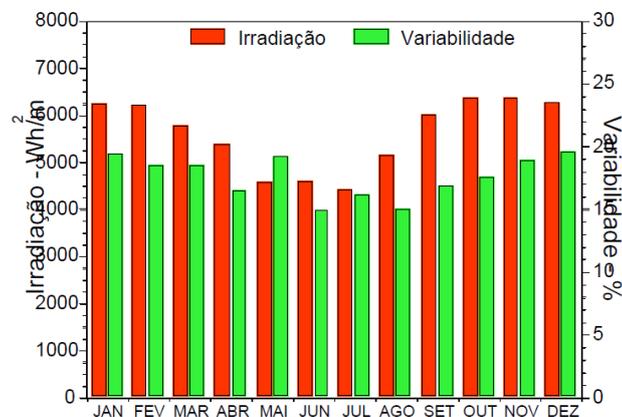
O DF possui um nível alto de irradiação média anual, quando comparado com outros estados do Brasil, como mostra a Figura 33. Sua irradiação solar é elevada durante quase todo o ano, sendo mais intensa no verão e menor no inverno, como ilustra a Figura 34.

Figura 33 - Distribuição da média de irradiação global por regiões do Brasil.



Fonte: INMET e LABSOLAR (1998).

Figura 34 - Irradiação média mensal para a região centro-oeste, em Wh/m².



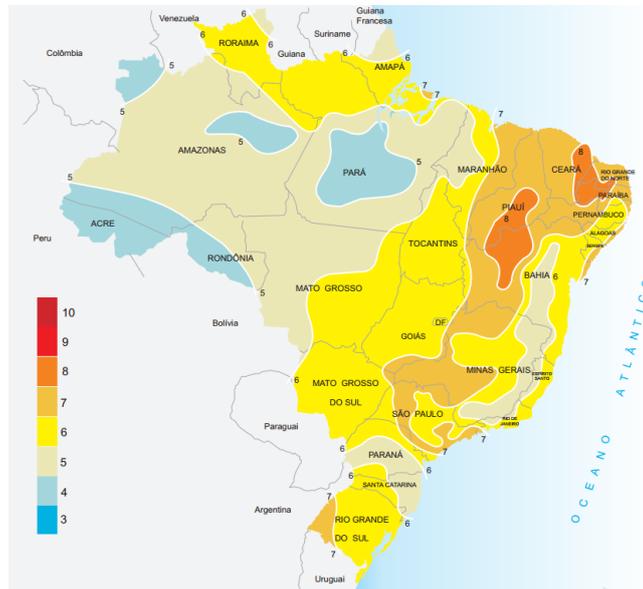
Fonte: INMET e LABSOLAR (1998).



1.3.5.2. Insolação

O Atlas Solarimétrico do Brasil (UFPE, 2000) apresenta uma estimativa de insolação no Brasil, a partir de dados de estações experimentais e de imagens de satélites, conforme ilustra a Figura 35. É possível notar que os maiores índices se encontram na região Nordeste, próximos ao Vale do Rio São Francisco. O DF recebe um nível de insolação intermediário, quando comparado com outros estados do Brasil.

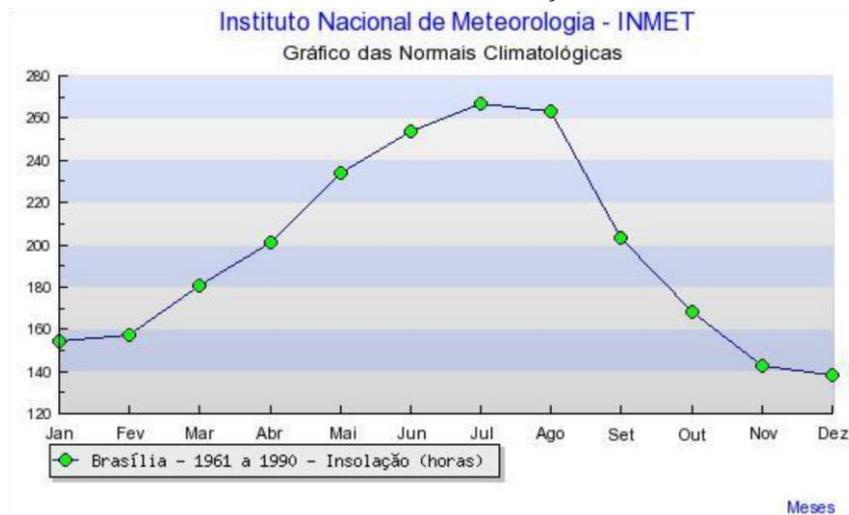
Figura 35 - Ilustração da média anual de insolação, em horas.



Fonte: UFPE (2000).

Verifica-se, conforme o Gráfico 2, que a insolação é mais intensa no inverno (caracterizado por meses secos, com pouca nebulosidade) e menor no verão (caracterizado por meses úmidos, com muita nebulosidade). O valor médio de insolação é de 2600 horas mensais, sendo 160 horas mensais no verão e 290 horas mensais no inverno.

Gráfico 2 - Valores mensais de insolação, em Brasília.

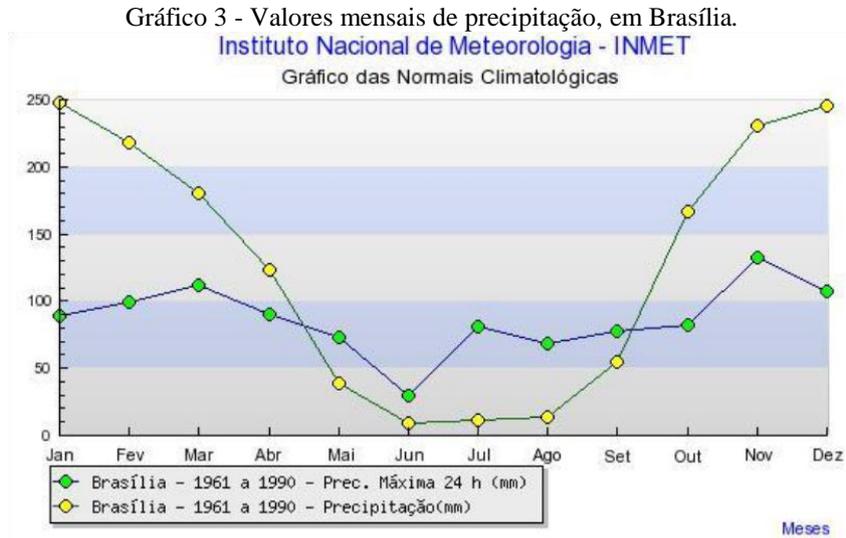


Fonte: INMET (2016).



1.3.5.3. Precipitações

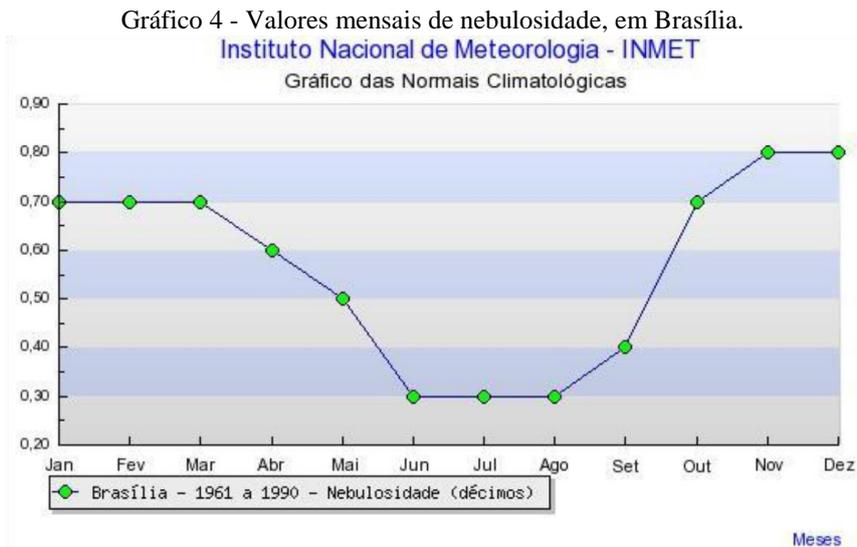
O período mais chuvoso ocorre no verão, especialmente nos meses de novembro a fevereiro (com valores acima de 200 mm), e o período mais seco, no inverno, especialmente nos meses de junho a agosto (com valores médios de 10 mm), conforme demonstra o Gráfico 3. A média anual de precipitação é 155,2 mm.



Fonte: INMET (2016).

1.3.5.4. Nebulosidade

O Gráfico 4 demonstra que há predominância de céu parcialmente encoberto entre setembro e maio, coincidindo com a estação chuvosa, e que, de junho a agosto, verifica-se um período de céu predominantemente claro, coincidente com a estação seca³⁰.



Fonte: INMET (2016).

³⁰ De acordo com a NBR 15215-1 (ABNT, 2005), a condição de céu varia de acordo com o valor de cobertura por nuvens. O céu claro possui uma cobertura de 0% a 35%, o céu parcialmente encoberto, de 35% a 75% e o céu encoberto, de 75% a 100%.



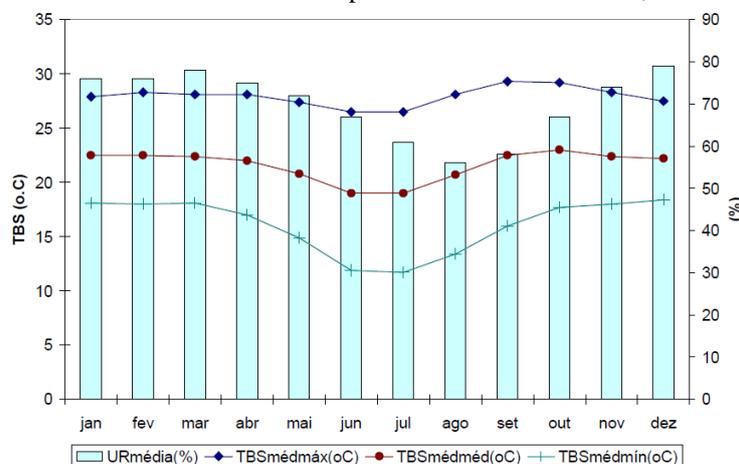
1.3.5.5. Umidade e temperatura do ar

O clima de Brasília é considerado seco (ROMERO, 2013). A média anual de umidade relativa é de aproximadamente 70%, que diminui consideravelmente a partir de maio, chegando a ficar abaixo de 60% em agosto e setembro. O mês mais seco é agosto e o mês de setembro apresenta o menor valor de umidade relativa, de 8% (MACIEL, 2002).

As temperaturas de Brasília encontram-se majoritariamente entre 18°C e 28°C, ou seja, verifica-se um predomínio de temperaturas amenas. Nos meses quentes e úmidos, acima de 70% das temperaturas se enquadram neste intervalo, enquanto que, nos meses secos, os percentuais variam entre 53,1% e 69,3%. As temperaturas acima de 30°C representam menos de 3% das horas mensais durante a maior parte do ano, sendo este valor maior apenas nos meses considerados mais quentes, setembro e outubro. A temperatura com maior ocorrência mensal é de 20°C, durante o período quente e úmido e o mês de setembro, e entre 15°C e 18°C, no período seco, com exceção de setembro (MACIEL, 2002).

Conforme demonstra o Gráfico 5, setembro e outubro são os meses mais quentes, o primeiro com média das temperaturas máximas de 29,2°C e o segundo com média das temperaturas médias de 23°C; enquanto junho e julho são os meses mais frios.

Gráfico 5 - Valores mensais de temperatura e umidade relativa, em Brasília.



Fonte: MACIEL (2002).

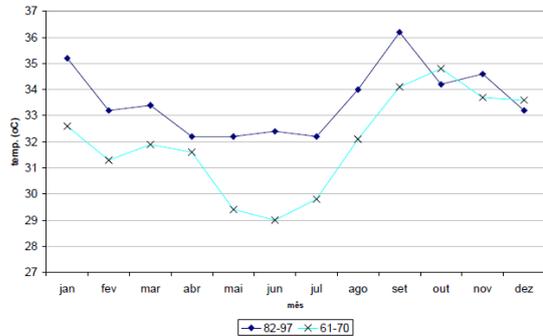
Brasília também se caracteriza por apresentar grandes amplitudes diárias, resultantes de temperaturas elevadas durante o dia e baixas à noite. Tais amplitudes são mais consideráveis no período da seca, sendo a diferença de temperatura de aproximadamente 14°C em tal período, e de aproximadamente 10°C no período chuvoso (SILVA, 2013).

De acordo com Maciel (2002), é possível observar mudanças climáticas relacionadas ao processo de desenvolvimento urbano e criação de novos assentamentos. Comparando-se



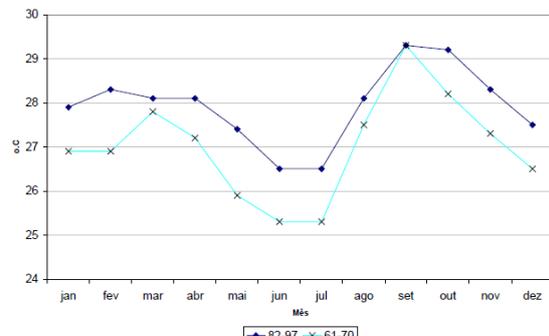
os dados de temperatura entre 1982 e 1997³¹, com os dados de um período anterior, de 1961 a 1970³², verifica-se uma elevação significativa principalmente nas temperaturas máximas, conforme ilustram os Gráficos 6 e 7.

Gráfico 6 - Comparação entre valores de temperatura máxima, em Brasília.



Fonte: MACIEL (2002).

Gráfico 7 - Comparação entre valores de temperatura média, em Brasília.

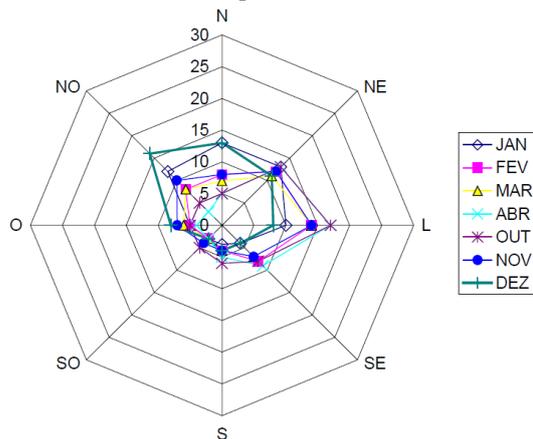


Fonte: MACIEL (2002).

1.3.5.6. Velocidade do ar

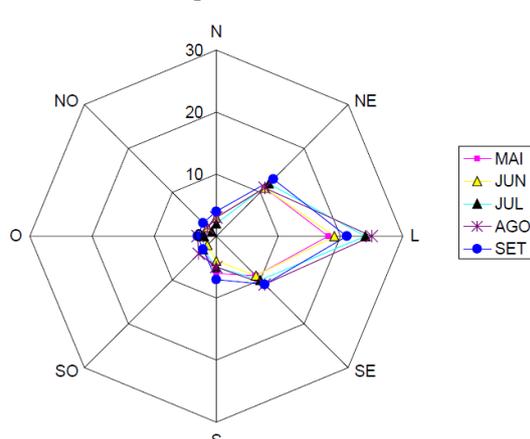
As rosas-dos-ventos, representadas nas Figuras 48 e 49, ilustram a direção dos ventos em Brasília, de acordo com sua frequência de ocorrência. Verifica-se a presença predominante de ventos leste no período quente e úmido, para a maior parte dos meses. Porém, em dezembro, a direção principal é noroeste, e, em janeiro, nordeste e norte. O vento leste também predomina em todo o período seco, sendo os ventos nordeste e sudeste secundários (MACIEL, 2002).

Figura 36 - Rosa dos ventos, no período quente e úmido, para Brasília.



Fonte: MACIEL (2002).

Figura 37 - Rosa dos ventos, no período seco, para Brasília.



Fonte: MACIEL (2002).

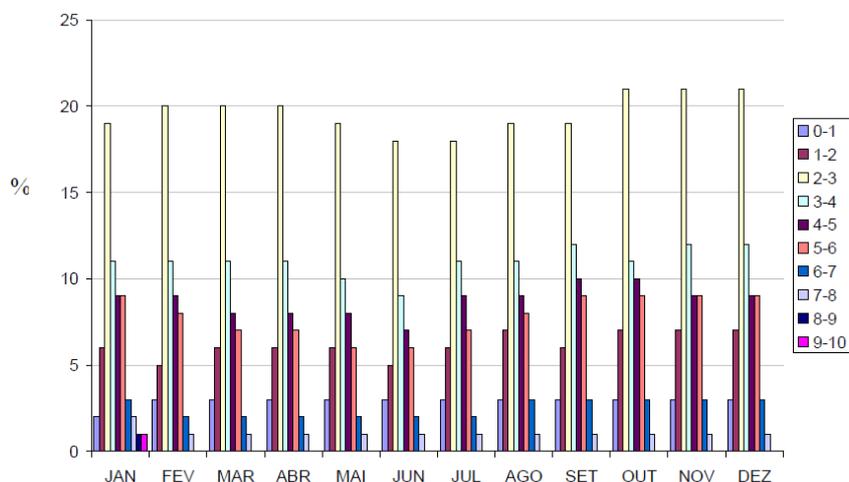
A Figura 38 demonstra a frequência de velocidade dos ventos, para Brasília. Nota-se que a velocidade média anual varia entre 2 e 3 m/s, registrando-se, acima de 33% das horas mensais, a ausência de vento ou calmaria.

³¹ Dados meteorológicos registrados pela estação do Aeroporto Internacional de Brasília.

³² Dados meteorológicos advindos do INMET.



Figura 38 - Frequência de velocidade dos ventos, para Brasília.



Fonte: MACIEL (2002).

De acordo com Maciel (2002), comparando-se os dados de ventos predominantes entre 1982 e 1997, com os dados de um período anterior, de 1961 a 1970, verifica-se uma alteração na direção predominante dos ventos, como demonstra a Tabela 9.

Tabela 9 - Direção dos ventos, em Brasília.

Direção ventos	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
1960 à 1964	NO	C-NE	L	L	L	L	L	L	L	C-NE	C-NO	NO	L
1961 à 1970	NO	NE	L	L	L	L	L	L	L	L	L	N	L
1982 à 1997	N-NE	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	NO	L

Fonte: MACIEL (2002).

1.3.6. Demanda e produção energética no DF

O DF é considerado uma região com grande potencial de implantação de edifícios que consomem pouca energia elétrica e que possam produzir a energia elétrica que consomem, por se encontrar em um clima extremamente favorável para a adoção de estratégias passivas de condicionamento térmico e iluminação natural e por possuir potencial para produção energética fotovoltaica (DOMINGOS *et al.*, 2014; LAMBERTS *et al.*, 2014; MME; EPE, 2014).

1.3.6.1. Estratégias a serem utilizadas para produção de energia

Duas fontes de energia renovável com possibilidade de aplicação na arquitetura se destacam no Brasil: a energia solar e a energia eólica (PINTO, 2009). Tendo em vista que a região centro-oeste apresenta um potencial eólico muito baixo³³ e um alto potencial

³³ De acordo com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (CEPEL *et al.*, 2001), que representa as condições médias anuais de vento e uma estimativa da energia anual produzida para as cinco regiões do Brasil, calculou-se um potencial total disponível de 143,5 GW, sendo destes apenas 3,1 GW da região centro-oeste.



solar, optou-se pela utilização de sistemas fotovoltaicos (FV) como estratégia de produção energética.

Os sistemas FV integram-se à arquitetura dos edifícios através dos sistemas de cobertura e/ou dos sistemas de fachada e protetores solares (THOMAS *et al.*, 2003). Há um predomínio dos sistemas FV na cobertura, motivado pela maior captação solar pelo plano horizontal e pela redução da disponibilidade de irradiância nos planos verticais decorrente da crescente verticalização das cidades (VANNINI, 2011). Nesse sentido, o trabalho em questão analisará a maximização do potencial de produção energética a partir de placas fotovoltaicas localizadas na cobertura dos edifícios.

Como a geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos baseia-se na irradiância que incide sobre os painéis fotovoltaicos, ou seja, na energia solar que o módulo recebe por unidade de tempo e superfície, é necessário que os painéis fiquem expostos diretamente ao sol o máximo de tempo possível, evitando-se o sombreamento proveniente de obstáculos, como de outros edifícios ou de vegetação (FARRET, 1999; CHIVELET e SOLLA, 2010).

1.3.6.2. Estratégias a serem utilizadas para redução do consumo

A atuação mais significativa do arquiteto, em relação a utilização de estratégias para redução do consumo energético, concentra-se nas edificações residenciais, comerciais e públicas³⁴. Em edificações comerciais e públicas, a iluminação e o ar condicionado são os maiores consumidores de energia, responsáveis por 22% e 47%, respectivamente, em edificações comerciais e 23% e 48% em edificações públicas. Já em edificações residenciais, o consumo é distribuído entre a iluminação (responsável por 12% do consumo), aquecimento de água (28%), refrigeração - geladeira, freezer (28%), ar condicionado (18%) e outros - lava-roupas, ferro, som, micro-ondas, TV (14,1%)³⁵ (ELETROBRAS; PROCEL, 2007; LAMBERTS *et al.*, 2014).

Sendo assim, a adequação do projeto ao clima e a utilização de estratégias arquitetônicas passivas que favoreçam a iluminação natural (e a consequente redução ou substituição da iluminação artificial nas horas diurnas), o resfriamento e/ou aquecimento dos ambientes mostra-se como fator indispensável à racionalização de energia nos edifícios (PEREIRA, 1993; LAMBERTS *et al.*, 2014).

Nesse sentido, o trabalho em questão pretende potencializar a diminuição do consumo energético do edifício por meio da utilização de estratégias arquitetônicas passivas relacionadas à carga térmica e iluminação natural recebidas na edificação.

³⁴ Nas indústrias, embora seja possível economizar energia pela utilização da luz natural, a maior parte da energia consumida provém de equipamentos cujo consumo independe do projeto arquitetônico, como máquinas e motores. Sendo assim, a atuação do arquiteto em edifícios industriais, no sentido de economizar energia, é limitada (LAMBERTS *et al.*, 2014).

³⁵ Dados referentes à região centro-oeste (ELETROBRAS e PROCEL, 2007).



- *Carga térmica*

Para compreender a carga térmica no interior das edificações e determinar as melhores estratégias bioclimáticas relativas ao seu desempenho térmico, estuda-se a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e uma análise bioclimática realizada por Maciel (2002).

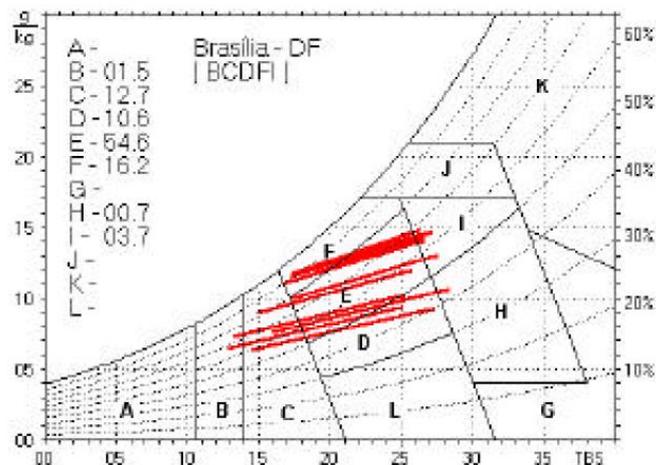
A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) separa o Brasil em oito zonas bioclimáticas, regiões com relativa homogeneidade climática, considerando-se os valores de temperatura máxima, temperatura mínima e umidade relativa do ar. Para cada uma dessas zonas, são estabelecidas recomendações, com o objetivo de se otimizar o desempenho térmico das edificações, por meio de sua melhor adequação climática.

O agrupamento das zonas bioclimáticas foi realizado por meio da Carta Bioclimática de Givoni, adaptada ao contexto brasileiro. Calcula-se o clima de cada região, dispondo-se os valores de temperatura e a umidade para cada cidade em um gráfico. Também é possível determinar as melhores estratégias bioclimáticas a serem aplicadas no clima em questão e as respectivas percentagens de horas por ano correspondentes a cada estratégia (BAGNATI, 2013).

Como a carta bioclimática da cidade do Gama encontra-se indisponível, utilizou-se a carta de Brasília para análise climática da região do estudo, representada pela Figura 39.

Nota-se que Brasília apresenta 54,6% do tempo dentro da região “E”, que simboliza a zona de conforto térmico.

Figura 39 - Carta bioclimática para Brasília.



Fonte: ABNT (2003).

Em relação às demais horas do ano, 16,2% encontram-se na região “F” (zona de desumidificação), 10,6% na região “D” (zona de conforto térmico – baixa umidade), 12,7% na região “C” (zona de massa térmica para aquecimento), 3,7 na região I (zona de ventilação) e 1,5% na região “B” (zona de aquecimento solar da edificação). Tais regiões definem a zona bioclimática na qual Brasília se enquadra – zona 4 - e as estratégias bioclimáticas recomendadas para essa zona.

Para a zona 4, são propostas aberturas médias (contendo mais que 15% e menos que 25% da área de piso) e sombreadas; com paredes externas pesadas e cobertura leve e isolada. Recomenda-se o aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas para maior inércia térmica, para o inverno; e resfriamento evaporativo, massa térmica de resfriamento e ventilação seletiva, para o verão.



No entanto, Lamberts (2014) alerta que, como a carta bioclimática é construída por meio de dados das Normais Climatológicas, é possível que a necessidade de estratégias passivas para Brasília esteja sendo subestimada, uma vez que os valores utilizados no cálculo e na classificação são médias mensais. Sendo assim, buscando melhor representar o clima e as estratégias para regiões com grandes amplitudes térmicas, como Brasília, desenvolve-se o trabalho de Maciel (2002), no qual analisa-se um ano climático de referência.

O estudo evidencia as condições climáticas favoráveis de Brasília. Verifica-se que o desconforto térmico existente em Brasília é provocado principalmente pelo frio, durante a madrugada e início da manhã, indicando-se a utilização de materiais de elevada capacidade térmica, principalmente em edificações residenciais. É preciso sombrear as edificações, entretanto, nos períodos frios, o sombreamento não é recomendável, sendo necessários ganhos solares de materiais de elevada capacidade térmica. O desconforto por calor tem maior probabilidade de ocorrência entre as 11:00 e 17:00, no período quente e úmido e quente e seco. Para estas condições, as estratégias recomendadas são a ventilação, o resfriamento evaporativo e a inércia térmica para resfriamento (MACIEL, 2002).

Levando-se em consideração a caracterização climática e as estratégias bioclimáticas para Brasília, e com o objetivo de otimizar a forma urbana de acordo com a quantidade de radiação solar incidente (irradiância) nas superfícies de envoltória, o trabalho em questão considerará, baseado em revisão bibliográfica, duas estratégias relacionadas à irradiância no processo de otimização: a maximização dos níveis de irradiância na cobertura, objetivando-se produzir energia através de painéis fotovoltaicos; e a minimização dos níveis de irradiância nas fachadas, objetivando-se diminuir a carga térmica nos ambientes.

- *Iluminação natural*

O nível de iluminação natural em uma edificação varia de acordo com a condição de céu, da posição do sol, latitude, época do ano, horário, características do entorno, entre outros. Além disso, o comportamento da luz natural é influenciado pela forma dos ambientes, área, forma e localização das aberturas, refletâncias internas (paredes, teto e piso) e obstruções externas – uso ou não de elementos de proteção solar e/ou distribuição da luz natural, e características da forma urbana, como afastamento entre edifícios. Propicia-se luz aos ambientes internos por meio das aberturas laterais (janelas), na maioria dos casos. Por isso, ressalta-se a importância do seu dimensionamento correto, objetivando que os ambientes sejam iluminados de maneira adequada (CINTRA, 2011).

Entre as normas brasileiras que interferem no desempenho da iluminação natural em ambientes internos – determinando, por exemplo, dimensão de abertura, bem como altura e afastamento entre edifícios – encontram-se: as Plantas Urbanísticas (PR's), as Normas de Gabarito (GB's), as Normas de Edificação, o Uso e Gabarito (NGB's), os Planos Diretores Locais (PDL's), Leis de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), os Códigos de Obras



e Edificações (COE's), além de normas nacionais (NBRs) e internacionais (DIN) de iluminação e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais (RTQ-R).

A norma ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior (ABNT, 2013), indica os valores mínimos de iluminação para tarefas em ambientes de trabalho. A quantidade mínima de iluminação recomendada, porém, refere-se à iluminação artificial. A referência para o cálculo do valor de iluminação natural encontra-se na norma alemã DIN 5034, que estabelece 60% do valor requisitado para iluminação artificial. Nesse sentido, ambientes de escritório, por exemplo, deveriam ter um mínimo de 300 lux.

A norma NBR 15575 (ABNT, 2013) – Edificações Habitacionais – conhecida como “Norma de Desempenho”, estabelece com 60 lux o nível mínimo de iluminação garantida pela iluminação natural, para ambientes de permanência prolongada, em edifícios residenciais. De acordo com Andrade (2014), não existem, entretanto, indicações sobre como se deve comprovar os níveis. Também não há referência a níveis estabelecidos para edifícios não-residenciais.

Entretanto, considera-se, baseado em pesquisas internacionais, que o índice utilizado na NBR 15575 está desatualizado. Reinhart (2005) determina 100 lux como o valor mínimo para iluminação útil provido por iluminação natural; enquanto Nabil e Mardaljevic (2006) indicam que níveis de iluminâncias na gama de 100 a 2000 lux são tidos como níveis adequados de luminosidade.

Sendo assim, para otimizar a utilização da iluminação natural, o trabalho em questão delimitará, baseado em revisão bibliográfica, um valor mínimo de iluminação a ser recebida pelas fachadas (considerando-se que o valor mínimo dentro dos ambientes é de 150 lux), objetivando-se garantir o recebimento de um nível satisfatório de iluminação nos ambientes internos.



Capítulo 2: Procedimentos Metodológicos

Este capítulo aborda os procedimentos metodológicos gerais e pormenorizados adotados na modelagem e simulação dos cenários estudados. Apresentam-se os motivos das escolhas dos softwares utilizados; as configurações e limitações referentes aos softwares e a definição dos cenários a serem analisados, entre outros.

2.1. Referencial Metodológico

Embora existam muitos trabalhos sobre o estudo da relação entre a forma urbana e o consumo e produção energética dos edifícios, cada pesquisa possui diferentes objetivos e métodos. Dentre os estudos que investigam o aproveitamento da energia solar, citam-se Kanters e Horvat (2012) e Jakubiec e Reinhart (2013) - relativos ao potencial da produção de energia por meio de painéis fotovoltaicos, mas que desconsideram o desempenho térmico e lumínico – e Ratti *et al.* (2005) e Stromann-Andersen e Sattrup (2012) – relativos ao desempenho térmico e lumínico, mas que desconsideram o potencial de produção de energia.

O estudo de Martins (2014) aborda o potencial de aproveitamento racional da energia solar em formas urbanas de referência, sendo aplicado a uma cidade de clima tropical, Maceió (AL). Nele, contemplam-se as estratégias conflitantes que a dissertação em questão se propõe a estudar: potencial de aproveitamento da energia solar como recurso renovável para a produção de eletricidade, demanda de energia devido aos ganhos de calor nos edifícios e disponibilidade de luz natural nos edifícios. Além disso, Martins (2014) calcula as formas urbanas otimizadas, de acordo com critérios definidos. Dessa maneira, é o método que mais se aproxima do objetivo proposto na dissertação, sendo, por isso, apresentado de maneira mais detalhada a seguir.

Na pesquisa de Martins (2014), inicialmente estudam-se as condicionantes solares sobre a forma construída, delimitando-se os principais parâmetros morfológicos urbanos que influenciam no balanço de irradiância e iluminância nas envoltórias. Identificam-se e classificam-se as classes tipo-morfológicas urbanas³⁶ mais representativas da malha

³⁶ O ambiente urbano, ao ser composto por diferentes unidades espaciais, caracteriza-se por não apresentar uma superfície única representativa do tecido urbano. Entretanto, é possível classificar o ambiente urbano



urbana de Maceió, por meio de análises estatísticas, a partir de um modelo de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

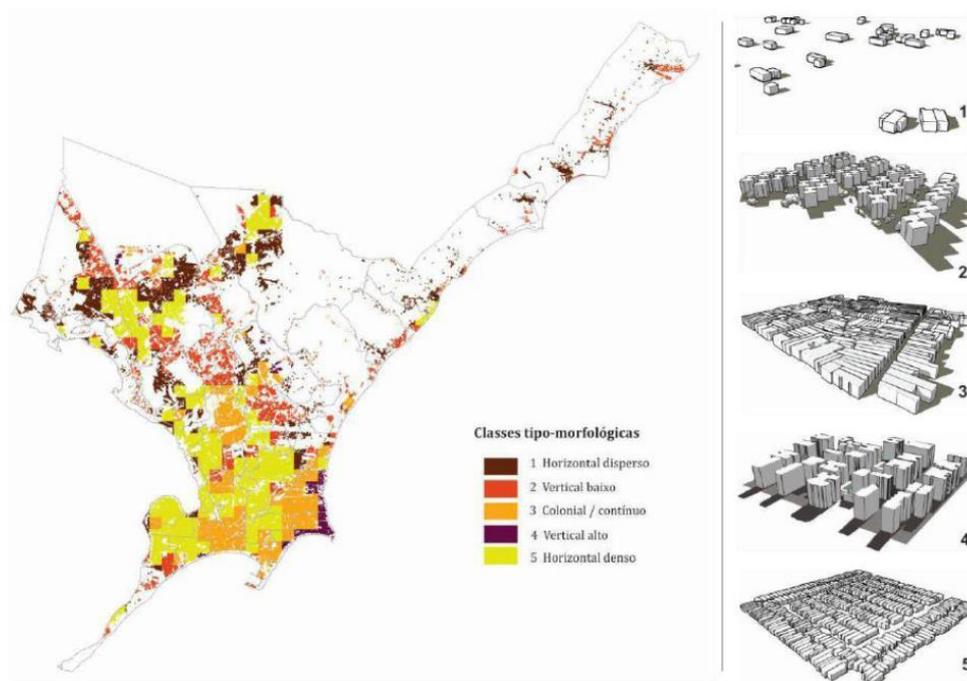
Definem-se cinco classes tipo-morfológicas urbanas de referência presentes em Maceió, sendo estas: 1– horizontal disperso, 2– Vertical baixo, 3– Colonial contínuo, 4- Vertical alto, 5- Horizontal denso, caracterizadas conforme a Tabela 10 e distribuídas na cidade conforme a Figura 40.

Tabela 10 - Características das classes de referência.

Classe	Altura média ponderada	Coefficiente de forma	Contiguidade	Rugosidade	Densidade Construída
1 Horizontal disperso	4,223	4,75	0,071	0,104	0,08
2 Vertical baixo	9,112	5,18	0,022	0,252	0,88
3 Colonial contínuo	6,294	3,87	0,385	2,735	2,38
4 Vertical alto	17,042	4,94	0,226	1,578	4,15
5 Horizontal denso	5,157	3,66	0,036	1,714	0,75

Fonte: Martins (2014).

Figura 40 - Distribuição das classes tipo-morfológicas urbanas de referência em Maceió.



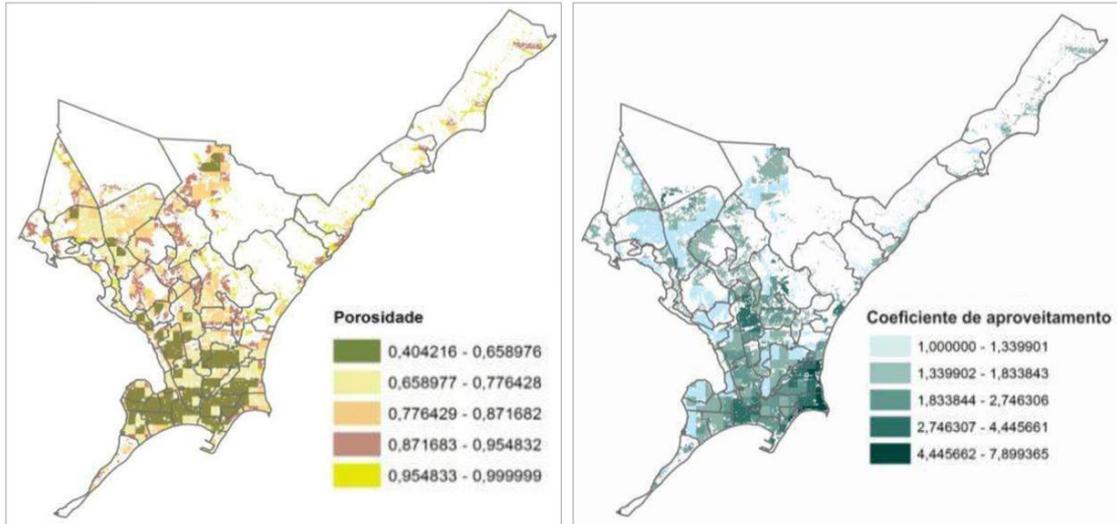
Fonte: Martins (2014).

Em seu trabalho, também foram produzidas plantas temáticas com alguns importantes indicadores morfológicos para Maceió. Apresenta-se, nas Figura 41 e 5, as plantas de porosidade da malha urbana e de coeficiente de aproveitamento, respectivamente.

em unidades representativas da superfície urbana (as classes tipo-morfológicas urbanas de referência), de acordo com a repetição e combinação das suas formas básicas.



Figura 41 e 42 - Plantas temáticas do coeficiente de aproveitamento e porosidade de Maceió.



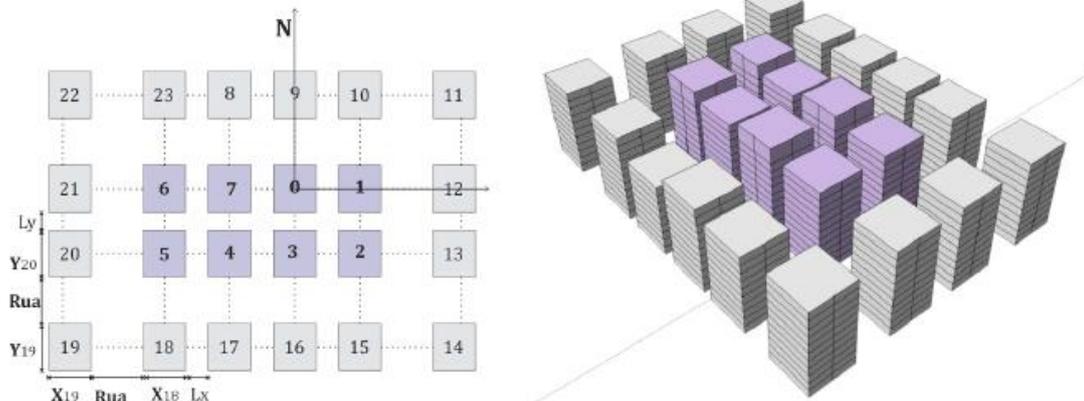
Fonte: Martins (2014).

Posteriormente, avalia-se o desempenho solar das classes tipo-morfológicas urbanas de referência, utilizando-se um algoritmo simplificado de radiosidade (SRA) no programa Citysim.

Avaliam-se os atributos morfológicos utilizados por meio de uma análise estatística de sensibilidade, com o objetivo de determinar a magnitude de efeito de cada fator morfológico urbano, e definem-se quais são os fatores mais relevantes da forma urbana que influenciam o balanço de irradiação e iluminância nas envoltórias das classes tipo-morfológicas urbanas identificadas.

Por fim, definem-se as classes tipo-morfológicas urbanas ideais, parametrizando-se as classes de referência e submetendo-se o SRA a um algoritmo de otimização *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA-II). As classes de referência que foram alvo da otimização foram a classe 3 (Colonial contínuo) e 4 (Vertical alto), conforme ilustra a Figura 43.

Figura 43 - Modelo geométrico simplificado utilizado na otimização da classe 4.

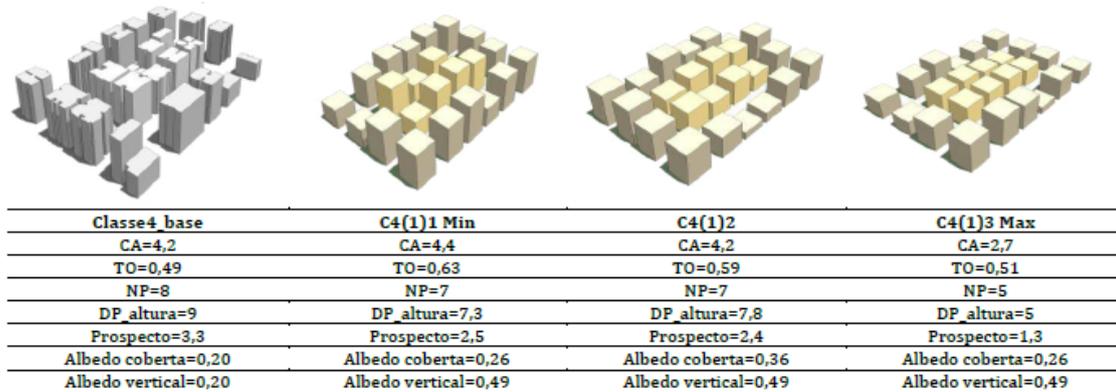


Fonte: Martins (2014).



Gera-se uma tabela com todos os projetos otimizados resultantes, cujas informações permitem realizar as análises e o tratamento dos dados resultantes, como demonstra a Figura 44.

Figura 44 - Resultados da otimização da classe 4.

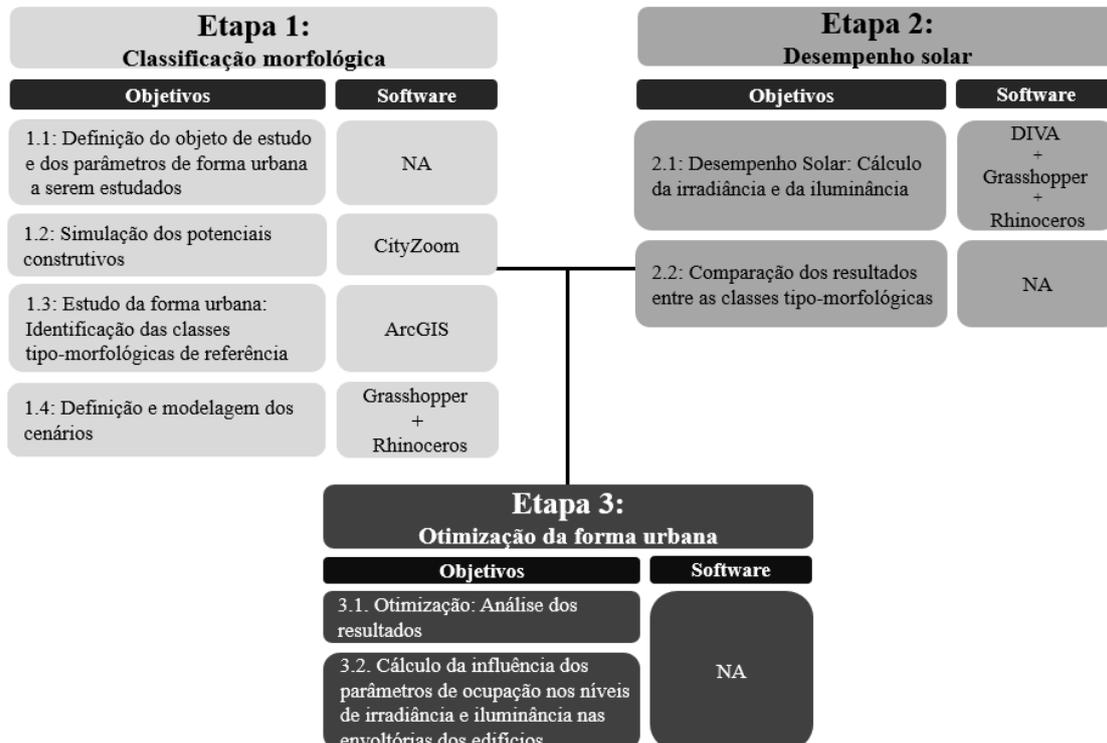


Fonte: Martins (2014).

2.2. Aspectos gerais do método

O método da dissertação baseia-se no método de Martins (2014), apresentado no item 2.1. Referencial Metodológico. Divide-se em três etapas principais, conforme ilustra a Figura 45: Etapa 1: Referente à classificação das classes tipo-morfológicas urbanas de referência; Etapa 2: Relativa ao cálculo do desempenho solar nas classes tipo-morfológicas urbanas de referência; e Etapa 3: Relacionada à otimização da forma urbana.

Figura 45 - Representação do método utilizado.



Fonte: A autora.



Sendo assim e, com base nos objetivos propostos, determinam-se, de maneira simplificada, as seguintes etapas para o desenvolvimento da pesquisa:

Etapa 1.1: Definição do caso de estudo e dos parâmetros a serem estudados

Na etapa 1.1, são definidos critérios para escolha do caso de estudo, com base no seu potencial de expansão urbano, e a área do caso de estudo é delimitada. A região administrativa deve estar inserida em uma região de clima tropical de altitude e ser objeto da LUOS. Tendo em vista que o trabalho avalia a forma urbana proposta pela LUOS, utilizam-se os parâmetros de ocupação da LUOS como parâmetros de estudo.

Etapa 1.2: Simulação dos potenciais construtivos

Após a escolha a região administrativa a ser estudada, é necessária a configuração da forma dos seus edifícios, de acordo com o máximo potencial construtivo permitido pela LUOS. Sendo assim, utiliza-se o *software* CityZoom 2.0³⁷ para simular os potenciais construtivos dos lotes urbanos. Esse *software* permite a definição automática da forma edilícia, e conseqüentemente urbana, a ser estudada. Ele calcula o potencial construtivo dos lotes, por meio da definição de parâmetros de ocupação, e gera automaticamente a forma dos edifícios.

Etapa 1.3: Estudo da forma urbana: Identificação das classes tipo-morfológicas.

A Etapa 1.3 tem como principal objetivo identificar as classes tipo-morfológicas urbanas de referência, ou seja, as formas urbanas mais representativas do caso de estudo.

A partir de um modelo Sistema de Informação Geográfica (SIG) – ArcGIS, insere-se a forma urbana do caso de estudo resultante da Etapa 1.2. em uma malha de análise³⁸, onde são calculados os parâmetros que melhor caracterizam a forma urbana (altura média ponderada, coeficiente de forma, contiguidade, densidade construída e rugosidade), para cada unidade dessa malha.

Com base nos cálculos dos parâmetros, as classes tipo-morfológicas urbanas de referência são definidas estatisticamente, de acordo com a predominância de suas características. Utiliza-se, para isso, um método estatístico de agrupamento de dados (*clustering analysis*), que agrupa automaticamente, em grupos ou classes, um conjunto de dados o mais estatisticamente semelhantes entre si. Esta classificação, por sua vez, é inserida na

³⁷ O CityZoom foi desenvolvido no Laboratório para Simulação e Modelagem em Arquitetura e Urbanismo (SimLab) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por Benamy Turkienicz e sua equipe. Esse software encontra-se em fase de desenvolvimento, tendo sido utilizada a versão atualizada em agosto de 2016 no trabalho em questão.

³⁸ É importante que a malha de análise fragmente pouco os edifícios, que o seu tamanho se aproxime do tamanho de um bloco típico e que os resultados na malha escolhida representem uma homogeneidade urbana relevante.



tabela de atributos no ArcGIS, (onde para cada célula da malha foi atribuída sua classe correspondente). Dessa maneira, pode-se ilustrar cartograficamente a distribuição das classes tipo-morfológicas na malha urbana e também pode-se produzir plantas temáticas com os parâmetros morfológicos calculados.

Etapa 1.4: Definição e modelagem dos cenários

Na etapa 1.4, são definidos os cenários a serem estudados, baseados nos parâmetros de ocupação da LUOS e obedecendo aos limites estabelecidos para cada uso do solo. A partir dessa definição, modelam-se os cenários, utilizando-se o Grasshopper, uma ferramenta de modelagem algorítmica, executada dentro do *software* Rhinoceros.

Etapa 2.1: Desempenho Solar: Cálculo da irradiância e da iluminância

Calcula-se o desempenho solar de cada cenário definido na Etapa 1.4., utilizando-se os *softwares* Rhinoceros associado ao DIVA e ao Grasshopper. No DIVA (inserido no Grasshopper), especificam-se os materiais a serem utilizados e calculam-se a irradiância anual nas fachadas e nas coberturas por metro quadrado (kWh/m².ano) e a iluminância média anual nas fachadas (lux). Os dados de saída podem ser lidos no Excel, e os resultados obtidos são comparados entre si.

Etapa 2.2: Comparação dos resultados entre as classes tipo-morfológicas

A comparação dos resultados entre as classes tipo-morfológicas definidas na Etapa 1.3. é realizada avaliando-se os níveis de irradiância nas fachadas e coberturas e iluminância nas fachadas de um dos cenários de cada classe³⁹. Estudam-se as sombras projetadas por cada classe e relacionam-se os níveis de irradiância e iluminância à forma das classes.

Etapa 3.1: Otimização: Análise dos resultados

A análise dos resultados compreende três etapas: análise das iluminâncias (eliminatória), análise das irradiâncias (classificatória) e análise de potencial energético (complementar). A partir do resultado dessas 3 etapas, concluem-se quais seriam os cenários que melhor contemplam as estratégias do processo de otimização, e conseqüentemente são os cenários mais adequados ao contexto climático do caso de estudo (tidos como os cenários otimizados).

Etapa 3.2: Cálculo da influência dos parâmetros de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância nas envoltórias dos edifícios

A fim de determinar a magnitude da influência dos parâmetros de ocupação estudados nos níveis de irradiância nas coberturas e fachadas e iluminância nas fachadas, calcula-se a variação percentual entre os resultados dos cenários, para cada classe. Identificam-se e

³⁹ Cenário com o máximo coeficiente de aproveitamento, com a forma maximizada por meio da altura.



comparam-se as tendências de comportamento (se há aumento ou redução dos níveis de irradiância e iluminância com a modificação do parâmetro de ocupação avaliado) entre as classes. Conclui-se sobre a relação entre os parâmetros de ocupação, o desenho dos lotes e os níveis de irradiância e iluminância.

2.3. Especificação dos softwares utilizados

O método da dissertação envolveu a utilização de três *softwares*: CityZoom, ArcGIS e Rhinoceros associado ao DIVA e ao Grasshopper. O CityZoom e o ArcGIS foram empregados na Etapa 1 da dissertação, relativa à classificação morfológica do Gama; enquanto os *softwares* Rhinoceros associado ao DIVA e ao Grasshopper foram empregados na Etapa 2, relacionada ao desempenho solar.

O CityZoom foi mais especificamente utilizado na Etapa 1.3. Simulação dos potenciais construtivos. Esse software permitiu a definição automática da forma urbana a ser estudada. Ele calcula o potencial construtivo dos lotes, por meio da definição de parâmetros de ocupação, e gera automaticamente a forma dos edifícios. O CityZoom está em processo de desenvolvimento e já foi utilizado em estudos urbanos como o de Leder (2007), que desenvolve o parâmetro JCP⁴⁰ e o aplica a cenários urbanos simulados pelo CityZoom, e o de Sonza *et al.* (2010), no qual analisam-se os parâmetros morfológicos estabelecidos pelo Plano Diretor de Florianópolis em diferentes cenários urbanos simulados pelo *software*.

O ArcGIS foi mais especificamente utilizado na Etapa 1.4. Estudo da forma urbana – Identificação das classes tipo-morfológicas. Esse *software* permitiu o cálculo dos parâmetros morfológicos de interesse e o agrupamento estatístico de seus resultados. Por meio dele, determinam-se as classes tipo-morfológicas de referência para o Gama, que são as representações das formas urbanas predominantes. Tal função do ArcGIS foi utilizada na tese de Martins (2014), na qual identificaram-se cinco classes tipo-morfológicas de referência para a cidade de Maceió.

Na Etapa 2, relacionada ao desempenho solar, utilizam-se os *softwares* Rhinoceros associado ao DIVA e ao Grasshopper. O Grasshopper realiza a modelagem algorítmica dos cenários a serem analisados, permitindo que os parâmetros de ocupação sejam definidos por relações matemáticas, sendo, portanto, automática a modificação da forma quando ocorre a mudança de valor de um dos parâmetros (LAGIOS *et al.*, 2010). O DIVA realiza os cálculos de radiação incidente (irradiância) nas fachadas e coberturas e de iluminância recebida nas fachadas (NIEMASZ, 2017). A associação destes *softwares* (Rhinoceros + DIVA + Grasshopper) já foi utilizada em estudos de planejamento urbano e energia solar, como os de Perez (2013), no qual estuda-se o envelope solar⁴¹ como

⁴⁰ Janela de Céu Preferível (JCP) é um parâmetro que determina a porção do céu com maior potencial de iluminação natural sobre um plano horizontal localizado no ambiente interno (LEDER, 2007).

⁴¹ O Envelope Solar (ES) é definido como o maior volume que uma edificação pode ter, de maneira que se permita o acesso ao sol e à iluminação natural da vizinhança imediata (KNOWLES e BERRY, 1980).



critério para o adensamento urbano; e em estudos de desenho arquitetônico e energia solar, como os de Freitas e Brito (2015), no qual estuda-se a maximização do rendimento solar fotovoltaico em diferentes desenhos de fachadas.

Verificou-se inicialmente a possibilidade de se trabalhar com o *software* Citysim, que utiliza o algoritmo simplificado de radiosidade (SRA) para calcular as irradiâncias e iluminâncias. Tal *software* foi utilizado com o mesmo objetivo na tese de Martins (2014). Martins (2014) utiliza o Matlab para intermediar a importação dos arquivos do ArcGIS para o Citysim. Entretanto, dada a complexidade do Matlab, optou-se por modelar o cenário no Autocad 3D e importar o arquivo para o Citysim. Tendo em vista a falta de praticidade com a modelagem, realizada face por face no Autocad 3D, buscaram-se outros softwares que trabalhassem com modelagem algorítmica e que fizessem os cálculos esperados. Nesse sentido, estudos como o de Perez (2013) e o de Freitas e Brito (2015) subsidiaram a utilização do Rhinoceros associado ao DIVA e ao Grasshopper. A fim de validar a escolha dos softwares, compararam-se os resultados do Citysim e do DIVA.

2.3.1. Comparação entre o DIVA e o Citysim

Comparam-se os resultados do DIVA e do Citysim, para um mesmo cenário. Tendo em vista que o DIVA permite diferentes configurações, entre elas, o modelo de cálculo e o tamanho da malha de análise, investigaram-se inicialmente os resultados de alguns exemplos no DIVA, apresentados na Tabela 11.

O DIVA pode calcular a irradiação por meio de dois métodos: o “Daysim-based hourly” e o “GenCumulativeSky”. O método Daysim-based hourly cria uma série de céus únicos para cada hora, baseados no arquivo climático utilizado e no modelo de céu de Perez *et al.* (1993). O método “GenCumulativeSky”, desenvolvido por Robinson, gera um modelo de céu acumulado, que permite o cálculo da irradiação de maneira mais rápida (NIEMASZ, 2017). Apresentam-se, na Tabela 11, os resultados obtidos no DIVA, por meio destes diferentes métodos, em um mesmo cenário. A tabela também demonstra os resultados obtidos com diferentes tamanhos da malha de análise.

Tabela 11 - Resultados do *software* DIVA para diferentes tamanho de malha de análise e para diferentes métodos de cálculo.

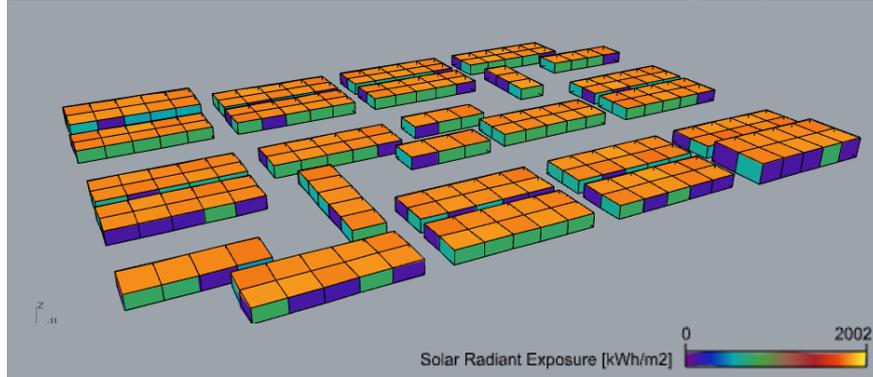
Tamanho da malha de análise	Método de cálculo	Irradiância na cobertura (kWh/m ²)	Irradiância nas fachadas (kWh/m ²)
1 x 1 metro	Daysim-based hourly	1560,69	353,91
1 x 1 metro	GenCumulativeSky	1819,82	525,50
10 x 10 metros	Daysim-based hourly	1560,83	305,91
10 x 10 metros	GenCumulativeSky	1823,37	473,00

Fonte: A autora.

A Figura 46 representa a irradiância anual nas fachadas e coberturas calculada pelo DIVA, utilizando-se uma malha de análise de 10x10 metros e o método de cálculo “GenCumulativeSky”.



Figura 46 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas, calculadas pelo *software* DIVA.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Comparando-se os resultados do DIVA, nota-se que o modelo de céu “GenCumulativeSky” promove resultados maiores de irradiância na cobertura (até 16,82%) e nas fachadas (até 54,62%). Além disso, verifica-se que os resultados com uma malha de análise menor (de 1x1) recebem irradiância até 0,19% maior nas coberturas e até 13,56% maior nas fachadas que os resultados com uma malha de análise maior (10x10).

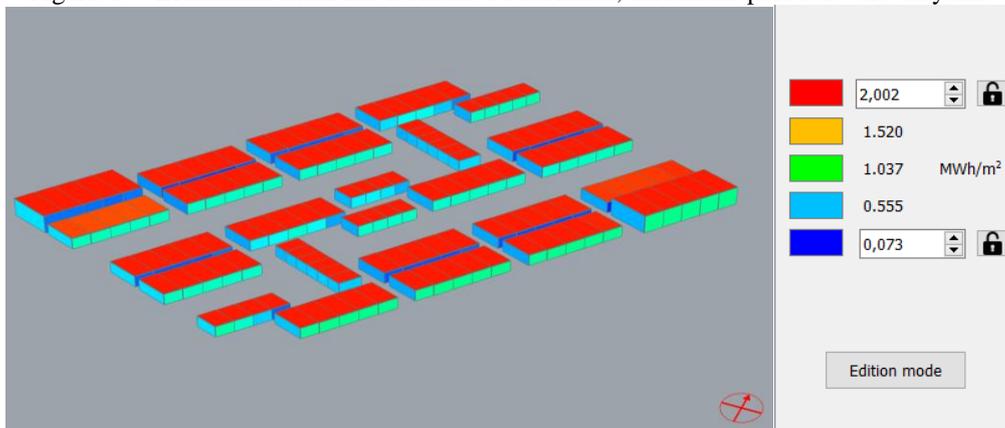
Os resultados obtidos no *software* Citysim são apresentados na Tabela 12 e na Figura 47. Nota-se que eles são próximos dos resultados obtidos no cenário que utiliza uma malha de análise de 10x10 metros e o modelo de céu de “GenCumulativeSky”, no DIVA. Isso é possivelmente resultante da semelhança entre os métodos utilizados. O Citysim utiliza o algoritmo simplificado de radiosidade (SRA) para realização dos cálculos de irradiância, algoritmo elaborado a partir do agrupamento de diversos modelos matemáticos (MARTINS, 2014). A diferença entre os resultados é de menos de 1%, valor pouco significativo e que valida a utilização do DIVA.

Tabela 12 - Resultados do *software* Citysim.

Irradiância na cobertura (kWh/m ²)	Irradiância nas fachadas (kWh/m ²)
1828,48	469,56

Fonte: A autora.

Figura 47 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas, calculadas pelo *software* Citysim.



Fonte: A autora (Citysim).



Para o trabalho em questão, definiu-se que o modelo de céu a ser utilizado seria o “Daysim-based hourly” e o tamanho da malha de análise seria de 1x1 metro, opções que promovem resultados mais precisos.

2.4. Procedimentos metodológicos

A seguir, apresentam-se os procedimentos metodológicos de maneira pormenorizada.

2.4.1. Simulação dos potenciais construtivos (Etapa 1.2)

Utilizou-se o *software* CityZoom 2.0 para simular o potencial construtivo dos lotes e definir a forma urbana a ser estudada. A simulação baseou-se no zoneamento de usos e nos parâmetros de ocupação propostos pela LUOS.

Tendo em vista que a LUOS está em processo de elaboração, não foi possível a disponibilização do Mapa de Zoneamento de Usos (SEGETH, 2016), em formato compatível com os dados de entrada do *software* CityZoom (*shapefile*). Tal documento contém a delimitação e o uso dos lotes previstos para o Gama, elaborados até outubro de 2016, em formato pdf.

Sendo assim, desenhou-se, a partir de uma base de dados proveniente do Mapa Índice: Articulação SICAD (SEGETH, 2016) e do Mapa de Zoneamento de Usos, um arquivo contendo os lotes planejados para a região administrativa do Gama, em formato *shapefile*. Para isso, utilizou-se o *software* AutoCAD Map 3D (AUTODESK, 2016).

Tal arquivo, por sua vez, foi dividido em arquivos menores⁴², que foram importados para o *software* CityZoom. No CityZoom, definiu-se, para cada lote, um conjunto de parâmetros de ocupação (coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação, altura máxima, número de pavimentos e afastamentos de frente, de fundo, lateral direito e lateral esquerdo).

Simulou-se o potencial construtivo dos lotes, considerando-se os parâmetros de ocupação definidos pela LUOS, de acordo com o Mapa de Zoneamento de Usos da Região Administrativa do Gama (SEGETH, 2016) e a Tabela de parâmetros de ocupação do solo da região administrativa do Gama (SEGETH, 2016).

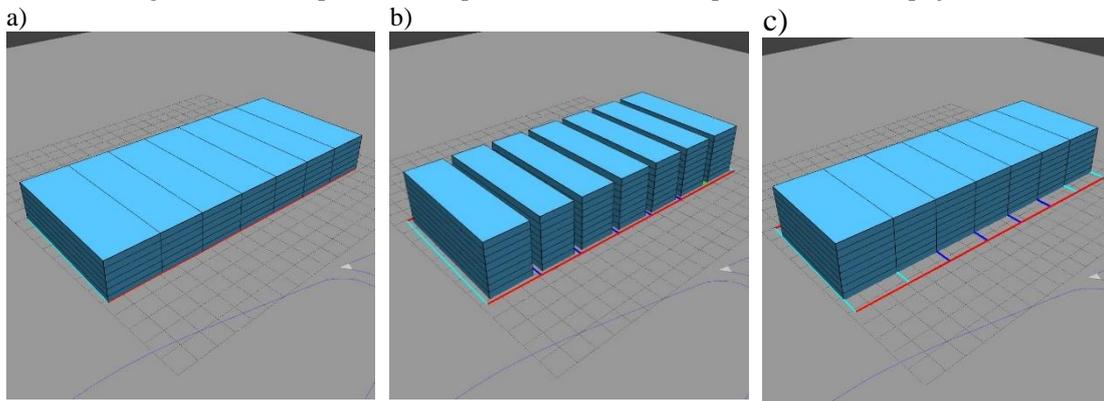
O CityZoom gera automaticamente as edificações, permitindo que a área da edificação seja maximizada por meio da altura ou pela taxa de ocupação. Pode-se também modificar a forma da edificação e a sua localização, em relação ao lote. A Figura 48 demonstra diferentes possibilidades de formato e de localização de edificações em lotes que possuem

⁴² Considerando-se que a quantidade de lotes importados interfere na performance do CityZoom, dividiram-se os lotes do Gama de acordo com o seu setor.



os mesmos parâmetros de ocupação⁴³. Na alternativa (a), a forma das edificações foi maximizada pela taxa de ocupação, em (b), a forma das edificações foi maximizada pela altura máxima permitida e as edificações foram posicionadas no meio do lote, e, em (c), a forma das edificações foi maximizada pela altura máxima permitida, as edificações foram posicionadas no meio do lote, porém, considerou-se que estas não teriam afastamentos laterais.

Figura 48 – Exemplos de uma quadra com os mesmos parâmetros de ocupação.



Fonte: ilustração da autora.

Tendo em vista as diferentes alternativas de forma e localização de edificações em lotes com os mesmos parâmetros de ocupação, estabeleceu-se um padrão a ser seguido para a simulação dos potenciais construtivos: optou-se por maximizar a área das edificações pela altura. A forma das edificações simuladas baseou-se na forma das edificações existentes, por exemplo, se existiam predominantemente casas geminadas em determinada quadra, foi considerado que as edificações simuladas para a quadra correspondente não teriam afastamentos laterais.

Como exemplo, tem-se que a quadra demonstrada na Figura 48 atualmente é composta por edificações de até 3 pavimentos, dispostas de maneira central em relação aos lotes, com afastamentos frontais, laterais e de fundo, conforme demonstra a Figura 49. Para esse caso, escolheu-se a alternativa b da Figura 48 como configuração de simulação.

Figura 49 – Foto do estado atual da quadra simulada na Figura 48.



Fonte: foto da autora.

⁴³ Coeficiente de aproveitamento máximo= 6; Taxa de ocupação= 100%; Altura máxima= 30,50m; Quantidade máxima de pavimentos= 8 e sem afastamentos.



Após a simulação, os desenhos das edificações e seus dados (comprimento, largura, altura e área construída) foram exportados, em formato *shapefile*, sendo possível importá-los posteriormente para o ArcGIS.

2.4.2. Estudo da forma urbana: Identificação das classes tipo-morfológicas (Etapa 1.3)

O estudo da forma urbana abrange tanto a identificação e a distribuição das classes tipomorfológicas urbanas de referência (as formas urbanas mais representativas da malha urbana do Gama) quanto a produção de plantas temáticas relativas aos parâmetros selecionados. Nessa etapa, agrupa-se a forma urbana, por meio do cálculo dos parâmetros morfológicos que melhor caracterizam a forma da cidade.

Para isso, inicialmente os desenhos das edificações e seus dados (comprimento, largura, altura e área construída), provenientes do CityZoom, são importados para o *software* ArcGIS. Divide-se a malha urbana do Gama em uma malha de análise de 250 x 250 metros, tamanho aproximado de uma quadra típica. Recorta-se o *shapefile*, separando-se o desenho das edificações nesse padrão de espaçamento.

Calcula-se, para cada unidade dessa malha, os principais parâmetros morfológicos que definem a forma urbana, sendo eles (MARTINS, 2014):

- **Altura média ponderada:** é a relação entre a altura dos edifícios ponderada pelas áreas construídas e a área total de piso.
- **O coeficiente de forma ou indicador de compacidade:** refere-se à relação entre a área de envoltória e o volume construído. Quanto maior for a superfície de envoltória e menor for o seu volume, maior será o coeficiente de forma.
- **A contiguidade:** é a relação entre a área de superfícies adjacentes a outros edifícios e a área total das superfícies de um edifício. Quanto maior for a área de superfícies adjacentes, maior é a contiguidade.
- **A densidade construída:** é a relação entre a área construída e a área total disponível.
- **A rugosidade:** relaciona-se com a altura média do dossel urbano. Ela é a relação entre as áreas construídas dos edifícios ponderadas por suas alturas e a área total disponível.

O cálculo é realizado conforme as fórmulas apresentadas na Tabela 13. Esta tabela também apresenta a relação entre os parâmetros calculados e os parâmetros de ocupação da LUOS, que posteriormente servirão de insumo para a criação dos cenários a serem estudados.



Tabela 13 – Fórmulas utilizadas para o cálculo dos parâmetros morfológicos mais relevantes.

Parâmetros morfológico	Fórmula	Parâmetro de ocupação da LUOS relacionado ao parâmetro morfológico
Altura média ponderada	$H_{med} = \frac{\sum_i (h_{edf_i} \times S_{sol_i})}{S_{sol_{tot}}}$ <p> h_{edf_i} = altura do edifício i; S_{sol_i} = Área construída no solo do edifício i; $S_{sol_{tot}}$ = Área total construída no solo da malha; </p>	A altura dos edifícios relaciona-se com a altura máxima e o número de pavimentos. A área construída no solo dos edifícios e a área total construída no solo da malha relacionam-se com a taxa de ocupação e com o coeficiente de aproveitamento.
Coeficiente de forma	$C_f = \frac{S_{env\ ext}}{(V_{edf_i})^{2/3}}$ <p> $S_{env\ ext}$ = Área de envoltória exterior dos edifícios da malha V_{edf_i} = Volume dos edifícios da malha </p>	A área da envoltória exterior dos edifícios e o volume dos edifícios relacionam-se com a altura máxima, com o número de pavimentos, com a taxa de ocupação, com o coeficiente de aproveitamento e com os afastamentos.
Contiguidade	$Cont_i = \frac{S_{env\ tot} - S_{env\ ext}}{S_{env\ tot}}$ <p> $S_{env\ tot}$ = Área total da envoltória do edifício; $S_{env\ ext}$ = Área da envoltória exterior. </p>	A área total da envoltória dos edifícios e a área da envoltória exterior dos edifícios relacionam-se com a altura máxima, com o número de pavimentos, com a taxa de ocupação, o coeficiente de aproveitamento e com os afastamentos.
Rugosidade absoluta	$R_g = \frac{\sum_{const} S_i * H_i}{\sum_{const} S_i + \sum_{vazio} S_j}$ <p> S_i é área construída do edifício i, H é a sua altura, S_j é a área no elemento não construído j. </p>	A altura dos edifícios relaciona-se com a altura máxima e o número de pavimentos. A área construída dos edifícios relaciona-se com o número de pavimento, com a taxa de ocupação e com o coeficiente de aproveitamento.
Densidade construída	$DS = \frac{\sum_i S_{tot_i}}{S}$ <p> S_{tot} é a Área útil total construída do edifício i; S = Área total na malha; </p>	A área útil total e a área total na malha dos edifícios relaciona-se com o número de pavimento, com a taxa de ocupação e com o coeficiente de aproveitamento.

Fonte: Salat (2011).

Tendo em vista que o CityZoom não gera dados como o volume dos edifícios, a área da envoltória exterior dos edifícios e a área total da envoltória dos edifícios, tais informações foram obtidas por meio de cálculos realizados no ArcGIS. A área das paredes geminadas foi calculada manualmente e inserida na tabela de atributos do ArcGIS.

Classificam-se, por categoria numérica, os resultados de altura média ponderada, coeficiente de forma, contiguidade, rugosidade e densidade construída, gerando-se assim, plantas temáticas para cada um desses parâmetros.

Com base nos cálculos dos parâmetros, as classes tipo-morfológicas urbanas de referência são definidas estatisticamente, de acordo com a predominância de suas características. Utiliza-se, para isso, um método estatístico de agrupamento de dados (*clustering analysis*), que agrupa automaticamente, em grupos ou classes, um conjunto de dados o



mais estatisticamente semelhantes entre si. As classes identificadas são nomeadas de acordo com termos utilizados da literatura em morfologia urbana.

A classificação, por sua vez, é inserida na tabela de atributos no ArcGIS, (onde para cada célula da malha foi atribuída sua classe correspondente). Dessa maneira, pode-se ilustrar cartograficamente a distribuição das classes tipo-morfológicas na malha urbana e também pode-se produzir plantas temáticas com os parâmetros morfológicos calculados.

2.4.3. Os parâmetros avaliados e a construção dos cenários (Etapa 1.4)

Para entender a influência dos parâmetros de ocupação do solo nos níveis de irradiância (associados ao controle térmico e à produção energética) e iluminância (associados à disponibilidade de iluminação natural) recebidos pelas coberturas e fachadas dos edifícios, é necessário avaliar as relações entre os níveis de irradiância e iluminância e os parâmetros de ocupação do solo em diferentes cenários. Nesse sentido, a definição de cenários relevantes desempenha um papel importante no resultado do trabalho em questão.

A definição dos cenários a serem estudados baseia-se e obedece aos limites estabelecidos pela LUOS. A LUOS determina os valores limites relativos aos parâmetros de ocupação do solo (coeficiente de aproveitamento básico e máximo, taxa de ocupação, taxa de permeabilidade, número de pavimentos, altura máxima e afastamentos mínimos) para cada uso do solo. Os parâmetros de ocupação da LUOS configuram a forma dos cenários analisados.

Considera-se que as formas dos cenários variariam de acordo com quatro parâmetros de ocupação do solo da LUOS: a taxa de ocupação, o número de pavimentos, o coeficiente de aproveitamento⁴⁴ e os afastamentos. A taxa de permeabilidade não foi considerada no estudo por ser diretamente relacionada à taxa de ocupação, na medida em que, ao respeitar-se a taxa de ocupação máxima, garante-se a taxa de permeabilidade mínima na definição dos cenários.

Tendo em vista que as Classes 1, 2 e 3 possuem diferentes usos, consideram-se, para cada classe, diferentes valores de taxa de ocupação, número de pavimentos, coeficientes de aproveitamento e afastamentos. Apresenta-se, nos itens a seguir, o raciocínio para a construção dos cenários para cada classe.

⁴⁴ Uma variação entre as taxas de ocupação e / ou os números de pavimentos provoca uma variação do coeficiente de aproveitamento.



- *Classe 1*

A Classe 1 possui lotes de uso RO1 (2), RO2 e CSIIR (2). Consideraram-se os valores de parâmetros de ocupação do solo relacionados a tais usos para a definição dos cenários a serem estudados. Apresentam-se, na Tabela 14, os valores limites definidos pela LUOS para estes usos.

Tabela 14 - Parâmetros de ocupação dos usos RO1 (2), RO2 e CSIIR2 (2).

Uso	RO1 (2)	RO2	CSIIR2 (2)
Caracterização	Uso residencial unifamiliar obrigatório. Permitem-se atividades não residenciais no âmbito doméstico.	Uso residencial unifamiliar obrigatório. Permitem-se atividades não residenciais no âmbito doméstico ⁴⁵ .	Uso não residencial obrigatório, incluindo as seguintes atividades desenvolvidas no âmbito intermediário ⁴⁶ : Comercial, Prestação de Serviços, Industrial e Institucional. Permite-se o uso residencial.
Coefficiente de aproveitamento máximo	2,00	2,00	4,00
Taxa de ocupação máxima	80%	80%	100%
Número de pavimentos máximo	3	3	4
Afastamentos mínimos	Sem restrições	Presença de afast. mínimos frontais	Sem restrições

Fonte: SEGETH (2016).

Determinou-se que seriam examinadas as duas principais situações de afastamentos observadas na forma existente da cidade⁴⁷: uma considerando que haveriam afastamentos laterais e uma considerando que não haveriam afastamentos laterais. Em ambas situações, os edifícios se localizariam no centro do lote, permitindo-se, dessa maneira, garantir que os afastamentos frontais mínimos do uso RO2 fossem respeitados.

Além disso, estabeleceu-se que pelo menos quatro cenários teriam o máximo potencial construtivo, ou seja, que pelo menos quatro cenários utilizariam o coeficiente de aproveitamento máximo. Dentre estes cenários, dois teriam a sua forma maximizada pela taxa de ocupação (80% para RO1 (2), 80% para RO2 e 100% para CSIIR2 (2)) e os outros dois, maximizada pelo número de pavimentos (9 para RO1 (2), 3 para RO2 e 4 para CSIIR2 (2)). Os dois cenários com a taxa de ocupação máxima teriam edifícios com 2 pavimentos (uso RO1 (2) e RO2) e 4 pavimentos (uso CSIIR2 (2)), e se diferenciariam por seus afastamentos: um com afastamentos laterais (cenário 11, ver Tabela 15) e outro sem afastamentos laterais (cenário 22, ver Tabela 15). Os dois cenários com o número de pavimentos máximo teriam taxa de ocupação de 65% (uso RO1 e RO2) e 100% (uso CSIIR2) e também se diferenciariam por seus afastamentos: um com afastamentos

⁴⁵ O RO2 permite um maior número de atividades não residenciais que o RO1.

⁴⁶ Âmbito intermediário entre o local e o regional.

⁴⁷ Consideraram-se os principais afastamentos observados na quadra existente correspondente à quadra representativa da Classe 1.



laterais (cenário 9, ver Tabela 15) e o outro sem afastamentos laterais (cenário 20, ver Tabela 15).

Os cenários descritos determinaram valores de taxa de ocupação de 65% e 80% para o uso RO1 (2); de 65% e 80% para o uso RO2 e de 100% e 100% para o uso CSIIR2 (2). Eles também determinaram valores de 2 e 3 pavimentos para o uso RO1 (2); 2 e 3 pavimentos para o uso RO2 e 4 e 4 pavimentos para o uso CSIIR (2). A partir desses cenários, criaram-se cenários intermediários, tomando-se o cuidado de distribuir o mais proporcionalmente possível os intervalos entre os valores de taxa de ocupação e número de pavimentos. Sendo assim, as variações entre as taxas de ocupação e o número de pavimentos dos cenários são proporcionais ao limite máximo de taxa de ocupação e número de pavimentos estabelecidos pela LUOS para cada uso.

Tabela 15 - Caracterização dos cenários a serem estudados.

Cenário	Afast. Laterais	Taxa de ocupação			Número de pavimentos			Coeficiente de aproveitamento		
		RO1 (2)	RO2	CSIIR2 (2)	RO1 (2)	RO2	CSIIR 2 (2)	RO1 (2)	RO2	CSIIR 2 (2)
1	Com	35%	35%	45%	1	1	2	0,35	0,35	0,90
2	Com	35%	35%	45%	2	2	3	0,70	0,70	1,35
3	Com	35%	35%	45%	3	3	4	1,05	1,05	1,80
4	Com	50%	50%	65%	1	1	2	0,50	0,50	1,30
5	Com	50%	50%	65%	2	2	3	1,00	1,00	1,95
6	Com	50%	50%	65%	3	3	4	1,50	1,50	2,60
7	Com	65%	65%	100%	1	1	2	0,65	0,65	2,00
8	Com	65%	65%	100%	2	2	3	1,30	1,30	3,00
9*	Com	65%	65%	100%	3	3	4	1,95	1,95	4,00
10	Com	80%	80%	100%	1	1	2	0,80	0,80	2,00
11*	Com	80%	80%	100%	2	2	4	1,60	1,60	4,00
12	Sem	35%	35%	45%	1	1	2	0,35	0,35	0,90
13	Sem	35%	35%	45%	2	2	3	0,70	0,70	1,35
14	Sem	35%	35%	45%	3	3	4	1,05	1,05	1,80
15	Sem	50%	50%	65%	1	1	2	0,50	0,50	1,30
16	Sem	50%	50%	65%	2	2	3	1,00	1,00	1,95
17	Sem	50%	50%	65%	3	3	4	1,50	1,50	2,60
18	Sem	65%	65%	100%	1	1	2	0,65	0,65	2,00
19	Sem	65%	65%	100%	2	2	3	1,30	1,30	3,00
20*	Sem	65%	65%	100%	3	3	4	1,95	1,95	4,00
21	Sem	80%	80%	100%	1	1	2	0,80	0,80	2,00
22*	Sem	80%	80%	100%	2	2	4	1,60	1,60	4,00

* Cenários com o máximo potencial construtivo.

Fonte: A autora.



- *Classe 2*

A Classe 2 possui lotes de uso RE3 - Setor Central - Tipo B, CSIIR2 (1) e CSIIR (2). Consideraram-se os valores de parâmetros de ocupação do solo relacionados a tais usos para a definição dos cenários a serem estudados. Apresentam-se, na Tabela 16, os valores limites definidos pela LUOS para estes usos.

Tabela 16 - Parâmetros de ocupação dos usos RE3-Setor Central-Tipo B, CSIIR2 (1) e CSIIR2 (2).

Uso	RE3 – Setor Central – Tipo B	CSIIR2 (1)	CSIIR2 (2)
Caracterização	Uso residencial unifamiliar ou multifamiliar exclusivo.	Uso não residencial obrigatório, incluindo as seguintes atividades desenvolvidas no âmbito intermediário ⁴⁸ : Comercial, Prestação de Serviços, Industrial e Institucional. Permite-se o uso residencial.	Uso não residencial obrigatório, incluindo as seguintes atividades desenvolvidas no âmbito intermediário ⁴⁶ : Comercial, Prestação de Serviços, Industrial e Institucional. Permite-se o uso residencial.
Coefficiente de aproveitamento máximo	9,00	4,00	4,00
Taxa de ocupação máxima	100%	100%	100%
Número de pavimentos máximo	9	3	4
Afastamentos mínimos	Sem restrições	Sem restrições	Sem restrições

Fonte: SEGETH (2016).

Determinou-se que seriam examinadas as duas principais situações de afastamentos observadas na forma existente da cidade⁴⁹: uma considerando que haveriam afastamentos laterais e uma considerando que não haveriam afastamentos laterais. Em ambas situações, os edifícios se localizariam no centro do lote.

Na Classe 2, apenas um dos cenários teria o máximo potencial construtivo, ou seja, apenas um poderia utilizar o coeficiente de aproveitamento máximo (cenário 21, ver Tabela 17). Isso acontece porque a taxa de ocupação máxima para todos os usos presentes na Classe 2 é de 100% e o número de pavimentos máximo permitido é igual ao coeficiente de aproveitamento. Nesse sentido, a forma com maior potencial construtivo seria aquela com a taxa de ocupação máxima; o número de pavimentos máximo para todos os usos e sem afastamentos laterais.

O cenário descrito determinou um valor de taxa de ocupação de 100% para os usos RE3, CSIIR2 (1) e CSIIR2 (2) e definiu um valor de 9 pavimentos para o uso RE3; de 3

⁴⁸ Âmbito intermediário entre o local e o regional.

⁴⁹ Consideraram-se os principais afastamentos observados na quadra existente correspondente à quadra representativa da Classe 2.



pavimentos para o uso CSIR2 (1) e de 4 pavimentos para o uso CSIR2 (2). A partir desse cenário, criaram-se cenários intermediários, tomando-se o cuidado de distribuir o mais proporcionalmente possível os intervalos entre os valores de taxa de ocupação e número de pavimentos. Sendo assim, as variações entre as taxas de ocupação e o número de pavimentos dos cenários são proporcionais ao limite máximo de taxa de ocupação e número de pavimentos estabelecidos pela LUOS para cada uso.

Tabela 17 - Caracterização dos cenários a serem estudados.

Cenário	Afast. Laterais	Taxa de ocupação			Número de pavimentos			Coeficiente de aproveitamento		
		RE3	CSIR2 (1)	CSIR2 (2)	RE3	CSIR 2 (1)	CSIR 2 (2)	RE3	CSIR 2 (1)	CSIR 2 (2)
1	Com	50%	50%	50%	4	1	2	2	0,5	1
2	Com	50%	50%	50%	7	2	3	3,5	1	1,5
3	Com	50%	50%	50%	9	3	4	4,5	1,5	2
4	Com	65%	65%	65%	4	1	2	2,6	0,65	1,3
5	Com	65%	65%	65%	7	2	3	4,55	1,3	1,95
6	Com	65%	65%	65%	9	3	4	5,85	1,95	2,6
7	Com	80%	80%	80%	4	1	2	3,2	0,8	1,6
8	Com	80%	80%	80%	7	2	3	5,6	1,6	2,4
9	Com	80%	80%	80%	9	3	4	7,2	2,4	3,2
10	Sem	50%	50%	50%	4	1	2	2	0,5	1
11	Sem	50%	50%	50%	7	2	3	3,5	1	1,5
12	Sem	50%	50%	50%	9	3	4	4,5	1,5	2
13	Sem	65%	65%	65%	4	1	2	2,6	0,65	1,3
14	Sem	65%	65%	65%	7	2	3	4,55	1,3	1,95
15	Sem	65%	65%	65%	9	3	4	5,85	1,95	2,6
16	Sem	80%	80%	80%	4	1	2	3,2	0,8	1,6
17	Sem	80%	80%	80%	7	2	3	5,6	1,6	2,4
18	Sem	80%	80%	80%	9	3	4	7,2	2,4	3,2
19	Sem	100%	100%	100%	4	1	2	4	1	2
20	Sem	100%	100%	100%	7	2	3	7	2	3
21*	Sem	100%	100%	100%	9	3	4	9	3	4

* Cenários com o máximo potencial construtivo.

Fonte: A autora.

- *Classe 3*

Tendo em vista que a Classe 3 possui lotes de uso CSIR2-Leste Industrial (1), foram considerados os valores de parâmetros de ocupação do solo relacionados a tal uso para a definição dos cenários a serem estudados. Apresentam-se, na Tabela 18, os valores limites definidos pela LUOS para este uso.



Tabela 18 - Parâmetros de ocupação do uso CSIIR2-Leste Industrial (1).

Uso	CSIIR2-Leste Industrial (1)
Caracterização	Uso não residencial obrigatório, incluindo as seguintes atividades desenvolvidas no âmbito intermediário ⁵⁰ : Comercial, Prestação de Serviços, Industrial e Institucional. Permite-se o uso residencial.
Coefficiente de aproveitamento máximo	3,00
Taxa de ocupação máxima	60%
Número de pavimentos máximo	20
Afastamentos mínimos	Presença de afast. mínimos laterais e de fundo

Fonte: SEGETH (2016).

Determinou-se que seriam examinadas as duas principais situações de afastamentos observadas na forma existente da cidade⁵¹: uma considerando todos os afastamentos de maneira proporcional, na qual os edifícios se localizariam no centro do lote, e outra considerando todos os afastamentos de maneira desproporcional e localizando os edifícios no limite do fundo do lote.

Além disso, estabeleceu-se que pelo menos quatro cenários teriam o máximo potencial construtivo, ou seja, que pelo menos quatro cenários utilizariam o coeficiente de aproveitamento máximo. Dentre estes cenários, dois teriam a sua forma maximizada pela taxa de ocupação (60%) e os outros dois, maximizada pelo número de pavimentos (20). Os dois cenários com a taxa de ocupação máxima teriam 5 pavimentos, e se diferenciariam por seus afastamentos: um com os edifícios no centro (cenário 12, ver Tabela 19) e o outro com os edifícios próximos ao fundo (cenário 24, ver Tabela 19). Os dois cenários com o número de pavimentos máximo teriam taxa de ocupação de 15% e também se diferenciariam por seus afastamentos: um com os edifícios no centro (cenário 5, ver Tabela 19) e o outro com os edifícios próximos ao fundo (cenário 17, ver Tabela 19).

Os cenários descritos determinaram dois valores de taxa de ocupação (15% e 60%) e dois valores relacionados ao número de pavimentos (5 e 20). A partir desses cenários, criaram-se cenários intermediários, tomando-se o cuidado de definir o mesmo intervalo entre os valores de taxa de ocupação (de 15% em 15%) e de número de pavimentos (de 5 em 5⁵²). Tendo em vista que o coeficiente de aproveitamento é produto da multiplicação da taxa de ocupação pelo número de pavimentos, também é possível verificar um padrão de intervalo entre os coeficientes de aproveitamento (de 0,75 em 0,75). Sendo assim, as variações entre as taxas de ocupação e o número de pavimentos dos cenários são proporcionais ao limite máximo de taxa de ocupação e número de pavimentos estabelecidos pela LUOS para cada uso.

⁵⁰ Âmbito intermediário entre o local e o regional.

⁵¹ Consideraram-se os principais afastamentos observados na quadra existente correspondente à quadra representativa da Classe 3.

⁵² Com exceção do pavimento 1.



Tabela 19 - Caracterização dos cenários a serem estudados.

Cenário	Afastamentos	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Coefficiente de aproveitamento
1	Centro	15%	1	0,15
2	Centro	15%	5	0,75
3	Centro	15%	10	1,50
4	Centro	15%	15	2,25
5*	Centro	15%	20	3,00
6	Centro	30%	1	0,30
7	Centro	30%	5	1,50
8*	Centro	30%	10	3,00
9	Centro	45%	1	0,45
10	Centro	45%	5	2,25
11	Centro	60%	1	0,60
12*	Centro	60%	5	3,00
13	Fundo	15%	1	0,15
14	Fundo	15%	5	0,75
15	Fundo	15%	10	1,50
16	Fundo	15%	15	2,25
17*	Fundo	15%	20	3,00
18	Fundo	30%	1	0,30
19	Fundo	30%	5	1,50
20*	Fundo	30%	10	3,00
21	Fundo	45%	1	0,45
22	Fundo	45%	5	2,25
23	Fundo	60%	1	0,60
24*	Fundo	60%	5	3,00

* Cenários com o máximo potencial construtivo.

Fonte: A autora.

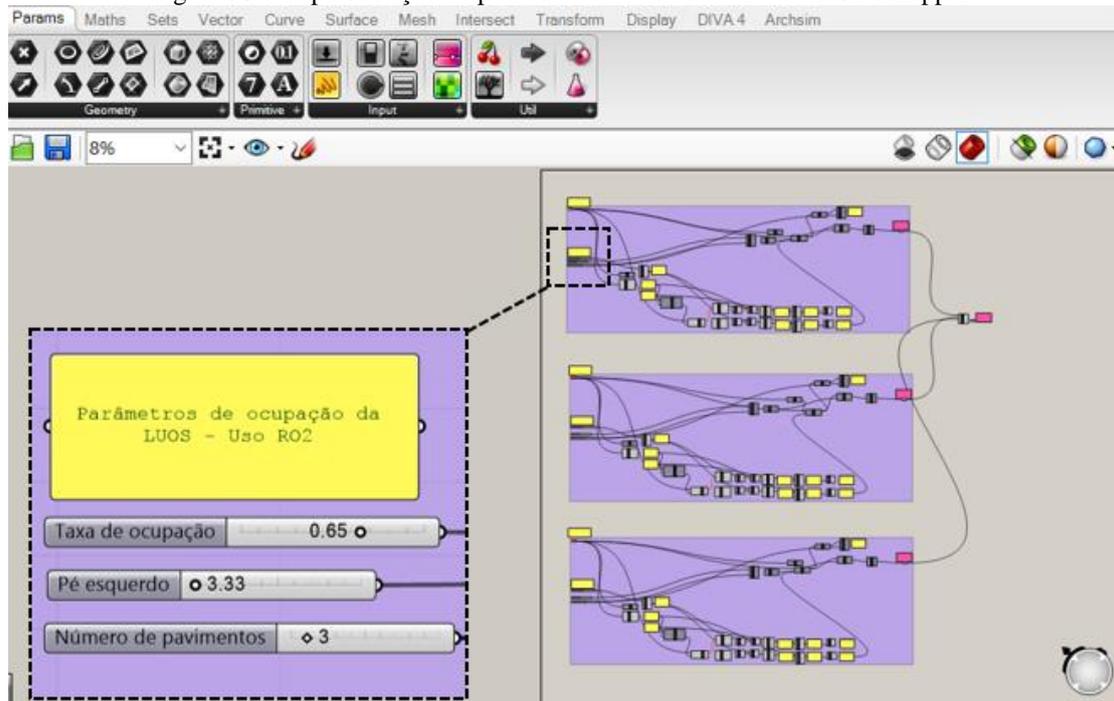
2.4.4. Modelagem dos cenários (Etapa 1.4)

Optou-se pela utilização do software Rhinoceros 5.0 e do aplicativo Grasshopper para realizar a modelagem. O Grasshopper é uma ferramenta de modelagem algorítmica, executada dentro do Rhinoceros, cuja plataforma se baseia em programação. Na modelagem algorítmica, permite-se que os parâmetros de projeto sejam definidos por relações matemáticas, sendo, portanto, automática a modificação da forma quando ocorre a mudança de valor de um dos parâmetros (LAGIOS *et al.*, 2010).

Montou-se um padrão de cálculo no Grasshopper para realizar a modelagem generativa a partir dos parâmetros de taxa de ocupação, pé esquerdo, número de pavimentos e presença ou ausência de afastamentos, conforme ilustra a Figura 50. Tal padrão foi utilizado para o desenvolvimento de todas as modelagens.



Figura 50 – Representação do padrão de cálculo estruturado no Grasshopper.



Fonte: A autora (Grasshopper).

Além da quadra a ser analisada, a modelagem do cenário também abrangeu as quadras do entorno. Embora estas quadras não sejam examinadas, elas impactam na quantidade de irradiância e iluminância recebidas pela quadra analisada. De acordo com Kanters e Horvat (2012), as quadras do entorno provocam uma diminuição significativa no nível de irradiância nas fachadas e coberturas, podendo-se promover uma redução de até 75% no potencial de produção fotovoltaica, em comparação com quadras sem entorno. Nesse sentido, buscando-se analisar uma situação mais próxima do que acontece em meio urbano, optou-se por acrescentar na modelagem oito quadras representativas do entorno, ao redor da quadra a ser analisada. As quadras escolhidas foram reproduções da quadra mais encontrada no Gama, resultante da etapa sobre o estudo da forma urbana.

2.4.5. Desempenho Solar: Cálculo da irradiância e da iluminância (Etapa 2.1)

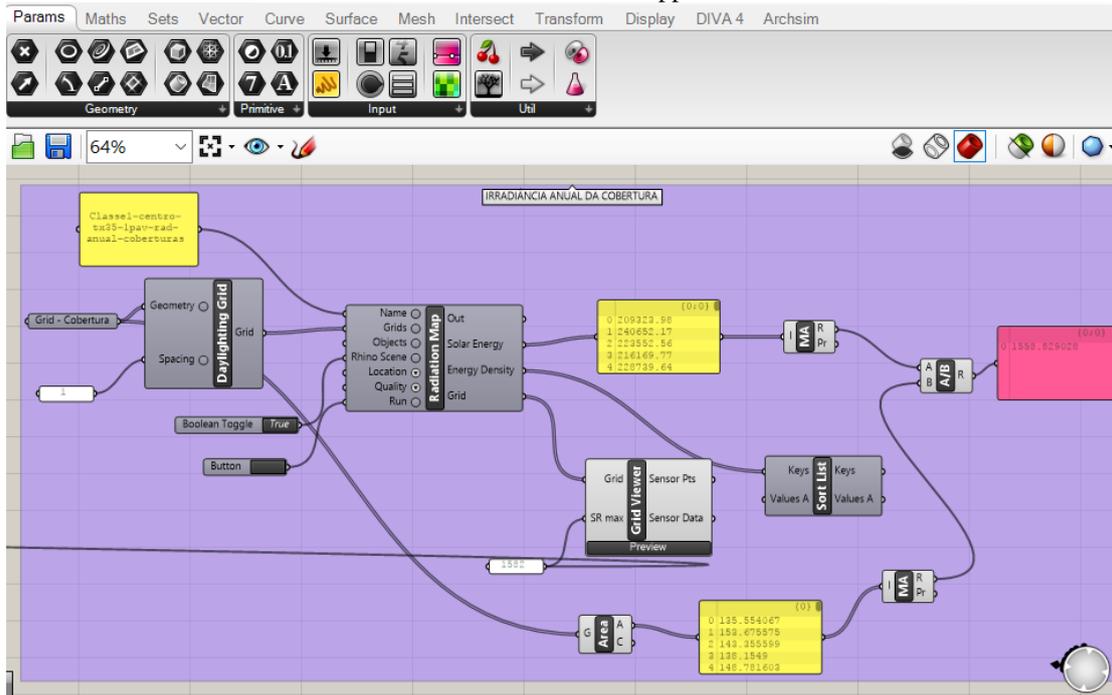
Utilizou-se o DIVA para Rhinoceros (inserido no Grasshopper) para a realização dos cálculos de irradiância recebida nas fachadas e coberturas e de iluminância recebida nas fachadas. Ele permite a simulação dinâmica do desempenho ambiental de edifícios e de áreas urbanas, utilizando um modelo de cálculo baseado no clima local (NIEMASZ, 2017). Considerou-se, para todos os cenários, as mesmas configurações de materiais: 35% de refletância de parede, 20% de refletância de piso e 20% de refletância de teto. As refletâncias escolhidas foram reflexo das refletâncias predominantes existentes no Gama⁵³.

⁵³ Consideraram-se as refletâncias correspondentes a concreto aparente para as paredes, a revestimento asfáltico para o piso e a telha de barro para o teto, de acordo com a NBR 15220: Parte 2.



Para o cálculo da irradiância, o DIVA requisita a criação de uma malha de pontos, a escolha de um método de cálculo e a escolha da localização, conforme ilustra a Figura 51. Utilizou-se o arquivo climático de Brasília (LABEE, 2016) e configurou-se uma malha de análise de 1 x 1 metro. É necessária a separação entre os cálculos de irradiância nas fachadas e na cobertura, para que se possa analisar os resultados separadamente. O resultado numérico final é referente à irradiância anual total dividida pela área analisada.

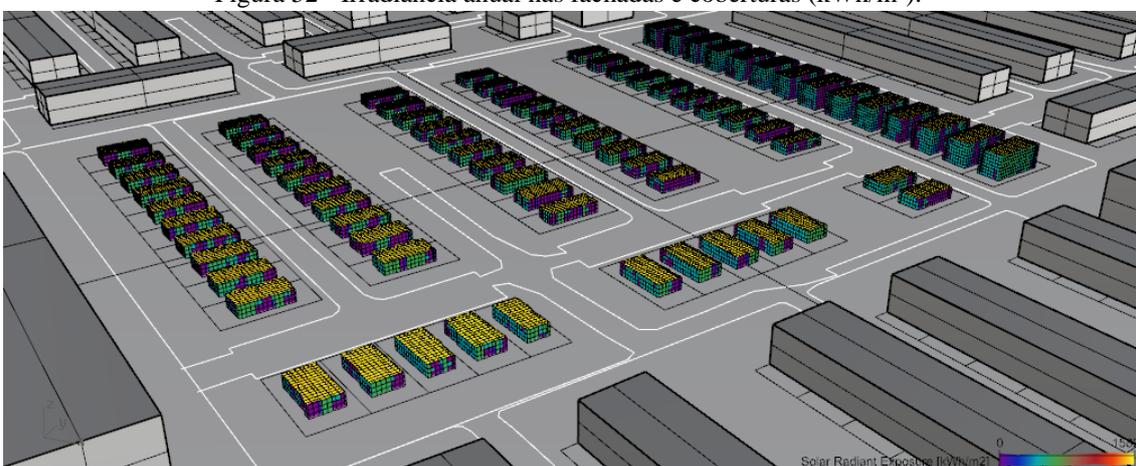
Figura 51 – Padrão de cálculo da irradiância anual total por metro quadrado nas coberturas, estruturado no Grasshopper.



Fonte: A autora (Grasshopper).

Para cada unidade da malha de análise, o software calcula os valores de irradiância e iluminância e produz um gráfico, em escala de cores, baseado nesses valores, conforme ilustra a Figura 52.

Figura 52 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

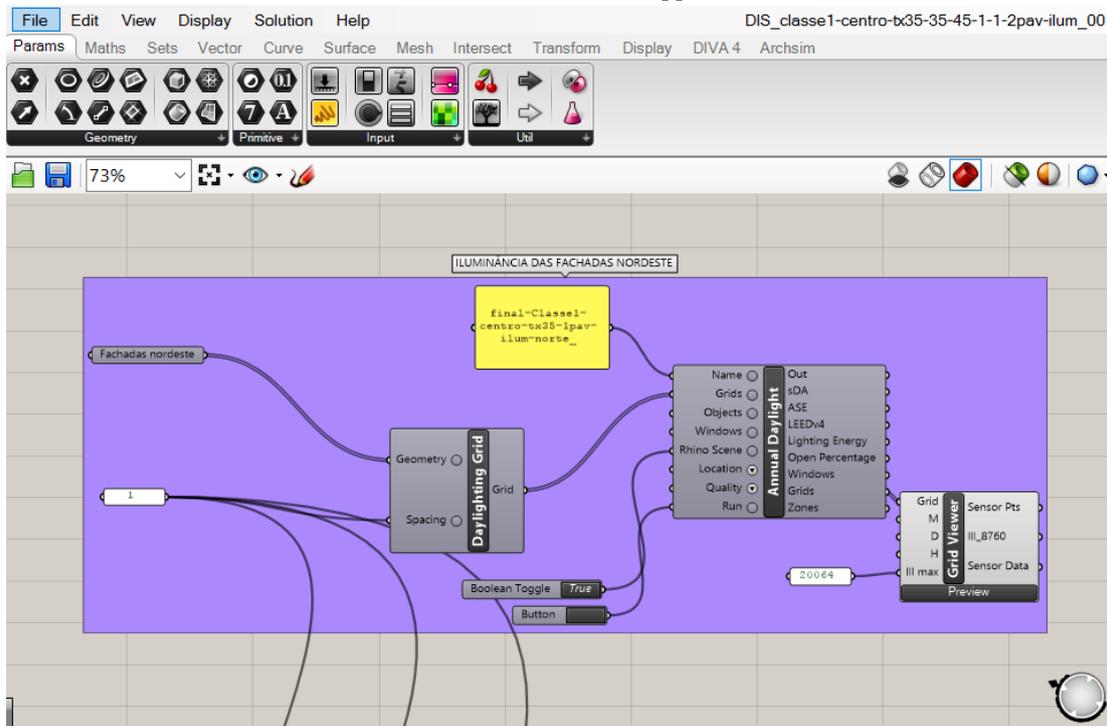


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Para o cálculo da iluminância, o DIVA também requisita a criação de uma malha de pontos e a escolha da localização, conforme demonstra a Figura 53. Utilizaram-se as mesmas configurações referentes ao cálculo da irradiâncias, com a diferença da separação dos cálculos se aplicar somente as fachadas e ser de acordo com a orientação.

Figura 53 – Padrão de cálculo da iluminância média anual nas fachadas nordeste, estruturado no Grasshopper.



Fonte: A autora (Grasshopper).

A Figura 54 retrata a distribuição das iluminâncias nas fachadas no dia 1º de janeiro, as 12:00 horas. Tendo em vista que o DIVA não gera imagem das iluminâncias anuais médias, escolheu-se um dia e um horário para ilustrar a representação da distribuição das iluminâncias.

Figura 54 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



2.4.6. Sistematização dos dados de saída (Etapa 2.1)

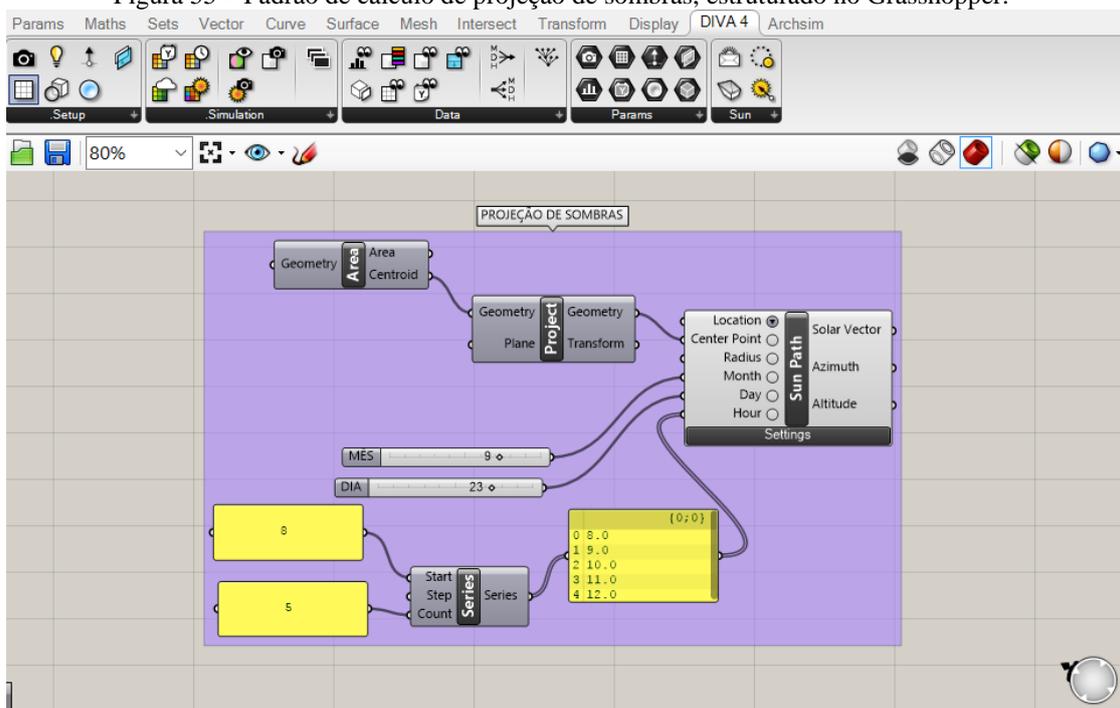
O DIVA produz dois tipos de dados de saída: resultados gráficos (imagens) e resultados numéricos. Os resultados gráficos são representações em escala de cores, baseadas nos resultados numéricos. Para cada cenário, são gerados dois resultados gráficos: um correspondente à representação da irradiância anual recebida nas fachadas e nas coberturas e outro correspondente à iluminância nas fachadas no dia 1º de janeiro, as 12:00 horas. Os resultados gráficos foram organizados de acordo com o cenário e encontram-se em apêndice.

Os resultados numéricos são extraídos para o programa excel, onde são organizados e tratados. Os resultados de iluminância das 17:00 horas às 07:00 foram desconsiderados, uma vez que o resultado final de iluminância corresponde à média das iluminâncias das 08:00 às 16:00 horas.

2.4.7. Comparação dos resultados entre as classes tipo-morfológicas (Etapa 2.2)

A comparação dos resultados entre as classes tipo-morfológicas definidas no estudo da forma urbana é realizada avaliando-se os níveis de irradiância nas fachadas e coberturas e iluminância nas fachadas. Relacionam-se os níveis de irradiância e iluminância à forma das classes. Também se estudam as sombras projetadas por cada classe, calculada pelo DIVA, conforme ilustra a Figura 55. A projeção é computada para o período da manhã e da tarde, nos dias 22 de dezembro (solstício de verão), 23 de setembro (equinício) e 22 de junho (solstício de inverno). As figuras 55 e 56 apresentam um exemplo da projeção de sombras.

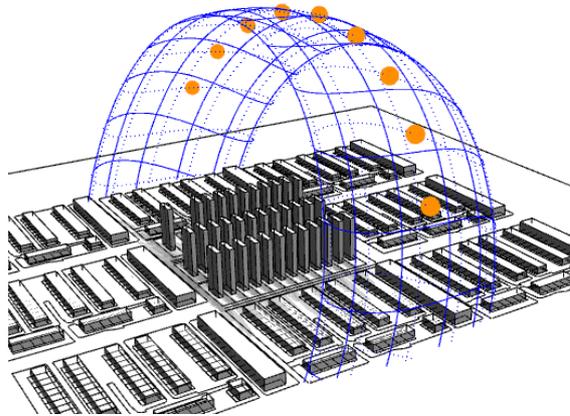
Figura 55 – Padrão de cálculo de projeção de sombras, estruturado no Grasshopper.



Fonte: A autora (Grasshopper).

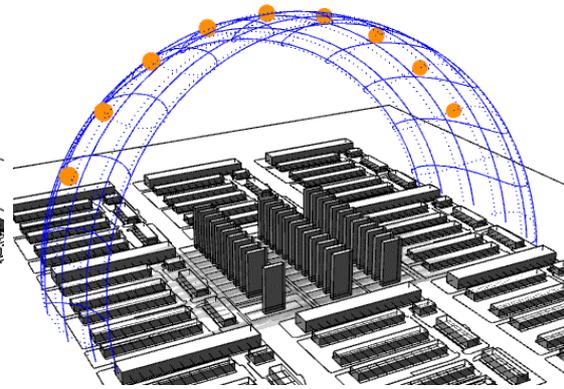


Figura 56 - Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de verão (22 de dezembro), das 8h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 57 - Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de verão (22 de dezembro), das 8h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

2.4.8. Otimização: Análise dos resultados (Etapa 3.1)

A partir dos dados numéricos extraídos e tratados no programa excel, procede-se para a análise. A análise compreende três etapas, relacionadas às estratégias do processo de otimização: maximização dos níveis de irradiância na cobertura (objetivando-se produzir energia através de painéis fotovoltaicos); minimização dos níveis de irradiância nas fachadas (objetivando-se diminuir a carga térmica nos ambientes) e o recebimento de um nível satisfatório de iluminância nas fachadas (garantindo-se uma adequada disponibilidade de iluminação natural nos ambientes).

A etapa 1 é relativa à análise das iluminâncias nas fachadas e encontra-se descrita, a seguir. Nela, verificam-se se os edifícios de determinado cenário recebem um nível satisfatório de iluminância nas fachadas. Se as fachadas recebem níveis menores do indicado, os cenários em questão são desclassificados. Nesse sentido, a etapa 1 tem caráter eliminatório. A etapa 2 aborda a análise das irradiâncias. É uma etapa classificatória, na qual consideram-se os melhores cenários aqueles que recebem mais irradiância nas coberturas e menos irradiância nas fachadas. A etapa 3 corresponde à análise de potencial energético. Ela tem como objetivo averiguar se a produção energética do cenário analisado seria superior à sua demanda energética. Tal etapa se aplica apenas aos cenários que passaram na análise das iluminâncias e oferece uma resposta complementar à análise das irradiâncias. A partir do resultado dessas 3 etapas, concluem-se quais seriam os cenários que melhor contemplam as estratégias do processo de otimização, e conseqüentemente são os cenários mais adequados ao contexto climático do caso de estudo (tidos como os cenários otimizados).

- *Etapa 1 - Eliminatória: Análise das iluminâncias*

Para o processo de otimização, é necessário que um mínimo de iluminância seja recebido nas fachadas. Entende-se que, se as fachadas recebem mais que o valor recomendado, tem-se uma iluminação natural adequada nos ambientes internos.



Nesse sentido, inicialmente estabelece-se o limite mínimo de iluminância a ser recebido, de acordo com a orientação da fachada. Para isso, adota-se um método baseado na avaliação do desempenho dinâmico da iluminação natural proposta por Moraes e Pereira (2011). O método de Moraes e Pereira (2011) fundamenta-se no Fator de Luz Diurna (FLD), que é a relação entre iluminância interna e externa, considerando-se um modelo de céu padrão do CIE. Entretanto, é consenso na comunidade acadêmica que o FLD precisa ser atualizado, uma vez que este desconsidera as diferenças em relação aos níveis de iluminância externa de diferentes contextos climáticos, promovendo assim uma avaliação inadequada das condições de iluminação internas (MORAES e PEREIRA, 2014).

Dessa maneira, o método de Moraes e Pereira (2011) diferencia-se na medida em que tenta associar o FLD ao clima predominante. De acordo com este método, para obter o valor mínimo adequado de FLD, deve-se considerar um valor anual mediano de iluminância difusa externa. Para isso, analisam-se histogramas de frequência acumulada de iluminância difusa externa, para uma determinada localidade. A iluminância difusa externa a ser considerada deve ter uma frequência de 50% durante o ano, o que corresponde a um valor mediano. Em seguida, define-se a iluminância interna e determina-se o FLD.

Sendo assim, para calcular o FLD pelo método Moraes e Pereira (2011), calcula-se o valor mediano de iluminância externa para cada orientação de fachada. Os dados de iluminâncias externas para Brasília foram retirados da tese de Scarazzato (1995), e apresentam-se em anexo. Utilizaram-se as iluminâncias na condição de céu predominante em Brasília, parcialmente encoberto. Considerou-se que a iluminância interna seria 150 lux (SCARAZZATO, 1995).

Os valores de FLD calculados são apresentados na Tabela 20. Nela, também se demonstram os limites mínimos de iluminância externa a serem recebidos, de acordo com a orientação da fachada. Para o cálculo deste limite, foi utilizado uma iluminância interna de 100 lux, correspondente ao valor mínimo considerado como adequado no parâmetro Autonomia de Luz Natural Útil (UDI)⁵⁴, desenvolvido por Nabil e Mardaljevic (2006).

Tabela 20 - Limite mínimo de iluminância a ser recebido.

Orientação	FLD ⁵⁵	Limite mínimo (lux)
Norte	1,53%	9833
Nordeste	1,82%	8233
Leste	1,97%	7600
Sudeste	2,09%	7167

⁵⁴ A autonomia de Luz Diurna ou Useful Daylight Autonomy (UDI) é uma modificação do parâmetro Autonomia de Luz Natural ou Daylight Autonomy (DA). Ela considera três intervalos de iluminância: abaixo de 100 lux, 100-2000 lux e acima de 2000 lux. Os valores abaixo de 100 lux indicam falta de luz, os acima de 2000 lux indicam o aumento da probabilidade de ofuscamento, e os entre 100 e 2000 lux são tidos como níveis adequados de luminosidade (NABIL e MARDALJEVIC, 2006).

⁵⁵ O fator de luz diurna calculado baseia-se no método de Moraes e Pereira (2011).



Orientação	FLD	Limite mínimo (lux)
Sul	2,21%	6800
Sudoeste	2,23%	6733
Oeste	2,01%	7467
Noroeste	1,67%	8967

Fonte: Calculado pela autora.

Verifica-se se a iluminância anual recebida nas fachadas é maior ou igual ao limite mínimo. Se alguma das fachadas apresentar resultado menor que o limite, desconsidera-se tal cenário no processo de otimização. Os resultados menores que os limites são coloridos de vermelho e os maiores são coloridos de verde.

- *Etapa 2 - Classificatória: Análise das irradiâncias*

Dentre os cenários que apresentam um valor adequado de iluminância, verificam-se os que recebem mais irradiância na cobertura e menos nas fachadas. Tendo em vista que a análise abrange dois objetivos, é necessária a convergência dos resultados de cada objetivo para se chegar a uma conclusão. Sendo assim, a análise multiobjetivo segue o método de aglutinação por meio do desvio padrão percentual, proposto por Salomon e Shimizu (2006).

Equação 1: Aglutinação de funções multiobjetivo.

$$F(x) = \left\{ \frac{(f_1^* - f_1(x))}{f_1^*} \right\} + \left\{ \frac{(f_2^* - f_2(x))}{f_2^*} \right\}$$

Fonte: Salomon e Shimizu (2006).

De acordo com a Equação 1, determina-se o valor ótimo para cada objetivo, subtrai-se, desse valor, o valor analisado e divide-se o resultado pelo valor ótimo. O resultado final encontrado é a soma dos desvios percentuais. Quanto menor for esse número, melhor é o resultado.

Considerou-se como valor ótimo o maior valor calculado de irradiância nas coberturas e o menor valor calculado de irradiância nas fachadas, para determinada classe. Tendo em vista que o resultado de irradiâncias nas coberturas de todas as classes possui pouca variação, seu desvio percentual é pequeno, e, portanto, a sua contribuição no desvio percentual final é pouca. Sendo assim, a classificação pela análise das irradiâncias baseou-se basicamente apenas nos níveis de irradiância nas fachadas. As melhores classificações são referentes aos cenários que recebem menores irradiâncias nas fachadas.

- *Etapa 3: Análise do potencial energético*

Como análise complementar, verifica-se, de maneira simplificada, se a produção energética é superior ou não à demanda energética dos edifícios das quadras simuladas. Considerou-se que a produção energética seria realizada exclusivamente por painéis fotovoltaicos instalados na cobertura.



O modelo de cálculo da produção energética utilizado baseou-se em um estudo da Empresa de Pesquisa Energética (MME; EPE, 2014), sendo este dependente da irradiância recebida pela cobertura e da área de cobertura disponível para a implantação do sistema. Levou-se em consideração que a área de cobertura disponível seria 75% da área total de cobertura (KANTERS e HORVAT, 2012), e que o fator de conversão da energia solar incidente em energia elétrica seria de 12% (MME e EPE, 2014).

Para a estimativa da demanda energética, separaram-se as edificações analisadas de determinada quadra entre uso residencial e não residencial. Multiplicou-se o padrão de consumo residencial ou não residencial, em kWh/m².ano, pela metragem quadrada dos edifícios da quadra. O padrão de consumo residencial utilizado, para Brasília, foi de 29,91 kWh/m².ano (FEDRIGO *et al.*, 2009), e o padrão de consumo não residencial utilizado foi de 84,01 kWh/m².ano, valor derivado da média de consumo energético de edifícios de escritórios em Brasília (COSTA *et al.*, 2017 – no prelo).

2.4.9. Cálculo da influência dos parâmetros de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância nas envoltórias dos edifícios (Etapa 3.2)

A fim de determinar a magnitude da influência da taxa de ocupação, do número de pavimentos, do coeficiente de aproveitamento e dos afastamentos nos níveis de irradiância nas coberturas e fachadas e iluminância nas fachadas, calcula-se a variação percentual entre os resultados dos cenários, para cada classe. Identificam-se e comparam-se as tendências de comportamento (se há aumento ou redução dos níveis de irradiância e iluminância com a modificação do parâmetro de ocupação avaliado) entre as classes. Conclui-se sobre a relação entre os parâmetros de ocupação, o desenho dos lotes e os níveis de irradiância e iluminância.



Capítulo 3: Resultados

Este capítulo apresenta os resultados produzidos na dissertação. Identificam-se, inicialmente, as classes tipo-morfológicas de referência. Compara-se o desempenho das classes definidas, avaliando-se os níveis de irradiância nas fachadas (controle térmico) e coberturas (produção energética) e iluminância nas fachadas (disponibilidade de iluminação natural) e estudando-se as sombras projetadas por cada classe. Em seguida, analisam-se e classificam-se diferentes cenários para cada classe e apontam-se quais são as formas urbanas mais apropriadas para o clima do caso de estudo, considerando-se as estratégias estabelecidas pela pesquisa. Por fim, pondera-se o efeito da taxa de ocupação, do número de pavimentos, do coeficiente de aproveitamento e dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância calculados. Reflete-se sobre o desempenho dos cenários permitidos da LUOS, principalmente, daqueles que possuem o maior índice de aproveitamento. Por fim, disserta-se sobre a relevância de se considerar o aproveitamento solar (nas envoltórias das edificações) no planejamento urbano.

3.1. Estudo da forma urbana: Identificação das classes tipomorfológicas

A caracterização da forma urbana do Gama foi realizada por meio do cálculo dos parâmetros morfológicos que melhor caracterizam a forma da cidade: a altura média ponderada, o coeficiente de forma, a contiguidade, a densidade construída e a rugosidade (MARTINS, 2014).

Calcularam-se esses parâmetros para 379 células de análise. Cada célula é representada por uma unidade da malha de 250 x 250 metros. O resultado viabilizou a produção de plantas temáticas de verticalidade, coeficiente de forma, contiguidade, densidade construída e rugosidade e a identificação e distribuição das classes tipo-morfológicas de referência.

3.1.1. Plantas temáticas

As figuras de 58 a 62 ilustram as plantas temáticas de altura média ponderada, coeficiente de forma, contiguidade, densidade construída e rugosidade e, respectivamente. Observa-se que, de maneira geral, há predominância de edifícios horizontais (com altura média de 12,72 m); com pouca rugosidade absoluta (média de 4,59); densidade mediana (média de 3,46); baixo coeficiente de forma (média de 3,31) e alta contiguidade (média de 0,35).

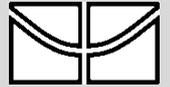


Figura 58 - Planta temática de altura média ponderada do Gama.



Fonte: A autora (ArcGIS).



Figura 59 - Planta temática de coeficiente de forma do Gama.



Fonte: A autora (ArcGIS).

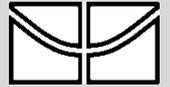


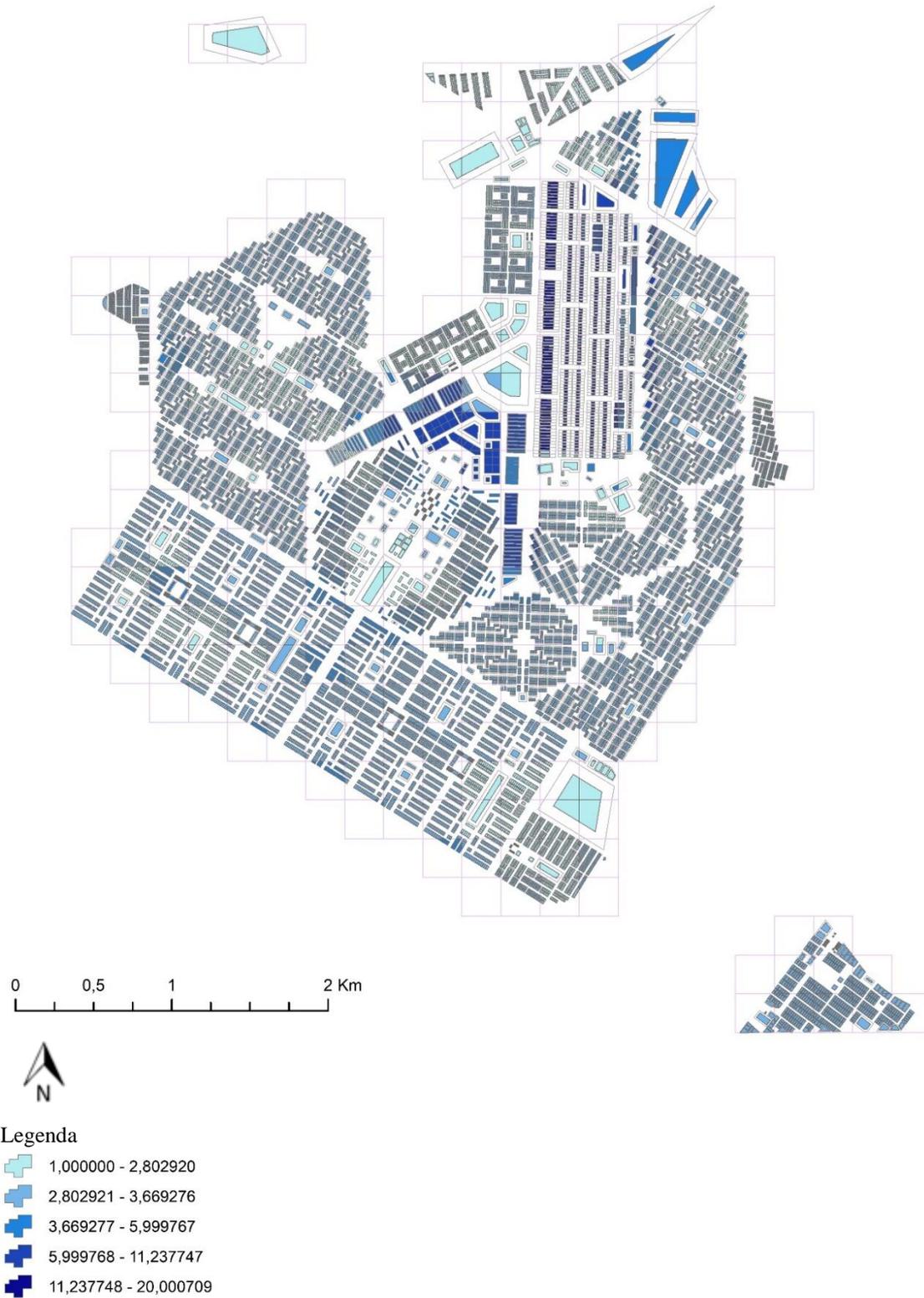
Figura 60 - Planta temática de contiguidade do Gama.



Fonte: A autora (ArcGIS).



Figura 61 - Planta temática de densidade construída do Gama.



Fonte: A autora (ArcGIS).

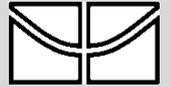


Figura 62 - Planta temática de rugosidade do Gama.



Fonte: A autora (ArcGIS).



A planta temática de altura média ponderada, apresentada na Figura 58, indica que os edifícios do Gama têm altura majoritariamente baixa. A altura média ponderada calculada é de 12,72 metros. Nota-se que os setores predominantemente residenciais apresentam altura média de 11,09 metros, enquanto o Setor Central apresenta uma altura intermediária e o Setor Leste Industrial possui as maiores alturas.

A altura média ponderada relaciona-se com a densidade construída e com a rugosidade. Os maiores valores de densidade e rugosidade foram encontrados nas áreas mais altas. A rugosidade média do Gama é de 4,59 e a densidade de 3,46. O Setor Leste Industrial possui a maior densidade (média de 15,37), tendo rugosidade média calculada de 13,36. Encontraram-se os menores valores de densidade e rugosidade nos setores predominantemente residenciais, sendo estes 3,07 e 4,05, respectivamente.

O Setor Leste Industrial apresenta também o maior coeficiente de forma (média de 6,45) e o menor valor de contiguidade (média de 0,06), uma vez que possui edificações altas e lotes que contêm afastamentos laterais e de fundo.

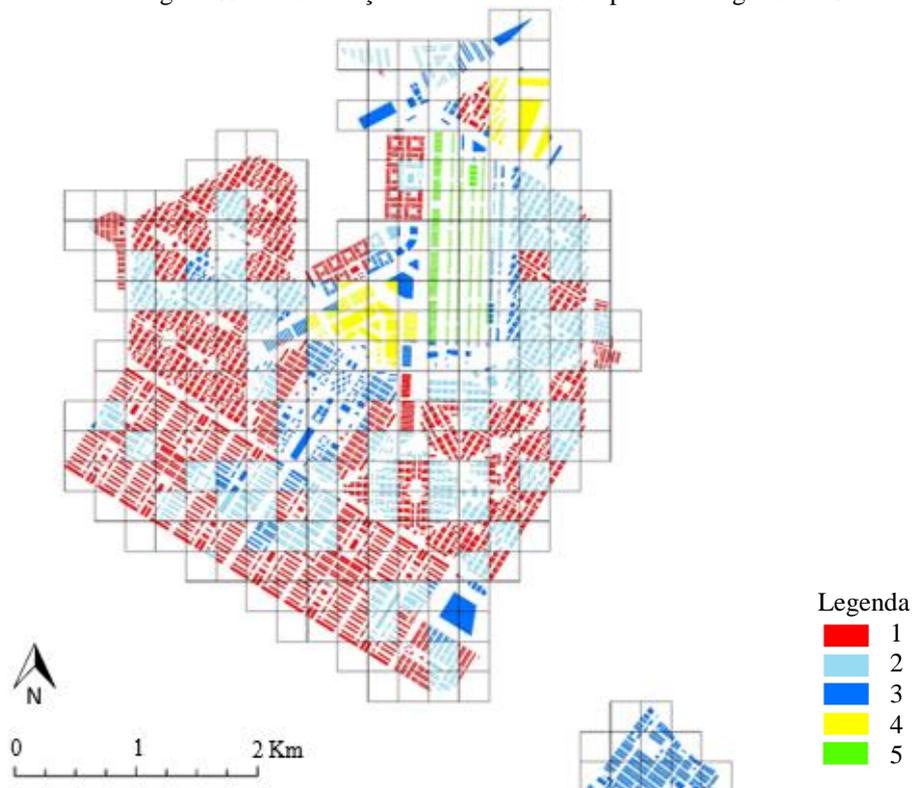
O coeficiente de forma médio do Gama é de 3,31, valor baixo que significa que a área de superfície exposta ao sol é pequena, quando comparada com o volume das edificações. A contiguidade média é de 0,35. O valor baixo de coeficiente de forma e alto de contiguidade encontrados justificam-se pela ausência de afastamentos laterais nos lotes predominantemente residenciais.

3.1.2. A identificação e a distribuição das classes tipo-morfológicas de referência

Inicialmente, realizou-se um agrupamento em cinco classes tipo-morfológicas, conforme ilustra a Figura 63. As características morfológicas dessas classes encontram-se descritas na Tabela 21.



Figura 63 – Distribuição das cinco classes tipo-morfológicas do Gama.



Fonte: A autora (ArcGIS).

Tabela 21 – Características morfológicas das cinco classes.

Classe	Atura ponderada média	Coefficiente de forma médio	Contiguidade média	Densidade construída média	Rugosidade média
1	11,01	2,72	0,42	3,09	3,87
2	11,25	3,41	0,34	3,04	4,39
3	14,23	5,21	0,15	3,59	5,38
4	25,57	5,34	0,15	6,18	20,20
5	62,02	6,39	0,05	16,80	11,86

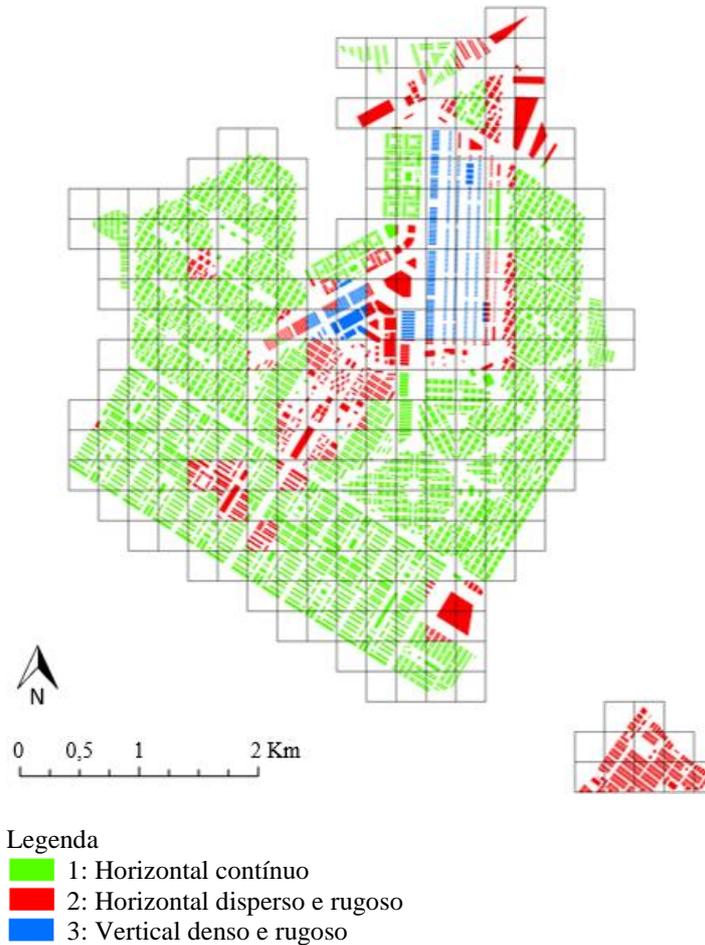
Fonte: A autora (ArcGIS).

Entretanto, as cinco classes resultantes não apresentaram diferenças morfológicas expressivas. Constatou-se que as classes 1 e 2 possuíam características morfológicas semelhantes, podendo estas ser agrupadas em uma classe. De maneira semelhante, as classes 4 e 5 poderiam representar uma classe. Nesse sentido, considerou-se que seria mais relevante, para o trabalho, a classificação em 3 classes. Sendo assim, realizou-se um novo agrupamento, considerando-se três classes.

A Figura 64 ilustra a distribuição das classes na malha urbana do Gama e a Figura 65 demonstra as quadras selecionadas como representativas de cada classe. As características morfológicas destas classes encontram-se descritas nas tabelas 22, 23 e 24.

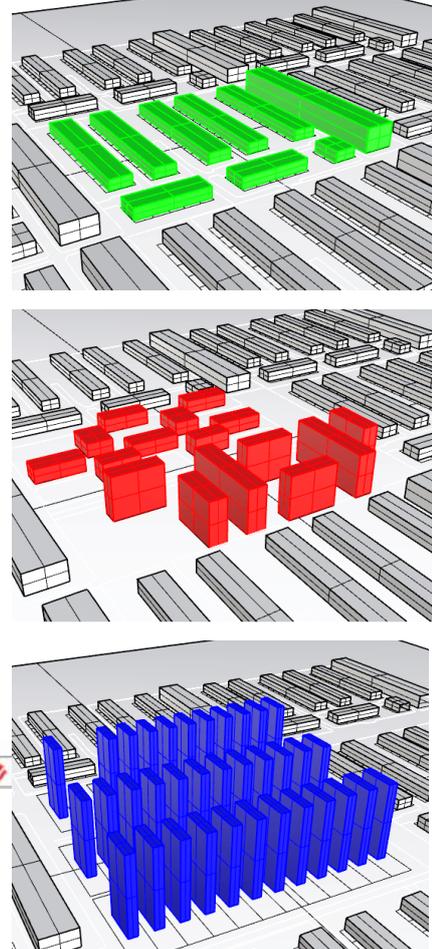


Figura 64 – Distribuição das três classes tipo-morfológicas do Gama.



Fonte: A autora (ArcGIS).

Figura 65 – Modelo 3D das três classes tipo-morfológicas do Gama.



Fonte: A autora (Rhinoceros).

Tabela 22 – Características morfológicas das três classes.

Classe	Nome	Atura ponderada média	Coefficiente de forma médio	Contiguidade média	Densidade construída média	Rugosidade média
1	Horizontal contínuo	11,09	2,96	0,39	3,07	4,05
2	Horizontal rugoso	14,49	5,07	0,16	3,62	6,48
3	Vertical denso	56,92	6,45	0,06	15,37	13,36

Fonte: A autora (ArcGIS).

Tabela 23 – Características morfológicas das três classes.

Classe	Nome	Atura máxima	Coefficiente de forma máximo	Contiguidade máxima	Densidade construída máxima	Rugosidade máxima
1	Horizontal contínuo	29,55	4,19	0,63	7,98	11,83
2	Horizontal rugoso	34,00	10,21	0,30	8,01	24,35
3	Vertical denso	73,40	15,34	0,33	20,00	26,79

Fonte: A autora (ArcGIS).



Tabela 24 – Características morfológicas das três classes.

Classe	Nome	Atura mínima	Coefficiente de forma mínimo	Contiguidade mínima	Densidade construída mínima	Rugosidade mínima
1	Horizontal contínuo	9,00	0,40	0,25	1,79	0,02
2	Horizontal rugoso	9,00	3,44	0,00	1,00	0,14
3	Vertical denso	33,04	4,60	0,00	8,75	8,83

Fonte: A autora (ArcGIS).

Para nomear as classes identificadas, buscaram-se termos de referência em morfologia urbana na literatura. De acordo com Salat (2011), classifica-se como dispersa uma malha urbana com altura média de 5,5 metros, coeficiente de forma 0,86, contiguidade de 0,02, densidade de 0,5 e rugosidade de 0,8. Uma malha urbana compacta se caracteriza por possuir altura média de 15,3 metros, coeficiente de forma de 0,64, contiguidade de 0,29, densidade de 3,0 e rugosidade de 7,1. Tendo em vista que nenhuma das classes identificadas se encaixam nessas categorias, as classes identificadas foram nomeadas de acordo com termos comparativos.

Salat (2011) considera que uma malha urbana vertical tem altura igual a 35,8 metros. Nesse sentido, considerou-se que as classes com mais de 35,8 metros seriam verticais e as com menos, horizontais. A classe 1 recebeu o nome de contínua por possuir contiguidade maior que as demais classes. A classe 2 foi nomeada de horizontal rugosa por ter mais rugosidade que a outra classe horizontal. A classe 3 denominou-se vertical densa por possuir densidade construída média significativamente maior que as demais classes.

3.1.3. As classes tipo-morfológicas do Gama

Apresentam-se a seguir, o desempenho das três classes tipo-morfológicas identificadas. A avaliação é relativa aos cenários com o máximo coeficiente de aproveitamento e máximo número de pavimentos. Compara-se, ao final, o desempenho das classes definidas, avaliando-se os níveis de irradiância nas fachadas e coberturas e iluminância nas fachadas e estudando-se as sombras projetadas por cada classe. Relacionam-se os níveis de irradiância e de iluminância à forma urbana.

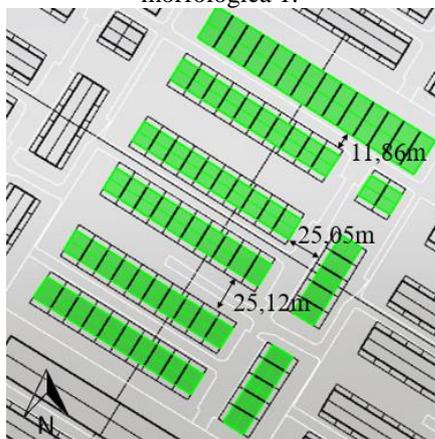
- *Classe 1: Horizontal contínuo*

A classe 1, ou classe horizontal contínua, representa 85% do tecido urbano do Gama. Caracteriza-se por ser predominantemente horizontal, com edificações contínuas (sem afastamentos laterais), com baixa densidade construída e pouca rugosidade. Como os edifícios são contínuos, eles possuem pouca área de envoltória em relação ao seu volume, resultando em uma tipologia urbana com baixo coeficiente de forma.



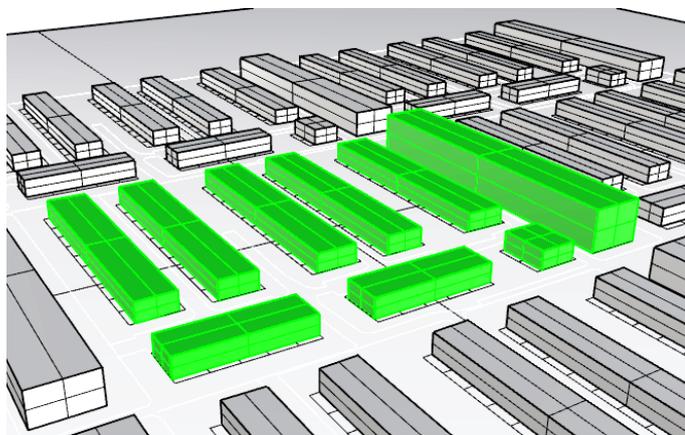
As figuras 66 e 67 apresentam uma quadra representativa da Classe 1. Nessa quadra, encontram-se edifícios classificados como Residencial Obrigatório (RO1(2) e RO2) e como Comercial, Prestação de Serviços, Institucional, Industrial e Residencial (CSIIR2-tipo2). Os lotes da Classe 1 são pequenos e adjacentes. Eles possuem taxa de ocupação de 65% ou 100% e as edificações possuem 3 ou 4 pavimentos, variando de acordo com o uso, conforme ilustra a Tabela 25. Verifica-se que as diretrizes construtivas para a Classe 1 incentivam a horizontalidade da forma urbana, sendo permitidas edificações de até 16,00 metros de altura. A predominância da ausência dos afastamentos laterais estimula a construção de edifícios geminados.

Figura 66 – Planta da Classe tipo-morfológica 1.



Fonte: A autora (Rhinceros).

Figura 67 – Perspectiva da Classe tipo-morfológica 1.



Fonte: A autora (Rhinceros).

Tabela 25 – Parâmetros de ocupação utilizados.

Uso	RO1 (2)	RO2	CSIIR2 (2)
Coefficiente de aproveitamento máximo	2,00	2,00	4,00
Taxa de ocupação	65%	65%	100%
Número de pavimentos	3	3	4
Altura máxima	10,00 m	10,00 m	16,00 m
Afastamentos	Sem afastamentos laterais	Sem afastamentos laterais	Sem afastamentos laterais

Fonte: A autora.

Embora tenha baixa altura, há uma interferência moderada de um edifício sobre o outro, uma vez que os lotes se encontram próximos. A distância entre os lotes, no sentido nordeste-sudoeste, varia entre 0 e 25,12 metros e, no sentido noroeste-sudeste, entre 0 e 25,05 metros, conforme ilustra a Figura 66. Além disso, como não existem afastamentos laterais, os lotes contíguos geram superfícies laterais que não tem exposição ao sol. Nesse sentido, a Classe 1 apresenta obstrução intermediária para insolação e iluminação em suas superfícies. As figuras de 68 a 73 demonstram a influência do sombreamento das edificações da Classe 1 umas sobre as outras. Nota-se que as fachadas noroeste e sudoeste recebem sombreamento pela manhã e as fachadas sudeste e nordeste pela tarde.

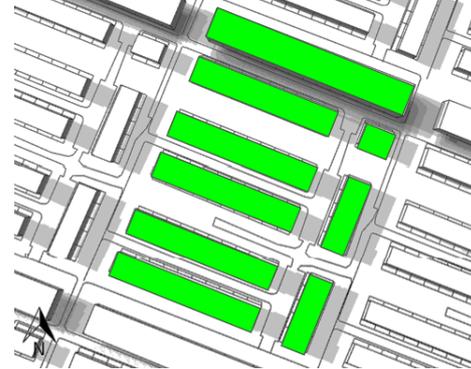


Figura 68 – Projeção de sombra da Classe 1, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.



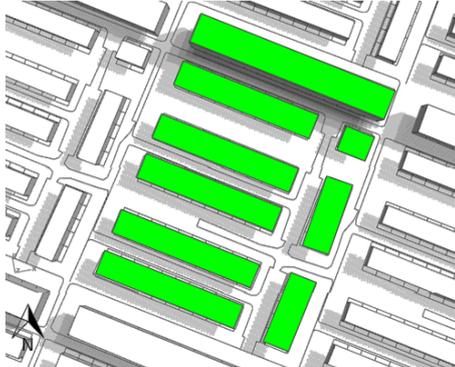
Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 69 – Projeção de sombra da Classe 1, no solstício de inverno (22 de junho), das 12h às 16h.



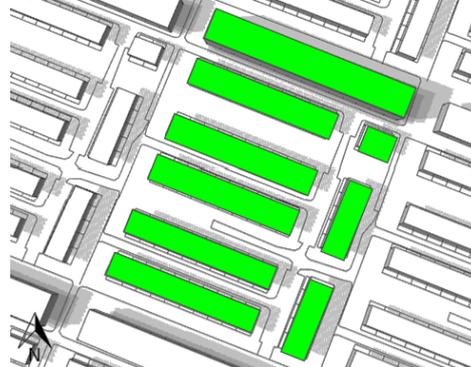
Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 70 – Projeção de sombra da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 71 – Projeção de sombra da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 72 – Projeção de sombra da Classe 1, no solstício de verão (22 de dezembro), das 8h às 12h.



Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 73 – Projeção de sombra da Classe 1, no solstício de verão (22 de dezembro), das 12h às 16h.



Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

- *Classe 2: Horizontal rugoso*

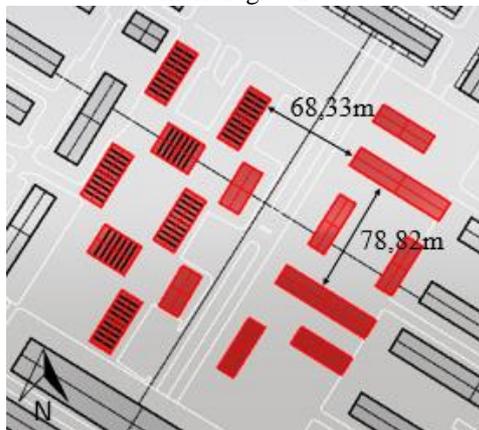
A classe 2, ou classe horizontal rugosa, representa apenas 3% do tecido urbano do Gama. Caracteriza-se por ser predominantemente horizontal, com edificações pouco contínuas e com baixa densidade construída, gerando uma forma urbana mais dispersa e mais rugosa que a Classe 1. Os edifícios da Classe 2 são menos contínuos que os da Classe 1, ou seja,



eles possuem maior área de envoltória em relação ao seu volume, resultando em uma tipologia urbana com um coeficiente de forma maior.

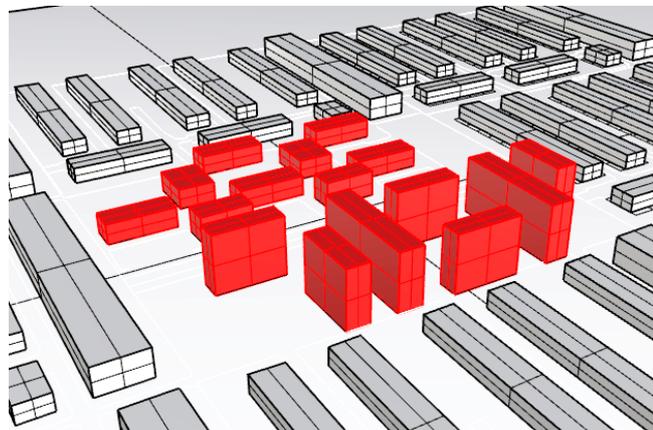
As figuras 74 e 75 apresentam uma quadra representativa da Classe 2. Nessa quadra, encontram-se edifícios classificados como Residencial Exclusivo (RE3-tipoB) e como Comercial, Prestação de Serviços, Institucional, Industrial e Residencial (CSIIR2-tipo1 e CSIIR2-tipo2). A classe 2 é composta por lotes grandes, distantes um do outro, e por lotes pequenos e adjacentes. Os lotes possuem taxa de ocupação de 100% e as edificações possuem 3 ou 9 pavimentos, variando de acordo com o uso, conforme ilustra a Tabela 26. Verifica-se que as diretrizes construtivas para a Classe 2 incentivam a horizontalidade da forma urbana, sendo permitidas edificações de até 34,50 metros de altura. A ausência dos afastamentos laterais em alguns lotes estimula a construção de edifícios geminados.

Figura 74 – Planta da Classe tipo-morfológica 2.



Fonte: A autora (Rhinceros).

Figura 75 – Perspectiva da Classe tipo-morfológica 2.



Fonte: A autora (Rhinceros).

Tabela 26 – Parâmetros de ocupação utilizados.

Uso	RE 3 – Tipo B	CSIIR2 (1)	CSIIR2 (2)
Coefficiente de aproveitamento máximo	9,00	4,00	4,00
Taxa de ocupação	100%	100%	100%
Número de pavimentos	9	3	4
Altura máxima	34,50 m	12,50 m	16,00 m
Afastamentos	Sem afastamentos laterais	Sem afastamentos laterais	Sem afastamentos laterais

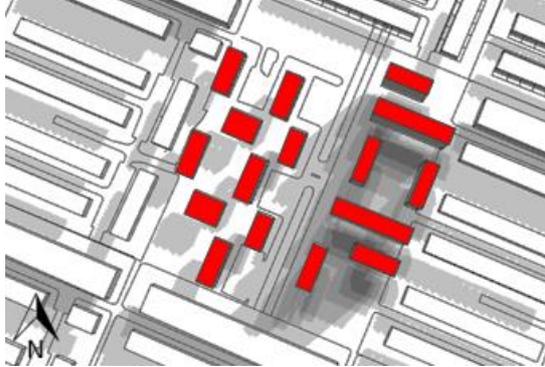
Fonte: A autora.

Embora tenham edifícios com altura intermediária, há interferência moderada de um edifício sobre o outro, uma vez que os lotes se encontram predominantemente mais afastados uns dos outros. A distância entre os lotes, no sentido nordeste-sudoeste, varia entre 0 e 78,82 metros e, no sentido noroeste-sudeste, entre 0 e 68,33 metros, conforme ilustra a Figura 74. Nesse sentido, tal classe apresenta obstrução intermediária para insolação e iluminação em suas superfícies. As figuras de 76 a 81 demonstram a influência do sombreamento das edificações da Classe 2 umas sobre as outras. Nota-se



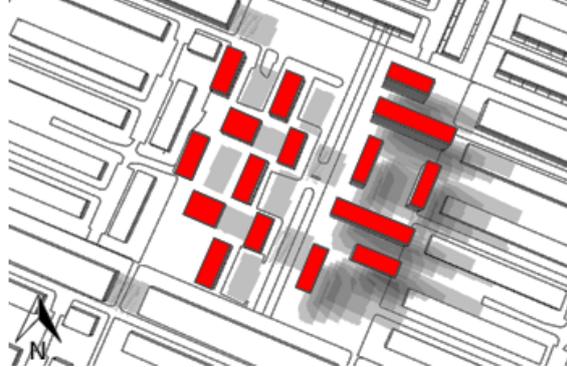
que as fachadas noroeste e sudoeste recebem sombreamento pela manhã e as fachadas sudeste e nordeste pela tarde.

Figura 76 – Projeção de sombra da Classe 2, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.



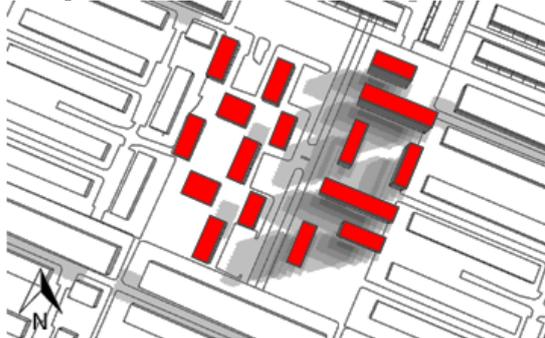
Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 77 – Projeção de sombra da Classe 2, no solstício de inverno (22 de junho), das 12h às 16h.



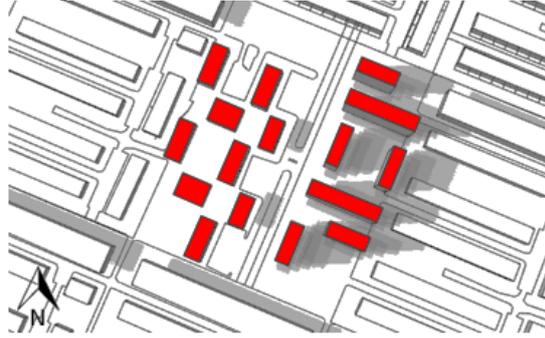
Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 78 – Projeção de sombra da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



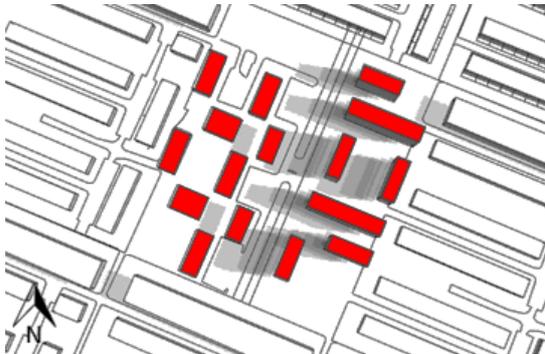
Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 79 – Projeção de sombra da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



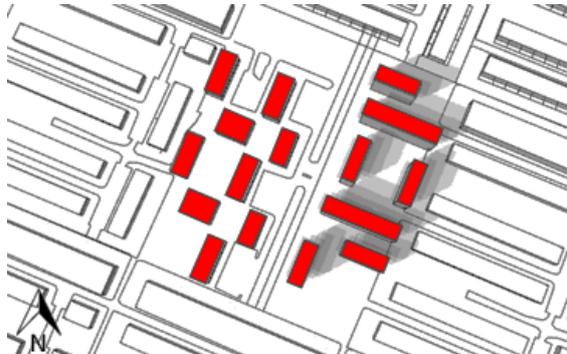
Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 80 – Projeção de sombra da Classe 2, no solstício de verão (22 de dezembro), das 8h às 12h.



Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 81 – Projeção de sombra da Classe 2, no solstício de verão (22 de dezembro), das 12h às 16h.



Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

- *Classe 3: Vertical densa*

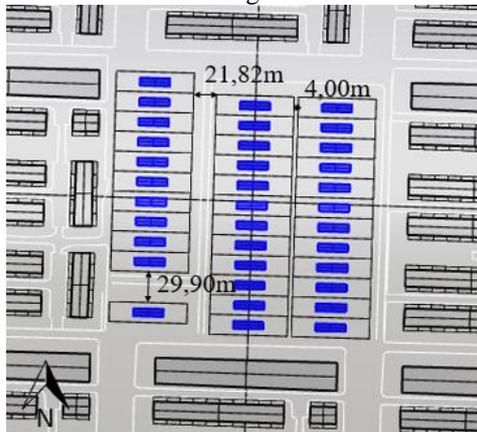
A classe 3, ou classe vertical densa, representa 12% do tecido urbano do Gama. Caracteriza-se por ser predominantemente vertical, com edificações pouco contínuas (menor contiguidade que a apresentada nas Classes 1 e 2), com grande densidade



construída (maior densidade que as Classes 1 e 2) e bastante rugosa (mais que as Classes 1 e 2). Os edifícios da Classe 3 são menos contínuos que os da Classe 1 e 2, ou seja, eles possuem maior área de envoltória em relação ao seu volume, resultando em uma tipologia urbana com um coeficiente de forma maior.

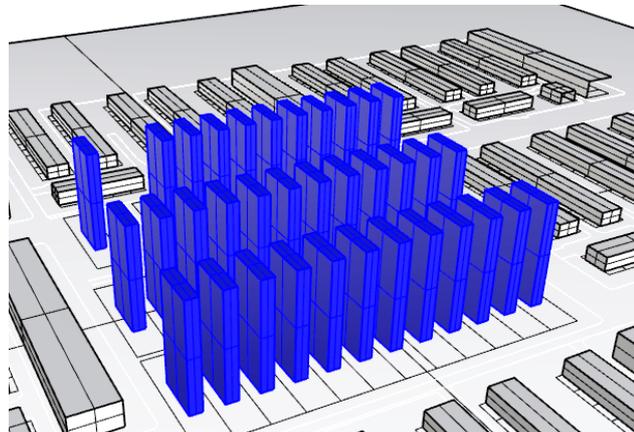
As figuras 82 e 83 apresentam uma quadra representativa da Classe 3. Nessa quadra, encontram-se edifícios classificados como Comercial, Prestação de Serviços, Institucional, Industrial e Residencial (CSIIR2-Setor Leste Industrial (1)). Os lotes da Classe 3 são grandes e adjacentes. Eles possuem taxa de ocupação de 15% e as edificações possuem 20 pavimentos, conforme ilustra a Tabela 27. Verifica-se que as diretrizes construtivas para a Classe 3 incentivam a verticalidade da forma urbana, sendo permitidas edificações de até 73,50 metros de altura. A maioria dos lotes possui afastamentos laterais e de fundo.

Figura 82 – Planta da Classe tipo-morfológica 3.



Fonte: ilustração do autor.

Figura 83 – Perspectiva da Classe tipo-morfológica 3.



Fonte: ilustração do autor.

Tabela 27 – Parâmetros de ocupação utilizados.

Uso	CSIIR 2 – Setor Leste Industrial (1)
Coefficiente de aproveitamento máximo	3,00
Taxa de ocupação	15%
Número de pavimentos	20
Altura máxima	73,50 m
Afastamentos	Edifício no centro do lote, afastamentos proporcionais

Fonte: A autora.

Tal classe compreende as edificações com as maiores alturas e lotes com pouco espaçamento, aumentando-se assim a influência das edificações entre si. A distância entre os lotes, no sentido norte-sul, varia entre 0 e 29,90 metros e, no sentido leste-oeste, entre 4,00 e 21,82 metros, conforme ilustra a Figura 82. Nesse sentido, tal tipologia apresenta grande obstrução para insolação e iluminação. As figuras de 84 a 89 demonstram a influência do sombreamento das edificações da Classe 3 umas sobre as outras. Nota-se que as fachadas sul e oeste recebem sombreamento pela manhã e as fachadas sul e oeste pela tarde.

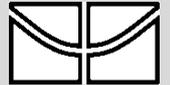
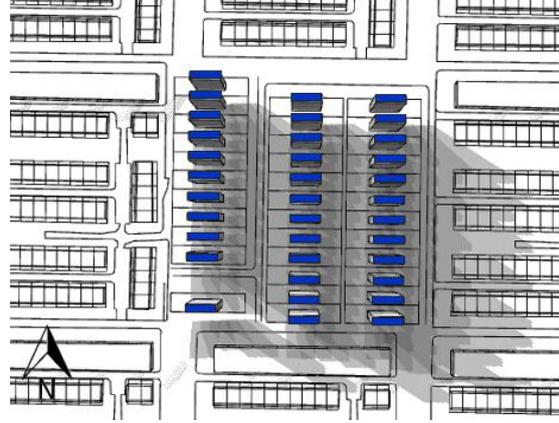


Figura 84 – Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.



Fonte: ilustração do autor (Rhino + Grasshopper + DIVA).

Figura 85 – Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de inverno (22 de junho), das 12h às 16h.



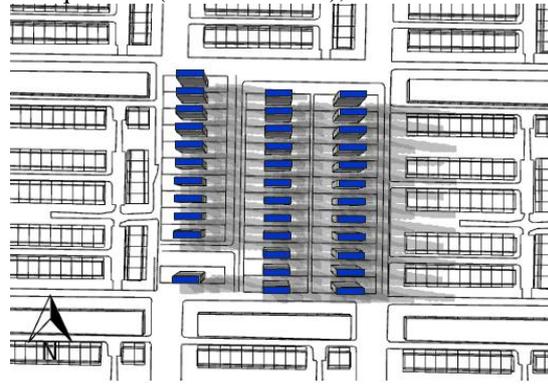
Fonte: ilustração do autor (Rhino + Grasshopper + DIVA).

Figura 86 – Projeção de sombra da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: ilustração do autor (Rhino + Grasshopper + DIVA).

Figura 87 – Projeção de sombra da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



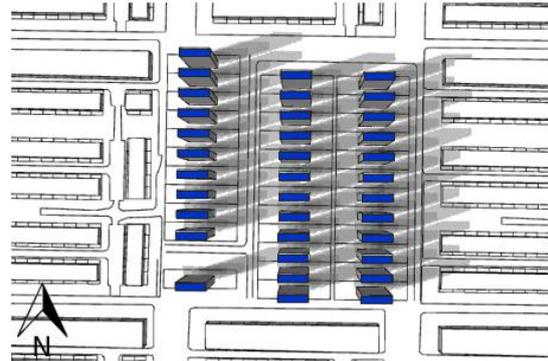
Fonte: ilustração do autor (Rhino + Grasshopper + DIVA).

Figura 88 – Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de verão (22 de dezembro), das 8h às 12h.



Fonte: ilustração do autor (Rhino + Grasshopper + DIVA).

Figura 89 – Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de verão (22 de dezembro), das 12h às 16h.



Fonte: ilustração do autor (Rhino + Grasshopper + DIVA).

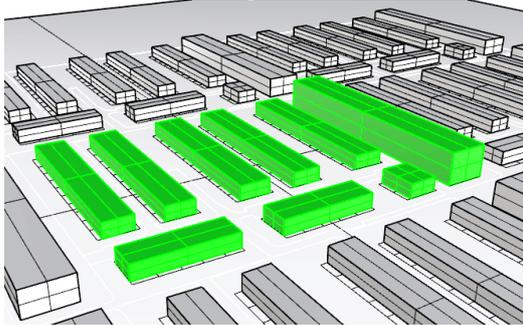


3.1.4. Comparação entre as classes tipo-morfológicas

A Classe 1 possui lotes pequenos e adjacentes, orientados a nordeste-sudoeste e a sudeste -noroeste. Seus cenários são compostos por lotes com taxas de ocupação que variam de 35% e 45% a 80% e 100% e por edifícios de 1 e 2 a 3 e 4 pavimentos. A classe 2 é composta por lotes grandes, distantes um do outro, e por lotes pequenos e adjacentes, orientados a nordeste-sudoeste e a sudeste -noroeste. Seus cenários são compostos por lotes com taxas de ocupação que variam de 50% a 100% e por edifícios de 1, 2 e 4 a 3, 4 e 9 pavimentos. Os lotes da Classe 3 são grandes e adjacentes, orientados a norte-sul. Seus cenários são compostos por lotes com taxas de ocupação que variam de 15% a 60% e por edifícios de 1 a 20 pavimentos.

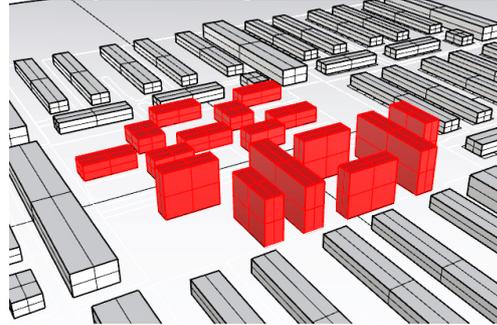
Na avaliação do desempenho das três classes, relacionam-se os níveis de irradiância, de iluminância e o potencial energético à forma de um dos cenários de cada classe, descritos na Tabela 28 e ilustrados nas figuras 90, 91 e 92. A forma desses cenários é configurada pelo coeficiente de aproveitamento e o número de pavimentos máximo.

Figura 90 – Perspectiva da Classe 1.



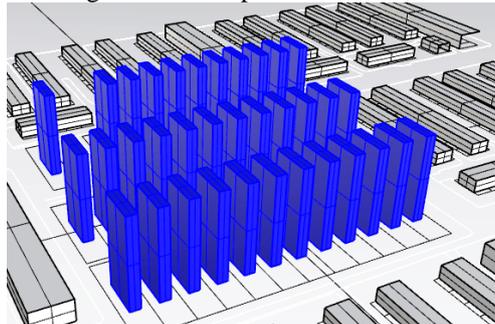
Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper).

Figura 91 – Perspectiva da Classe 2.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper).

Figura 92 – Perspectiva da Classe 3



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper).

Tabela 28 – Parâmetros de ocupação das três classes.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Taxa de ocupação	65% e 100%	100%	15%
Número de pavimentos	3 e 4	3, 4 e 9	20
Afastamentos	Sem afast. laterais	Sem afast. laterais	Todos os afast. proporcionais

Fonte: A autora.



Para avaliar o desempenho das classes, empregam-se quatro critérios de avaliação: a irradiância nas coberturas deve ser alta, valor acima de 1100 kWh/m².ano, que viabiliza a utilização de sistemas fotovoltaicos (MONTAVON, 2010); a irradiância nas fachadas deve ser pequena, objetivando-se diminuir a carga térmica nos ambientes internos; os níveis de iluminância devem ser maiores que os limites mínimos estabelecidos, garantindo-se uma adequada disponibilidade de iluminação natural nos ambientes; e a produção energética deve ter potencial de suprir a demanda energética.

Tabela 29 – Níveis de irradiância, iluminância e potencial energético para as três classes.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Irradiância nas coberturas por m ² (kWh/m ² .ano)	1559,49	1558,18	1561,22
Irradiância nas fachadas por m ² (kWh/m ² .ano)	204,17	249,80	221,24
Iluminância médias nas fachadas (lux)	5344	7130	6670
Produção > Consumo	Não	Não	Não

Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Tabela 30 – Avaliação da iluminância para as três classes.

Classe	Ilum. média nas fachadas nordeste (lux)	Ilum. média nas fachadas sudoeste (lux)	Ilum. média nas fachadas sudeste (lux)	Ilum. média nas fachadas noroeste (lux)	Ilum. média nas fachadas norte (lux)	Ilum. média nas fachadas sul (lux)	Ilum. média nas fachadas leste (lux)	Ilum. Média nas fachadas oeste (lux)
	>=8233	>=6733	>=7166	>=8966	>=9833	>=6800	>=7600	>=7466
< 8233	< 6733	< 7166	< 8966	< 9833	< 6800	< 7600	< 7466	
1	9419	9532	2437	2166	-	-	-	
2	6199	5426	9566	8638	-	-	-	
3	-	-	-	-	4143	4507	16950	

Legenda

	Valor igual ou acima do limite de iluminância
	Valor abaixo do limite de iluminância

Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Existe uma variação pouco significativa entre os resultados de irradiância anual nas coberturas metro quadrado das três classes, de até 0,19%. A Classe 3 (Vertical denso) recebe o maior valor de irradiação nas coberturas, seguida pela Classe 1 (Horizontal contínuo) e 2 (Horizontal rugoso). Especula-se que a classe 2 possua menores níveis, por haver diferença entre as alturas dos seus edifícios, gerando-se assim o sombreamento de um edifício sobre o outro. Considera-se que o entorno gera pouca interferência nos níveis de irradiância nas coberturas, por este ser composto por edificações baixas.

A Classe 2 recebe o maior valor de irradiação nas fachadas, seguida da Classe 3 e 1. Os valores de iluminância média (sem considerar as orientações das fachadas) também são



maiores na Classe 2, 3 e 1, respectivamente. Nota-se, todavia, que, de acordo com a Tabela 30, nenhuma das classes atinge o mínimo de iluminância recomendado. Nesse sentido, a disponibilidade de iluminação natural é baixa.

Indaga-se que a Classe 2 é a que tem os maiores níveis de irradiância e iluminância nas fachadas, por ter o maior espaçamento entre seus edifícios e por ter edificações de baixa e média altura, que geram um sombreamento moderado uma sobre a outra. Embora a Classe 1 possua edificações baixas, ela tem o menor espaçamento entre seus edifícios e, possivelmente por isso, recebe os menores níveis de irradiância e iluminância nas fachadas.

Nenhuma das classes apresenta potencial de produção energética suficiente para suprir a sua demanda. Os edifícios que tem menor área (menor número de pavimentos, menor taxa de ocupação e menor coeficiente de aproveitamento) possuem menor demanda energética, e, portanto, maior potencial de suprir a sua demanda com a produção. Tendo em vista que na Classe 1 os edifícios são mais baixos, essa classe possui o melhor desempenho nesse quesito, seguida da Classe 2 e 3, respectivamente.

Verifica-se, também, a viabilidade de instalação de sistema fotovoltaicos nas coberturas e fachadas para as três classes, apresentada na Tabela 31. Nesse quesito, todas as classes têm desempenho semelhante. Elas recebem irradiância acima de 1100 kWh/m².ano nas coberturas, valor mínimo considerado como viável para a instalação dos sistemas FV nas coberturas; e nenhuma recebe acima de 800 kWh/m².ano nas fachadas, valor mínimo considerado como viável para a instalação dos sistemas FV nas fachadas (MONTAVON, 2010). Ou seja, todas as classes manifestam potencial de utilização de sistemas fotovoltaicos em 100% de suas coberturas e em 0% de suas fachadas.

Tabela 31 – Viabilidade de utilização de sistemas fotovoltaicos nas coberturas e fachadas.

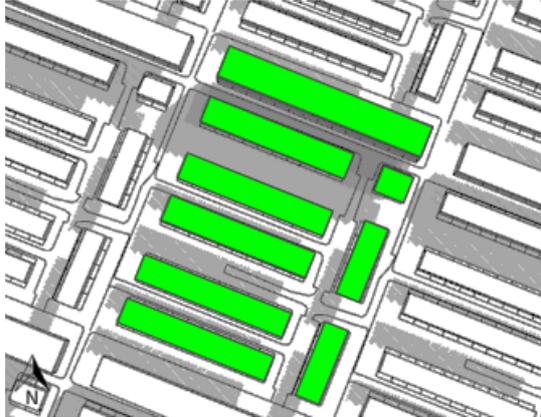
Classe	Nome	% de coberturas com irradiância viável para FV (acima de 1100 kWh/m ² .ano)	% de fachadas com irradiância viável para FV (acima de 800 kWh/m ² .ano)
1	Horizontal contínuo	100,00	0,00
2	Horizontal rugoso	100,00	0,00
3	Vertical denso	100,00	0,00

Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Em relação à projeção das sombras, apresentadas nas Figuras 93, 94 e 95, os edifícios da Classe 2 interferem pouco uns sobre os outros e geram menos obstruções à insolação a à iluminação do que nas demais classes, por apresentarem o maior espaçamento entre os edifícios. A Classe 3 apresenta lotes profundos e com pouco espaçamento entre si e edificações com as maiores alturas, que projetam as maiores sombras e geram bastante obstrução entre si. Os edifícios da Classe 1 possuem menor altura, entretanto, têm pouco afastamento entre si, o que produz um sombreamento moderado de um edifício sobre o outro.

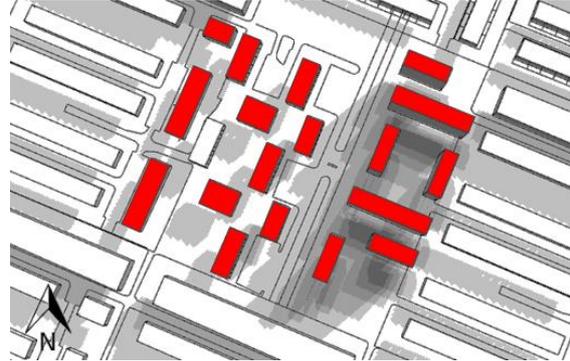


Figura 93 – Projeção de sombra da Classe 1, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 94 – Projeção de sombra da Classe 2, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 95 – Projeção de sombra da Classe 3, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.



Fonte: ilustração do autor (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Conclui-se que nenhum dos cenários avaliados possui disponibilidade de iluminação natural satisfatória. Tendo em vista que os cenários avaliados refletem o máximo potencial construtivo da LUOS (considerando-se o máximo número de pavimentos), verifica-se que a LUOS possa promover a construção de formas urbanas que pouco aproveitam o recurso solar disponível, sendo, portanto, possível a construção de formas urbanas mais adequadas ao contexto climático do Gama. Nesse sentido, com o objetivo de subsidiar a construção de formas urbanas mais apropriadas, considerando-se as estratégias propostas pelo trabalho em questão para o aproveitamento da energia solar, avaliam-se outros cenários permitidos pela LUOS.



3.2. Otimização das classes: A análise dos resultados

O processo de otimização compreende três análises: a análise da iluminância, análise da irradiância e a análise do potencial energético. Os cenários melhores classificados são considerados como otimizados.

3.2.1. Classe 1

Apresentam-se, na Tabela 32, os resultados obtidos para os cenários da Classe 1.

Tabela 32 – Resultados dos Cenários da Classe 1.

Cenários	Afast. Lateral	Taxa de ocupação			Número de pavimentos			Coeficiente de aproveitamento		
		RO1	RO2	CSIIR2	RO1	RO2	CSIIR2	RO1	RO2	CSIIR2
1	Com	35	35	45	1	1	2	0,35	0,35	0,9
2	Com	35	35	45	2	2	3	0,7	0,7	1,35
3	Com	35	35	45	3	3	4	1,05	1,05	1,8
4	Com	50	50	65	1	1	2	0,5	0,5	1,3
5	Com	50	50	65	2	2	3	1	1	1,95
6	Com	50	50	65	3	3	4	1,5	1,5	2,6
7	Com	65	65	100	1	1	2	0,65	0,65	2
8	Com	65	65	100	2	2	3	1,3	1,3	3
9	Com	65	65	100	3	3	4	1,95	1,95	4
10	Com	80	80	100	1	1	2	0,8	0,8	2
11	Com	80	80	100	2	2	4	1,6	1,6	4
12	Sem	35	35	45	1	1	2	0,35	0,35	0,9
13	Sem	35	35	45	2	2	3	0,7	0,7	1,35
14	Sem	35	35	45	3	3	4	1,05	1,05	1,8
15	Sem	50	50	65	1	1	2	0,5	0,5	1,3
16	Sem	50	50	65	2	2	3	1	1	1,95
17	Sem	50	50	65	3	3	4	1,5	1,5	2,6
18	Sem	65	65	100	1	1	2	0,65	0,65	2
19	Sem	65	65	100	2	2	3	1,3	1,3	3
20	Sem	65	65	100	3	3	4	1,95	1,95	4
21	Sem	80	80	100	1	1	2	0,8	0,8	2
22	Sem	80	80	100	2	2	4	1,6	1,6	4

Fonte: A autora.



Tabela 32 – Resultados dos Cenários da Classe 1 (continuação).

Cenários	Irradiância anual recebida nas coberturas por m2 (kWh/m2.ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas por m2 (kWh/m2.ano)	Iluminância anual nas fachadas nordeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudoeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas noroeste (lux)	Produção > Consumo
1	1558,40	286,65	10959	11226	7784	5904	Sim
2	1559,57	287,88	11880	10979	7590	5980	Sim
3	1558,61	276,21	11862	11164	6799	5624	Não
4	1559,71	266,99	11286	10661	6579	5094	Sim
5	1559,39	260,94	11747	10390	6380	4936	Sim
6	1559,56	243,35	10964	10663	5652	4444	Não
7	1560,31	211,74	10350	10223	3996	3458	Sim
8	1559,72	210,17	10675	9846	4176	3651	Sim
9	1560,15	199,46	10203	9564	3627	3532	Não
10	1557,79	199,87	10253	9889	3582	3105	Sim
11	1557,19	191,89	10401	10063	3255	2814	Sim
12	1560,78	237,90	10044	10330	2791	2505	Sim
13	1561,04	266,56	12685	11053	3053	2355	Sim
14	1560,32	270,38	11132	11631	3248	2763	Não
15	1559,18	186,68	10723	10567	1866	1585	Sim
16	1560,62	232,50	11857	11071	2485	2182	Sim
17	1559,16	224,62	11955	11020	2563	2254	Não
18	1559,17	173,72	7181	9348	1923	1525	Sim
19	1559,70	198,44	10408	9262	2259	2071	Sim
20	1559,49	204,17	9419	9532	2437	2166	Não
21	1559,71	148,11	9169	9897	1481	935	Sim
22	1557,92	163,86	11278	9526	1704	1327	Sim

Legenda

	Valor igual ou acima do limite de iluminância
	Valor abaixo do limite de iluminância

Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

- *Etapa 1 - Eliminatória: Análise das iluminâncias*

Verifica-se, a partir da Tabela 32, que nenhum dos cenários passa na análise de iluminâncias (associada à disponibilidade de iluminação natural). Embora as fachadas nordeste e sudoeste apresentem níveis satisfatórios de iluminância, as fachadas sudeste e noroeste não alcançam o nível mínimo exigido. Estas fachadas são majoritariamente laterais e especula-se que tenham pouca disponibilidade de iluminação natural por estarem muito próximas umas das outras.



Isso demonstra que, mesmo considerando-se pequenos valores para a taxa de ocupação e número de pavimentos, não é possível se obter uma iluminação natural satisfatória. Nesse sentido, ressalta-se que o desenho dos lotes desempenha um papel fundamental na construção de formas urbanas mais apropriadas, de acordo com o aproveitamento da energia solar. Para a Classe 1, a eficácia dos parâmetros de ocupação da LUOS não conseguiria anular os efeitos negativos decorrentes do desenho inadequado dos lotes.

- *Etapa 2 - Classificatória: Análise das irradiâncias*

Tendo em vista que nenhum cenário passou na etapa 1, a análise das irradiâncias (associada ao controle térmico e à produção energética) não se aplica.

- *Etapa 3: Análise do potencial energético*

Tendo em vista que nenhum cenário passou na etapa 1, a análise do potencial energético não se aplica.

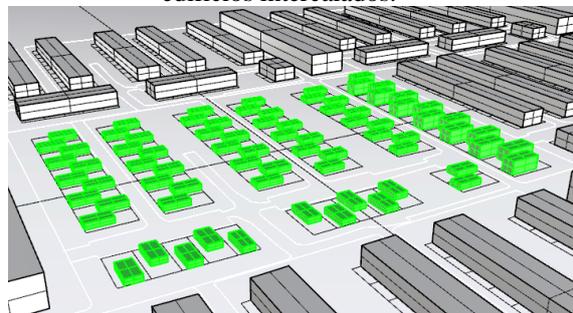
- *Conclusão*

De maneira geral, os cenários da Classe 1 têm um bom potencial energético, por possuir edifícios baixos (com menos área, que consumiriam pouco) e por receber altos níveis de irradiância nas coberturas (o que possibilitaria o uso dos painéis fotovoltaicos). Entretanto, eles possuem pouca disponibilidade de iluminação natural, uma vez que nenhum dos seus cenários obteve iluminância acima dos limites mínimos estabelecidos como satisfatórios. Sendo assim, nenhum dos seus cenários passaria, no processo da otimização.

Tendo em vista que os cenários não passaram devido aos níveis calculados para as fachadas sudeste e noroeste, que são majoritariamente laterais, testou-se uma situação em que os edifícios teoricamente teriam maior disponibilidade de iluminação natural nessas fachadas.

Modelou-se e simulou-se um cenário em que a posição dos edifícios é intercalada em relação aos lotes, sendo uns posicionados na frente do lote e uns no fundo, conforme ilustra a Figura 96. Escolheram-se, para a configuração deste cenário, as mesmas taxas de ocupação e número de pavimentos do cenário 1 da Tabela 32, que não passou na análise da iluminância.

Figura 96 – Perspectiva do cenário com os edifícios intercalados.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper).

Embora os resultados de iluminância tenham sido maiores que o do cenário 1, apresentado na Tabela 33, tal cenário não conseguiu atingir o nível mínimo exigido para as fachadas noroeste. Nesse sentido, reforça-se a importância da adequação do desenho dos lotes e a



necessidade de sua integração na definição dos parâmetros de ocupação. Verifica-se que a irradiância nas fachadas é maior que no cenário 1. Sendo assim, a posição intercalada dos edifícios em relação ao lote configura formas urbanas que promovem uma melhor iluminação natural, mas que também podem promover maiores níveis de irradiâncias recebidas nas fachadas.

Tabela 33 – Resultados do cenário com os edifícios intercalados.

Irradiância anual recebida nas coberturas por m2 (kWh/m2.ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas por m2 (kWh/m2.ano)	Iluminância anual nas fachadas nordeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudoeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas noroeste (lux)
1562,16	315,04	11400	11031	8839	7011

Fonte: A autora.

3.2.2. Classe 2

Apresentam-se, na Tabela 34, os resultados obtidos para os cenários da Classe 2.

Tabela 34 – Resultados dos Cenários da Classe 2.

Cenários	Afast. Lateral	Taxa de ocupação			Número de pavimentos			Coeficiente de aproveitamento		
		RE3	CSIIR2 (1)	CSIIR2 (2)	RE3	CSIIR2 (1)	CSIIR2 (2)	RE3	CSIIR2 (1)	CSIIR2 (2)
1	Com	50	50	50	4	1	2	2	0,5	1
2	Com	50	50	50	7	2	3	3,5	1	1,5
3	Com	50	50	50	9	3	4	4,5	1,5	2
4	Com	65	65	65	4	1	2	2,6	0,65	1,3
5	Com	65	65	65	7	2	3	4,55	1,3	1,95
6	Com	65	65	65	9	3	4	5,85	1,95	2,6
7	Com	80	80	80	4	1	2	3,2	0,8	1,6
8	Com	80	80	80	7	2	3	5,6	1,6	2,4
9	Com	80	80	80	9	3	4	7,2	2,4	3,2
10	Sem	50	50	50	4	1	2	2	0,5	1
11	Sem	50	50	50	7	2	3	3,5	1	1,5
12	Sem	50	50	50	9	3	4	4,5	1,5	2
13	Sem	65	65	65	4	1	2	2,6	0,65	1,3
14	Sem	65	65	65	7	2	3	4,55	1,3	1,95
15	Sem	65	65	65	9	3	4	5,85	1,95	2,6
16	Sem	80	80	80	4	1	2	3,2	0,8	1,6
17	Sem	80	80	80	7	2	3	5,6	1,6	2,4
18	Sem	80	80	80	9	3	4	7,2	2,4	3,2
19	Sem	100	100	100	4	1	2	4	1	2
20	Sem	100	100	100	7	2	3	7	2	3
21	Sem	100	100	100	9	3	4	9	3	4

Fonte: A autora.



Tabela 34 – Resultados dos Cenários da Classe 2 (continuação).

Cenários	Irradiância anual recebida nas coberturas por m2 (kWh/m2.ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas por m2 (kWh/m2.ano)	Iluminância anual nas fachadas nordeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudoeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas noroeste (lux)	Produção > Consumo
1	1560,45	340,04	9805	9563,52	11544	10349	Sim
2	1560,56	333,34	9894	8532,78	11678	10634	Não
3	1558,77	315,67	9037	7724,95	11132	10362	Não
4	1561,13	322,15	8930	8483,02	10229	11112	Sim
5	1561,05	317,98	9179	7584,55	10986	11167	Não
6	1560,28	300,65	8460	6704	10564	10851	Não
7	1559,10	277,82	6319	8075,68	9992	9575	Sim
8	1558,89	285,30	7509	7022,72	10699	10159	Não
9	1558,07	269,87	6341	6500	10171	10083	Não
10	1560,60	334,97	14779	7916,42	12213	11079	Sim
11	1560,03	339,48	9929	7448,16	12143	11597	Não
12	1559,65	326,60	9047	6899,97	11752	11474	Não
13	1560,00	303,50	8790	7814,71	11278	10302	Sim
14	1559,46	313,28	9167	7256,79	11735	11250	Não
15	1558,72	297,36	8433	6624	11427	10950	Não
16	1558,07	295,80	9357	7598,18	8586	9587	Sim
17	1558,37	304,20	9342	6866,61	9612	10293	Não
18	1557,14	283,97	8293	6151	9149	10155	Não
19	1560,24	273,03	7151	6840,12	10200	8573	Sim
20	1559,71	270,60	7261	6029	9913	9072	Não
21	1558,18	249,80	6199	5426	9566	8638	Não

Fonte: A autora.

- *Etapa 1 - Eliminatória: Análise das iluminâncias*

Verifica-se, a partir da Tabela 34, que 62% dos cenários passam na análise de iluminâncias (associada à disponibilidade de iluminação natural). São eliminados os cenários com as maiores taxas de ocupação e os cenários com taxas de ocupação intermediárias e com os maiores números de pavimentos. São eles: 6,7, 8, 9, 15, 18, 19, 20 e 21. Nota-se que os cenários sem afastamentos laterais possuem maiores níveis de iluminância que os cenários com afastamentos laterais.

Apresentam-se, na Tabela 35, os cenários que passaram na análise de iluminância.



Tabela 35 – Cenários que passaram na análise de iluminância.

Cenários	Irradiância anual recebida nas coberturas por m2 (kWh/m2.ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas por m2 (kWh/m2.ano)	Iluminância anual nas fachadas nordeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudoeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas noroeste (lux)	Produção > Consumo
1	1560,45	340,04	9805	9563,52	11544	10349	Sim
2	1560,56	333,34	9894	8532,78	11678	10634	Não
3	1558,77	315,67	9037	7724,95	11132	10362	Não
4	1561,13	322,15	8930	8483,02	10229	11112	Sim
5	1561,05	317,98	9179	7584,55	10986	11167	Não
10	1560,60	334,97	14779	7916,42	12213	11079	Sim
11	1560,03	339,48	9929	7448,16	12143	11597	Não
12	1559,65	326,60	9047	6899,97	11752	11474	Não
13	1560,00	303,50	8790	7814,71	11278	10302	Sim
14	1559,46	313,28	9167	7256,79	11735	11250	Não
16	1558,07	295,80	9357	7598,18	8586	9587	Sim
17	1558,37	304,20	9342	6866,61	9612	10293	Não

Fonte: A autora.

- *Etapa 2 - Classificatória: Análise das irradiâncias*

Dentre os cenários que passaram na análise de iluminância, classificam-se os que possuem melhor desempenho na análise das irradiâncias (associada ao controle térmico e à produção energética).

Tabela 36 – Classificação dos cenários que passaram na etapa 1.

Classificação	Cenários	Irradiância anual recebida nas coberturas (kWh/m2.ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas (kWh/m2.ano)	Iluminância anual nas fachadas nordeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudoeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas noroeste (lux)	Produção > Consumo
1º	16	1558,07	295,80	9357	7598,18	8586	9587	Sim
2º	13	1560,00	303,50	8790	7814,71	11278	10302	Sim
3º	17	1558,37	304,20	9342	6866,61	9612	10293	Não
4º	14	1559,46	313,28	9167	7256,79	11735	11250	Não
5º	3	1558,77	315,67	9037	7724,95	11132	10362	Não
6º	5	1561,05	317,98	9179	7584,55	10986	11167	Não
7º	4	1561,13	322,15	8930	8483,02	10229	11112	Sim
8º	12	1559,65	326,60	9047	6899,97	11752	11474	Não
9º	2	1560,56	333,34	9894	8532,78	11678	10634	Não
10º	10	1560,60	334,97	14779	7916,42	12213	11079	Sim
11º	11	1560,03	339,48	9929	7448,16	12143	11597	Não
12º	1	1560,45	340,04	9805	9563,52	11544	10349	Sim

Fonte: A autora.



De maneira geral, os cenários contendo edifícios com maior taxa de ocupação e menor número de pavimentos têm melhor classificação, conforme ilustra a Tabela 36. Tais cenários conseguem atingir o mínimo de iluminância exigido e recebem menos irradiância nas fachadas. Os cenários sem afastamentos laterais apresentam menores níveis de irradiância recebidos nas fachadas que os cenários com afastamentos laterais, sendo por isso, melhores classificados.

- *Etapa 3: Análise do potencial energético*

Dentre os cenários que passaram na análise da irradiância, aqueles com os edifícios com menor número de pavimentos possuem maior potencial energético. Isso acontece porque a área destes edifícios é menor, diminuindo-se desta maneira a demanda energética. Apresentam-se, na Tabela 37, os resultados mais bem classificados e que passam na análise do potencial energético.

Tabela 37 – Classificação dos cenários otimizados.

Classificação	Cenários	Irradiância anual recebida nas coberturas (kWh/m ² .ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas (kWh/m ² .ano)	Iluminância anual nas fachadas nordeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudoeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas noroeste (lux)	Produção > Consumo
1º	16	1558,07	295,80	9357	7598,18	8586	9587	Sim
2º	13	1560,00	303,50	8790	7814,71	11278	10302	Sim

Fonte: A autora.

- *Conclusão*

A análise resulta em dois cenários otimizados: 16 e 13, respectivamente, em ordem decrescente de desempenho. Estes cenários contêm edifícios sem afastamentos laterais e com poucos pavimentos, tendo o primeiro colocado 80% de taxa de ocupação e o segundo colocado, 65%.

De maneira geral, os cenários da Classe 2 têm uma adequada disponibilidade de iluminação natural (62% dos cenários passaram na análise das iluminâncias). Entretanto, tem-se potencial energético para suprir a demanda apenas nos cenários contendo edifícios com as menores alturas. Os cenários com edifícios de altura intermediária não são capazes de suprir sua demanda energética com a produção energética, por meio de painéis fotovoltaicos instalados na cobertura. Apenas os cenários contendo edifícios mais baixos conseguiriam produzir mais que a demanda energética. Os cenários sem afastamentos laterais recebem menos irradiância nas fachadas, sendo por isso, melhores classificados na análise da irradiância.

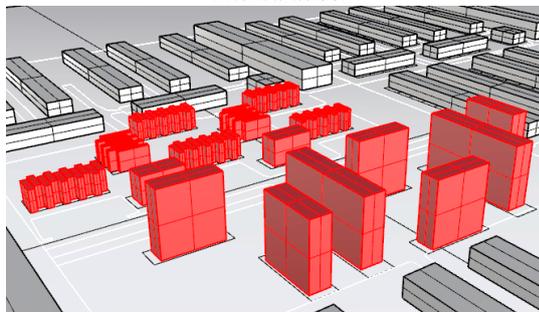
A fim de testar uma situação que teoricamente melhoraria a disponibilidade de iluminação natural, modelou-se e simulou-se um cenário em que a posição dos edifícios é intercalada em relação aos lotes, sendo uns posicionados na frente do lote e uns no fundo, conforme ilustra a Figura 97. Escolheram-se, para a configuração deste cenário, as mesmas taxas de ocupação e número de pavimentos do cenário 6 da Tabela 34, que não passou na análise da iluminância.



Verifica-se que os resultados de iluminância são maiores que o do cenário 6, apresentado na Tabela 34, e que o cenário contendo os edifícios intercalados conseguiria atingir o nível mínimo exigido para todas as fachadas.

Nota-se também que a irradiância recebida nas fachadas é maior nesse caso. Nesse sentido, a posição intercalada dos edifícios em relação ao lote configura formas urbanas que promovem uma melhor iluminação natural, mas que também podem promover maiores níveis de irradiância recebidos nas fachadas.

Figura 97 – Perspectiva do cenário com os edifícios intercalados.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper).

Tabela 38 – Resultados do cenário com os edifícios intercalados.

Irradiância anual recebida nas coberturas por m2 (kWh/m2.ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas por m2 (kWh/m2.ano)	Iluminância anual nas fachadas nordeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudoeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas noroeste (lux)
1558,44	294,68	8596	6936	10064	10358

Fonte: A autora.

3.2.3. Classe 3

Apresentam-se, na Tabela 39, os resultados obtidos para os cenários da Classe 3.

Tabela 39 – Resultados dos Cenários da Classe 3.

Cenários	Afastamentos	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Coefficiente de aproveitamento
1	Centro	15	1	0,15
2	Centro	15	5	0,75
3	Centro	15	10	1,5
4	Centro	15	15	2,25
5	Centro	15	20	3
6	Centro	30	1	0,3
7	Centro	30	5	1,5
8	Centro	30	10	3
9	Centro	45	1	0,45
10	Centro	45	5	2,25
11	Centro	60	1	0,6
12	Centro	60	5	3
13	Fundo	15	1	0,15
14	Fundo	15	5	0,75
15	Fundo	15	10	1,5
16	Fundo	15	15	2,25
17	Fundo	15	20	3



Cenários	Afastamentos	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Coefficiente de aproveitamento
18	Fundo	30	1	0,3
19	Fundo	30	5	1,5
20	Fundo	30	10	3
21	Fundo	45	1	0,45
22	Fundo	45	5	2,25
23	Fundo	60	1	0,6
24	Fundo	60	5	3

Fonte: A autora.

Tabela 39 – Resultados dos Cenários da Classe 3 (continuação).

Cenários	Irradiância anual recebida nas coberturas por m ² (kWh/m ² .ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas por m ² (kWh/m ² .ano)	Iluminância anual nas fachadas norte (lux)	Iluminância anual nas fachadas sul (lux)	Iluminância anual nas fachadas leste (lux)	Iluminância anual nas fachadas oeste (lux)	Produção > Consumo
1	1560,31	304,89	10125	7547	15767	13033	Sim
2	1561,11	277,21	6428	5742	18709	15836	Não
3	1560,86	244,31	4816	5218	18122	15444	Não
4	1561,29	233,03	4299	5004	17503	15136	Não
5	1561,22	221,24	4143	4507	16950	14570	Não
6	1560,42	341,84	11317	7677	15533	12356	Sim
7	1560,58	279,09	7643	5483	17949	14641	Não
8	1560,82	239,04	5748	4492	17251	14047	Não
9	1560,39	325,42	10606	7370	14655	12409	Sim
10	1560,71	245,17	6174	4545	16412	14258	Não
11	1560,29	295,46	8443	6896	15794	12271	Sim
12	1560,79	205,73	3860	3931	16531	13434	Não
13	1559,68	365,75	11448	9525	15530	11986	Sim
14	1560,20	312,50	9014	7375	16636	13688	Não
15	1560,58	269,06	6979	6364	15754	13080	Não
16	1560,25	255,43	6389	6002	15217	12826	Não
17	1560,95	241,26	6065	5428	14792	12323	Não
18	1560,80	316,85	10138	7385	14772	11596	Sim
19	1560,95	249,77	5996	4633	15586	11540	Não
20	1560,69	205,23	4808	4001	14464	11813	Não
21	1560,22	311,72	10687	6766	14159	11110	Sim
22	1560,81	225,20	6199	4234	14629	11508	Não
23	1560,91	287,63	9062	6054	15099	11676	Sim
24	1560,66	195,62	4264	3427	15177	12192	Não

Fonte: A autora.

- *Etapa 1 - Eliminatória: Análise das iluminâncias*

Verifica-se, a partir da Tabela 39, que 20% dos cenários passam na análise de iluminâncias (associada à disponibilidade de iluminação natural). São eliminados os



todos os cenários com mais de 1 pavimento, sendo estes: 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23 e 24.

Apresentam-se, na Tabela 40, os cenários que passaram na análise de iluminância.

Tabela 40 – Cenários que passaram na análise de iluminância.

Cenários	Irradiância anual recebida nas coberturas por m2 (kWh/m2.ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas por m2 (kWh/m2.ano)	Iluminância anual nas fachadas norte (lux)	Iluminância anual nas fachadas sul (lux)	Iluminância anual nas fachadas leste (lux)	Iluminância anual nas fachadas oeste (lux)	Produção > Consumo
1	1560,31	304,89	10125	7547	15767	13033	Sim
6	1560,42	341,84	11317	7677	15533	12356	Sim
9	1560,39	325,42	10606	7370	14655	12409	Sim
13	1559,68	365,75	11448	9525	15530	11986	Sim
18	1560,80	316,85	10138	7385	14772	11596	Sim

Fonte: A autora.

- *Etapa 2 - Classificatória: Análise das irradiâncias*

Apenas cenários contendo edifícios com menor número de pavimentos passam na análise de iluminância. Dentre estes cenários, os com a menor taxa de ocupação têm melhor classificação na análise das irradiâncias (associada ao controle térmico e à produção energética), conforme ilustra a Tabela 41. Tais cenários conseguem atingir o mínimo de iluminância exigido e recebem menos irradiância nas fachadas que os cenários com maior taxa de ocupação.

Tabela 41 – Classificação dos cenários que passaram na etapa 1.

Classificação	Cenários	Irradiância anual recebida nas coberturas (kWh/m2.ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas por (kWh/m2.ano)	Iluminância anual nas fachadas nordeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudoeste (lux)	Iluminância a anual nas fachadas sudeste (lux)	Iluminância a anual nas fachadas noroeste (lux)	Produção > Consumo
1º	1	1560,31	304,89	10125	7547	15767	13033	Sim
2º	18	1560,80	316,85	10138	7385	14772	11596	Sim
3º	9	1560,39	325,42	10606	7370	14655	12409	Sim
4º	6	1560,42	341,84	11317	7677	15533	12356	Sim
5º	13	1559,68	365,75	11448	9525	15530	11986	Sim

Fonte: A autora.

- *Etapa 3: Análise do potencial energético*

Todos os cenários que passaram na análise da irradiância possuem alto potencial energético, conforme demonstra a Tabela 42.



Tabela 42 – Classificação dos cenários que passaram na etapa 1.

Classificação	Cenários	Irradiância anual recebida nas coberturas (kWh/m ² .ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas por (kWh/m ² .ano)	Iluminância anual nas fachadas nordeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudoeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas noroeste (lux)	Produção > Consumo
1º	1	1560,31	304,89	10125	7547	15767	13033	Sim
2º	18	1560,80	316,85	10138	7385	14772	11596	Sim
3º	9	1560,39	325,42	10606	7370	14655	12409	Sim
4º	6	1560,42	341,84	11317	7677	15533	12356	Sim
5º	13	1559,68	365,75	11448	9525	15530	11986	Sim

Fonte: A autora.

- *Conclusão*

A análise resulta em cinco cenários otimizados: 1, 18, 9, 6 e 13, respectivamente, em ordem decrescente de desempenho. Todos os cenários otimizados contêm edifícios de 1 pavimento e com taxas de ocupação que variam de 15% a 45%. Os cenários com os edifícios localizados no centro são melhores classificados.

De maneira geral, os cenários da Classe 3 têm pouca disponibilidade de iluminação natural (20% dos cenários passaram na análise das iluminâncias) e possuem potencial energético para suprir a demanda apenas nos cenários contendo edifícios com 1 pavimento.

A fim de testar uma situação que teoricamente melhoraria a disponibilidade de iluminação natural, modelou-se e simulou-se um cenário em que a posição dos edifícios é intercalada em relação aos lotes, sendo uns posicionados na frente do lote e uns no fundo, conforme ilustra a Figura 98.

Figura 98 – Perspectiva do cenário com os edifícios intercalados.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper).

Escolheram-se, para a configuração deste cenário, as mesmas taxas de ocupação e número de pavimentos do cenário 2 da Tabela 39, que não passou na análise da iluminância.

Verifica-se que os resultados de iluminância são maiores que o do cenário 2, apresentado na Tabela 39, e que o cenário contendo os edifícios intercalados conseguiria atingir o nível mínimo exigido para todas as fachadas. Nota-se também que a irradiância recebida nas fachadas é maior nesse caso. Nesse sentido, a posição intercalada dos edifícios em relação ao lote configura formas urbanas que promovem uma melhor iluminação natural, mas que também promovem maiores níveis de irradiâncias recebidas nas fachadas.



Tabela 43 – Resultados do cenário com os edifícios intercalados.

Irradiância anual recebida nas coberturas por m2 (kWh/m2.ano)	Irradiância anual recebida nas fachadas por m2 (kWh/m2.ano)	Iluminância anual nas fachadas nordeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudoeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas sudeste (lux)	Iluminância anual nas fachadas noroeste (lux)
1560,72	321,00	15759	10108	16379	13306

Fonte: A autora.

3.2.4. Conclusão e considerações finais

Embora a definição dos parâmetros de ocupação otimizados dependa significativamente do desenho dos lotes, é possível perceber um padrão nos cenários avaliados. Para a Classe 1, que possui lotes próximos e pequenos, nenhum dos cenários avaliados atinge o mínimo de iluminância nas fachadas (associado à disponibilidade de iluminação natural), e, portanto, nenhum cenário é considerado como otimizado. Para a Classe 2, que possui lotes predominantemente mais afastados, os cenários otimizados contêm edifícios com poucos pavimentos (até 4), sem afastamentos e taxas de ocupação maiores (de até 80%). Para a Classe 3, que possui lotes próximos e maiores, os cenários otimizados contêm edifícios de 1 pavimento, localizados tanto no centro do lote quanto próximos ao fundo, e taxas de ocupação menores, que variam de 15% a 45%. Sendo assim, conclui-se que os cenários com menos pavimentos promovem um melhor aproveitamento da energia solar. Dentre estes cenários, se os lotes são predominantemente mais próximos uns dos outros, uma taxa de ocupação menor promove um melhor desempenho; enquanto que, se os lotes forem majoritariamente mais afastados uns dos outros, uma taxa de ocupação maior promove um melhor desempenho. No entanto, quando os lotes são pequenos e próximos, mesmo uma taxa de ocupação menor não é capaz de promover um nível de iluminância satisfatório nas fachadas, como é o caso da Classe 1.

A fim de garantir o adequado aproveitamento da energia solar⁵⁶, de acordo com as estratégias propostas pelo trabalho em questão, devem-se revisar os limites dos parâmetros de ocupação determinados pela LUOS. Em relação à Classe 2, a LUOS permite uma taxa de ocupação de até 100% e um número máximo de 3 pavimentos, para o uso CSIIR2 (1); uma taxa de ocupação de até 100% e um número máximo de 4 pavimentos, para o uso CSIIR2 (2) e uma taxa de ocupação de até 100% e um número máximo de 9 pavimentos, para o uso RE3 – Setor Central – Tipo B. Entretanto, para assegurar o melhor aproveitamento da energia solar, deve-se limitar o número de pavimentos dos usos CSIIR2 (1), CSIIR2 (2) e RE3 a 2, 3 e 7 pavimentos, respectivamente, se for considerada uma taxa de ocupação de 65%. Se a taxa de ocupação for de 50%, o número de pavimentos pode aumentar para 3, 4 e 9 pavimentos. Para a Classe 3, deve-se limitar o número de pavimentos do uso CSIIR2-Leste Industrial a apenas 1 pavimento (a LUOS permite até 20 pavimentos) e a taxa de ocupação a 45% (a

⁵⁶ Consideraram-se todos os cenários que passaram na análise de iluminância.



LUOS permite até 60%). Para a Classe 1, porém, não foi possível a adequação dos limites dos parâmetros de ocupação, a fim de que se aproveitar melhor a energia solar, uma vez que nenhum dos cenários avaliados passou na análise de iluminância. Isso demonstra que, além da adequação dos limites dos parâmetros de ocupação, é importante que o desenho dos lotes (tamanho, afastamentos e orientação) também contribua para o aproveitamento da energia solar. Nesse sentido, reforça-se a importância da adequação do desenho dos lotes e a necessidade de sua integração na definição dos parâmetros de ocupação.



3.3. A influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância dos edifícios

A fim de determinar a influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância nas coberturas e fachadas e iluminância nas fachadas, calcula-se a variação percentual entre os resultados de cenários com taxas de ocupação diferentes e afastamentos e número de pavimentos iguais. Comparam-se os resultados, analisam-se os padrões de comportamento e conclui-se sobre as relações entre a taxa de ocupação e os níveis de irradiância e iluminância.

3.3.1. Classe 1

Para a Classe 1, comparam-se os resultados dos cenários com taxa de ocupação de 35% e 45% aos cenários com taxa de ocupação de 50% a 65%; os resultados dos cenários com taxa de ocupação de 50% e 65% aos dos cenários com 65% e 100%, e, por fim, os resultados dos cenários com 65% e 100% aos dos cenários com 80% e 100%. Objetiva-se mensurar o impacto do aumento da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância. A Tabela 44 demonstra as variações resultantes entre as irradiâncias e iluminâncias médias, para as fachadas nordeste, sudoeste, sudeste e noroeste. O resultado positivo representa que houve aumento da variação e o negativo, que houve redução. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.

Na Tabela 45, agregam-se os resultados da Tabela 44, com o objetivo de identificar as tendências das relações entre a taxa de ocupação e os níveis de irradiância e de iluminância. Tendo em vista que foi percebida uma diferença de comportamento entre os cenários com e sem afastamentos laterais, a tabela foi dividida de acordo com a presença ou ausência de afastamentos laterais. Os valores referentes ao aumento da variação com o aumento da taxa de ocupação foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.



Tabela 44 – Cálculo da influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1.

Taxa de ocupação	Afast. Lateral	Pavimentos	Variação entre Irradiância anual nas coberturas (%)	Variação entre Irradiância anual nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste (%)
35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	Com	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	0,084	-6,859	2,988	-5,033	-15,474	-13,711
	Com	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	-0,012	-9,358	-1,117	-5,359	-15,941	-17,460
	Com	3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	0,061	-11,897	-7,565	-4,486	-16,875	-20,979
	Sem	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	-0,103	-21,530	6,760	2,294	-33,135	-36,73
	Sem	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	-0,027	-12,778	-6,525	0,169	-18,603	-7,317
	Sem	3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	-0,074	-16,924	7,393	-5,255	-21,085	-18,422
Máxima variação			-0,103	-21,530	-7,565	-5,359	41,708	65,027
50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	Com	1 (RO1 e RO2; 2 (CSIIR2)	0,038	-20,694	-8,289	-4,109	-39,260	-32,128
	Com	2 (RO1 e RO2; 3 (CSIIR2)	0,021	-19,457	-9,127	-5,235	-34,540	-26,026
	Com	3 (RO1 e RO2; 4 (CSIIR2)	0,038	-18,036	-6,946	-10,313	-35,827	-20,522
	Sem	1 (RO1 e RO2; 2 (CSIIR2)	-0,001	-6,942	-33,027	-11,535	3,038	-3,822
	Sem	2 (RO1 e RO2; 3 (CSIIR2)	-0,059	-14,649	-12,219	-16,347	-9,090	-5,106
	Sem	3 (RO1 e RO2; 4 (CSIIR2)	0,021	-9,104	-21,207	-13,505	-4,899	-3,881
Máxima variação			-0,059	-20,694	-33,027	-16,347	-39,260	-32,128
65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 80% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	Com	1 (RO1 e RO2; 2 (CSIIR2)	-0,162	-5,606	-0,940	-3,268	-10,374	-10,209
	Sem	1 (RO1 e RO2; 2 (CSIIR2)	0,035	-14,742	27,675	5,868	-22,963	-38,654
Máxima variação			-0,162	-17,426	27,675	5,868	-24,570	-38,654

Fonte: A autora.



Tabela 45 – Agrupamento dos resultados da Tabela 37.

Taxa de ocupação	Afast. Lateral	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste
35% e 45% X 50% e 65%	Com	↑	↓	↓	↓	↓	↓
50% e 65% X 65% e 100%	Com	↑	↓	↓	↓	↓	↓
65% e 100% X 80% e 100%	Com	↓	↓	↓	↓	↓	↓
35% e 45% X 50% e 65%	Sem	↓	↓	↑	↑	↓	↓
50% e 65% X 65% e 100%	Sem	↓	↓	↓	↓	↓	↓
65% e 100% X 80% e 100%	Sem	↑	↓	↑	↑	↓	↓
Total	Com/ Sem	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

↑	Aumento da variação (%)	↓	Redução da variação (%)	-	Inconclusivo
---	-------------------------	---	-------------------------	---	--------------

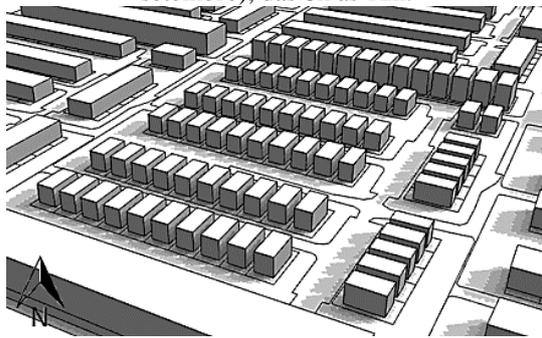
Fonte: A autora.

Analisando-se a Tabela 45, é possível chegar a algumas conclusões. Verifica-se, por exemplo, que não há relação significativa entre a taxa de ocupação e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classe 1. Nota-se também que a influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância recebidos na cobertura é pequena, tendo em vista que o resultado de irradiância anual por metro quadrado nas coberturas varia pouco, de cenário para cenário, sendo a máxima variação registrada de aproximadamente 0,16%.

De maneira geral, à medida em que a taxa de ocupação aumenta, diminuem-se os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas. Isso provavelmente acontece porque, aumentando-se a taxa de ocupação, diminuem-se os afastamentos entre os edifícios e, conseqüentemente, aumenta-se a interferência da projeção de sombra de um edifício sobre o outro, o que diminui os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas, conforme demonstram as figuras a seguir. A Figura 99 representa a projeção de sombras de um dos cenários com afastamentos laterais e com lotes com taxa de ocupação de 50% e 65%; e, a Figura 100 representa um dos cenários com afastamentos laterais e com taxa de ocupação de 65% e 100%. Elas exemplificam que, quando se aumenta a taxa de ocupação, diminuem-se os afastamentos, o que leva ao aumento do sombreamento de um edifício sobre o outro e, conseqüentemente, à redução dos níveis de irradiância e iluminância.

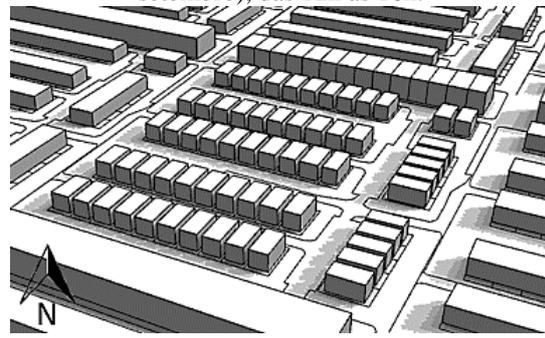


Figura 99 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 100 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Entretanto, há uma exceção nos cenários sem afastamentos laterais: os cenários contendo edifícios com taxas de ocupação de 80% e 100% possuem maiores níveis de iluminância do que os cenários contendo edifícios com taxas de ocupação de 65% e 100%. Especula-se que esse aumento possa ser resultante da radiação refletida pelas fachadas.

3.3.2. Classe 2

Para a Classe 2, comparam-se os resultados dos cenários com taxa de ocupação de 50% aos cenários com taxa de ocupação de 65%; os resultados dos cenários com taxa de ocupação de 65% aos cenários com 80%, e os resultados dos cenários com 80% aos cenários com 100%. Objetiva-se mensurar o impacto do aumento da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância. A Tabela 46 demonstra as variações resultantes entre as irradiâncias e iluminâncias médias, para as fachadas nordeste, sudoeste, sudeste e noroeste. O resultado positivo representa que houve aumento da variação e o negativo, que houve redução. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.

Na Tabela 47, agregam-se os resultados da Tabela 46, com o objetivo de identificar as tendências das relações entre a taxa de ocupação e os níveis de irradiância e de iluminância. Tendo em vista que foi percebida uma diferença de comportamento entre os cenários com e sem afastamentos laterais, a tabela foi dividida de acordo com a presença ou ausência de afastamentos laterais. Os valores referentes ao aumento da variação com o aumento da taxa de ocupação foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.



Tabela 46 – Cálculo da influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2.

Taxa de ocupação	Afast. Lateral	Pavimentos	Variação entre Irradiância anual nas coberturas (%)	Variação entre Irradiância anual nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste (%)
50% X 65%	Com	1 (CSIIR-tipo1) e 2 (CSIIR2-tipo2) e 4 (RE3-tipoB)	0,044	-5,261	-8,921	-11,298	-11,392	7,378
	Com	2 (CSIIR-tipo1) e 3 (CSIIR2-tipo2) e 7 (RE3-tipoB)	0,031	-4,608	-7,222	-11,113	-5,925	5,013
	Com	3 (CSIIR-tipo1) e 4 (CSIIR2-tipo2) e 9 (RE3-tipoB)	0,097	-4,758	-6,381	-13,214	-5,099	4,722
	Sem	1 (CSIIR-tipo1) e 2 (CSIIR2-tipo2) e 4 (RE3-tipoB)	-0,039	-9,395	-40,520	-1,285	-7,653	-7,011
	Sem	2 (CSIIR-tipo1) e 3 (CSIIR2-tipo2) e 7 (RE3-tipoB)	-0,037	-7,718	-7,674	-2,569	-3,363	-2,987
	Sem	3 (CSIIR-tipo1) e 4 (CSIIR2-tipo2) e 9 (RE3-tipoB)	-0,060	-8,953	-6,783	-3,994	-2,771	-4,570
Máxima variação			0,097	-9,395	-40,520	-13,214	-11,392	7,378
65% X 80%	Com	1 (CSIIR-tipo1) e 2 (CSIIR2-tipo2) e 4 (RE3-tipoB)	-0,130	-13,761	-29,239	-4,802	-2,312	-13,836
	Com	2 (CSIIR-tipo1) e 3 (CSIIR2-tipo2) e 7 (RE3-tipoB)	-0,138	-10,277	-18,201	-7,408	-2,619	-9,028
	Com	3 (CSIIR-tipo1) e 4 (CSIIR2-tipo2) e 9 (RE3-tipoB)	-0,142	-10,238	-25,046	-3,042	-3,724	-7,083
	Sem	1 (CSIIR-tipo1) e 2 (CSIIR2-tipo2) e 4 (RE3-tipoB)	-0,124	-2,537	6,451	-2,771	-23,866	-6,939
	Sem	2 (CSIIR-tipo1) e 3 (CSIIR2-tipo2) e 7 (RE3-tipoB)	-0,070	-2,898	1,910	-5,377	-18,087	-8,506
	Sem	3 (CSIIR-tipo1) e 4 (CSIIR2-tipo2) e 9 (RE3-tipoB)	-0,101	-4,503	-1,663	-7,144	-19,931	-7,256
Máxima variação			-0,142	-13,761	-29,239	-7,408	-23,866	-13,836
80% X 100%	Com	1 (CSIIR-tipo1) e 2 (CSIIR2-tipo2) e 4 (RE3-tipoB)	0,073	-1,724	13,167	-15,299	2,077	-10,464
	Com	2 (CSIIR-tipo1) e 3 (CSIIR2-tipo2) e 7 (RE3-tipoB)	0,052	-5,152	-3,298	-14,150	-7,338	-10,692
	Com	3 (CSIIR-tipo1) e 4 (CSIIR2-tipo2) e 9 (RE3-tipoB)	0,007	-7,436	-2,239	-16,523	-5,940	-14,327
	Sem	1 (CSIIR-tipo1) e 2 (CSIIR2-tipo2) e 4 (RE3-tipoB)	0,139	-7,698	-23,575	-9,977	18,794	-10,582
	Sem	2 (CSIIR-tipo1) e 3 (CSIIR2-tipo2) e 7 (RE3-tipoB)	0,086	-11,045	-22,277	-12,199	3,135	-11,862
	Sem	3 (CSIIR-tipo1) e 4 (CSIIR2-tipo2) e 9 (RE3-tipoB)	0,067	-12,033	-25,244	-11,786	4,561	-14,940
Máxima variação			0,139	-12,033	-25,244	-11,786	4,561	-14,940

Fonte: A autora.



Tabela 47 – Agrupamento dos resultados da Tabela 46.

Taxa de ocupação	Afast.	Variaçã o entre Irrad. nas cobertur as	Variaçã o entre Irrad. nas fachadas	Variaçã o entre Illum. média nas fachadas nordeste	Variaçã o entre Illum. média nas fachadas sudoeste	Variaçã o entre Illum. média nas fachadas sudeste	Variaçã o entre Illum. média nas fachadas noroeste
50% X 65%	Com	↑	↓	↓	↓	↓	↑
65% X 80%	Com	↓	↓	↓	↓	↓	↓
80% X 100%	Com	↑	↓	↓	↓	↓	↓
50% X 65%	Sem	↓	↓	↓	↓	↓	↓
65% X 80%	Sem	↓	↓	↑	↓	↓	↓
80% X 100%	Sem	↑	↓	↓	↓	↑	↓
Total	Com/Sem	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

↑ Aumento da variação (%)
 ↓ Redução da variação (%)
 - Inconclusivo

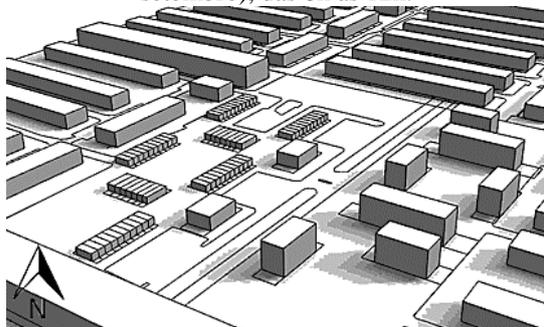
Fonte: A autora.

Verifica-se, a partir da Tabela 47, que não há relação significativa entre a taxa de ocupação e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classe 2. Nota-se também que a influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância recebidos na cobertura é pequena, tendo em vista que o resultado de irradiância anual por metro quadrado nas coberturas varia pouco, de cenário para cenário, sendo a máxima variação registrada de aproximadamente 0,14%.

De maneira geral, à medida em que a taxa de ocupação aumenta, diminuem-se os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas. Isso provavelmente acontece porque, aumentando-se a taxa de ocupação, diminuem-se os afastamentos entre os edifícios e, conseqüentemente, aumenta-se a interferência da projeção de sombra de um edifício sobre o outro, o que diminui os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas, conforme demonstram as figuras a seguir. A Figura 99 representa a projeção de sombras de um dos cenários sem afastamentos laterais e com lotes com taxa de ocupação de 65%; e, a Figura 102 representa um dos cenários sem afastamentos laterais e com taxa de ocupação de 80%. Elas exemplificam que, quando se aumenta a taxa de ocupação, diminuem-se os afastamentos, o que leva ao aumento do sombreamento de um edifício sobre o outro e, conseqüentemente, à redução dos níveis de irradiância e iluminância.

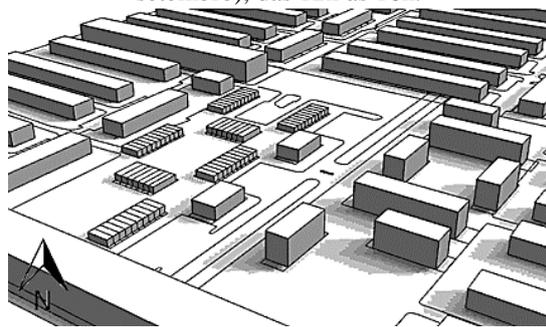


Figura 101 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 102 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Entretanto, existem exceções tanto nos cenários com afastamentos laterais, quanto nos cenários sem afastamentos laterais. Dentre os cenários com afastamentos laterais, os cenários contendo edifícios com taxas de ocupação de 65% possuem maiores níveis de iluminância nas fachadas noroeste do que os cenários contendo edifícios com taxas de ocupação de 50%. Dentre os cenários sem afastamentos laterais, os cenários contendo edifícios com taxas de ocupação de 100% possuem maiores níveis de iluminância nas fachadas sudeste do que os cenários contendo edifícios com taxas de ocupação de 80%. Especula-se que esse aumento possa ser resultante da radiação refletida pelas fachadas.

3.3.4. Classe 3

Para a Classe 3, comparam-se os resultados dos cenários com taxa de ocupação de 15% aos cenários com taxa de ocupação de 30%; os resultados dos cenários com taxa de ocupação de 30% aos dos cenários com 45%, e os resultados dos cenários com 45% aos dos cenários com 60%. Objetiva-se mensurar o impacto do aumento da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância. A Tabela 48 demonstra as variações resultantes entre as irradiâncias e iluminâncias médias, para as fachadas norte, sul, leste e oeste. O resultado positivo representa que houve aumento da variação e o negativo, que houve redução. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.

Na tabela 49, agregam-se os resultados da Tabela 48, com o objetivo de identificar as tendências das relações entre a taxa de ocupação e os níveis de irradiância e de iluminância. Tendo em vista que foi percebida uma diferença de comportamento entre os cenários com e sem afastamentos laterais, a tabela foi dividida de acordo com a presença ou ausência de afastamentos laterais. Os valores referentes ao aumento da variação com o aumento da taxa de ocupação foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.



Tabela 48 – Cálculo da influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3.

Taxa de ocupação	Afast. Lateral	Pavimentos	Varição entre Irradiância anual nas coberturas (%)	Varição entre Irradiância anual nas fachadas (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas nordeste (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudoeste (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudeste (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas noroeste (%)
15% X 30%	Centro	1	0,007	12,119	11,771	1,725	-1,482	-5,196
	Centro	5	-0,034	0,678	18,913	-4,503	-4,061	-7,541
	Centro	10	-0,003	-2,157	19,356	-13,912	-4,805	-9,044
	Fundo	1	0,072	-13,370	-11,445	-22,468	-4,882	-3,256
	Fundo	5	0,048	-20,074	-33,479	-37,184	-6,312	-15,692
	Fundo	10	0,007	-23,723	-31,111	-37,123	-8,190	-9,688
Máxima variação			0,072	-23,723	34,300	-37,184	-8,190	-15,692
30% X 45%	Centro	1	-0,002	-4,803	-6,288	-4,002	-5,652	0,433
	Centro	5	0,008	-12,154	-19,226	-17,108	-8,560	-2,616
	Fundo	1	-0,037	-1,619	5,417	-8,386	-4,148	-4,196
	Fundo	5	-0,009	-9,837	3,374	-8,612	-6,143	-0,277
Máxima variação			-0,037	-12,154	-19,226	-17,108	-8,560	-4,196
45% X 60%	Centro	1	-0,006	-9,207	-20,387	-6,439	7,767	-1,116
	Centro	5	0,005	-16,087	-37,482	-13,513	0,721	-5,779
	Fundo	1	0,044	-7,728	-15,207	-10,517	6,635	5,100
	Fundo	5	-0,010	-13,135	-31,212	-19,041	3,744	5,952
Máxima variação			0,044	-16,087	-37,482	-19,041	7,767	5,952

Fonte: A autora.



Tabela 49 – Agrupamento dos resultados da Tabela 48.

Taxa de ocupação	Afast.	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas oeste
15% X 30%	Centro	↓	↑	↑	↓	↓	↓
30% X 45%	Centro	-	↓	↓	↓	↓	-
45% X 60%	Centro	-	↓	↓	↓	↑	↓
15% X 30%	Fundo	↑	↓	↓	↓	↓	↓
30% X 45%	Fundo	↓	↓	↑	↓	↓	↓
45% X 60%	Fundo	-	↓	↓	↓	↑	↑
Total	Centro/Fundo	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

↑	Aumento da variação (%)	↓	Redução da variação (%)	-	Inconclusivo
---	-------------------------	---	-------------------------	---	--------------

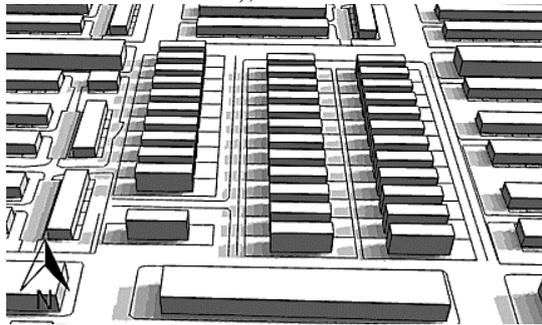
Fonte: A autora.

Verifica-se, a partir da Tabela 49, que não há relação significativa entre a taxa de ocupação e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classe 3. Nota-se também que a influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância recebidos na cobertura é pequena, tendo em vista que o resultado de irradiância anual por metro quadrado nas coberturas varia pouco, de cenário para cenário, sendo a máxima variação registrada de aproximadamente 0,07%.

De maneira geral, à medida em que a taxa de ocupação aumenta, diminuem-se os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas. Isso provavelmente acontece porque, aumentando-se a taxa de ocupação, diminuem-se os afastamentos entre os edifícios e, conseqüentemente, aumenta-se a interferência da projeção de sombra de um edifício sobre o outro, o que diminui os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas, conforme demonstram as figuras a seguir. A Figura 103 representa a projeção de sombras de um dos cenários com taxa de ocupação de 30%; e, a Figura 104 representa um dos cenários com taxa de ocupação de 45%. Elas exemplificam que, quando se aumenta a taxa de ocupação, diminuem-se os afastamentos, o que leva ao aumento do sombreamento de um edifício sobre o outro e, conseqüentemente, à redução dos níveis de irradiância e iluminância.

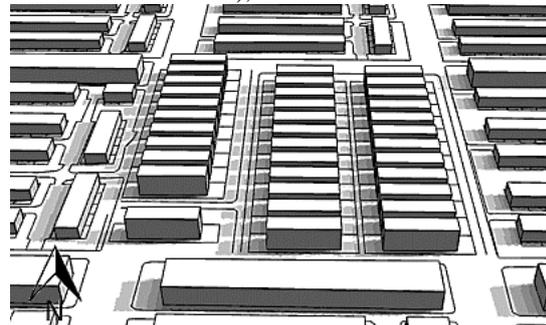


Figura 103 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 104 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Entretanto, existem exceções tanto nos cenários com afastamentos laterais, quanto nos cenários sem afastamentos laterais, representadas em verde na Tabela 49. Especula-se que o aumento dos níveis de irradiância e de iluminância decorrente do aumento da taxa de ocupação possa ser resultante da radiação refletida pelas fachadas.

3.3.5. Conclusão

Verifica-se que a influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância segue o mesmo padrão de comportamento identificado nas Classes 1, 2 e 3, conforme demonstra a Tabela 50.

Tabela 50 – Resumo dos resultados da influência da taxa de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância.

Classe	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste / norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste / sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste / leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste / oeste
Classe 1	-	↓	↓	↓	↓	↓
Classe 2	-	↓	↓	↓	↓	↓
Classe 3	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

↑ Aumento da variação (%)
 ↓ Redução da variação (%)
 - Inconclusivo

Fonte: A autora.

Não há relação significativa entre a taxa de ocupação e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para nenhuma das classes. Entretanto, constata-se que, de maneira geral, à medida em que a taxa de ocupação aumenta, diminuem-se os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas. Isso provavelmente acontece porque, aumentando-se a taxa de ocupação, diminuem-se os afastamentos entre os edifícios e, conseqüentemente, aumenta-



se a interferência da projeção de sombra de um edifício sobre o outro, o que diminui os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas.

A Tabela 51 apresenta as máximas variações encontradas nas três classes.

Tabela 51 – Máximas variações da taxa de ocupação.

Classe	Varição entre Irrad. nas coberturas (%)	Varição entre Irrad. nas fachadas (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas nordeste* / norte** (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudoeste* / sul** (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudeste* / leste** (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas noroeste* / oeste** (%)
Classe 1: Horizontal contínuo (intervalo aprox. de 15%)	-0,162	-21,530	-33,027	-16,347	41,708	65,027
Classe 2: Horizontal rugoso (intervalo de 15%)	-0,142	-13,761	-40,520	-16,523	-23,866	-14,940
Classe 3: Vertical denso (intervalo de 15%)	0,072	-23,723	-37,482	-37,184	-8,560	-15,692

* Aplica-se à Classe 1 e 2.

** Aplica-se à Classe 3.

Fonte: A autora.

É possível comparar o resultado das três classes, pois foi considerado um intervalo semelhante entre os valores de taxa de ocupação dos cenários das Classes 1, 2 e 3⁵⁷. De maneira geral, nota-se que a taxa de ocupação influencia pouco na irradiância anual recebida pelas coberturas das Classes 1, 2 e 3, sendo a máxima variação verificada de 0,16%. Entretanto, provoca-se uma mudança significativa, de até 23,72%, nos níveis de irradiância anual nas fachadas, principalmente nas Classes 1 e 3. Em relação aos níveis de iluminância, constata-se que as fachadas sudeste e noroeste são as mais influenciadas pela taxa de ocupação, na Classe 1; que as fachadas nordeste são as que mais são influenciadas, na Classe 2; e que as fachadas norte e sul são as que mais são influenciadas, na Classe 3. As fachadas mais influenciadas pela variação da taxa de ocupação são as que possuem menores afastamentos em relação aos edifícios adjacentes. Com o aumento da taxa de ocupação, reduz-se significativamente a disponibilidade de radiação e iluminação natural nesses casos.

⁵⁷ Considerou-se uma variação de 15% de taxa de ocupação entre os cenários das Classes 2 e 3. Entretanto, a Classe 1 possui mais de um uso e, tendo em vista que as variações são proporcionais ao limite máximo de ocupação estabelecido pela LUOS para cada uso, a Classe 1 caracteriza-se por dois valores diferentes de taxa de ocupação por cenário. Nesse sentido, utilizou-se um valor aproximado de taxa de ocupação, de 15%.



3.4. A influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância dos edifícios

A fim de determinar a influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância nas coberturas e fachadas e iluminância nas fachadas, calcula-se a variação percentual entre os resultados de cenários com número de pavimentos diferentes e afastamentos e taxas de ocupação iguais. Comparam-se os resultados, analisam-se os padrões de comportamento e conclui-se sobre as relações entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância e iluminância.

3.4.1. Classe 1

Para a Classe 1, comparam-se os resultados dos cenários com 1 e 2 pavimentos aos dos cenários com 2 e 3; e os resultados dos cenários com 2 e 3 pavimentos aos dos cenários com 3 e 4. Objetiva-se mensurar o impacto do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância. A Tabela 52 demonstra as variações resultantes entre as irradiâncias anuais na cobertura e nas fachadas e entre as iluminâncias médias, para as fachadas nordeste, sudoeste, sudeste e noroeste. O resultado positivo representa que houve aumento da variação e o negativo, que houve redução. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.

Na Tabela 53, agregam-se os resultados da Tabela 52, com o objetivo de identificar as tendências das relações entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância e de iluminância. Tendo em vista que foi percebida uma diferença de comportamento entre os cenários com e sem afastamentos laterais, a tabela foi dividida de acordo com a presença ou ausência de afastamentos laterais. Os valores referentes ao aumento da variação com o aumento do número de pavimentos foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.



Tabela 52 – Cálculo da influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1.

Pavimentos	Afast. Lateral	Taxa de ocupação	Variação entre Irradiância anual nas coberturas (%)	Variação entre Irradiância anual nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste (%)
1 (RO1 e RO2) e 2(CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	Com	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	0,075	0,429	8,407	-2,206	-2,492	1,295
	Com	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	-0,021	-2,266	4,086	-2,542	-3,031	-3,106
	Com	65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	-0,038	-0,741	3,135	-3,687	4,504	5,606
	Com	80% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	-0,039	-3,993	1,441	1,753	-9,106	-9,365
	Sem	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	0,017	12,047	26,294	6,997	9,38	-6,03
	Sem	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	0,092	24,545	10,578	4,774	33,152	37,664
	Sem	65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	0,034	14,230	44,933	-0,926	17,480	35,825
	Sem	80% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	-0,115	10,634	23,010	-3,742	15,028	41,878
Máxima variação			-0,115	24,545	44,933	6,997	33,152	37,664
2 (RO1 e RO2) e 3(CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	Com	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	-0,062	-4,054	-0,153	1,689	-10,415	-5,960
	Com	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	0,011	-6,741	-6,663	2,628	-11,410	-9,969
	Com	65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	0,028	-5,096	-4,423	-2,872	-13,151	-3,270
	Sem	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	-0,046	1,433	-12,242	5,236	6,382	17,333
	Sem	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	-0,094	-3,389	0,825	-0,462	3,139	3,274
	Sem	65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	-0,013	2,888	-9,498	2,919	7,893	4,607
Máxima variação			-0,094	-6,741	-12,242	5,236	-13,151	17,333

Fonte: A autora.



Tabela 53 – Agrupamento dos resultados da Tabela 52.

Pavimentos	Afast. Lateral	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste
1 e 2 X 2 e 3	Com	↓	↓	↑	↓	↓	↑
2 e 3 X 3 e 4	Com	↑	↓	↓	↑	↓	↓
1 e 2 X 2 e 3	Sem	↑	↑	↑	-	↑	↑
2 e 3 X 3 e 4	Sem	↓	↑	↓	↑	↑	↑
Total	Com/Sem	-	-	-	-	-	-

Legenda

↑ Aumento da variação (%)	↓ Redução da variação (%)	- Inconclusivo
--	--	--

Fonte: A autora.

Verifica-se, a partir da Tabela 53, que não há relação significativa entre a irradiância anual nas coberturas por metro quadrado e o número de pavimentos, em nenhum dos casos. Entretanto, de maneira geral, os cenários com afastamentos laterais apresentam redução da irradiância e iluminância nas fachadas com o aumento do número de pavimentos, enquanto os cenários sem afastamentos laterais apresentam aumento da irradiância e iluminância nas fachadas com o aumento do número de pavimentos.

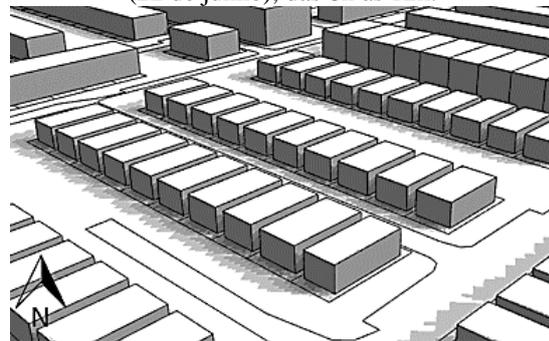
A fim de compreender tal comportamento, simulou-se o desempenho de um edifício isolado com orientações nordeste, sudoeste, sudeste e noroeste. Notou-se que o aumento de um pavimento no edifício em questão promove um pequeno aumento de 7% da irradiância anual nas fachadas por metro quadrado, provavelmente decorrente da radiação refletida pelo piso⁵⁸. Ou seja, quando os edifícios próximos e do entorno são desconsiderados, nota-se que o valor de irradiância anual nas fachadas por metro quadrado aumenta com o aumento do número de pavimentos.

⁵⁸ Quando o piso é desconsiderado, nota-se que o aumento de um pavimento não promove uma alteração significativa da irradiância anual nas fachadas por metro quadrado. Ou seja, quando os edifícios próximos e do entorno são desconsiderados, o valor de irradiância anual nas fachadas por metro quadrado não muda com o aumento do número de pavimentos, na situação estudada.



Para entender a diferença de comportamento entre os cenários com e sem afastamentos laterais, também é necessário estudar a forma desses cenários. Além da presença dos afastamentos laterais, a forma dos cenários com afastamentos laterais se difere da forma dos cenários sem afastamentos por apresentar maior área de fachadas laterais e menor área de fachadas frontais e de fundo. Isso acontece porque considerou-se que ambos cenários teriam a mesma taxa de ocupação. Nos cenários com afastamentos laterais, os afastamentos frontais e de fundo são menores e os afastamentos laterais são maiores; e, nos cenários sem afastamentos laterais, os afastamentos frontais e de fundo são maiores. As figuras 105 e 106 ilustram um dos cenários com afastamento e sem afastamento, respectivamente.

Figura 105 – Projeção de sombra de um cenário com afastamentos laterais, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

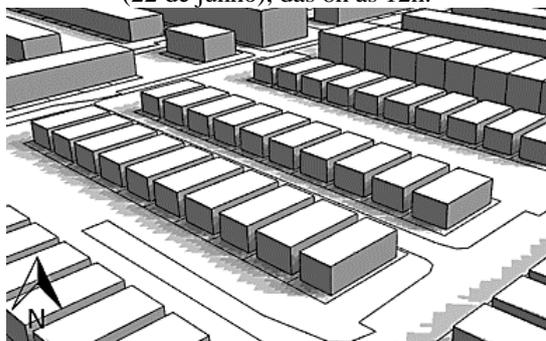
Figura 106 – Projeção de sombra de um cenário sem afastamentos laterais, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

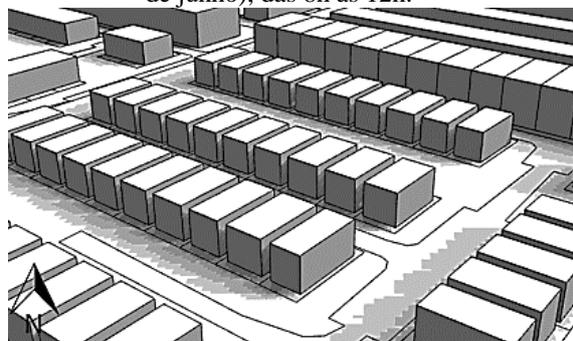
Comparando-se o desempenho dos cenários com e sem afastamentos laterais, nota-se que, nos cenários com afastamentos laterais, a maior influência do aumento do número de pavimentos é verificada nas fachadas laterais, que são predominantemente sudeste e noroeste, conforme ilustram as figuras 107 e 108. Com o aumento do número de pavimentos, há uma redução dos níveis de iluminância nessas fachadas.

Figura 107 – Projeção de sombra de um cenário com afastamentos laterais, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 108 – Projeção de sombra de um cenário com 3 e 4 pavimentos, no solstício de inverno (22 de junho), das 8h às 12h.

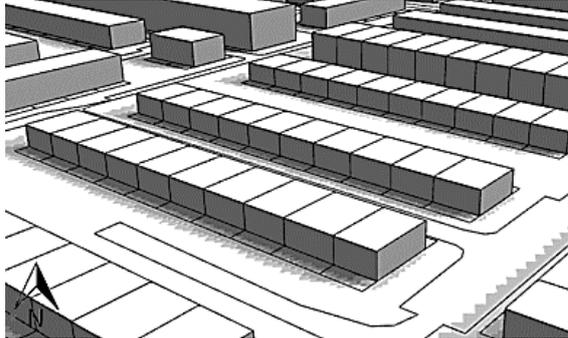


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Nos cenários sem afastamentos laterais, entretanto, a maioria das fachadas laterais não recebe interferência do sombreamento, pois não está exposta ao sol, conforme demonstra as figuras 109 e 110. As fachadas sudeste e noroeste que estão expostas ao sol recebem pouco sombreamento, por estarem distantes dos edifícios adjacentes. Sendo assim, a situação dos cenários sem afastamentos laterais se aproxima mais do comportamento de um edifício isolado do que os cenários com afastamentos laterais, o que possivelmente explica a diferença de comportamentos.

Figura 109 – Projeção de sombra da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 110 – Projeção de sombra da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

3.4.2. Classe 2

Para a Classe 2, comparam-se os resultados dos cenários com 1, 2 e 4 pavimentos aos dos cenários com 2, 3 e 7; e os resultados dos cenários com 2, 3 e 7 pavimentos aos dos cenários com 3, 4 e 9. Objetiva-se mensurar o impacto do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância. A Tabela 54 demonstra as variações resultantes entre as irradiâncias anuais na cobertura e nas fachadas e entre as iluminâncias médias, para as fachadas nordeste, sudoeste, sudeste e noroeste. O resultado positivo representa que houve aumento da variação e o negativo, que houve redução. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.

Na Tabela 55, agregam-se os resultados da Tabela 54, com o objetivo de identificar as tendências das relações entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância e de iluminância. A tabela foi dividida de acordo com a presença ou ausência de afastamentos laterais. Os valores referentes ao aumento da variação com o aumento do número de pavimentos foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.



Tabela 54 – Cálculo da influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2.

Pavimentos	Afast. Lateral	Taxa de ocupação	Varição entre Irradiância anual nas coberturas (%)	Varição entre Irradiância anual nas fachadas (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas nordeste (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudoeste (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudeste (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas noroeste (%)
1 (CSIIR2-tipo1)	Com	50%	0,007	-1,970	0,905	-10,778	1,162	2,753
2 (CSIIR2-tipo2)	Com	65%	-0,005	-1,294	2,787	-10,591	7,404	0,490
4 (RE3-tipoB)	Com	80%	-0,013	2,692	18,820	-13,039	7,066	6,097
X	Sem	50%	-0,037	1,346	-32,816	-5,915	-0,571	4,674
2 (CSIIR2-tipo1)	Sem	65%	-0,035	3,222	4,285	-7,139	4,048	9,203
3 (CSIIR2-tipo2)	Sem	80%	0,019	2,840	-0,164	-9,628	11,946	7,365
7 (RE3-tipoB)	Sem	100%	-0,034	-0,890	1,532	-11,859	-2,810	5,828
Máxima variação			-0,037	3,222	-32,816	-13,039	11,946	9,203
2 (CSIIR2-tipo1)	Com	50%	-0,115	-5,301	-8,660	-9,467	-4,680	-2,556
3 (CSIIR2-tipo2)	Com	65%	-0,049	-5,450	-7,832	-11,607	-3,844	-2,826
7 (RE3-tipoB)	Com	80%	-0,053	-5,408	-15,544	-7,440	-4,934	-0,748
X	Sem	50%	-0,024	-3,794	-8,885	-7,360	-3,217	-1,059
3 (CSIIR2-tipo1)	Sem	65%	-0,047	-5,082	-8,005	-8,715	-2,625	-2,673
4 (CSIIR2-tipo2)	Sem	80%	-0,079	-6,650	-11,231	-10,420	-4,816	-1,343
9 (RE3-tipoB)	Sem	100%	-0,098	-7,687	-14,620	-9,998	-3,500	-4,789
Máxima variação			-0,115	-7,687	-15,544	-11,607	-4,934	-4,789

Fonte: A autora.



Tabela 55 – Agrupamento dos resultados da Tabela 54.

Pavimentos	Afast. Lateral	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste
1, 2 e 4 X 2, 3 e 7	Com	↓	↓	↑	↓	↑	↑
2, 3 e 7 X 3, 4 e 9	Com	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1, 2 e 4 X 2, 3 e 7	Sem	↓	↑	↑	↓	↑	↑
2, 3 e 7 X 3, 4 e 9	Sem	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Total	Com/Sem	↓	↓	-	↓	-	-

Legenda

↑ Aumento da variação (%)	↓ Redução da variação (%)	- Inconclusivo
--	--	---

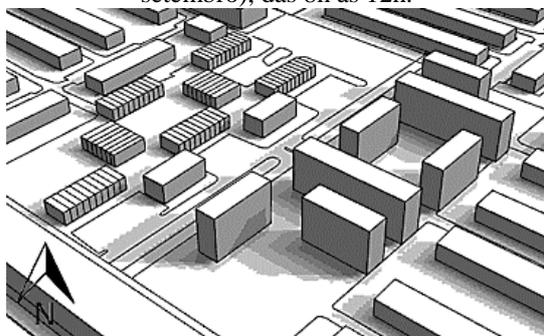
Fonte: A autora.

O aumento do número de pavimentos (e consequente aumento da altura dos edifícios) promove um pequeno decréscimo nos níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classe 2. Isso acontece porque os edifícios da Classe 2 possuem alturas distintas e, à medida em que se aumenta a diferença entre tais alturas, aumenta-se a interferência da projeção de sombras dos edifícios entre si, a nível de cobertura. Nesse sentido, quanto maior for a diferença entre as alturas, menor será a irradiância recebida pelas coberturas. Entretanto, nota-se que a influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância recebidos na cobertura é pequena, tendo em vista que o resultado de irradiância anual por metro quadrado nas coberturas varia pouco, de cenário para cenário, sendo a máxima variação registrada de aproximadamente 0,11%, conforme indica a Tabela 54. A variação aumenta quando se comparam os cenários de altura intermediária (com edifícios com 2 e 3 pavimentos) aos cenários mais altos (com edifícios de 3 e 4 pavimentos) do que quando se comparam os cenários mais baixos (com edifícios com 1 e 2 pavimentos) aos cenários de altura intermediária (com edifícios com 2 e 3).

Em relação aos níveis de irradiância anual nas fachadas por metro quadrado e aos níveis de iluminância anual, nota-se o mesmo padrão de comportamento entre os cenários que consideram os afastamentos laterais e os que não consideram. De maneira geral, a irradiância e a iluminância diminuem quando se comparam os cenários de altura intermediária aos cenários mais altos, em até 7,68% e 15,54%, respectivamente. Indaga-se que tal redução seja resultante do aumento da projeção de sombras de um edifício sobre o outro, conforme demonstram as figuras a seguir. A Figura 111 representa a projeção de sombras de um dos cenários sem afastamentos com edifícios de 2, 3 e 7 pavimentos; e, a Figura 112 representa um dos cenários sem afastamentos com edifícios de 3, 4 e 9 pavimentos. Elas exemplificam que, quando se aumenta o número de pavimentos, aumenta-se o sombreamento de um edifício sobre o outro e, consequentemente, diminuem-se os níveis de irradiância e iluminância.

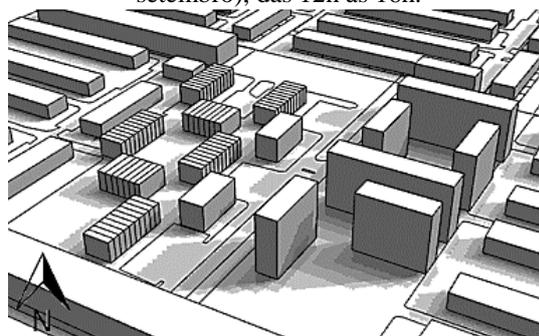


Figura 111 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 112 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Entretanto, quando são comparados os cenários mais baixos aos de altura intermediária, verifica-se um aumento nos níveis de irradiância e iluminância nas fachadas, em até 3,22% e 11,94%, respectivamente. Especula-se que tal aumento seja resultante da influência dos edifícios baixos do entorno, uma vez que a irradiância e a iluminância analisadas são as médias das irradiâncias e iluminâncias por metro quadrado e que o aumento do número de pavimentos propiciaria o aumento de uma área que é menos influenciada pelo entorno.

3.4.3. Classe 3

Para a Classe 3, comparam-se os resultados dos cenários com 1 pavimento aos dos cenários com 5; os resultados dos cenários com 5 pavimentos aos dos cenários com 10; os resultados dos cenários com 10 pavimentos aos dos cenários com 15; e os resultados dos cenários com 15 pavimentos aos dos cenários com 20. Objetiva-se mensurar o impacto do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância. A Tabela 56 demonstra as variações resultantes entre as irradiâncias anuais na cobertura e nas fachadas e entre as iluminâncias médias, para as fachadas norte, sul, leste e oeste. O resultado positivo representa que houve aumento da variação e o negativo, que houve redução. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.

Na Tabela 57, agregam-se os resultados da Tabela 56, com o objetivo de identificar as tendências das relações entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância e de iluminância. A tabela foi dividida de acordo com a presença ou ausência de afastamentos laterais. Os valores referentes ao aumento da variação com o aumento do número de pavimentos foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.



Tabela 56 – Cálculo da influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3.

Pavimentos	Afastamentos	Taxa de ocupação	Variação entre Irradiância anual nas coberturas (%)	Variação entre Irradiância anual nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas norte (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sul (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas leste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas oeste (%)
1 X 5	Centro	15%	0,051	-9,079	-36,519	-23,922	18,658	21,505
	Centro	30%	0,010	-18,357	-32,464	-28,580	15,552	18,500
	Centro	45%	0,021	-24,660	-41,788	-38,331	11,990	14,902
	Centro	60%	0,032	-30,370	-54,288	-42,993	4,668	9,484
	Fundo	15%	0,033	-14,559	-21,262	-22,573	7,124	14,193
	Fundo	30%	0,010	-21,171	-40,853	-37,269	5,514	-0,486
	Fundo	45%	0,038	-27,756	-41,999	-37,424	3,319	3,584
	Fundo	60%	-0,016	-31,989	-52,947	-43,385	0,517	4,424
Máxima variação			0,051	-31,989	-54,288	-43,385	18,658	21,505
5 X 10	Centro	15%	-0,016	-11,868	-25,075	-9,126	-3,136	-2,476
	Centro	30%	0,015	-14,350	-24,795	-18,079	-3,888	-4,061
	Fundo	15%	0,024	-13,901	-22,574	-13,710	-5,306	-4,441
	Fundo	30%	-0,017	-17,832	-19,819	-13,625	-7,204	2,364
Máxima variação			0,024	-17,832	-25,075	-18,079	-7,204	-4,441
10 X 15	Centro	15%	0,028	-4,617	-10,730	-4,098	-3,417	-1,991
	Fundo	15%	-0,021	-5,066	-8,462	-5,682	-3,410	-1,942
Máxima variação			0,028	-5,066	-10,730	5,682	-3,417	-1,991
15 X 20	Centro	15%	-0,004	-5,059	-3,633	-9,933	-3,156	-3,738
	Fundo	15%	0,045	-5,548	-5,074	-9,560	-2,790	-3,921
Máxima variação			0,045	-5,548	-5,074	-9,933	-3,156	-3,921

Fonte: A autora.



Tabela 57 – Agrupamento dos resultados da Tabela 56.

Pavimentos	Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas oeste
1 X 5	Centro	↑	↓	↓	↓	↑	↑
5 X 10	Centro	-	↓	↓	↓	↓	↓
10 X 15	Centro	↑	↓	↓	↓	↓	↓
15 X 20	Centro	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1 X 5	Fundo	↑	↓	↓	↓	↑	↑
5 X 10	Fundo	-	↓	↓	↓	↓	↓
10 X 15	Fundo	↓	↓	↓	↓	↓	↓
15 X 20	Fundo	↑	↓	↓	↓	↓	↓
Total	Centro/Fundo	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

↑	Aumento da variação (%)	↓	Redução da variação (%)	-	Inconclusivo
---	-------------------------	---	-------------------------	---	--------------

Fonte: A autora.

Verifica-se, a partir da Tabela 56, que não há relação significativa entre o número de pavimentos (e consequente aumento da altura dos edifícios) e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classe 3. Isso acontece porque os edifícios da Classe 3 possuem a mesma altura, o que reduz a interferência da projeção de sombras dos edifícios entre si, a nível de cobertura. O resultado de irradiância anual por metro quadrado nas coberturas varia pouco, de cenário para cenário, sendo a máxima variação registrada de aproximadamente 0,05%, conforme indica a Tabela 56. Nesse sentido, constata-se a pequena influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância recebidos na cobertura.

Em relação aos níveis de irradiância anual nas fachadas por metro quadrado e aos níveis de iluminância média, nota-se o mesmo padrão de comportamento entre os cenários que consideram os afastamentos laterais e os que não consideram. De maneira geral, a irradiância e a iluminância diminuem com o aumento do número de pavimentos, em até 31,98% e 58,28%, respectivamente. Indaga-se que tal redução seja resultante do aumento da projeção de sombras de um edifício sobre o outro, conforme demonstram as figuras a seguir. A Figura 113 representa a projeção de sombras de um dos cenários com edifícios de 5 pavimentos, localizados no centro do lote; e a Figura 114 representa um dos cenários com edifícios de 10 pavimentos. Elas exemplificam que, quando se aumenta o número de pavimentos, aumenta-se o sombreamento de um edifício sobre o outro e, consequentemente, diminuem-se os níveis de irradiância e iluminância.

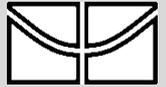
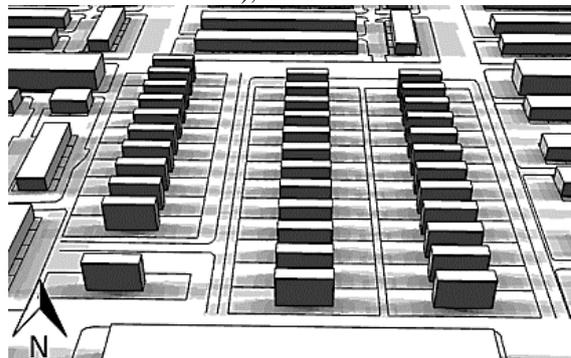
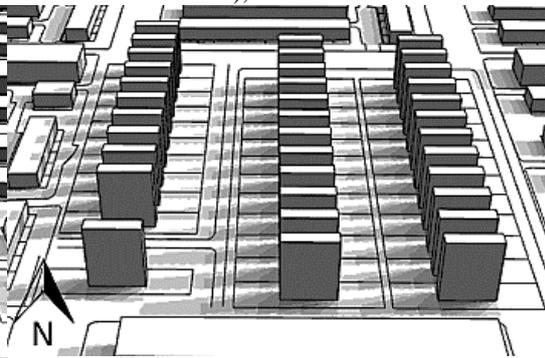


Figura 113 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 114 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Entretanto, quando são comparados os cenários com 1 pavimento e os cenários com 5 pavimentos, observa-se um aumento nos níveis de iluminância nas fachadas leste e oeste. Especula-se que tal aumento seja resultante da influência dos edifícios baixos do entorno, uma vez que a iluminância analisada é a média das iluminâncias por metro quadrado e que o aumento do número de pavimentos propiciaria o aumento de uma área que é menos influenciada pelo entorno.

3.4.4. Conclusão

Verifica-se que a influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância segue um padrão de comportamento identificado nas Classes 1, 2 e 3, conforme demonstra a Tabela 58.

Tabela 58 – Resumo dos resultados da influência do número de pavimentos nos níveis de irradiância e iluminância.

Classe	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste / norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste / sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste / leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste / oeste
Classe 1	-	-	-	-	-	-
Classe 2	↓	↓	-	↓	-	-
Classe 3	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

↑ Aumento da variação (%)
 ↓ Redução da variação (%)
 - Inconclusivo

Fonte: A autora.

Constata-se que não há relação significativa entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classes 1 e 3, tendo em vista que os edifícios das



quadradas analisadas possuem alturas semelhantes. Os edifícios da Classe 2, entretanto, possuem alturas distintas, e, à medida em que se aumenta a diferença entre tais alturas, aumenta-se a interferência da projeção de sombras dos edifícios entre si, a nível de cobertura. Sendo assim, nota-se uma diminuição da irradiação nas coberturas com o aumento do número de pavimentos para essa classe.

Verifica-se que, de maneira geral, o aumento do número de pavimentos (e consequente aumento da altura das edificações) promove a redução dos níveis de irradiação e iluminância nas fachadas das Classes 2 e 3. Entretanto, não existe um padrão abrangente entre o número de pavimentos e os níveis de irradiação e iluminância na Classe 1, uma vez que os cenários sem afastamentos laterais se comportam de maneira diferente dos cenários com afastamentos laterais. Sendo assim, os resultados gerais da Classe 1 são inconclusivos.

A Tabela 59 apresenta as máximas variações encontradas nas três classes.

Tabela 59 – Máximas variações do número de pavimentos.

Classe	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste* / norte** (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste* / sul** (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste* / leste** (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste* / oeste** (%)
Classe 1: Horizontal contínuo (intervalo de 1 pav.)	-0,115	24,545	44,933	6,997	33,152	37,664
Classe 2: Horizontal rugoso (intervalo aprox. de 2 pav.)	-0,115	-7,687	-32,816	-13,039	11,946	9,203
Classe 3: Vertical denso (intervalo de 5 pav.)	0,051	-31,989	-54,288	-43,385	18,658	21,505

* Aplica-se à Classe 1 e 2.

** Aplica-se à Classe 3.

Fonte: A autora.

A comparação entre a magnitude da influência do número de pavimentos nas três classes deve considerar que foi utilizado um intervalo diferente entre os valores de número de pavimentos dos cenários das Classes 1, 2 e 3⁵⁹. Nesse sentido, é provável que as classes com maior intervalo entre os cenários recebam maior influência do que as com menor intervalo.

⁵⁹ Considerou-se uma variação de 1 pavimento entre os cenários da Classe 1 e de 5 pavimentos entre os cenários da Classe 3. Entretanto, a Classe 2 possui mais de um uso e, tendo em vista que as variações são proporcionais ao número de pavimentos máximo estabelecido pela LUOS para cada uso, a Classe 2 caracteriza-se por três valores diferentes de número de pavimentos por cenário. Nesse sentido, utilizou-se um valor aproximado de 2 pavimentos.



De maneira geral, nota-se que o número de pavimentos influencia pouco na irradiância anual recebida pelas coberturas das Classes 1, 2 e 3, sendo a máxima variação verificada de 0,11%. Entretanto, eles provocam uma mudança significativa, de até 31,98%, nos níveis de irradiância anual nas fachadas, principalmente nas Classes 1 e 3. Embora os resultados da Classe 1 sejam relativos a variação de apenas 1 pavimento entre os seus cenários, eles têm magnitude semelhante aos resultados da Classe 3, que possui uma variação de 5 pavimentos. Isso demonstra que o impacto do aumento do número de pavimentos depende significativamente do desenho do lote.

Em relação aos níveis de iluminância, constata-se que as fachadas nordeste, sudeste e noroeste são as mais influenciadas pelo número de pavimentos, na Classe 1; que as fachadas nordeste são as que mais são influenciadas, na Classe 2; e que as fachadas norte e sul são as que mais são influenciadas, na Classe 3. As fachadas mais influenciadas pela variação do número de pavimentos são as que possuem menores afastamentos em relação aos edifícios adjacentes, fato semelhante ao que ocorre com a variação da taxa de ocupação. Com o aumento do número de pavimentos, reduz-se significativamente a disponibilidade de radiação e iluminação natural nesses casos.



3.5. A influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância dos edifícios

Tendo em vista que o coeficiente de aproveitamento é produto da multiplicação da taxa de ocupação pelo número de pavimentos, é possível verificar um aumento do coeficiente de aproveitamento quando há aumento da taxa de ocupação (mantendo-se o mesmo número de pavimentos); quando há aumento do número de pavimentos (mantendo-se a mesma taxa de ocupação) ou quando há aumento da taxa de ocupação e do número de pavimentos. O coeficiente de aproveitamento também pode aumentar quando um dos parâmetros aumenta e o outro diminui. Nesse sentido, a fim de determinar a influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância nas coberturas e fachadas e iluminância nas fachadas, comparam-se, inicialmente, os cenários em que o coeficiente de aproveitamento aumenta pelo aumento da taxa de ocupação e manutenção do número de pavimentos. Comparam-se os cenários em que o coeficiente de aproveitamento aumenta pelo aumento do número de pavimentos e manutenção da taxa de ocupação. E, por fim, comparam-se os cenários em que o coeficiente de aproveitamento aumenta pelo aumento do número de pavimentos e diminuição da taxa de ocupação. Após comparar os resultados, analisam-se os padrões de comportamento e conclui-se sobre as relações entre o coeficiente de aproveitamento e os níveis de irradiância e iluminância.

3.5.1. Classe 1

Verifica-se a influência, nos níveis de irradiância e iluminância, do aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento da taxa de ocupação e manutenção do número dos pavimentos (Tabela 60); pelo aumento do número de pavimentos e manutenção da taxa de ocupação (Tabela 61) e pelo aumento do número de pavimentos e redução da taxa de ocupação (Tabela 62).

As tabelas 60, 61 e 62 demonstram as variações resultantes entre as irradiâncias anuais na cobertura e nas fachadas e entre as iluminâncias médias, para as fachadas nordeste, sudoeste, sudeste e noroeste. Se os cenários com maior coeficiente de aproveitamento apresentarem resultados maiores que os resultados com menores coeficientes de aproveitamento, o valor da variação é positivo; se apresentarem resultados menores, o valor da variação é negativo. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.



Tabela 60 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1: comparação de cenários com o mesmo número de pavimentos e com taxas de ocupação que aumentam.

Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lateral	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
0,35 (RO1 e RO2) e 0,90 (CSIIR2) X 0,50 (RO1 e RO2) e 1,30 (CSIIR2)	Com	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	0,084	-6,859	2,988	-5,033	-15,474	-13,711
	Sem	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	-0,103	-21,530	6,760	2,294	-33,136	-36,738
0,50 (RO1 e RO2) e 1,30 (CSIIR2) X 0,65 (RO1 e RO2) e 2,00 (CSIIR2)	Com	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	0,038	-20,694	-8,289	-4,109	-39,260	-32,128
	Sem	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	-0,001	-6,942	-33,027	-11,535	3,038	-3,822
0,65 (RO1 e RO2) e 2,00 (CSIIR2) X 0,80 (RO1 e RO2) e 2,00 (CSIIR2)	Com	65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 80% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	-0,162	-5,606	-0,940	-3,268	-10,374	-10,209
	Sem	65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 80% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	0,035	-14,742	27,675	5,868	-22,963	-38,654
0,70 (RO1 e RO2) e 1,35 (CSIIR2) X 1,00 (RO1 e RO2) e 1,95 (CSIIR2)	Com	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	-0,012	-9,358	-1,117	-5,359	-15,941	-17,460
	Sem	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	-0,027	-12,778	-6,525	0,169	-18,603	-7,317
1,00 (RO1 e RO2) e 1,95 (CSIIR2) X 1,30 (RO1 e RO2) e 3,00 (CSIIR2)	Com	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2) X (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	0,021	-19,457	-9,127	-5,235	-34,540	-26,026
	Sem	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	-0,059	-14,649	-12,219	-16,347	-9,090	-5,106
1,05 (RO1 e RO2) e 1,80 (CSIIR2) X 1,50 (RO1 e RO2) e 2,60 (CSIIR2)	Com	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	0,061	-11,897	-7,565	-4,486	-16,875	-20,979
	Sem	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	-0,074	-16,924	7,393	-5,255	-21,085	-18,422



Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lateral	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Varição entre Irrad. nas coberturas (%)	Varição entre Irrad. nas fachadas (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
1,95 (RO1 e RO2) e 4,00 (CSIIR2) X 1,50 (RO1 e RO2) e 2,60 (CSIIR2)	Com	50%(RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 65%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	0,038	-18,036	-6,946	-10,313	-35,827	-20,522
	Sem	50%(RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 65%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	0,021	-9,104	-21,207	-13,505	-4,899	-3,881
Máxima variação				-0,162	-21,530	-33,027	-16,347	-39,260	-38,654

Fonte: A autora.

Tabela 61 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1: comparação de cenários com a mesma taxa de ocupação e com números de pavimentos que aumentam.

Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lateral	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Varição entre Irrad. nas coberturas (%)	Varição entre Irrad. nas fachadas (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
0,35 (RO1 e RO2) e 0,90 (CSIIR2) X 0,70 (RO1 e RO2) e 1,35 (CSIIR2)	Com	35%(RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 35%(RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	0,075	0,429	8,407	-2,206	-2,492	1,295
	Sem	35%(RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 35%(RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	0,017	12,047	26,294	6,997	9,380	-6,036
0,70 (RO1 e RO2) e 1,35 (CSIIR2) X 1,05 (RO1 e RO2) e 1,80 (CSIIR2)	Com	35%(RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 35%(RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	-0,062	-4,054	-0,153	1,689	-10,415	-5,960
	Sem	35%(RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2) X 35%(RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	-0,046	1,433	-12,242	5,236	6,382	17,333



Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lateral	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
0,50 (RO1 e RO2) e 1,30 (CSIIR2) X 1,00 (RO1 e RO2) e 1,95 (CSIIR2)	Com	50%(RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 50%(RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	-0,021	-2,266	4,086	-2,542	-3,031	-3,106
	Sem	50%(RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 50%(RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	0,092	24,545	10,578	4,774	33,152	37,664
0,50 (RO1 e RO2) e 1,30 (CSIIR2) X 1,00 (RO1 e RO2) e 1,95 (CSIIR2)	Com	50%(RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 50%(RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	0,011	-6,741	-6,663	2,628	-11,410	-9,969
	Sem	50%(RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 50%(RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	-0,094	-3,389	0,825	-0,462	3,139	3,274
0,50 (RO1 e RO2) e 1,30 (CSIIR2) X 1,00 (RO1 e RO2) e 1,95 (CSIIR2)	Com	65%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 65%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	-0,038	-0,741	3,135	-3,687	4,504	5,606
	Sem	65%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 65%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	0,034	14,230	44,933	-0,926	17,480	35,825
0,50 (RO1 e RO2) e 1,30 (CSIIR2) X 1,00 (RO1 e RO2) e 1,95 (CSIIR2)	Com	65%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 65%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	0,028	-5,096	-4,423	-2,872	-13,151	-3,270
	Sem	65%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 65%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2) X 3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	-0,013	2,888	-9,498	2,919	7,893	4,607
0,50 (RO1 e RO2) e 1,30 (CSIIR2) X 1,00 (RO1 e RO2) e 1,95 (CSIIR2)	Com	80%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 80%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	-0,039	-3,993	1,441	1,753	-9,106	-9,365
	Sem	80%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 80%(RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	-0,115	10,634	23,010	-3,742	15,028	41,878
Máxima variação				-0,115	14,230	44,933	5,236	33,152	41,878

Fonte: A autora.



Tabela 62 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1: comparação de cenários com taxas de ocupação que diminuem e com números de pavimentos que aumentam.

Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lateral	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
0,50 (RO1 e RO2) e 1,30 (CSIIR2) X 0,70 (RO1 e RO2) e 1,35 (CSIIR2)	Com	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	-0,009	7,824	5,262	2,977	15,358	17,390
	Sem	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2) X 35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	0,119	42,790	18,298	4,597	63,585	48,532
0,80 (RO1 e RO2) e 2,00 (CSIIR2) X 1,30 (RO1 e RO2) e 3,00 (CSIIR2)	Com	80% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	0,124	5,153	4,114	-0,433	16,600	17,613
	Sem	80% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2) X 65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2) X 2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	-0,001	33,982	13,517	-6,417	52,497	121,408
Máxima variação				0,124	42,790	18,298	-6,417	63,585	121,408

Fonte: A autora.



Nas tabelas 63, 64 e 65, agregam-se os resultados das tabelas 60, 61 e 62. Tem-se como objetivo identificar as tendências das relações entre o coeficiente de aproveitamento e os níveis de irradiância e de iluminância. Os valores referentes ao aumento da variação com o aumento do coeficiente de aproveitamento foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.

Tabela 63 – Agrupamento dos resultados da Tabela 46.

Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste
Com/Sem	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

	Aumento da variação (%)		Redução da variação (%)		Inconclusivo
---	-------------------------	---	-------------------------	---	--------------

Fonte: A autora.

De acordo com a Tabela 63, o aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento da taxa de ocupação e manutenção do número de pavimentos, promove a diminuição dos níveis de irradiância e iluminância das fachadas, para a Classe 1. Verifica-se o mesmo comportamento no item 3.3.1, onde são estudadas as suas possíveis causas. Não há relação significativa entre o coeficiente de aproveitamento e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classe 1.

Tabela 64 – Agrupamento dos resultados da Tabela 61.

Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste
Com/Sem	-	-	-	-	-	-

Legenda

	Aumento da variação (%)		Redução da variação (%)		Inconclusivo
---	-------------------------	---	-------------------------	---	--------------

Fonte: A autora.

De acordo com a Tabela 64, não há relação significativa entre o aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento do número de pavimentos e manutenção da taxa de ocupação, e os níveis de irradiância anual nas coberturas e nas fachadas, para a Classe 1. Verifica-se o mesmo comportamento no item 3.4.1, onde são estudadas as suas possíveis causas.



Tabela 65 – Agrupamento dos resultados da Tabela 62.

Afastamentos	Varição entre Irrad. nas coberturas	Varição entre Irrad. nas fachadas	Varição entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Varição entre Ilum. média nas fachadas noroeste
Com/Sem	-	↑	↑	-	↑	↑

Legenda

↑ Aumento da variação (%)	↓ Redução da variação (%)	- Inconclusivo
--	--	--

Fonte: A autora.

Entretanto, quando há o aumento do coeficiente de aproveitamento pelo aumento do número de pavimentos e redução da taxa de ocupação, percebe-se um aumento dos níveis de irradiância e iluminância nas fachadas, conforme demonstra a

Tabela 65. Nesse sentido, para os casos estudados, apresentados na Tabela 62, constata-se que os cenários mais altos e com menor taxa de ocupação tem melhor desempenho que os cenários mais baixos e com maior taxa de ocupação. Não há relação significativa entre o coeficiente de aproveitamento e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classe 1.

Conclui-se que o aumento do coeficiente de aproveitamento pode promover tanto a diminuição dos níveis de irradiância e iluminância nas fachadas (quando a taxa de ocupação aumenta) quanto o seu aumento (quando a taxa de ocupação diminui e o número de pavimentos aumenta).

3.5.2. Classe 2

Verifica-se a influência, nos níveis de irradiância e iluminância, do aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento da taxa de ocupação e manutenção do número dos pavimentos (Tabela 66); pelo aumento do número de pavimentos e manutenção da taxa de ocupação (Tabela 67) e pelo aumento do número de pavimentos e redução da taxa de ocupação (Tabela 68).

As tabelas 69, 70 e 71 demonstram as variações resultantes entre as irradiâncias anuais na cobertura e nas fachadas e entre as iluminâncias médias, para as fachadas nordeste, sudoeste, sudeste e noroeste. Se os cenários com maior coeficiente de aproveitamento apresentarem resultados maiores que os resultados com menores coeficientes de aproveitamento, o valor da variação é positivo; se apresentarem resultados menores, o valor da variação é negativo. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.



Tabela 66 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2: comparação de cenários com o mesmo número de pavimentos e com taxas de ocupação que aumentam.

Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lat.	Taxa de ocup.	Número de pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
0,50 (CSIIR2(1)), 1,00 (CSIIR2(2)) e 2,00 (RE3) X 0,65 (CSIIR2(1)), 1,30 (CSIIR2(2)) e 2,60 (RE3)	Com	50% X 65%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB)	0,044	-5,261	-8,921	-11,298	-11,392	7,378
	Sem	50% X 65%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB)	-0,039	-9,395	-40,520	-1,285	-7,653	-7,011
1,00 (CSIIR2(1)), 1,50 (CSIIR2(2)) e 3,50 (RE3) X 1,30 (CSIIR2(1)), 1,95 (CSIIR2(2)) e 4,55 (RE3)	Com	50% X 65%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	0,031	-4,608	-7,222	-11,113	-5,925	5,013
	Sem	50% X 65%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	-0,037	-7,718	-7,674	-2,569	-3,363	-2,987
1,50 (CSIIR2(1)), 2,00 (CSIIR2(2)) e 4,50 (RE3) X 1,95 (CSIIR2(1)), 2,60 (CSIIR2(2)) e 5,85 (RE3)	Com	50% X 65%	9 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	0,097	-4,758	-6,381	-13,214	-5,099	4,722
	Sem	50% X 65%	9 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,060	-8,953	-6,783	-3,994	-2,771	-4,570
0,65 (CSIIR2(1)), 1,30 (CSIIR2(2)) e 3,20 (RE3) X 0,80 (CSIIR2(1)), 1,60 (CSIIR2(2)) e 3,20 (RE3)	Com	65% X 80%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB)	-0,130	-13,761	-29,239	-4,802	-2,312	-13,836
	Sem	65% X 80%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB)	-0,124	-2,537	6,451	-2,771	-23,866	-6,939
1,30 (CSIIR2(1)), 1,95 (CSIIR2(2)) e 4,55 (RE3) X 1,60 (CSIIR2(1)), 2,40 (CSIIR2(2)) e 5,60 (RE3)	Com	65% X 80%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	-0,138	-10,277	-18,201	-7,408	-2,619	-9,028
	Sem	65% X 80%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	-0,070	-2,898	1,910	-5,377	-18,087	-8,506



Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lat.	Taxa de ocup.	Número de pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
1,95 (CSIIR2(1)), 2,60 (CSIIR2(2)) e 5,85 (RE3) X 2,40 (CSIIR2(1)), 3,20 (CSIIR2(2)) e 7,20 (RE3)	Com	65% X 80%	9 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,142	-10,238	-25,046	-3,042	-3,724	-7,083
	Sem	65% X 80%	9 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,101	-4,503	-1,663	-7,144	-19,931	-7,256
0,80 (CSIIR2(1)), 1,60 (CSIIR2(2)) e 3,20 (RE3) X 1,00 (CSIIR2(1)), 2,00 (CSIIR2(2)) e 4,00 (RE3)	Sem	80% X 100%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB)	0,139	-7,698	-23,575	-9,977	18,794	-10,582
1,60 (CSIIR2(1)), 2,40 (CSIIR2(2)) e 5,60 (RE3) X 2,00 (CSIIR2(1)), 3,00 (CSIIR2(2)) e 7,00 (RE3)	Sem	80% X 100%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	0,086	-11,045	-22,277	-12,199	3,135	-11,862
2,40 (CSIIR2(1)), 3,20 (CSIIR2(2)) e 7,20 (RE3) X 3,00 (CSIIR2(1)), 4,00 (CSIIR2(2)) e 9,00 (RE3)	Sem	80% X 100%	9 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	0,067	-12,033	-25,244	-11,786	4,561	-14,940
Máxima variação				-0,142	-13,761	-40,520	-13,214	-23,866	-14,940

Fonte: A autora.



Tabela 67 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2: comparação de cenários com a mesma taxa de ocupação e com números de pavimentos que aumentam.

Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lat.	Taxa de ocup.	Número de pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
0,50 (CSIIR2(1)), 1,00 (CSIIR2(2)) e 2,00 (RE3) X 1,00 (CSIIR2(1)), 1,50 (CSIIR2(2)) e 3,50 (RE3)	Com	50% X 50%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	0,007	-1,970	0,905	-10,778	1,162	2,753
	Sem	50% X 50%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	-0,037	1,346	-32,816	-5,915	-0,571	4,674
1,00 (CSIIR2(1)), 1,50 (CSIIR2(2)) e 3,50 (RE3) X 1,50 (CSIIR2(1)), 2,00 (CSIIR2(2)) e 4,50 (RE3)	Com	50% X 50%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,114	-5,300	-8,659	-9,467	-4,680	-2,555
	Sem	50% X 50%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,024	-3,794	-8,884	-7,360	-3,217	-1,058
0,65 (CSIIR2(1)), 1,30 (CSIIR2(2)) e 2,60 (RE3) X 1,30 (CSIIR2(1)), 1,95 (CSIIR2(2)) e 4,55 (RE3)	Com	65% X 65%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	-0,005	-1,294	2,787	-10,591	7,404	0,489
	Sem	65% X 65%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	-0,034	3,222	4,284	-7,139	4,048	9,202
1,30 (CSIIR2(1)), 1,95 (CSIIR2(2)) e 4,55 (RE3) X 1,95 (CSIIR2(1)), 2,60 (CSIIR2(2)) e 5,85 (RE3)	Com	65% X 65%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,049	-5,450	-7,831	-11,607	-3,843	-2,826
	Sem	65% X 65%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,047	-5,081	-8,005	-8,715	-2,624	-2,672
0,80 (CSIIR2(1)), 1,60 (CSIIR2(2)) e 3,20 (RE3) X 1,60 (CSIIR2(1)), 2,40 (CSIIR2(2)) e 5,60 (RE3)	Com	80% X 80%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	-0,013	2,692	18,820	-13,038	7,0664	6,097
	Sem	80% X 80%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	0,019	2,839	-0,163	-9,628	11,946	7,364



Coefficiente de aproveitamento	Afast. Lat.	Taxa de ocup.	Número de pavimentos	Varição entre Irrad. nas coberturas (%)	Varição entre Irrad. nas fachadas (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Varição entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
1,60 (CSIIR2(1)), 2,40 (CSIIR2(2)) e 5,60 (RE3) X 2,40 (CSIIR2(1)), 3,20 (CSIIR2(2)) e 7,20 (RE3)	Com	80% X 80%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,052	-5,408	-15,544	-7,440	-4,934	-0,748
	Sem	80% X 80%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,078	-6,650	-11,230	-10,419	-4,816	-1,343
1,00 (CSIIR2(1)), 2,00 (CSIIR2(2)) e 4,00 (RE3) X 2,00 (CSIIR2(1)), 3,00 (CSIIR2(2)) e 7,00 (RE3)	Sem	100% X 100%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	-0,033	-0,890	1,5320	-11,859	-2,810	5,827
2,00 (CSIIR2(1)), 3,00 (CSIIR2(2)) e 7,00 (RE3) X 3,00 (CSIIR2(1)), 4,00 (CSIIR2(2)) e 9,00 (RE3)	Sem	100% X 100%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,098	-7,686	-14,619	-9,998	-3,499	-4,788
Máxima variação				-0,115	-7,687	-32,816	-19,136	11,946	-10,649

Fonte: A autora.



Tabela 68 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiação e iluminância, para a Classe 2: comparação de cenários com taxas de ocupação que diminuem e com números de pavimentos que aumentam.

Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lat.	Taxa de ocup.	Número de pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
0,65 (CSIIR2(1)), 1,30 (CSIIR2(2)) e 2,60 (RE3) X 1,00 (CSIIR2(1)), 1,50 (CSIIR2(2)) e 3,50 (RE3)	Com	65% X 50%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	-0,037	3,474	10,788	0,587	14,169	-4,308
	Sem	65% X 50%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	0,002	11,855	12,953	-4,691	7,669	12,566
0,80 (CSIIR2(1)), 1,60 (CSIIR2(2)) e 3,20 (RE3) X 1,30 (CSIIR2(1)), 1,95 (CSIIR2(2)) e 4,55 (RE3)	Com	80% X 65%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	0,125	14,455	45,259	-6,082	9,946	16,626
	Sem	80% X 65%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	0,089	5,909	-2,034	-4,493	36,665	17,346
1,00 (CSIIR2(1)), 2,00 (CSIIR2(2)) e 4,00 (RE3) X 1,60 (CSIIR2(1)), 2,40 (CSIIR2(2)) e 5,60 (RE3)	Com	80% X 65%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	0,089	5,380	12,676	-4,536	-1,258	6,817
	Sem	80% X 65%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	0,022	-2,249	-9,729	-3,528	18,877	6,375
2,00 (CSIIR2(1)), 3,00 (CSIIR2(2)) e 7,00 (RE3) X 2,40 (CSIIR2(1)), 3,20 (CSIIR2(2)) e 7,20 (RE3)	Sem	100% X 80%	1 (CSIIR (1)), 2 (CSIIR2 (2)) e 4 (RE3-tipoB) X 2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB)	-0,120	11,416	30,633	0,387	-5,764	20,070
	Sem	100% X 80%	2 (CSIIR (1)), 3 (CSIIR2 (2)) e 7 (RE3-tipoB) X 3 (CSIIR2 (1)), 4 (CSIIR2 (2)) e 9 (RE3-tipoB)	-0,165	4,941	14,212	2,027	-7,710	11,934
Máxima variação				-0,165	14,455	45,259	-6,082	36,665	20,070

Fonte: A autora.



Nas tabelas 69, 70 e 71, agregam-se os resultados das tabelas 66, 67 e 68. Tem-se como objetivo identificar as tendências das relações entre o coeficiente de aproveitamento e os níveis de irradiância e de iluminância. Os valores referentes ao aumento da variação com o aumento do coeficiente de aproveitamento foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.

Tabela 69 – Agrupamento dos resultados da Tabela 66.

Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste
Com/Sem	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

↑ Aumento da variação (%)
 ↓ Redução da variação (%)
 - Inconclusivo

Fonte: A autora.

De acordo com a Tabela 69, o aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento da taxa de ocupação e manutenção do número de pavimentos, promove a diminuição dos níveis de irradiância e iluminância das fachadas, para a Classe 2. Verifica-se o mesmo comportamento no item 3.3.2, onde são estudadas as suas possíveis causas. Não há relação significativa entre o coeficiente de aproveitamento e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classe 2.

Tabela 70 – Agrupamento dos resultados da Tabela 67.

Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste
Com/Sem	↓	↓	-	↓	↓	-

Legenda

↑ Aumento da variação (%)
 ↓ Redução da variação (%)
 - Inconclusivo

Fonte: A autora.

De acordo com a Tabela 70, o aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento do número de pavimentos e manutenção da taxa de ocupação, promove a diminuição dos níveis de irradiância e iluminância das fachadas, para a Classe 2. Verifica-se o mesmo comportamento no item 3.4.2, onde são estudadas as suas possíveis causas.



Tabela 71 – Agrupamento dos resultados da Tabela 68.

Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste
Com/Sem	-	↑	-	-	-	↑

Legenda

↑ Aumento da variação (%)	↓ Redução da variação (%)	- Inconclusivo
--	--	--

Fonte: A autora.

Entretanto, quando há o aumento do coeficiente de aproveitamento pelo aumento do número de pavimentos e redução da taxa de ocupação, percebe-se um aumento dos níveis de irradiância nas fachadas, conforme demonstra a Tabela 71. Nesse sentido, para os casos estudados, apresentados na Tabela 68, constata-se que os cenários mais altos e com menor taxa de ocupação tem melhor desempenho que os cenários mais baixos e com maior taxa de ocupação, considerando-se apenas os níveis de irradiâncias nas fachadas. Não há relação significativa entre o coeficiente de aproveitamento e os níveis de irradiância anual nas coberturas e os níveis de iluminância, para a Classe 2.

Conclui-se que o aumento do coeficiente de aproveitamento pode promover tanto a diminuição dos níveis de irradiância e iluminância nas fachadas (quando a taxa de ocupação e/ou o número de pavimentos aumentam) quanto o seu aumento (quando a taxa de ocupação diminui e o número de pavimentos aumenta).

3.5.3. Classe 3

Verifica-se a influência, nos níveis de irradiância e iluminância, do aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento da taxa de ocupação e manutenção do número dos pavimentos (Tabela 72); pelo aumento do número de pavimentos e manutenção da taxa de ocupação (Tabela 73Tabela 79) e pelo aumento do número de pavimentos e redução da taxa de ocupação (Tabela 74).

As tabelas 75, 76 e 77 demonstram as variações resultantes entre as irradiâncias anuais na cobertura e nas fachadas e entre as iluminâncias médias, para as fachadas nordeste, sudoeste, sudeste e noroeste. Se os cenários com maior coeficiente de aproveitamento apresentarem resultados maiores que os resultados com menores coeficientes de aproveitamento, o valor da variação é positivo; se apresentarem resultados menores, o valor da variação é negativo. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.



Tabela 72 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3: comparação de cenários com o mesmo número de pavimentos e com taxas de ocupação que aumentam.

Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lateral	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas norte (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sul (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas leste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas oeste (%)
0,15 X 0,30	Centro	15% X 30%	1 X 1	0,007	12,119	11,771	1,725	-1,482	-5,196
	Fundo	15% X 30%	1 X 1	0,072	-13,370	-11,445	-22,468	-4,882	-3,256
0,30 X 0,45	Centro	30% X 45%	1 X 1	-0,002	-4,803	-6,288	-4,002	-5,652	0,433
	Fundo	30% X 45%	1 X 1	-0,037	-1,619	5,417	-8,386	-4,148	-4,196
0,45 X 0,60	Centro	45% X 60%	1 X 1	-0,006	-9,207	-20,387	-6,439	7,767	-1,116
	Fundo	45% X 60%	1 X 1	0,044	-7,728	-15,207	-10,517	6,635	5,100
0,75 X 1,50	Centro	15% X 30%	5 X 5	-0,033	0,678	18,912	-4,502	-4,060	-7,541
	Fundo	15% X 30%	5 X 5	0,048	-20,073	-33,478	-37,184	-6,311	-15,692
1,50 X 2,25	Centro	30% X 45%	5 X 5	0,008	-12,154	-19,226	-17,108	-8,560	-2,616
	Fundo	30% X 45%	5 X 5	-0,009	-9,837	3,374	-8,612	-6,143	-0,277
2,25 X 3,00	Centro	45% X 60%	5 X 5	0,005	-16,087	-37,482	-13,513	0,721	-5,779
	Fundo	45% X 60%	5 X 5	-0,010	-13,135	-31,212	-19,041	3,744	5,952
1,50 X 3,00	Centro	15% X 30%	10 X 10	-0,003	-2,157	19,356	-13,912	-4,805	-9,044
	Fundo	15% X 30%	10 X 10	0,007	-23,723	-31,111	-37,123	-8,190	-9,688
Máxima variação				0,072	-23,723	-37,482	-37,184	-8,560	-15,692

Fonte: A autora.



Tabela 73 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3: comparação de cenários com a mesma taxa de ocupação e com números de pavimentos que aumentam.

Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lateral	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas norte (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sul (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas leste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas oeste (%)
0,15 X 0,75	Centro	15% X 15%	1 X 5	0,051	-9,079	-36,519	-23,922	18,658	21,505
	Fundo	15% X 15%	1 X 5	0,033	-14,559	-21,262	-22,573	7,124	14,193
0,75 X 1,50	Centro	15% X 15%	5 X 10	-0,016	-11,868	-25,075	-9,126	-3,136	-2,476
	Fundo	15% X 15%	5 X 10	0,024	-13,901	-22,574	-13,710	-5,306	-4,441
1,50 X 2,25	Centro	15% X 15%	10 X 15	0,028	-4,617	-10,730	-4,098	-3,417	-1,991
	Fundo	15% X 15%	10 X 15	-0,021	-5,066	-8,462	-5,682	-3,410	-1,942
2,25 X 3,00	Centro	15% X 15%	15 X 20	-0,004	-5,059	-3,633	-9,933	-3,156	-3,738
	Fundo	15% X 15%	15 X 20	0,045	-5,548	-5,074	-9,560	-2,790	-3,921
0,30 X 1,50	Centro	30% X 30%	1 X 5	0,010	-18,357	-32,464	-28,580	15,552	18,500
	Fundo	30% X 30%	1 X 5	0,010	-21,171	-40,853	-37,269	5,514	-0,486
1,50 X 3,00	Centro	30% X 30%	5 X 10	0,015	-14,350	-24,795	-18,079	-3,888	-4,061
	Fundo	30% X 30%	5 X 10	-0,017	-17,832	-19,819	-13,625	-7,204	2,364
0,45 X 2,25	Centro	45% X 45%	1 X 5	0,021	-24,660	-41,788	-38,331	11,990	14,902
	Fundo	45% X 45%	1 X 5	0,038	-27,756	-41,999	-37,424	3,319	3,584
0,60 X 3,00	Centro	60% X 60%	1 X 5	0,032	-30,370	-54,288	-42,993	4,668	9,484
	Fundo	60% X 60%	1 X 5	-0,016	-31,989	-52,947	-43,385	0,517	4,424
Máxima variação				0,051	-31,989	-54,288	-43,385	18,658	21,505

Fonte: A autora.



Tabela 74 – Cálculo da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 3: comparação de cenários com taxas de ocupação que diminuem e com números de pavimentos que aumentam.

Coeficiente de aproveitamento	Afast. Lateral	Taxa de ocupação	Número de pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas norte (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas sul (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas leste (%)	Variação entre Ilum. nas fachadas oeste (%)
0,30 X 0,75	Centro	30% X 15%	1 X 5	0,044	-18,907	-43,205	-25,213	20,443	28,165
	Fundo	30% X 15%	1 X 5	-0,038	-1,373	-11,086	-0,135	12,623	18,036
0,45 X 1,50	Centro	45% X 30%	1 X 5	0,012	-14,237	-27,932	-25,603	22,474	17,989
	Fundo	45% X 30%	1 X 5	0,047	-19,874	-43,893	-31,527	10,081	3,872
2,25 X 3,00	Centro	45% X 30%	5 X 10	0,007	-2,500	-6,895	-1,172	5,110	-1,484
	Fundo	45% X 30%	5 X 10	-0,008	-8,868	-22,436	-5,486	-1,130	2,649
0,60 X 2,25	Centro	60% X 45%	5 X 10	0,027	-17,021	-26,882	-34,086	3,918	16,199
	Fundo	60% X 45%	5 X 10	-0,006	-21,705	-31,597	-30,069	-3,110	-1,442
Máxima variação				0,047	-21,705	-43,893	-34,086	22,474	28,165

Fonte: A autora.



Nas tabelas 75, 76 e 77, agregam-se os resultados das tabelas 72, 73 e 74, respectivamente. Tem-se como objetivo identificar as tendências das relações entre o coeficiente de aproveitamento e os níveis de irradiância e de iluminância. Os valores referentes ao aumento da variação com o aumento do coeficiente de aproveitamento foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.

Tabela 75 – Agrupamento dos resultados da Tabela 72.

Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas oeste
Centro/Fundo	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

	Aumento da variação (%)		Redução da variação (%)		Inconclusivo
--	-------------------------	--	-------------------------	--	--------------

Fonte: A autora.

De acordo com a Tabela 75, o aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento da taxa de ocupação e manutenção do número de pavimentos, promove a diminuição dos níveis de irradiância e iluminância das fachadas, para a Classe 3. Verifica-se o mesmo comportamento no item 3.3.3, onde são estudadas as suas possíveis causas. Não há relação significativa entre o coeficiente de aproveitamento e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classe 3.

Tabela 76 – Agrupamento dos resultados da Tabela 73.

Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas oeste
Centro/Fundo	↑	↓	↓	↓	-	-

Legenda

	Aumento da variação (%)		Redução da variação (%)		Inconclusivo
--	-------------------------	--	-------------------------	--	--------------

Fonte: A autora.

De acordo com a Tabela 76, o aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento do número de pavimentos e manutenção da taxa de ocupação, promove a diminuição dos níveis de irradiância e iluminância das fachadas, para a Classe 2. Verifica-se o mesmo comportamento no item 3.4.3, onde são estudadas as suas possíveis causas. O aumento do coeficiente de aproveitamento também promove o aumento dos níveis de irradiância nas coberturas.



Tabela 77 – Agrupamento dos resultados da Tabela 74.

Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas oeste
Centro/Fundo	↑	↓	↓	↓	↑	↑

Legenda

↑ Aumento da variação (%)
 ↓ Redução da variação (%)
 - Inconclusivo

Fonte: A autora.

Entretanto, quando há o aumento do coeficiente de aproveitamento pelo aumento do número de pavimentos e redução da taxa de ocupação, percebe-se um aumento dos níveis de irradiância nas coberturas e de iluminância nas fachadas leste e oeste e uma redução dos níveis de irradiância nas fachadas e de iluminância nas fachadas norte e sul, conforme demonstra a Tabela 77. Nesse sentido, para os casos estudados, apresentados na Tabela 74, constata-se que os cenários mais altos e com menor taxa de ocupação tem melhor desempenho que os cenários mais baixos e com maior taxa de ocupação, quando se consideram as irradiâncias recebidas nas coberturas e as iluminâncias nas fachadas leste e oeste. Porém, quando se consideram as irradiâncias recebidas nas fachadas e as iluminâncias nas fachadas norte e sul, os cenários mais baixos e com maior taxa de ocupação tem melhor desempenho que os cenários mais altos e com menor taxa de ocupação. Sendo assim, o aumento do coeficiente de aproveitamento pode promover o aumento das irradiâncias nas coberturas e das iluminâncias nas fachadas leste e oeste.

Conclui-se que o aumento do coeficiente de aproveitamento pode promover tanto a diminuição dos níveis de irradiância e iluminância nas fachadas (quando a taxa de ocupação e/ou o número de pavimentos aumentam) quanto o seu aumento (quando a taxa de ocupação diminui e o número de pavimentos aumenta).



3.5.4. Conclusão

Verifica-se a influência, nos níveis de irradiância e iluminância, do aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento da taxa de ocupação e manutenção do número dos pavimentos (Tabela 50); pelo aumento do número de pavimentos e manutenção da taxa de ocupação (Tabela 79) e pelo aumento do número de pavimentos e redução da taxa de ocupação (Tabela 80).

A influência do aumento do coeficiente de aproveitamento (pelo aumento da taxa de ocupação e manutenção do número dos pavimentos) nos níveis de irradiância e iluminância segue o mesmo padrão de comportamento identificado nas Classes 1, 2 e 3, conforme demonstra a Tabela 78.

Tabela 78 – Resumo dos resultados da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância: comparação de cenários com o mesmo número de pavimentos e com taxas de ocupação que aumentam.

Classe	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste / norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste / sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste / leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste / oeste
Classe 1	-	↓	↓	↓	↓	↓
Classe 2	-	↓	↓	↓	↓	↓
Classe 3	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

	Aumento da variação (%)		Redução da variação (%)		Inconclusivo
---	-------------------------	---	-------------------------	---	--------------

Fonte: A autora.

De acordo com a Tabela 78, o aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento da taxa de ocupação e manutenção do número de pavimentos, promove a diminuição dos níveis de irradiância e iluminância das fachadas, para todas as classes. Isso provavelmente acontece porque, aumentando-se a taxa de ocupação, diminuem-se os afastamentos entre os edifícios e, conseqüentemente, aumenta-se a interferência da projeção de sombra de um edifício sobre o outro, o que diminui os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas. Constatam-se também que não há relação significativa entre o coeficiente de aproveitamento e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para todas as classes.

A influência do aumento do coeficiente de aproveitamento (pelo aumento do número de pavimentos e manutenção da taxa de ocupação) nos níveis de irradiância e iluminância segue um padrão de comportamento identificado nas Classes 1, 2 e 3, conforme demonstra a Tabela 79.



Tabela 79 – Resumo dos resultados da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância: comparação de cenários com a mesma taxa de ocupação e com números de pavimentos que aumentam.

Classe	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste / norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste / sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste / leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste / oeste
Classe 1	-	-	-	-	-	-
Classe 2	↓	↓	-	↓	↓	-
Classe 3	↑	↓	↓	↓	-	-

Legenda

↑	Aumento da variação (%)	↓	Redução da variação (%)	-	Inconclusivo
---	-------------------------	---	-------------------------	---	--------------

Fonte: A autora.

Analisando-se a Tabela 79, constata-se que não há relação significativa entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classes 1, tendo em vista que os edifícios das quadras analisadas possuem alturas semelhantes. Os edifícios da Classe 2, entretanto, possuem alturas distintas, e, à medida em que se aumenta a diferença entre tais alturas, aumenta-se a interferência da projeção de sombras dos edifícios entre si, a nível de cobertura. Sendo assim, nota-se uma diminuição da irradiação nas coberturas com o aumento do número de pavimentos para essa classe. Verifica-se que, de maneira geral, o aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento do número de pavimentos e manutenção da taxa de ocupação, promove a redução dos níveis de irradiância e iluminância nas fachadas das Classes 2 e 3. Entretanto, não existe um padrão abrangente entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância e iluminância na Classe 1, uma vez que os cenários sem afastamentos laterais se comportam de maneira diferente dos cenários com afastamentos laterais. Nesse sentido, os resultados gerais da Classe 1 são inconclusivos.

A influência do aumento do coeficiente de aproveitamento (pelo aumento do número de pavimentos e redução da taxa de ocupação) nos níveis de irradiância e iluminância segue um padrão de comportamento identificado nas Classes 1, 2 e 3, conforme demonstra a Tabela 80.



Tabela 80 – Resumo dos resultados da influência do coeficiente de aproveitamento nos níveis de irradiância e iluminância: comparação de cenários com taxas de ocupação que diminuem e com números de pavimentos que aumentam.

Classe	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste / norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste / sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste / leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste / oeste
Classe 1	-	↑	↑	-	↑	↑
Classe 2	-	↑	-	-	-	↑
Classe 3	↑	↓	↓	↓	↑	↑

Legenda

↑	Aumento da variação (%)	↓	Redução da variação (%)	-	Inconclusivo
---	-------------------------	---	-------------------------	---	--------------

Fonte: A autora.

Conforme a Tabela 80, o aumento do coeficiente de aproveitamento, pelo aumento do número de pavimentos e redução da taxa de ocupação, promove um aumento dos níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas, para as classes 1 e 2. Para esses casos, verifica-se que os cenários mais altos e com menor taxa de ocupação tem melhor desempenho que os cenários mais baixos e com maior taxa de ocupação. Entretanto, para a Classe 3, o aumento do coeficiente de aproveitamento promove uma redução dos níveis de irradiância nas fachadas. Sendo assim, os cenários mais baixos e com maior taxa de ocupação tem melhor desempenho que os cenários mais altos e com menor taxa de ocupação. Especula-se que tal resultado seja reflexo da forma dos lotes e dos parâmetros de ocupação utilizados na definição dos cenários, tendo em vista que eles abordam a comparação dos cenários determinados para cada classe. De maneira geral, o resultado para a Classe 3 é relativo a cenários que possuem diferença de 5 pavimentos a mais e 15% a menos de taxa de ocupação. Os resultados relativos as classes 1 e 2 possuem diferença de 1 e 3 pavimentos a mais e 35% e 20% a menos de taxa de ocupação, respectivamente. Sendo assim, a diferença entre o número de pavimentos da Classe 3 é maior que nas demais classes, e a diferença entre a taxa de ocupação é menor.

A comparação da Tabela 80 abrange cenários com taxas de ocupação que diminuem (o que promove o aumento dos níveis de irradiância e iluminância), e com número de pavimentos que aumentam (o que promove a redução dos níveis de irradiância e iluminância). Constata-se, a partir dessa tabela, que quando as diferenças entre as taxas de ocupação forem grandes e quando as diferenças entre os números dos pavimentos forem pequenas, a variação entre os níveis de irradiância e de iluminância tende a aumentar, como acontece com a Classe 1 e 2. Entretanto, quando as diferenças entre as taxas de ocupação forem pequenas e as diferenças entre os números de pavimentos forem grandes, a variação entre os níveis de irradiância e de iluminância tende a reduzir, como acontece com a Classe 3.

A Tabela 81 Tabela 51 apresenta as máximas variações encontradas nas três classes.



Tabela 81 – Máximas variações da taxa de ocupação.

Classe	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste* / norte** (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste* / sul** (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste* / leste** (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste* / oeste** (%)
Classe 1: Horizontal contínuo (intervalo de aprox. 0,15)	-0,162	42,790	44,933	-16,347	63,585	121,408
Classe 2: Horizontal rugoso (intervalo de aprox. 0,30)	-0,165	14,455	45,259	-19,136	36,665	20,070
Classe 3: Vertical denso (intervalo de aprox. 0,75)	0,072	-31,989	-54,288	-43,385	22,474	28,165

* Aplica-se à Classe 1 e 2.

** Aplica-se à Classe 3.

Fonte: A autora.

A comparação entre a magnitude da influência do coeficiente de aproveitamento nas três classes deve considerar que foi utilizado um intervalo diferente entre os valores de coeficiente de aproveitamento dos cenários das Classes 1, 2 e 3⁶⁰. Nesse sentido, é provável que as classes com maior intervalo entre os cenários recebam maior influência do que as com menor intervalo.

De maneira geral, nota-se que o coeficiente de aproveitamento influencia pouco na irradiância anual recebida pelas coberturas das Classes 1, 2 e 3, sendo a máxima variação verificada de 0,165%. Entretanto, provoca-se uma mudança significativa, de até 42,79%, nos níveis de irradiância anual nas fachadas, principalmente nas Classes 1 e 3. Embora os resultados da Classe 1 sejam relativos a variação de apenas 0,15 de coeficiente de aproveitamento entre os seus cenários, eles têm magnitude semelhante aos resultados da Classe 3, que possui uma variação de 0,75. Isso demonstra que o impacto do aumento do coeficiente de aproveitamento depende significativamente do desenho do lote.

Em relação aos níveis de iluminância, constata-se que as fachadas sudeste e noroeste são as mais influenciadas pela taxa de ocupação, na Classe 1; que as fachadas nordeste são as que mais são influenciadas, na Classe 2; e que as fachadas norte e sul são as que mais são influenciadas, na Classe 3. As fachadas mais influenciadas pela variação do coeficiente de aproveitamento são as que possuem menores afastamentos em relação aos edifícios adjacentes, fato semelhante ao que ocorre com a variação da taxa de ocupação e do número de pavimentos.

⁶⁰ Considerou-se uma variação aproximada de 0,15 de coeficiente de aproveitamento na Classe 1, 0,30 na Classe 2 e 0,75 na Classe 3.



3.6. A influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância dos edifícios

A fim de determinar a influência dos afastamentos nos níveis de irradiância nas coberturas e fachadas e iluminância nas fachadas, calcula-se a variação percentual entre os resultados de cenários com afastamentos diferentes e número de pavimentos e taxas de ocupação iguais. Comparam-se os resultados, analisam-se os padrões de comportamento e conclui-se sobre as relações entre os afastamentos e os níveis de irradiância e iluminância.

3.6.1. Classe 1

Para a Classe 1, comparam-se os resultados dos cenários com afastamentos laterais aos cenários sem afastamentos laterais. Objetiva-se mensurar o impacto dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância. A Tabela 82 demonstra as variações resultantes entre as irradiâncias anuais na cobertura e nas fachadas e entre as iluminâncias médias, para as fachadas nordeste, sudoeste, sudeste e noroeste. Se os cenários sem afastamentos laterais apresentarem resultados maiores que os resultados com afastamentos laterais, o valor da variação é positivo; se apresentarem resultados menores, o valor da variação é negativo. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.

Na Tabela 83, agregam-se os resultados da Tabela 82, com o objetivo de identificar as tendências das relações entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância e de iluminância. Os valores referentes ao aumento da variação foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.



Tabela 82 – Cálculo da influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 1.

Afastamento Lateral	Taxa de ocupação	Pavimentos	Varição entre Irrad. nas coberturas (%)	Varição entre Irrad. nas fachadas (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas nordeste (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudoeste (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudeste (%)	Varição entre Ilum. média nas fachadas noroeste (%)
Com X Sem	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	0,153	-17,007	-8,349	-7,985	-64,140	-57,555
Com X Sem	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	0,094	-7,406	6,774	0,674	-59,774	-60,628
Com X Sem	35% (RO1 e RO2) e 45% (CSIIR2)	3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	0,110	-2,111	-6,153	4,186	-52,232	-50,876
Com X Sem	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	-0,034	-30,080	-4,992	-0,885	-71,633	-68,882
Com X Sem	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	0,079	-10,899	0,934	6,555	-61,049	-55,789
Com X Sem	50% (RO1 e RO2) e 65% (CSIIR2)	3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	-0,026	-7,697	9,033	3,347	-54,652	-49,286
Com X Sem	65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	-0,073	-17,956	-30,619	-8,561	-51,880	-55,905
Com X Sem	65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 3 (CSIIR2)	-0,001	-5,581	-2,500	-5,939	-45,905	-43,287
Com X Sem	65% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	3 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	-0,042	2,361	-7,677	-0,331	-32,797	-38,668
Com X Sem	80% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	1 (RO1 e RO2) e 2 (CSIIR2)	0,123	-25,897	-10,577	0,075	-58,639	-69,874
Com X Sem	80% (RO1 e RO2) e 100% (CSIIR2)	2 (RO1 e RO2) e 4 (CSIIR2)	0,047	-14,607	8,437	-5,328	-47,656	-52,840
Máxima variação			0,153	-30,080	-30,619	-8,561	-83,080	-83,729

Fonte: A autora.

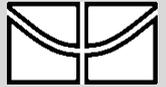


Tabela 83 – Agrupamento dos resultados da Tabela 82.

Afastamentos	Varição entre Irrad. nas coberturas	Varição entre Irrad. nas fachadas	Varição entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Varição entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Varição entre Ilum. média nas fachadas noroeste
Com X Sem	-	↓	↓	↓	↓	↓

Legenda

↑ Aumento da variação (%)
 ↓ Redução da variação (%)
 - Inconclusivo

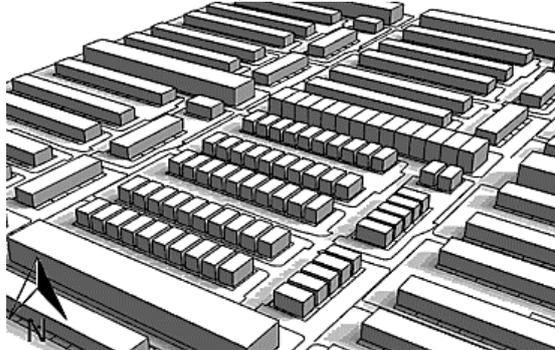
Fonte: A autora.

Verifica-se, a partir da Tabela 83, que não há relação significativa entre a presença de afastamentos laterais e os níveis de irradiação anual nas coberturas, para a Classe 1.

Nos cenários sem afastamentos laterais, entretanto, a maioria das fachadas laterais não recebe interferência do sombreamento, pois não está exposta ao sol, conforme demonstra as figuras 115 e 116. As fachadas sudeste e noroeste que estão expostas ao sol recebem pouco sombreamento, por estarem distantes dos edifícios adjacentes.

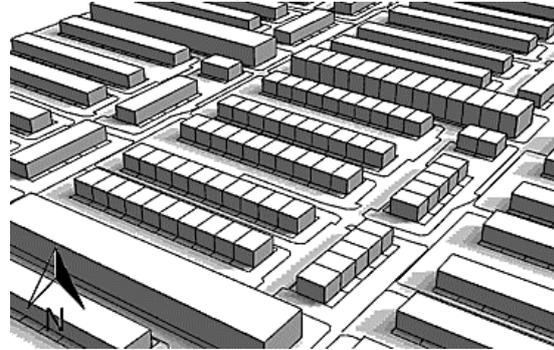
De maneira geral, observa-se que os níveis de irradiação e iluminância recebidos nas fachadas são maiores nos cenários com afastamentos laterais, em comparação com os cenários sem afastamentos laterais, em até 30,08% e 83,72%, respectivamente. Isso provavelmente ocorre porque os cenários com afastamentos laterais possuem maior área de superfície exposta à radiação, conforme ilustram a Figura 115, representativa de um dos cenários com afastamentos laterais; e a Figura 116, representativa de um dos cenários sem afastamentos laterais. Nota-se que as maiores variações de iluminância encontram-se nas fachadas sudeste e noroeste, representativas da maior parte das fachadas laterais. Isso ocorre porque, nos cenários sem afastamentos laterais, a maioria dessas fachadas não está exposta ao sol; enquanto que, nos cenários com afastamentos laterais, todas as fachadas estão.

Figura 115 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 116 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 1, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).



3.6.2. Classe 2

Para a Classe 2, comparam-se os resultados dos cenários com afastamentos laterais aos cenários sem afastamentos laterais. Objetiva-se mensurar o impacto dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância. A Tabela 84 demonstra as variações resultantes entre as irradiâncias anuais na cobertura e nas fachadas e entre as iluminâncias médias, para as fachadas nordeste, sudoeste, sudeste e noroeste. Se os cenários sem afastamentos laterais apresentarem resultados maiores que os resultados com afastamentos laterais, o valor da variação é positivo; se apresentarem resultados menores, o valor da variação é negativo. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.

Na Tabela 85, agregam-se os resultados da Tabela 84, com o objetivo de identificar tendências das relações entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância e de iluminância. Os valores referentes ao aumento da variação foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.



Tabela 84 – Cálculo da influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância, para a Classe 2.

Afastamento Lateral	Taxa de ocupação	Pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste (%)
Com X Sem	50%	1 (CSIIR-tipo1, 2 (CSIIR2-tipo2) e 4 (RE3-tipoB)	0,010	-1,491	50,724	-17,223	5,791	7,055
Com X Sem	50%	2 (CSIIR-tipo1), 3 (CSIIR2-tipo2) e 7 (RE3-tipoB)	-0,034	1,842	0,355	-12,711	3,979	9,057
Com X Sem	50%	3 (CSIIR-tipo1), 4 (CSIIR2-tipo2) e 9 (RE3-tipoB)	0,056	3,462	0,108	-10,679	5,574	10,733
Com X Sem	65%	1 (CSIIR-tipo1), 2 (CSIIR2-tipo2) e 4 (RE3-tipoB)	-0,072	-5,789	-1,568	-7,878	10,255	-7,290
Com X Sem	65%	2 (CSIIR-tipo1), 3 (CSIIR2-tipo2) e 7 (RE3-tipoB)	-0,102	-1,478	-0,134	-4,321	6,810	0,749
Com X Sem	65%	3 (CSIIR-tipo1), 4 (CSIIR2-tipo2) e 9 (RE3-tipoB)	-0,100	-1,094	-0,322	-1,191	8,164	0,908
Com X Sem	80%	1 (CSIIR-tipo1), 2 (CSIIR2-tipo2) e 4 (RE3-tipoB)	-0,066	6,472	48,076	-5,913	-14,072	0,131
Com X Sem	80%	2 (CSIIR-tipo1), 3 (CSIIR2-tipo2) e 7 (RE3-tipoB)	-0,033	6,625	24,418	-2,223	-10,155	1,327
Com X Sem	80%	3 (CSIIR-tipo1), 4 (CSIIR2-tipo2) e 9 (RE3-tipoB)	-0,060	5,225	30,773	-5,370	-10,044	0,720
Máxima variação			-0,102	6,625	50,724	-17,223	-14,072	10,733

Fonte: A autora.



Tabela 85 – Agrupamento dos resultados da Tabela 84.

Afastamentos Laterais	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste
Com X Sem	-	-	↑	↓	↑	↑

Legenda

↑ Aumento da variação (%)
 ↓ Redução da variação (%)
 - Inconclusivo

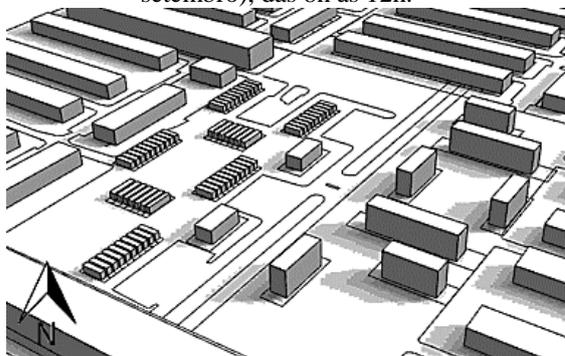
Fonte: A autora.

Verifica-se, a partir da Tabela 85, que não há relação significativa entre a presença de afastamentos laterais e os níveis de irradiância anual nas coberturas e nas fachadas, para a Classe 2.

De maneira geral, observa-se que os níveis de iluminância recebidos nas fachadas são maiores nos cenários sem afastamentos laterais, em comparação com os cenários com afastamentos laterais, em até 17,22%.

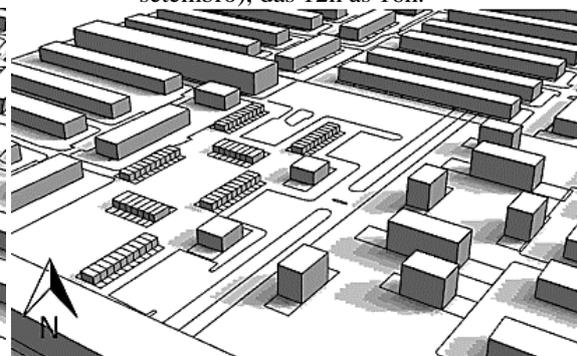
Para explicar o comportamento verificado, é necessário relacioná-lo com a forma dos cenários analisados. A classe 2 é composta por lotes grandes, distantes um do outro, e por lotes pequenos e adjacentes. Nos cenários com afastamentos laterais, tem-se uma maior área de fachadas laterais e menor área de fachadas frontais e de fundo; enquanto que, nos cenários sem afastamentos laterais, tem-se uma maior área de fachadas frontais e de fundo e uma menor área de fachadas laterais. Nos cenários com afastamento laterais, os afastamentos laterais são maiores e os afastamentos frontais e de fundo são menores que nos cenários sem afastamentos laterais, conforme demonstram as figuras a seguir. A Figura 117 representa um dos cenários com afastamentos laterais e a Figura 118 representa um dos cenários sem afastamentos laterais.

Figura 117 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 118 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 2, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).



Sendo assim, os níveis de iluminância recebidos nas fachadas são maiores nos cenários sem afastamentos laterais provavelmente porque, embora os cenários com afastamentos laterais possuam maior área de superfície expostas à radiação, o nível de irradiância recebido por metro quadrado pelas superfícies dos cenários sem afastamentos laterais é maior, uma vez que os afastamentos frontais e de fundo entre seus edifícios são maiores.

3.6.3. Classe 3

Para a Classe 3, comparam-se os resultados dos cenários contendo os edifícios localizados no centro do lote e os resultados dos cenários contendo os edifícios localizados próximos ao fundo. Objetiva-se mensurar o impacto dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância. A Tabela 86 demonstra as variações resultantes entre as irradiâncias anuais na cobertura e nas fachadas e entre as iluminâncias médias, para as fachadas norte, sul, leste e oeste. Se os cenários contendo os edifícios localizados no centro do lote apresentarem resultados maiores que os resultados dos cenários contendo os edifícios localizados próximos ao fundo, o valor da variação é positivo; se apresentarem resultados menores, o valor da variação é negativo. Ressaltam-se as máximas variações encontradas, que posteriormente serão comparadas com os resultados das demais classes.

Na Tabela 87, agregam-se os resultados da Tabela 86 com o objetivo de identificar as tendências das relações entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância e de iluminância. Os valores referentes ao aumento da variação foram representados com a cor verde e uma seta para cima; os referentes à redução, com a cor vermelha e uma seta para baixo, e os resultados inconclusivos (que apresentam tanto aumento, quanto redução), com a cor branca e um traço.



Tabela 86 – Cálculo da influência dos afastamentos nos níveis de irradiação e iluminância, para a Classe 3.

Afastamentos	Taxa de ocupação	Pavimentos	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas norte (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sul (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas leste (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas oeste (%)
Centro X Fundo	15%	1	-0,040	19,961	13,06	26,204	-1,502	-8,029
Centro X Fundo	15%	5	-0,058	12,730	40,243	28,443	-11,076	-13,564
Centro X Fundo	15%	10	-0,018	10,131	44,923	21,964	-13,068	-15,306
Centro X Fundo	15%	15	-0,067	9,612	48,605	19,949	-13,062	-15,264
Centro X Fundo	15%	20	-0,017	9,049	46,383	20,445	-12,733	-15,425
Centro X Fundo	30%	1	0,024	-7,310	-10,418	-3,811	-4,902	-6,147
Centro X Fundo	30%	5	0,024	-10,506	-21,546	-15,514	-13,163	-21,184
Centro X Fundo	30%	10	-0,008	-14,144	-16,355	-10,921	-16,159	-15,906
Centro X Fundo	45%	1	-0,011	-4,210	0,771	-8,205	-3,387	-10,472
Centro X Fundo	45%	5	0,006	-8,145	0,405	-6,855	-10,867	-19,291
Centro X Fundo	60%	1	0,040	-2,650	7,327	-12,206	-4,401	-4,844
Centro X Fundo	60%	5	-0,008	-4,914	10,476	-12,809	-8,192	-9,243
Máxima variação			-0,067	19,961	48,605	28,443	-16,159	-21,184

Fonte: A autora.

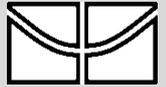


Tabela 87 – Agrupamento dos resultados da Tabela 86.

Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas oeste
Centro X Fundo	-	-	-	-	↓	↓

Legenda

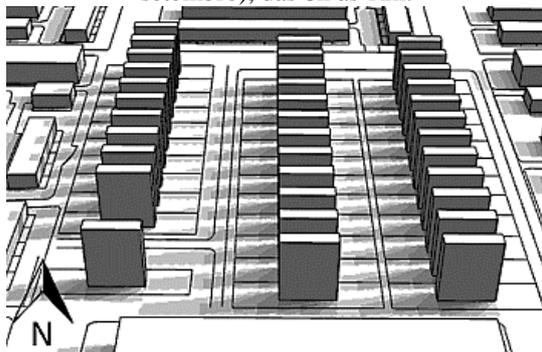
↑ Aumento da variação (%)
 ↓ Redução da variação (%)
 - Inconclusivo

Fonte: A autora.

Verifica-se, a partir da Tabela 87, que não há relação significativa entre a presença de afastamentos laterais e os níveis de irradiância anual nas coberturas, para a Classe 3.

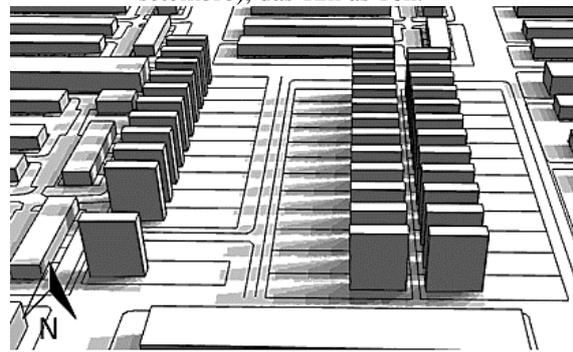
De maneira geral, observa-se que os níveis de irradiância e iluminância recebida nas fachadas são maiores nos cenários em os edifícios estão localizados no centro do lote, do que nos cenários em que os edifícios se localizam próximos ao fundo, em até 19,96% e 21,18%, respectivamente. Isso acontece porque os afastamentos entre os edifícios são maiores no sentido leste e oeste quando estes se localizam no centro do lote do que quando se localizam próximos do fundo, conforme demonstram as figuras a seguir. A Figura 119 representa um dos cenários contendo os edifícios localizados no centro do lote, e a Figura 120 representa um dos cenários contendo os edifícios localizados próximos ao fundo. O afastamento no sentido norte e sul, entretanto, é semelhante nos cenários com os edifícios no centro e com os edifícios próximos ao fundo, o que faz com que não seja possível estabelecer uma relação entre afastamentos e iluminância nessas fachadas.

Figura 119 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 8h às 12h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 120 – Projeção de sombra de um dos cenários da Classe 3, no equinócio (23 de setembro), das 12h às 16h.



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).



3.6.4. Conclusão

Verifica-se que a influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância segue um padrão de comportamento identificado nas Classes 1, 2 e 3, conforme demonstra a Tabela 88.

Tabela 88 – Resumo dos resultados da influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância.

Classe	Afastamentos	Variação entre Irrad. nas coberturas	Variação entre Irrad. nas fachadas	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste / norte	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste / sul	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste / leste	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste / oeste
1	Com X Sem	-	↓	-	-	↓	↓
2	Com X Sem	-	-	↑	↓	↑	↑
3	Centro X Fundo	-	-	-	-	↓	↓

Legenda

↑ Aumento da variação (%)
 ↓ Redução da variação (%)
 - Inconclusivo

Fonte: A autora.

Verifica-se que a influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância varia bastante de acordo com a forma urbana, não sendo possível identificar um padrão geral de comportamento. Nas quadras da Classe 1, os níveis de irradiância e iluminância recebidos nas fachadas são maiores nos cenários com afastamentos laterais, em comparação com os cenários sem afastamentos laterais, possivelmente porque os cenários com afastamentos laterais possuem maior área de superfície expostas à radiação. Nas quadras da Classe 2, os níveis de irradiância e iluminância recebidos nas fachadas são maiores nos cenários sem afastamentos laterais, em comparação com os cenários com afastamentos laterais. Isso provavelmente ocorre porque, embora os cenários com afastamentos laterais possuam maior área de superfície expostas à radiação, o nível de irradiância recebido por metro quadrado pelas superfícies dos cenários sem afastamentos laterais é maior, uma vez que os afastamentos frontais e de fundo entre seus edifícios são maiores. Nas quadras da Classe 3, os níveis de irradiância e iluminância recebida nas fachadas são maiores nos cenários em os edifícios estão localizados no centro do lote, do que nos cenários em que os edifícios se localizam próximos ao fundo, uma vez que os afastamentos entre os edifícios são maiores no sentido leste e oeste quando estes se localizam no centro do lote do que quando se localizam próximos do fundo.

A Tabela 89 apresenta as máximas variações encontradas nas três classes.



Tabela 89 – Máximas variações dos afastamentos.

Classe	Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste* / norte** (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste* / sul** (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste* / leste** (%)	Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste* / oeste** (%)
Classe 1: Horizontal contínuo	0,153	-30,080	-30,619	-8,561	-83,080	-83,729
Classe 2: Horizontal rugoso	-0,102	6,625	50,724	-17,223	-14,072	10,733
Classe 3: Vertical denso	-0,067	19,961	48,605	28,443	-16,159	-21,184

* Aplica-se à Classe 1 e 2.

** Aplica-se à Classe 3.

Fonte: A autora.

De maneira geral, nota-se que os afastamentos influenciam pouco na irradiância anual recebida pelas coberturas das Classes 1, 2 e 3, sendo a máxima variação verificada de 0,15%. Entretanto, eles provocam uma mudança significativa, de até 30,08%, nos níveis de irradiância média anual nas fachadas, principalmente nas Classes 1 e 3. Em relação aos níveis de iluminância, constata-se que as fachadas sudeste e noroeste são as mais influenciadas pelos afastamentos, na Classe 1; que as fachadas nordeste são as que mais são influenciadas pelos afastamentos, na Classe 2; e que as fachadas norte são as que mais são influenciadas pelos afastamentos, na Classe 3. As fachadas mais influenciadas pela variação dos afastamentos são as que possuem menores afastamentos em relação aos edifícios adjacentes, fato semelhante com o que ocorre com a variação da taxa de ocupação e do número de pavimentos. A mudança dos afastamentos pode reduzir significativamente a disponibilidade de radiação e iluminação natural nesses casos.

3.6.5. Comparação entre a influência dos parâmetros de ocupação estudados e os níveis de irradiância e iluminância nas classes tipo-morfológicas

As tabelas 90, 91 e 92 agrupam a magnitude das influências da taxa de ocupação, número de pavimentos, coeficiente de aproveitamento e afastamentos para a Classe 1, 2 e 3, respectivamente. Essas tabelas apresentam os maiores valores constatados entre os resultados, de acordo com a modificação do parâmetro de ocupação avaliado.

Ressalta-se que a magnitude da influência dos parâmetros de ocupação sujeita-se aos intervalos entre os valores dos parâmetros de ocupação utilizados na definição dos cenários. Sendo assim, o resultado é influenciado por esses valores.



Tabela 90 – Máximas variações da Classe 1.

Parâmetro de ocupação	Máxima Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Máxima Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Máxima Variação entre Ilum. média nas fachadas nordeste (%)	Máxima Variação entre Ilum. média nas fachadas sudoeste (%)	Máxima Variação entre Ilum. média nas fachadas sudeste (%)	Máxima Variação entre Ilum. média nas fachadas noroeste (%)
Taxa de ocupação (intervalo aprox. de 15%)	-0,162	-21,530	-33,027	-16,347	41,708	65,027
Número de pavimentos (intervalo de 1 pavimento)	-0,115	24,545	44,933	6,997	33,152	37,664
Coef. de aproveitamento (intervalo de aprox. 0,15)	-0,162	42,790	44,933	-16,347	63,585	121,408
Afastamentos (com x sem afastamentos laterais)	0,153	-30,080	-30,619	-8,561	-83,080	-83,729

Fonte: A autora.

A comparação entre a magnitude da influência da taxa de ocupação, do número de pavimentos, do coeficiente de aproveitamento e dos afastamentos para cada classe deve considerar o intervalo que foi utilizado para cada parâmetro de ocupação. Sendo assim, compara-se a influência da variação de aproximadamente 15% de taxa de ocupação, de 1 pavimento, de aproximadamente 0,15 de coeficiente de aproveitamento e da condição com ou sem afastamentos laterais. Nesse sentido, é provável que os parâmetros com maior intervalo entre os cenários recebam maior influência do que as com menor intervalo.

Conforme demonstra a Tabela 90, a taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência sobre os níveis de irradiância nas coberturas; enquanto os afastamentos e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência sobre os níveis de irradiância nas fachadas, para a Classe 1. Em relação aos níveis de iluminância, o número de pavimentos e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência nas fachadas nordeste; a taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência nas fachadas sudoeste e os afastamentos e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência nas fachadas sudeste e noroeste. Especula-se que tal resultado seja reflexo da distribuição equilibrada dos intervalos de taxa de ocupação, número de pavimentos, coeficiente de aproveitamento e afastamentos utilizados na definição dos cenários, para a Classe 1.



Tabela 91 – Máximas variações da Classe 2.

Parâmetro de ocupação	Máxima Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Máxima Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Máxima Variação entre Ilum. nas fachadas nordeste (%)	Máxima Variação entre Ilum. nas fachadas sudoeste (%)	Máxima Variação entre Ilum. nas fachadas sudeste (%)	Máxima Variação entre Ilum. nas fachadas noroeste (%)
Taxa de ocupação (intervalo de 15%)	-0,142	-13,761	-40,520	-16,523	-23,866	-14,940
Número de pavimentos (intervalo aprox. de 2 pavimentos)	-0,115	-7,687	-32,816	-13,039	11,946	9,203
Coef. de aproveitamento (intervalo de aprox. 0,30)	-0,165	14,455	45,259	-19,136	36,665	20,070
Afastamentos (com x sem afastamentos laterais)	-0,102	6,625	50,724	-17,223	-14,072	10,733

Fonte: A autora.

Compara-se a influência da variação de 15% de taxa de ocupação, de aproximadamente 2 pavimentos, de aproximadamente 0,30 de coeficiente de aproveitamento e da condição com ou sem afastamentos laterais. A taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência sobre os níveis de irradiância nas coberturas; enquanto a taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência sobre os níveis de irradiância nas fachadas, para a Classe 2, conforme demonstra a Tabela 91. Em relação aos níveis de iluminância, os afastamentos e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência nas fachadas nordeste e sudoeste; e a taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência nas fachadas sudeste e noroeste. Especula-se que tal resultado seja reflexo da distribuição equilibrada dos intervalos de taxa de ocupação, número de pavimentos, coeficiente de aproveitamento e afastamentos utilizados na definição dos cenários, para a Classe 2.

Tabela 92 – Máximas variações da Classe 3.

Parâmetro de ocupação	Máxima Variação entre Irrad. nas coberturas (%)	Máxima Variação entre Irrad. nas fachadas (%)	Máxima Variação entre Ilum. nas fachadas norte (%)	Máxima Variação entre Ilum. nas fachadas sul (%)	Máxima Variação entre Ilum. nas fachadas leste (%)	Máxima Variação entre Ilum. nas fachadas oeste (%)
Taxa de ocupação (intervalo de 15%)	0,072	-23,723	-37,482	-37,184	-8,560	-15,692
Número de pavimentos (intervalo de 5 pavimentos)	0,051	-31,989	-54,288	-43,385	18,658	21,505
Coef. de aproveitamento (intervalo de aprox. 0,75)	0,072	-31,989	-54,288	-43,385	22,474	28,165
Afastamentos (centro x fundo)	-0,067	19,961	48,605	28,443	-16,159	-21,184

Fonte: A autora.



Compara-se a influência da variação de 15% de taxa de ocupação, de 5 pavimentos, de aproximadamente 0,75 de coeficiente de aproveitamento e da situação em que os edifícios sem localizam no centro do lote e a em que os edifícios sem localizam próximos ao fundo.

A taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência sobre os níveis de irradiância nas coberturas; enquanto o número de pavimentos e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência sobre os níveis de irradiância e iluminância nas fachadas, para a Classe 3, conforme demonstra a Tabela 92. Especula-se que tal resultado seja reflexo da forma dos lotes e dos valores de parâmetros de ocupação utilizados na definição dos cenários, para a Classe 3. Como a variação entre as taxas de ocupação é pequena e a variação entre o número de pavimentos é grande, é coerente que o número de pavimentos exerça uma influência maior nas fachadas.

Comparando-se o resultado das três classes, verifica-se que a taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência sobre os níveis de irradiância nas coberturas das Classes 1, 2 e 3. Os afastamentos e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência sobre os níveis de irradiância nas fachadas da Classe 1; enquanto a taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência sobre os níveis de irradiância nas fachadas da Classe 2 e o número de pavimentos e o coeficiente de aproveitamento exercem a maior influência sobre os níveis de irradiância nas fachadas da Classe 3. Em relação aos níveis de iluminância, a taxa de ocupação, o número de pavimentos, o coeficiente de aproveitamento e os afastamentos influenciam significativamente o resultado da Classe 1; enquanto a taxa de ocupação, o coeficiente de aproveitamento e os afastamentos influenciam significativamente o resultado da Classe 2; e o número de pavimentos e o coeficiente de aproveitamento, da Classe 3.

Tendo em vista que cada classe foi impactada de maneira diferente, ressalta-se a importância da contribuição do desenho dos lotes (tamanho, afastamentos e orientação) no cálculo do impacto dos parâmetros de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância recebidos pelos edifícios. Em lotes pequenos e adjacentes e orientados a nordeste-sudoeste e a sudeste -noroeste, como os da Classe 1, a influência dos afastamentos laterais é, de maneira geral, maior que nas demais classes. Na classe 2, composta por lotes grandes e distantes um do outro e por lotes pequenos e adjacentes, orientados a nordeste-sudoeste e a sudeste-noroeste, nota-se a maior influência da taxa de ocupação. Na classe 3, composta por lotes grandes e adjacentes orientados a norte-sul, a influência do número de pavimentos é maior que nas demais classes, o que pode ser explicado pelo maior intervalo de número de pavimentos adotado para essa classe.



Capítulo 4: Conclusão

A qualidade ambiental das edificações depende da qualidade ambiental urbana, e, tendo em vista as atuais restrições energéticas, o espaço urbano deveria contribuir para a adaptação das edificações à nova realidade. Entretanto, as cidades brasileiras continuam crescendo desordenadamente, e, muitas vezes a valorização imobiliária promove a ocupação inadequada dos espaços urbanos, com a verticalização das áreas centrais. Tal ocupação afeta o acesso das edificações ao sol, interferindo em seus níveis de irradiância (e conseqüentemente na carga térmica no interior das edificações e no seu potencial de produção energética fotovoltaica) e em seus níveis de iluminância (associados à disponibilidade de iluminação natural).

Nesse contexto, estuda-se a região administrativa do Gama (Distrito Federal), polo de concentração populacional da região centro-oeste brasileira, onde vem ocorrendo um processo de verticalização, promovido pela Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS). Avalia-se a forma urbana proposta pela LUOS e objetiva-se definir as melhores formas urbanas em relação ao aproveitamento da energia solar recebida pelas envoltórias dos edifícios, levando-se em consideração a disponibilidade de iluminação natural, o controle térmico e a produção energética.

A partir dos resultados para cada objetivo específico, foi possível traçar algumas conclusões a respeito dos principais aspectos desta pesquisa. O trabalho apresenta três produtos, sendo estes: a caracterização da forma urbana do Gama e a sua classificação em classes tipo-morfológicas; a análise do desempenho solar de diferentes cenários para cada classe e a escolha daqueles com o melhor desempenho solar (otimização) e o cálculo da magnitude do impacto dos parâmetros de ocupação da LUOS nos níveis de irradiância e iluminância nas envoltórias dos edifícios dessas classes.

Em relação à classificação da forma urbana do Gama, nota-se que há predominância de edifícios horizontais (com altura média de 12,72 m); com pouca rugosidade absoluta (média de 4,59); densidade mediana (média de 3,46); baixo coeficiente de forma (média de 3,31) e alta contiguidade (média de 0,35).

Constata-se que 85% do tecido urbano do Gama é composto pela Classe 1 ou classe horizontal contínua; 3%, pela Classe 2 ou classe horizontal rugosa e 12%, pela Classe 3 ou classe vertical densa. A Classe 1 possui lotes pequenos e adjacentes, orientados a nordeste-sudoeste e a sudeste -noroeste. A classe 2 é composta por lotes grandes, distantes um do outro, e por lotes pequenos e adjacentes, orientados a nordeste-sudoeste e a sudeste -noroeste. Os lotes da Classe 3 são grandes e adjacentes, orientados a norte-sul.



A partir do desenho das classes, foram definidos os cenários a serem estudados, baseados nos parâmetros de ocupação da LUOS e obedecendo aos limites estabelecidos para cada uso do solo. Os cenários da Classe 1 são compostos por lotes com taxas de ocupação que variam de 35% e 45% a 80% e 100% e por edifícios de 1 e 2 a 3 e 4 pavimentos. Os cenários da Classe 2 são compostos por lotes com taxas de ocupação que variam de 50% a 100% e por edifícios de 1, 2 e 4 a 3, 4 e 9 pavimentos. Os cenários da Classe 3 são compostos por lotes com taxas de ocupação que variam de 15% a 60% e por edifícios de 1 a 20 pavimentos.

A análise dos resultados do desempenho solar dos cenários compreendeu três etapas: análise das iluminâncias (eliminatória), análise das irradiâncias (classificatória) e análise de potencial energético (complementar). A partir do resultado dessas três etapas, concluem-se quais seriam os cenários que melhor contemplam as estratégias do processo de otimização, e conseqüentemente são os cenários mais adequados ao contexto climático do caso de estudo (tidos como os cenários otimizados).

Verificou-se que os cenários da Classe 1 têm um bom potencial energético, por possuir edifícios baixos (com menos área, que consumiriam pouco) e por receber altos níveis de irradiância nas coberturas (o que possibilitaria o uso dos painéis fotovoltaicos). Entretanto, eles possuem pouca disponibilidade de iluminação natural, uma vez que nenhum dos seus cenários obteve iluminância acima dos limites mínimos estabelecidos como satisfatórios. Sendo assim, nenhum dos seus cenários passaria, no processo da otimização.

A análise da Classe 2 resulta em dois cenários otimizados, ambos contendo edifícios sem afastamentos laterais e com poucos pavimentos, tendo o primeiro colocado 80% de taxa de ocupação e o segundo colocado, 65%. De maneira geral, os cenários da Classe 2 têm uma adequada disponibilidade de iluminação natural (62% dos cenários passaram na análise das iluminâncias). Entretanto, tem-se potencial energético para suprir a demanda apenas nos cenários contendo edifícios com as menores alturas. Os cenários com edifícios de altura intermediária não são capazes de suprir sua demanda energética com a produção energética, por meio de painéis fotovoltaicos instalados na cobertura. Apenas os cenários contendo edifícios mais baixos conseguiriam produzir mais que a demanda energética. Os cenários sem afastamentos laterais recebem menos irradiância nas fachadas, sendo por isso, melhor classificados na análise da irradiância.

A análise da Classe 3 resulta em cinco cenários otimizados, todos contendo edifícios de 1 pavimento e com taxas de ocupação que variam de 15% a 45%. Os cenários com os edifícios localizados no centro são melhor classificados. De maneira geral, os cenários da Classe 3 têm pouca disponibilidade de iluminação natural (20% dos cenários passaram na análise das iluminâncias) e possuem potencial energético para suprir a demanda apenas nos cenários contendo edifícios com 1 pavimento.



A fim de testar uma situação que teoricamente melhoraria a disponibilidade de iluminação natural, modelou-se e simulou-se um cenário (para cada classe) em que a posição dos edifícios é intercalada em relação aos lotes, sendo uns posicionados na frente do lote e uns no fundo. Escolheram-se, para a configuração destes cenários, as mesmas taxas de ocupação e número de pavimentos de um dos cenários que não passou na análise da iluminância.

Verifica-se que o cenário da Classe 1 não conseguiria atingir o nível mínimo exigido para as fachadas noroeste; enquanto os cenários da Classe 2 e 3 conseguiriam atingir o nível mínimo exigido para todas as fachadas. Nota-se também que a posição intercalada dos edifícios em relação ao lote configura formas urbanas que promovem maiores níveis de irradiâncias recebidas nas fachadas. Nesse sentido, deve-se estudar mais detalhadamente o efeito de formas intercaladas nos níveis de irradiância e iluminância, uma vez que estas promovem uma melhor iluminação natural, mas também podem promover maiores níveis de irradiâncias recebidas nas fachadas.

Conclui-se que, embora a definição dos parâmetros de ocupação otimizados dependa significativamente do desenho dos lotes, é possível perceber um padrão nos cenários avaliados. Para a Classe 1, que possui lotes próximos e pequenos, nenhum dos cenários avaliados atinge o mínimo de iluminância nas fachadas, e, portanto, nenhum cenário é considerado como otimizado. Para a Classe 2, que possui lotes predominantemente mais afastados, os cenários otimizados contêm edifícios com poucos pavimentos (até 4), sem afastamentos e taxas de ocupação maiores (de até 80%). Para a Classe 3, que possui lotes próximos e maiores, os cenários otimizados contêm edifícios de 1 pavimento, localizados tanto no centro do lote quanto próximos ao fundo, e taxas de ocupação menores, que variam de 15% a 45%. Sendo assim, constata-se que os cenários com menos pavimentos promovem um melhor aproveitamento da energia solar. Dentre estes cenários, se os lotes são predominantemente mais próximos uns dos outros, uma taxa de ocupação menor promove um melhor desempenho; enquanto que, se os lotes forem majoritariamente mais afastados uns dos outros, uma taxa de ocupação maior promove um melhor desempenho. No entanto, quando os lotes são pequenos e próximos, mesmo uma taxa de ocupação menor não é capaz de promover um nível de iluminância satisfatório nas fachadas, como é o caso da Classe 1.

A fim de garantir o adequado aproveitamento da energia solar⁶¹, de acordo com as estratégias propostas pelo trabalho em questão, devem-se revisar os limites dos parâmetros de ocupação determinados pela LUOS. Em relação à Classe 2, a LUOS permite uma taxa de ocupação de até 100% e um número máximo de 3 pavimentos, para o uso CSIIR2 (1); uma taxa de ocupação de até 100% e um número máximo de 4 pavimentos, para o uso CSIIR2 (2) e uma taxa de ocupação de até 100% e um número máximo de 9 pavimentos, para o uso RE3 – Setor Central – Tipo B. Entretanto, para assegurar o melhor aproveitamento da energia solar, deve-se limitar o número de

⁶¹ Consideraram-se todos os cenários que passaram na análise de iluminância.



pavimentos dos usos CSIIR2 (1), CSIIR2 (2) e RE3 a 2, 3 e 7 pavimentos, respectivamente, se for considerada uma taxa de ocupação de 65%. Se a taxa de ocupação for de 50%, o número de pavimentos pode aumentar para 3, 4 e 9 pavimentos. Para a Classe 3, deve-se limitar o número de pavimentos do uso CSIIR2-Leste Industrial a apenas 1 pavimento (a LUOS permite até 20 pavimentos) e a taxa de ocupação a 45% (a LUOS permite até 60%). Para a Classe 1, porém, não foi possível a adequação dos limites dos parâmetros de ocupação, a fim de que se aproveitar melhor a energia solar, uma vez que nenhum dos cenários avaliados passou na análise de iluminância. Isso demonstra que, além da adequação dos limites dos parâmetros de ocupação, é importante que o desenho dos lotes (tamanho, afastamentos e orientação) também contribua para o aproveitamento da energia solar. Nesse sentido, reforça-se a importância da adequação do desenho dos lotes e a necessidade de sua integração na definição dos parâmetros de ocupação.

Em relação à influência dos parâmetros de ocupação da LUOS nos níveis de irradiância e iluminância nas envoltórias, é possível chegar a algumas conclusões. Nota-se que, de maneira geral, à medida em que a taxa de ocupação aumenta, diminuem-se os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas. Isso provavelmente acontece porque, aumentando-se a taxa de ocupação, diminuem-se os afastamentos entre os edifícios e, conseqüentemente, aumenta-se a interferência da projeção de sombra de um edifício sobre o outro, o que diminui os níveis de irradiância e de iluminância nas fachadas.

Verifica-se que, de maneira geral, o aumento do número de pavimentos (e conseqüente aumento da altura das edificações) promove a redução dos níveis de irradiância e iluminância nas fachadas das Classes 2 e 3. Entretanto, não existe um padrão abrangente entre o número de pavimentos e os níveis de irradiância e iluminância na Classe 1, uma vez que os cenários sem afastamentos laterais se comportam de maneira diferente dos cenários com afastamentos laterais. Sendo assim, os resultados gerais da Classe 1 são inconclusivos.

O aumento do coeficiente de aproveitamento pode promover tanto a diminuição dos níveis de irradiância e iluminância nas fachadas (quando a taxa de ocupação e/ou o número de pavimentos aumentam) quanto o seu aumento (quando a taxa de ocupação diminui e o número de pavimentos aumenta).

E, em relação aos afastamentos, constata-se que a influência dos afastamentos nos níveis de irradiância e iluminância varia bastante de acordo com a forma urbana, não sendo possível identificar um padrão geral de comportamento.

Comparando-se a magnitude do impacto dos parâmetros de ocupação em cada classe, nota-se que cada classe foi impactada de maneira diferente (matematicamente). Dessa maneira, ressalta-se a importância da contribuição do desenho dos lotes (tamanho, afastamentos e orientação) no cálculo do impacto dos parâmetros de ocupação nos níveis de irradiância e iluminância recebidos pelos edifícios. Em lotes pequenos e adjacentes e



orientados a nordeste-sudoeste e a sudeste -noroeste, como os da Classe 1, a influência dos afastamentos laterais é, de maneira geral, maior que nas demais classes. Na classe 2, composta por lotes grandes e distantes um do outro e por lotes pequenos e adjacentes, orientados a nordeste-sudoeste e a sudeste -noroeste, nota-se a maior influência da taxa de ocupação. Na classe 3, composta por lotes grandes e adjacentes orientados a norte-sul, a influência do número de pavimentos é maior que nas demais classes, o que pode ser explicado pelo maior intervalo de número de pavimentos adotado para essa classe.

Conclui-se que, a fim de garantir o adequado aproveitamento da energia solar, os limites dos parâmetros de ocupação determinados pela LUOS precisam ser revistos e que, além da adequação dos limites dos parâmetros de ocupação, é importante que o desenho dos lotes (tamanho, afastamentos e orientação) também contribua para o aproveitamento da energia solar.

Além dos produtos descritos, o trabalho também contribui com o desenvolvimento de uma metodologia de pesquisa que possibilita a incorporação do aproveitamento da energia solar no processo de planejamento urbano.

4.1. Limitações do trabalho

A primeira limitação refere-se aos diversos fatores e critérios compreendidos pela problemática energética das cidades, além das condicionantes solares, que não foram considerados no trabalho, como o movimento do ar, por exemplo.

Além disso, o trabalho em questão se restringe ao estudo da energia operacional (utilizada no resfriamento, aquecimento e iluminação dos edifícios), desconsiderando o processamento de energia e a energia de transporte.

Outra limitação refere-se ao desenho da malha de análise utilizada para o estudo da forma urbana. Tendo em vista que a região administrativa do Gama possui diferentes orientações de quadras, especula-se que a rotação da malha de análise modificaria significativamente os resultados obtidos.

E, por fim, a quantidade de parâmetros avaliados na definição dos cenários consiste em outra limitação. A quantidade de modelos de forma urbana que foram considerados poderia ser maior, avaliando-se, por exemplo, a influência das refletâncias das paredes ou a orientação das quadras, nos níveis de irradiância e iluminância recebidos pelas envoltórias.



4.2. Sugestões para trabalhos futuros

Entende-se que estudos complementares poderiam aprimorar e ampliar a relevância do trabalho em questão. Nesse sentido, sugere-se:

- a) A inclusão do movimento do ar no processo de otimização.
- b) A ampliação dos procedimentos metodológicos, incluindo um nível máximo aceitável de irradiância recebida pelas coberturas no processo de otimização.
- c) A análise da influência de outros parâmetros, como as refletâncias das paredes ou a orientação das quadras, nos níveis de irradiância e iluminância recebidos pelas envoltórias.
- d) A inserção de detalhes arquitetônicos nos cenários avaliados.
- e) A aplicação dos procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa em cidades com diferentes contextos morfológicos, a fim de se comparar os resultados.
- f) A aplicação dos procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa em diferentes contextos climáticos, a fim de se comparar os resultados. Para esse caso, seria necessário verificar qual fonte renovável seria mais adequada ao clima e seria necessária a revisão das estratégias utilizadas para o aproveitamento da energia solar.
- g) Desenvolvimento de uma ferramenta informática para auxílio no processo de planejamento urbano, que torne os resultados gerados pela pesquisa acessíveis à planejadores, projetistas e gestores urbanos.



Referências bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO/CIE 8995. Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior.** Rio de Janeiro, 2013

_____. **NBR 15215-1. Iluminação natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **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.

_____. **NBR 15220-3. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15575-1:2013. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ADF – ANUÁRIO DO DF. Gama impulsiona a economia do Entorno. Disponível em < <http://www.anuariododf.com.br/regioes-administrativas/ra-ii-gama/> > Acesso: 26/04/16.

_____. Regiões Administrativas. Disponível em < <http://www.anuariododf.com.br/regioes-administrativas/> > Acesso: 26/04/16.

ADOLPHE, L.; MAÏZIA, M.; IZARD, J.; CHATELET, A.; BOUSSOUALIM, A.; AÏT-AMEUR, K.; BARLET, A.; CASAL, A.; LEHTIHET, K.; MARCILLAT, J. Towards a management aided system for integrating outdoor climate into the design of urban spaces. In: PLEA, 17., 2002, Toulouse. **Anais...** Toulouse: 2002.

ALLAIN, R. **Morphologie Urbaine: Géographie, aménagement et architecture de la ville.** Paris: Armand Colin, 2004.

ANDRADE, J. **Iluminação natural em edificações residenciais: Dimensionamento de aberturas laterais (janelas) no contexto do Distrito Federal.** 2014. 123f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

ANJOS, R. Brasília: 50 anos de dinâmica territorial urbana. **Revista Eletrônica: Tempo - Técnica - Território**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2012.



ANNEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Energia Solar. Disponível em < [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf) > Acesso: 08/05/16.

_____. Informações técnicas: Geração Distribuída. Disponível em < <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas> > Acesso: 08/05/16.

_____. Resolução Normativa nº 482. Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> > Acesso: 10/05/16.

BAGNATI, M. **Zoneamento bioclimático e arquitetura brasileira: qualidade do ambiente construído**. 2013. 133f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Energy and Environment in Architecture: A Technical Design Guide**. Londres, E&FN Spon, 2000.

BARBIRATO, G.; SOUZA, L.; TORRES, S. **Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2016.

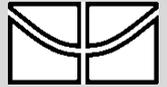
BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria nº18, 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Disponível em < www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001627.pdf > Acesso: 15/07/15.

BUSON, M. **Porque minha janela tem 1m? Análise e verificação dos índices técnicos do Código de Edificações do Distrito Federal relativos à iluminação natural**. 1998. 104 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

CABRAL, I.; TORRES, A.; SENNA, P. Energia solar – Análise comparativa entre Brasil e Alemanha. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, **Anais..** Salvador: IBEAS, 2013.

CARVALHO, H. **Metodologia para a análise das interações entre a forma urbana e o clima: aplicação a uma cidade brasileira de clima litorâneo com baixa latitude**. 2006. 214f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; TRUEWIND SOLUTIONS; CAMARGO SCHUBERT ENGENHARIA EÓLICA; CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO; ELETROBRÁS; MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; GDF – GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Disponível em <



http://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf > Acesso: 14/06/16.

CHIVELET, N.; SOLLA, I. **Técnicas de vedação Fotovoltaica na Arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CINTRA, M. **Arquitetura e luz natural: A influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. 2011. 158f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

CODEPLAN. Pesquisa distrital por amostra de domicílio: PDAD - 2015. Disponível em <
http://www.codeplan.df.gov.br/images/CODEPLAN/PDF/pesquisa_socioeconomica/pdad/2015/PDAD_Gama_2015.pdf > Acesso: 20/04/16.

_____. Caracterização do território. Disponível em <
http://www.codeplan.df.gov.br/component/docman/doc_download/274-caracterizacao-do-territorio-descritivo.html. > Acesso: 15/04/16.

COLOMBERT, M. **Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville**. 2008. 538f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Université Paris, Paris, 2008.

COSTA, J.; OLIVEIRA, N.; AMORIM, C. Morphological characteristics and energy consumption of office buildings in the central area of Brasilia. In: PASSIVE LOW ENERGY ARCHITECTURE, 33., 2017, Edinburgh. **Anais...** Edinburgh: PLEA, 2017.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em <
http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutorial_solar >
Acesso: 15/05/16.

CRONEMBERGER, J. **Integración de sistemas fotovoltaicos en edificios de oficinas en bajas latitudes: estudio del balance energético aplicado a Brasil**. 2015. 56f. Tese – Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2015.

DEL RIO, V. **Introdução ao desenho urbano no processo de planejamento**. 5. ed. São Paulo: Pini, 2000.

DEURA – DIRETORIA DE ESTUDOS URBANOS E AMBIENTAIS; CODEPLAN - COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. Estudo urbano ambiental do Gama. Disponível em <



http://www.codeplan.df.gov.br/images/CODEPLAN/PDF/pesquisa_socioeconomica/D-EURA/Estudo_Urbano_Ambiental-Gama_2015.pdf > Acesso: 25/04/16.

DOMINGOS, L.; KALZ, D.; DINKEL, A.; LOMARDO, L.; SILVA, V. Definição de uma classificação climática para o estudo de edificações com balanço anual zero de energia no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014.

ECEE - EUROPEAN COUNCIL FOR AN ENERGY EFFICIENT ECONOMY. EPBD Recast. Disponível em < http://www.ecee.org/policy-areas/buildings/EPBD_Recast >. Acesso: 20/07/2016.

ELETROBRÁS; PROCEL. **Pesquisa de Posse de equipamentos e Hábitos de Uso - Ano base 2005 – Casse Residencial – Relatório Brasil**. Rio de Janeiro, 2007.

ENOVA. Entenda o que influencia a geração do seu sistema solar. Disponível em < <http://www.enovaenergia.com.br/blog/post/entenda-o-que-influencia-a-geracao-do-seu-sistema-solar> > Acesso: 20/07/16.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário estatístico de energia elétrica 2014 – ano base 2013. Disponível em < <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202014.pdf> > Acesso: 16/05/16.

_____. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Disponível em < http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf > Acesso: 16/05/16.

ESPOSITO, A.; FUCHS, P. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES**, v. 40, p. 85-114, 2013.

FARRET, F. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. Santa Maria: Editora UFSM, 1999.

FEDRIGO, N. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2009, Natal. **Anais...** Natal: ANTAC, 2009.

FERREIRA, F. Demanda Habitacional: Uma metodologia de acompanhamento e previsão para as Regiões Administrativas do Distrito Federal. In: ENCONTRO ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 2006, Belo Horizonte. **Anais..** Belo Horizonte: EABEP, 2006.



FRAZÃO, D. **Expansão urbana, nucleações e a formação de centralidades no Distrito Federal: o caso do Gama**. 2009. 144f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FREITAS, S.; BRITO, M. Maximizing the solar photovoltaic yield in different building facade layouts. In: EU PVSEC PROGRAMME PLANNER, 2015, Amsterdã. **Anais...** Amsterdã: EU PVSEC, 2015.

FREITAS, T. **A expansão urbana no Distrito Federal e a dinâmica do mercado imobiliário: o caso do Gama**. 2013. 135f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. London: Applied Science Publishers, 1976.

_____. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GRAZZIOTIN, P.; FREITAS, C.; TURKIENICZ, B.; PEREIRA, F. Visualization Techniques in a Building Potential Simulator Using Sunlight Access Control. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/229009861_Visualization_Techniques_in_a_Building_Potential_Simulator_Using_Sunlight_Access_Control > Acesso: 01/08/16.

GROLEAU, D.; MARENNE, C. Environnemental specificities of the urban built forme. Rebuildrebuilding the European city, Integration renewable energies in established urban structure. **Corfou**, p. 8, 1995.

GROSSO, M. Urban form and renewable energy potential. **Renewable Energy**, v. 15, n. 1-4, p. 331-336, 1998.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/> > Acesso: 17/04/16.

IEA – International Energy Agency. **Cities, Towns & Reweable Energy: Yes In My Front Yard**. Organization for Economic Cooperation & Development, Paris, 2009.

_____. **Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy**. Organization for Economic Cooperation & Development, Paris, 2014.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas> > Acesso: 20/07/16.



INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA; LABSOLAR - LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR. Atlas de irradiação solar do Brasil. Disponível em < http://www.lepten.ufsc.br/pesquisa/solar/atlas_de_irradiacao.pdf > Acesso: 20/07/16.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Disponível em <http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf> Acesso: 20/07/16.

JAKUBIEC, J.; REINHART, C. A method for predicting city-wide electricity gains from photovoltaic panels based on LiDAR and GIS data combined with hourly Daysim simulations. **Solar Energy**, v. 93, p. 127–143, 2013.

KANTERS, J.; HORVAT, M. Solar energy as a design parameter in urban planning. **Energy Procedia**, v. 30, p. 1143-1152, 2012.

KNOWLES, R.; BERRY, R. **Solar envelope concepts: moderate density building applications**. Golden: SERI, 1980.

KOENIGSBERGER, O.; INGERSOLL, T.; MAYHEW, A. **Manual of Tropical Housing and Building**. London: Longman, 1977.

LABEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Arquivos climáticos INMET 2012. Disponível em < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw> > Acesso: 25/02/16.

LAGIOS, K.; NIEMASZ, J.; REINHART, C. Animated building performance simulation (ABPS) – Linking rhinoceros/grasshopper with radiance/daysim. In: IBPSA, 4., 2010, New York. **Anais..** New York: IBPSA, 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LANDSBERG, H. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981.

LANGE, W. **Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético fotovoltaico**. Empresa De Pesquisa Energética/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, estudo interno elaborado por meio da TerraGIS. Rio de Janeiro EPE/GIZ, 2012.



LEDER, S. **Ocupação urbana e luz natural: proposta de parâmetro de controle da obstrução do céu para garantia da disponibilidade à luz natural.** 2007. 240f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

LEDER, S.; PEREIRA, F. Ocupação urbana e disponibilidade de luz natural. **Minerva**, v. 5, n. 2, p. 129-138, 2003.

LEITE, C. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes.** Porto Alegre: Bookman, 2012.

LITTLEFAIR, P. Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. **Solar Energy**, London, v. 70, n. 3, p. 177-185, 2001.

MACIEL, A. **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifício de Escritórios.** 2002. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MAÏZIA, M.; SEZE, C.; BERGE, S.; TELLER, J.; REITER, S.; MENARD, R. Energy requirements of characteristic urban blocks. In: CISBAT 2009-RENEWABLES IN A CHANGING CLIMATE-FROM NANO TO URBAN SCALE, 2009, Suíça. **Anais...** Suíça: EPFL, 2009.

MAPDWELL Solar System™. Disponível em < <https://www.mapdwell.com/en/solar> > Acesso: 27/07/16.

MARINS, K.; ROMERO, M. Integração de condicionantes de morfologia urbana no desenvolvimento de metodologia para planejamento energético urbano. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 117-137, 2012.

MARTINS, T. **De condicionantes solares a oportunidades de desenho urbano: Otimização de tipo-morfologias urbanas em contexto de clima tropical.** 2014. 470f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MGF IMÓVEIS. Disponível em < <http://df.mgfimoveis.com.br/venda-df-brasilia-apt-2-qts-espaco-verde-gama-df-2-dormitorios-1-vaga-na-164151> > Acesso: 27/04/16.

MIT NEWS. Realizing your true (solar) potential. Disponível em < <http://news.mit.edu/2016/mapdwell-solar-mapping-potential-0205> > Acesso: 27/07/16.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas. Disponível em < <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf> >. Acesso: 28/06/16.



_____. Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar. Disponível em < http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030 > Acesso: 05/07/16.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EPE- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2014 – ano base 2013**. Rio de Janeiro: MME e EPE, 2014. 253 p.

_____. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro: MME & EPE, 2014. 64 p.

_____. Balanço energético nacional. Disponível em < https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf > Acesso: 13/01/16.

MONTAVON, M. 2010. **Optimisation of Urban Form by the Evaluation of the Solar Potential**. 255f. Tese – Faculté Environnement Naturel, Architectural et Construit, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2010.

MORAES, L.; PEREIRA, F. Um método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da iluminação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

_____. Desenvolvimento de um método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da luz natural e sua influência sobre a eficiência energética. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 3., 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANPARQ, 2014.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 905-913, 2006.

NIEMASZ, J. DIVA User Guide. Disponível em < <http://diva4rhino.com/user-guide> > Acesso: 04/05/17.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 1. ed. Londres: Routledge, 1987.

OLIVEIRA, D.; MANIÇOBA, R. Processo de formação e expansão urbana do Distrito Federal. **Universitas Humanas**, Brasília, v. 11, n. 2, p. 27-38, 2014.

PAVIANI, A.; BARRETO, F.; FERREIRA, I.; CIDADE, L.; JATOBÁ, S. **Brasília 50 anos: da capital à metrópole**. Brasília: UnB, 2010.



PEREIRA, F. Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia de energia na edificação. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1993, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1993.

PEREZ, D. **Diretrizes solares para o planejamento urbano: o envelope solar como critério para adensamento e verticalização.** 2013. 279f. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

PEREZ, R.; SEALS, R.; MICHALSKY, J. All-weather model for sky luminance distribution – preliminary configuration and validation. **Solar Energy**, v. 50, n. 3, p. 235-243, 1993.

PINTO, C. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável: O Uso de Fontes Alternativas de Energia.** 2009. 224f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

RATTI, C.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Energy consumption and urban texture. **Energy and Buildings**, v. 37, n. 7, p. 762-776, 2005.

REINHART, C. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylight zone depth rule-of-thumb. In: International Building Simulations Conference, 9, 2005, Montreal. **Anais...** Montreal: IBPSA, 2005.

ROGERS, R.; GUMUCHDJIAN, P. **Cidades para um pequeno planeta.** Barcelona: Gustavo Gill, 2008.

ROMERO, M.; SILVA, C.; CINTRA, M.; FERNANDES, J.; PEREIRA, B. Simulação computacional aplicada à análise urbana para reabilitação de setores no Distrito Federal, Brasil. **Paranoá**, Brasília, n.5, p. 26-34, 2010.

ROMERO, M. **Arquitetura do lugar: Uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília.** São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2011.

_____. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano.** Brasília: EDU – UnB, 2013.

RÜTHER, R.; SALAMONI, I. O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 84-94, 2011.

SALAT, S. **Cities and Forms: On Sustainable Urbanism.** Paris: Hermann, 2011.

SALOMON, V.; SHIMIZU, T. Performance of three different methods of multiple criteria decision making applied to the supplier selection. In: INTERNATIONAL



CONFERENCE ON MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING, 18., 2006, Greece.
Anais... Greece: MCDM, 2006.

SANTOS, I. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura.** 2013. 278f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SCARAZZATO, P. **O Conceito de Dia Típico de Projeto Aplicado à Iluminação Natural: Dados referenciais para localidades brasileiras.** 1995. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SEGETH – SECRETARIA DE ESTADO DE GESTÃO DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO. LUOS - Lei Complementar de Uso e Ocupação do Solo do DF. Disponível em < <http://www.segeth.df.gov.br/preservacao-e-planejamento-urbano/lei-complementar-de-uso-e-ocupacao-do-solo-do-df.html> > Acesso: 04/10/16.

_____. LUOS - Mapa de Zoneamento de Usos do Gama. Disponível em < <http://www.segeth.df.gov.br/preservacao-e-planejamento-urbano/lei-complementar-de-uso-e-ocupacao-do-solo-do-df.html> > Acesso: 04/10/16.

_____. LUOS - Tabela de parâmetros de ocupação do solo da região administrativa do Gama. Disponível em < <http://www.segeth.df.gov.br/preservacao-e-planejamento-urbano/lei-complementar-de-uso-e-ocupacao-do-solo-do-df.html> > Acesso: 04/10/16.

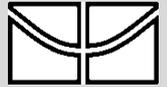
_____. LUOS - Cartilha. Disponível em < <http://www.segeth.df.gov.br/images/noticias/2012/junho/cartilha.pdf> > Acesso: 04/10/16.

_____. Mapa Índice: Articulação SICAD. Disponível em < http://www.sedhab.df.gov.br/mapas_sicad/index2.htm > Acesso: 10/08/16.

_____. PDL – Documento Memória. Disponível em < http://www.segeth.df.gov.br/arquivos/pdls/pdl-gama/memoria_tecnica.pdf > Acesso: 03/05/16.

_____. PDL – Plano Diretor Local. Disponível em < <http://www.segeth.df.gov.br/preservacao-e-planejamento-urbano/pdl.html> > Acesso: 03/05/16.

_____. PDOT - Mapas. Disponível em < <http://www.segeth.df.gov.br/mapas.html> > Acesso: 03/05/16.



_____. PDOT – Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. Disponível em < <http://www.segeth.df.gov.br/preservacao-e-planejamento-urbano/pdot.html> > Acesso: 03/05/16.

SILVA, A. **Direito Urbanístico Brasileiro**. São Paulo: Malheiros Editores, 1997.

SILVA, C. **O conforto térmico de cavidades urbanas: Contexto climático do Distrito Federal**. 2013. 193f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SILVA, R. Energia solar no Brasil: Dos incentivos aos desafios. Disponível em < <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166> > Acesso: 21/07/16.

SOLARGIS. Free maps. Disponível em < <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/latin-america> > Acesso: 02/07/16.

SONZA, D.; LINS, A.; ELY, V. Projeções do cenário urbano: Uma análise para insolação através do software CityZoom. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais..** Canela: ANTAC, 2010.

STROMANN-ANDERSEN, J.; SATTRUP, P. The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 8, p. 2011–2020, 2011.

TAVANTI, D.; BARBASSA, A. Contribuições do planejamento urbano às questões hidrológicas e ambientais. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 4., 2010, Portugal. **Anais...** Portugal: Revista Engenharia, 2010.

THOMAS, R.; FORDHAM, M.; PARTNERS. **Photovoltaic and Architecture**. New York: Spon Press, 2003.

TREGENZA, P.; LOE, D. **Projeto de Iluminação**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

TUCCI, C. **Gestão de Inundações Urbanas**. Brasília: Unesco, 2005.

UFPE – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Atlas Solarimétrico do Brasil. Disponível em < http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf > Acesso: 02/07/16.

UN - UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision**. New York: Department of Economic and Social Affairs, 2015.



VANNINI, V. **Otimização da forma para captação da radiação solar sobre superfícies de edifícios: um exercício de integração entre os programas Rhinoceros e Ecotect.** 2011. 254f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals.** Geneva: WMO, 1989.

WWF – WORLD WILDLIFE FUND. Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas. Disponível em <http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/15_6_2015_wwf_energ_solar_final_w eb_3.pdf> Acesso: 15/07/16.



Glossário

Albedo: É a relação entre a energia solar refletida por uma superfície e a energia solar incidente.

Altura média ponderada: é a relação entre a altura dos edifícios ponderada pelas áreas construídas e a área total de piso.

Capacidade térmica: é a quantidade de calor que pode armazenar um material em relação ao seu volume. Ela é definida pela quantidade de calor necessária para elevar em um grau celsius, a temperatura de um metro cúbico do material.

Coefficiente de forma ou indicador de compacidade: refere-se à relação entre a área de envoltória e o volume construído. Quanto maior for a superfície de envoltória e menor for o seu volume, maior será o coeficiente de forma.

Condutividade térmica: refere-se à quantidade de calor Q transmitida através de uma espessura L , numa direção normal a superfície de área A , devido a uma variação de temperatura ΔT quando a transferência de calor se deve apenas a variação de temperatura.

Contiguidade: é a relação entre a área de superfícies adjacentes a outros edifícios e a área total das superfícies de um edifício. Quanto maior for a área de superfícies adjacentes, maior é a contiguidade.

Densidade construída: é a relação entre a área construída e a área total disponível.

Emissividade: Razão entre a radiação emitida por uma superfície a uma determinada temperatura e a radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura.

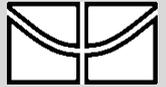
Iluminância: Luz solar incidente sobre uma superfície (lux).

Irradiância: Radiação solar incidente sobre uma superfície (W/m^2).

Rugosidade: relaciona-se com a altura média do dossel urbano. Ela é a relação entre as áreas construídas dos edifícios ponderadas por suas alturas e a área total disponível.



Anexos



ANEXO A

Tabela 93 – Iluminâncias para Brasília, considerando o Céu Parcialmente Encoberto.

	Hora	Norte	Nordeste	Leste	Sudeste	Sul	Sudoeste	Oeste	Noroeste
Dia Típico de Verão	05:00	0	0	0	0	0	0	0	0
	06:00	0	0	0	0	0	0	0	0
	07:00	4500	8900	13000	11700	6600	3500	2500	2800
	08:00	9100	25400	37900	32700	14600	7100	5500	6100
	09:00	12900	36800	53300	44800	18900	10200	8500	9300
	10:00	15700	39400	54400	45400	20200	13000	11500	12300
	11:00	17500	34200	44300	37700	20100	15500	14500	15100
	12:00	18400	23500	27100	25400	19900	17900	17500	17700
	13:00	18300	17300	17100	17600	19900	27300	29800	25200
	14:00	17300	14700	14100	15200	20100	39100	46200	35300
	15:00	15400	11900	11100	12600	20100	45900	55000	39600
	16:00	12400	8900	8100	9800	18500	43900	52000	35700
	17:00	8500	5600	5100	6600	13700	30000	34600	23100
	18:00	3800	2300	2100	3000	5500	9200	10100	7100
	19:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Dia Típico de Outono	05:00	0	0	0	0	0	0	0	0
	06:00	0	0	0	0	0	0	0	0
	07:00	5000	7900	8200	5600	3100	1900	1800	2700
	08:00	16700	29100	28900	16300	6900	4800	4800	7000
	09:00	29700	47300	43100	21000	9600	7400	7900	11000
	10:00	40200	54400	43800	17400	11300	9800	10900	14700
	11:00	47300	51700	34200	15100	12300	11900	13800	24900
	12:00	50500	41700	19400	14000	12700	13500	16700	38100
	13:00	48700	28700	14600	12400	12500	14800	30200	49400
	14:00	42600	16100	11700	10400	11600	15600	41900	54500
	15:00	33000	12100	8700	8100	10100	20700	44600	50400
	16:00	20600	8100	5700	5600	7800	18600	34300	35300
	17:00	7700	4000	2700	2800	4300	8600	13300	12800
	18:00	0	0	0	0	0	0	0	0
	19:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Dia Típico de Inverno	05:00	0	0	0	0	0	0	0	0
	06:00	0	0	0	0	0	0	0	0
	07:00	3800	5900	6200	4300	2400	1500	1400	2100
	08:00	14800	25600	25600	14800	6400	4400	4400	6400
	09:00	27900	45000	41500	20600	9200	7100	7400	10400
	10:00	38800	53700	44000	18000	11000	9400	10400	14200
	11:00	46400	52300	35700	15200	12100	11500	13300	23200
	12:00	50200	43300	21500	14100	12600	13300	16200	36200
	13:00	49100	30600	15000	12600	12500	14600	28000	47900
	14:00	43600	17900	12100	10700	11700	15500	40300	54000
	15:00	34500	12600	9100	8400	10300	20000	44400	51300
	16:00	22400	8700	6100	5900	8100	19200	36200	37800



	17:00	9300	4600	8100	3200	4800	10000	16000	15600
	18:00	200	100	100	100	100	300	400	400
	19:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Dia Típico de Primavera	05:00	0	0	0	0	0	0	0	0
	06:00	1600	2800	3900	3400	2100	1100	700	900
	07:00	6900	16900	23800	19900	9200	4900	3800	4400
	08:00	11500	33700	46500	37200	14100	8200	6800	7800
	09:00	15100	42200	55300	42900	15600	11100	9800	11000
	10:00	19100	41500	50600	38500	16900	13700	12900	14100
	11:00	22000	33700	36400	27900	17600	16200	15900	16800
	12:00	23400	21100	18500	18200	18100	18400	19800	22800
	13:00	21700	16500	15600	15900	17600	29300	38500	34900
	14:00	18600	13700	12500	13400	16700	39500	51700	42100
	15:00	14700	10700	9500	10800	15500	42800	55000	41700
	16:00	11000	7400	6400	7900	13700	35700	44500	32100
	17:00	6300	4000	3400	4500	8400	17300	20600	14700
	18:00	900	500	400	600	1200	1900	2200	1600
	19:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana		14750	12350	11400	10750	10200	10100	11200	13450

Fonte: Scarazzato (1995).



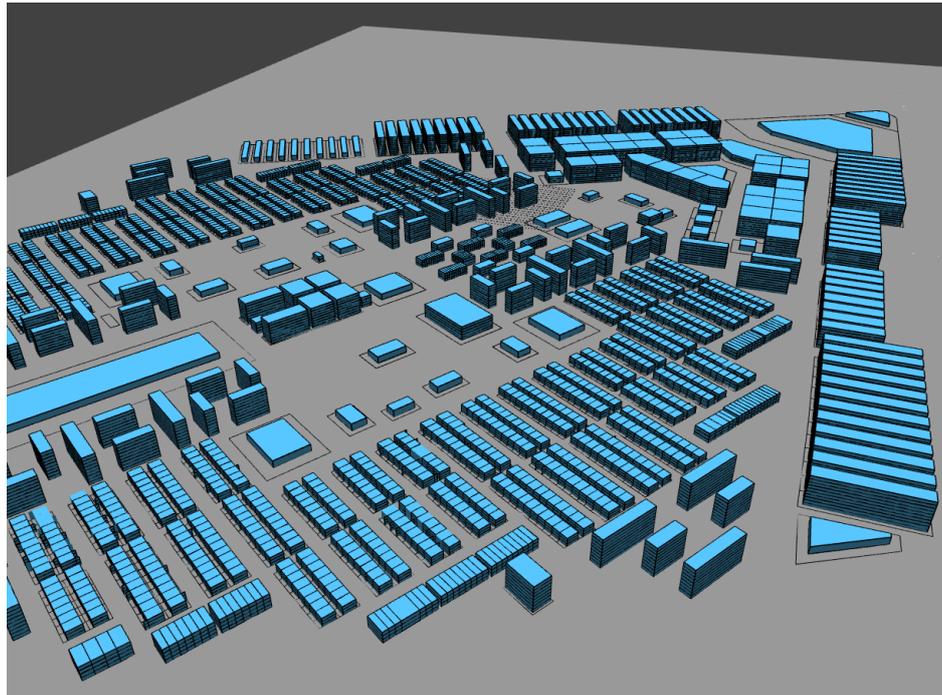
Apêndices



APÊNDICE A

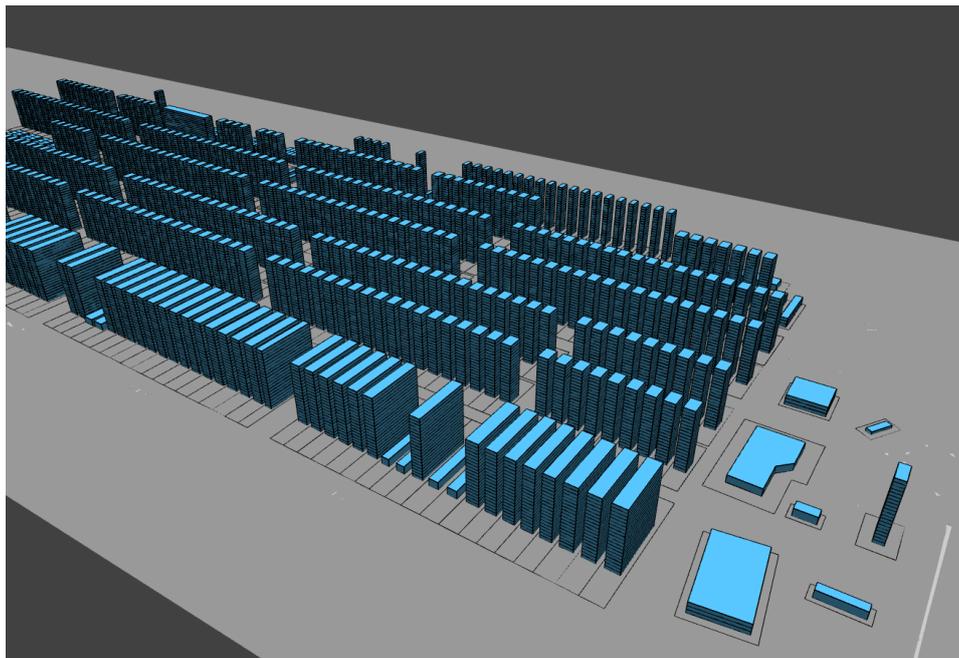
Demonstram-se, nas Figuras de 121 a 130, as edificações simuladas, de acordo com os setores regularizados do Gama: Setor Central, Setor de Indústria, Setor de Múltiplas Atividades, Setor Leste, Setor Leste/Itamaraca, Setor Norte, Setor Oeste, Setor Oeste/Expansão, Setor Sul e Vila DVO.

Figura 121 - Representação das edificações resultantes para o Setor Central, no CityZoom.



Fonte: A autora.

Figura 122 - Representação das edificações resultantes para o Setor de Indústria, no CityZoom.



Fonte: A autora.

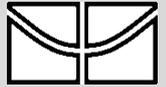
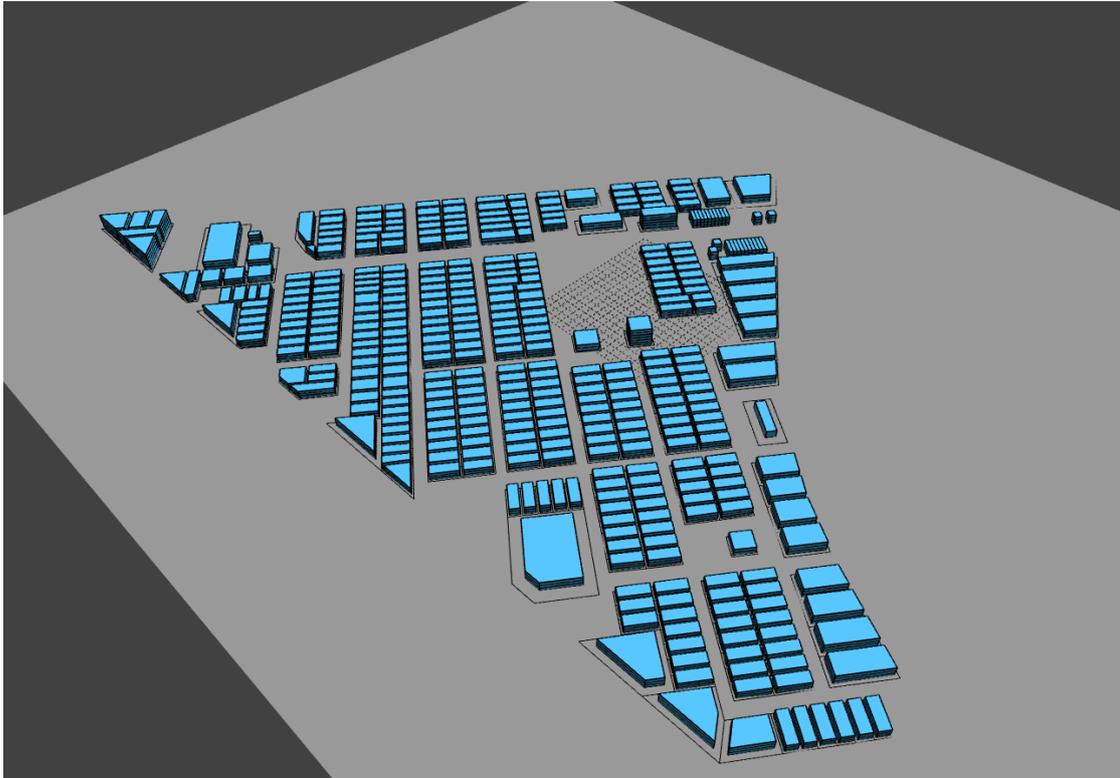
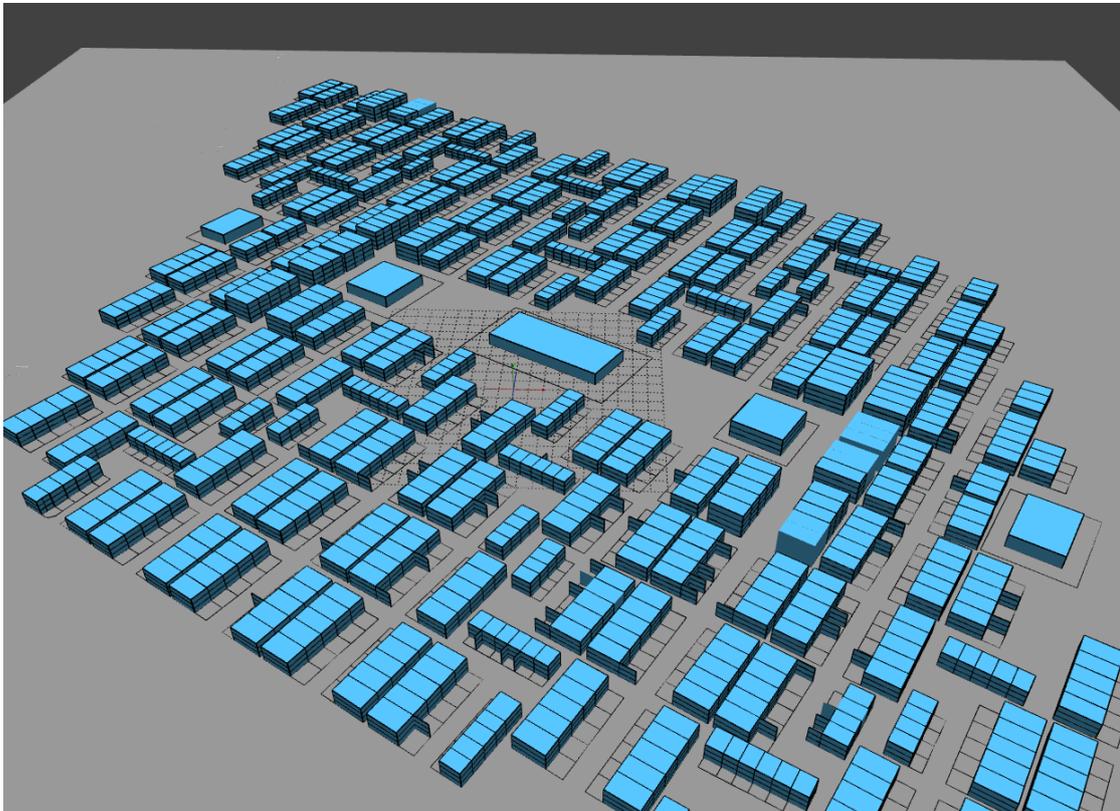


Figura 123 - Representação das edificações resultantes para o Setor de Múltiplas Atividades, no CityZoom.



Fonte: A autora.

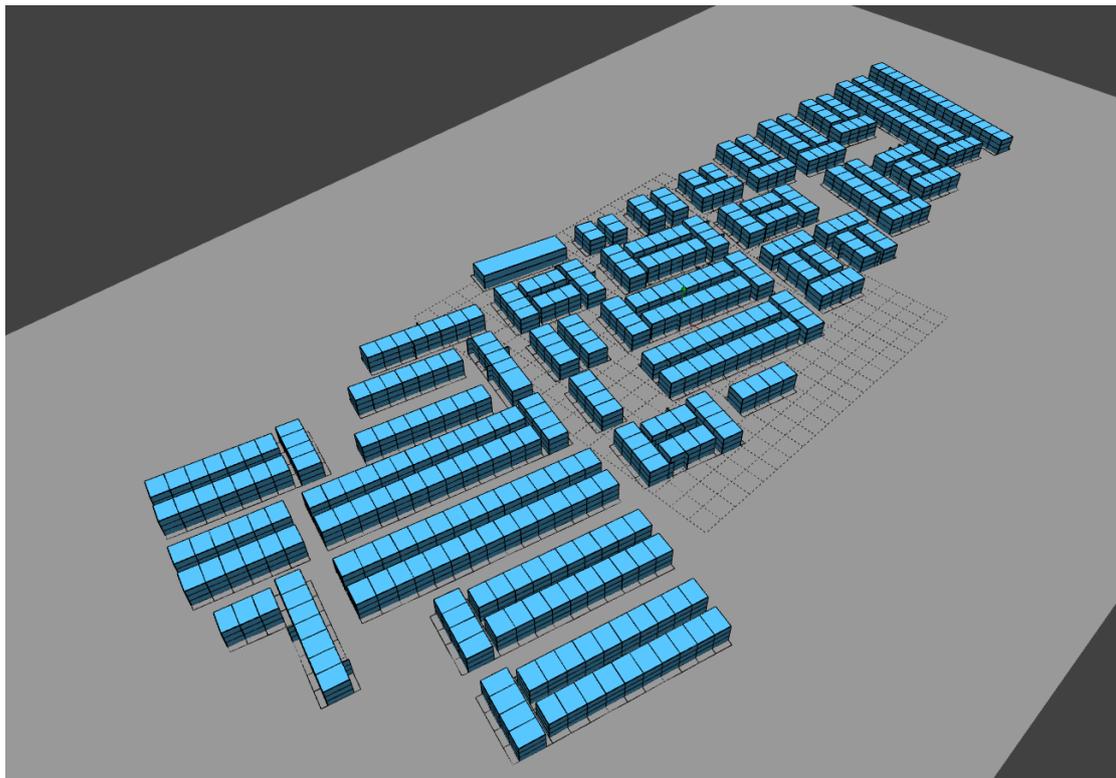
Figura 124 - Representação das edificações resultantes para o Setor Leste, no CityZoom.



Fonte: A autora.

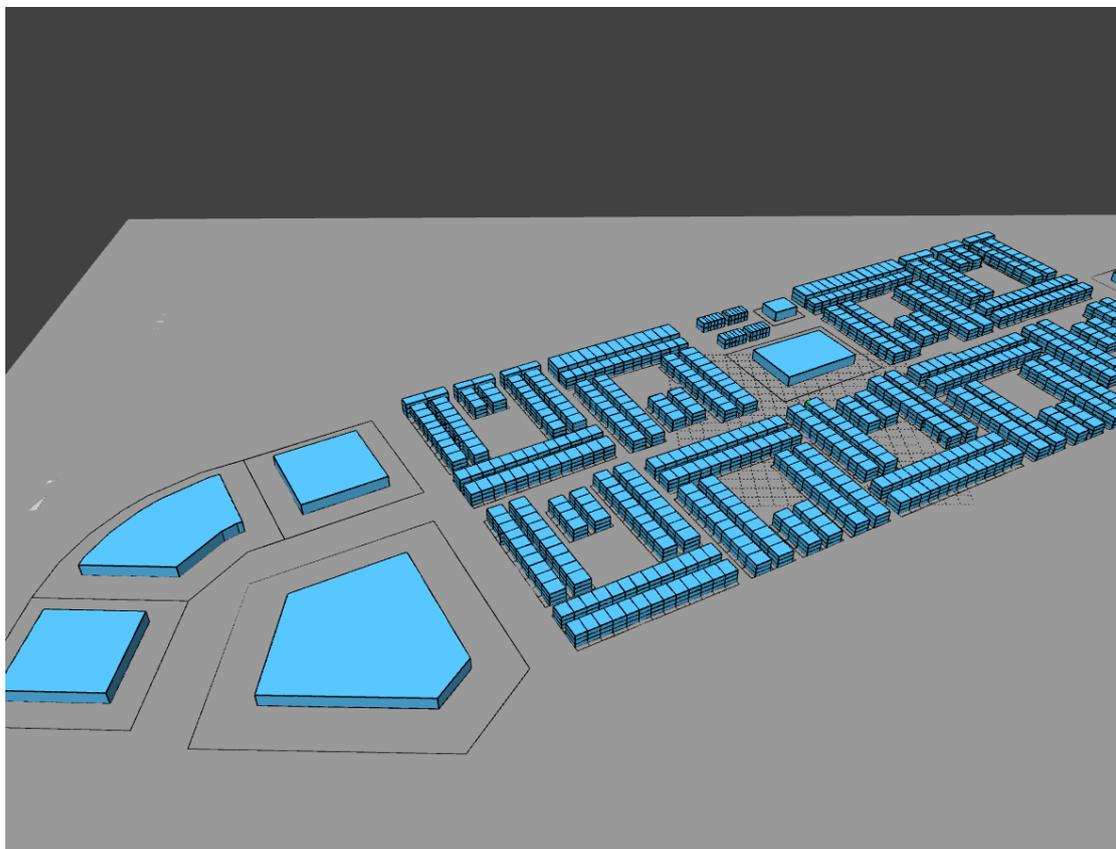


Figura 125 - Representação das edificações resultantes para o Setor Leste/Itamaraca, no CityZoom.



Fonte: A autora.

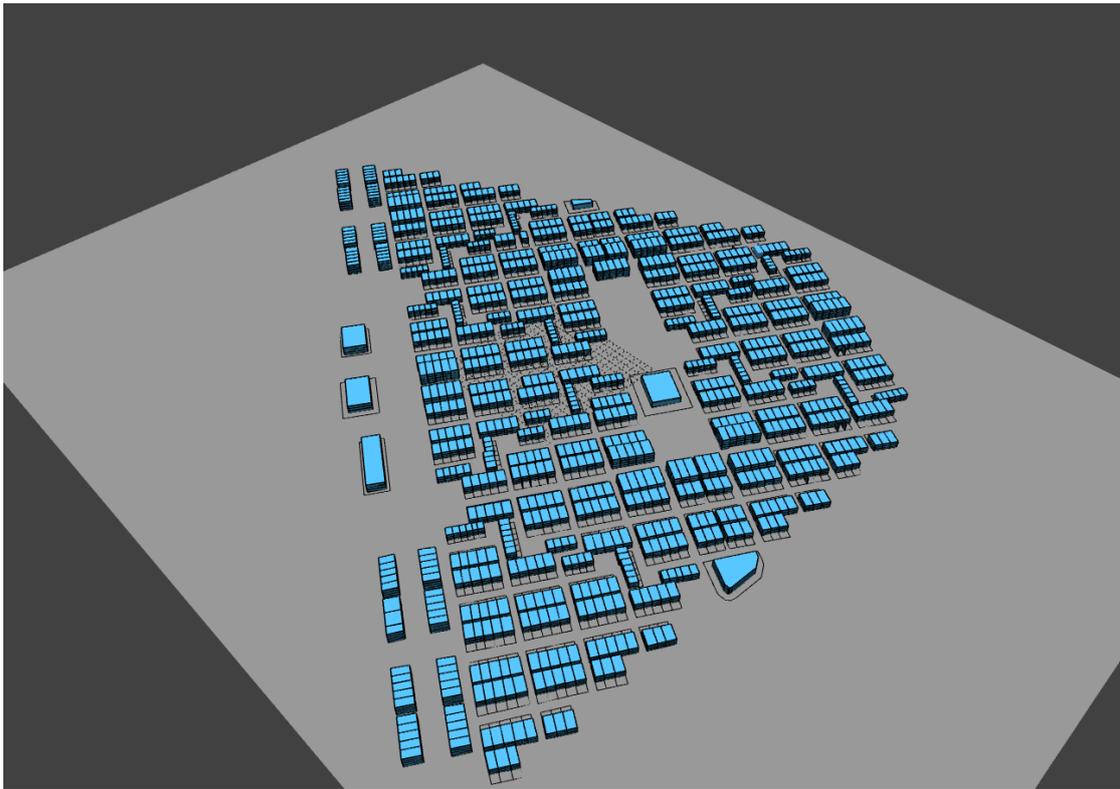
Figura 126 - Representação das edificações resultantes para o Setor Norte, no CityZoom.



Fonte: A autora.

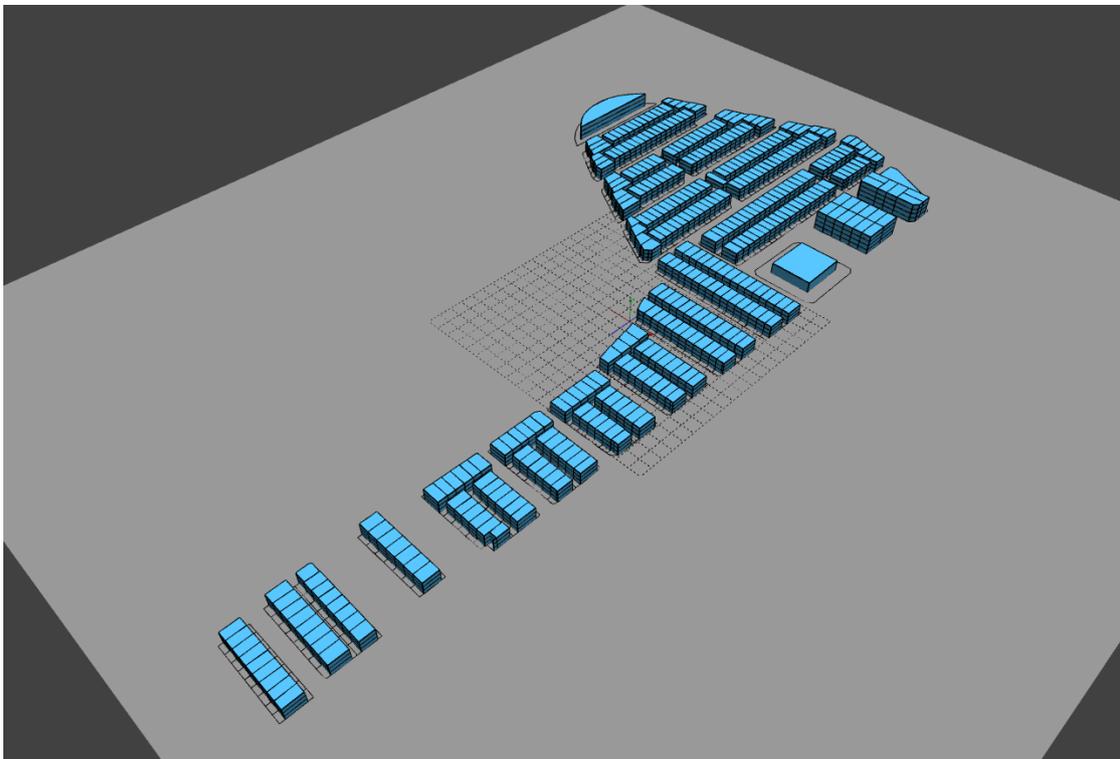


Figura 127 - Representação das edificações resultantes para o Setor Oeste, no CityZoom.



Fonte: A autora.

Figura 128 - Representação das edificações resultantes para o Setor Oeste/Expansão, no CityZoom.



Fonte: A autora.

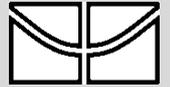
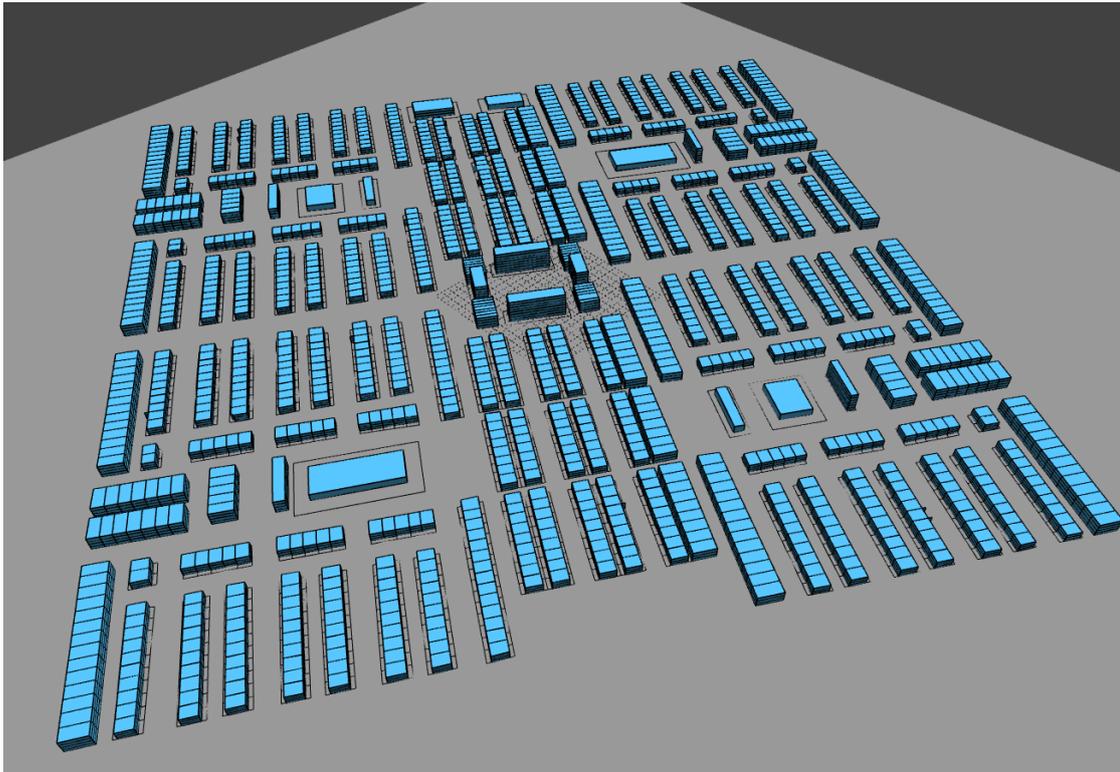
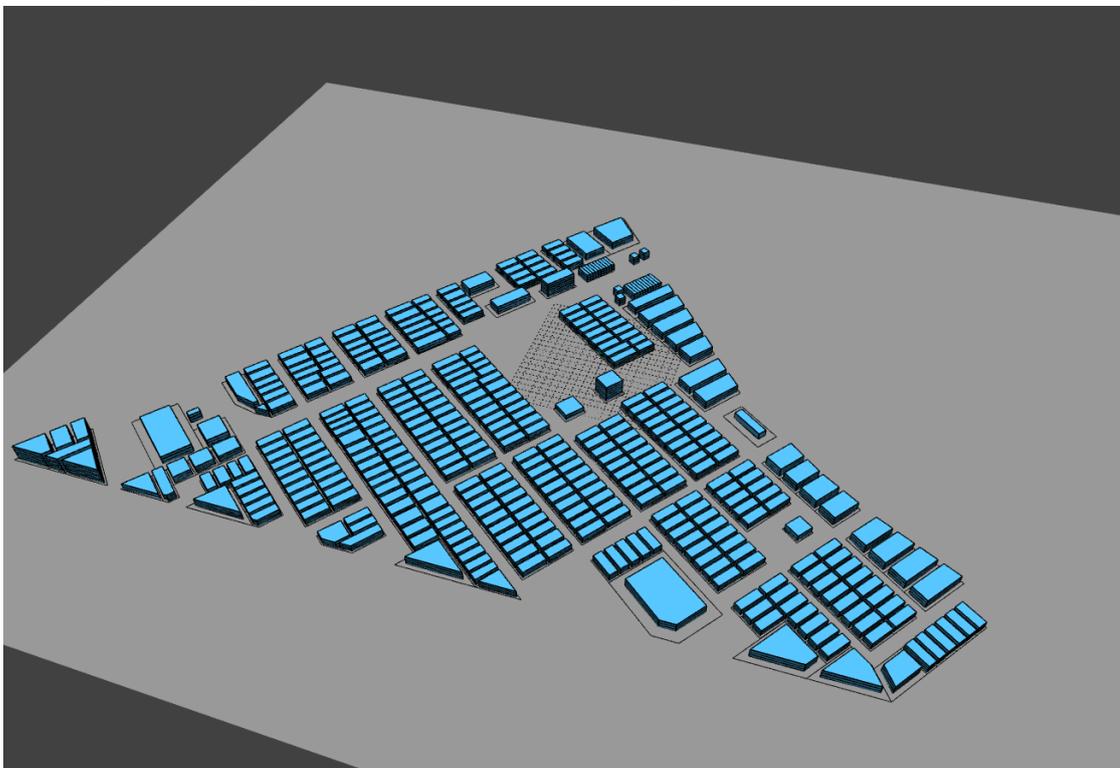


Figura 129 - Representação das edificações resultantes para o Setor Sul, no CityZoom.



Fonte: A autora.

Figura 130 - Representação das edificações resultantes para o Vila DVO, no CityZoom.



Fonte: A autora.

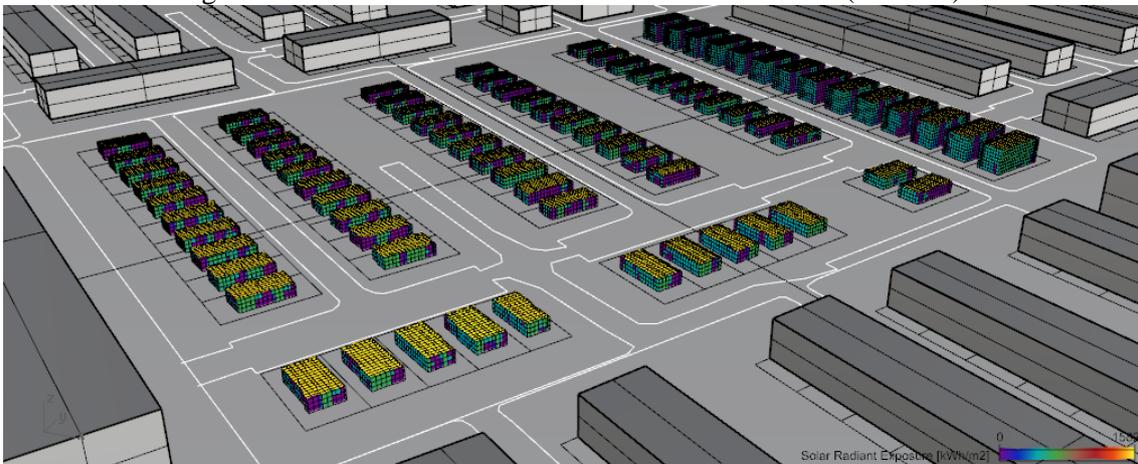


APÊNDICE B – RESULTADOS GRÁFICOS DA CLASSE 1



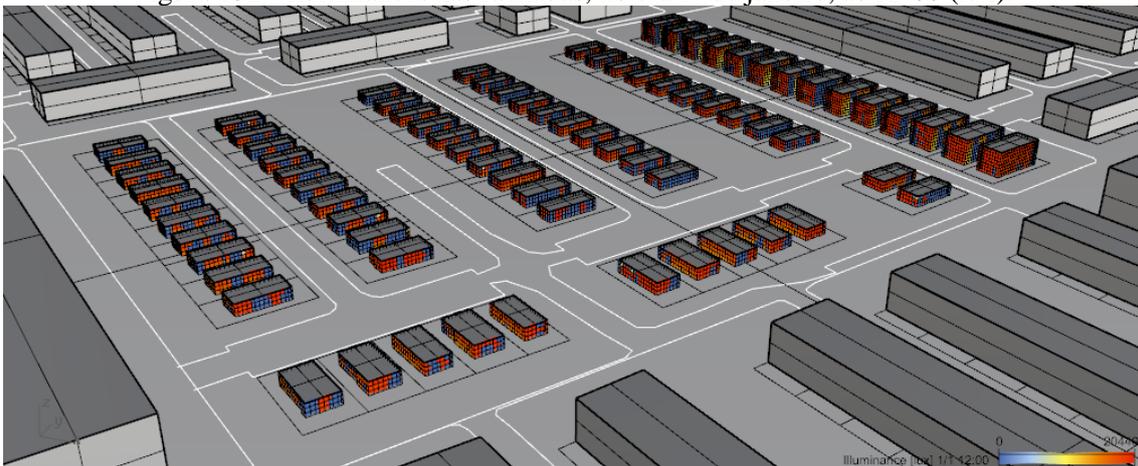
Classe 1, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 35% (RO) e 45% (CSIIR2), número de pavimentos: 1 (RO) e 2 (CSIIR2)

Figura 131 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

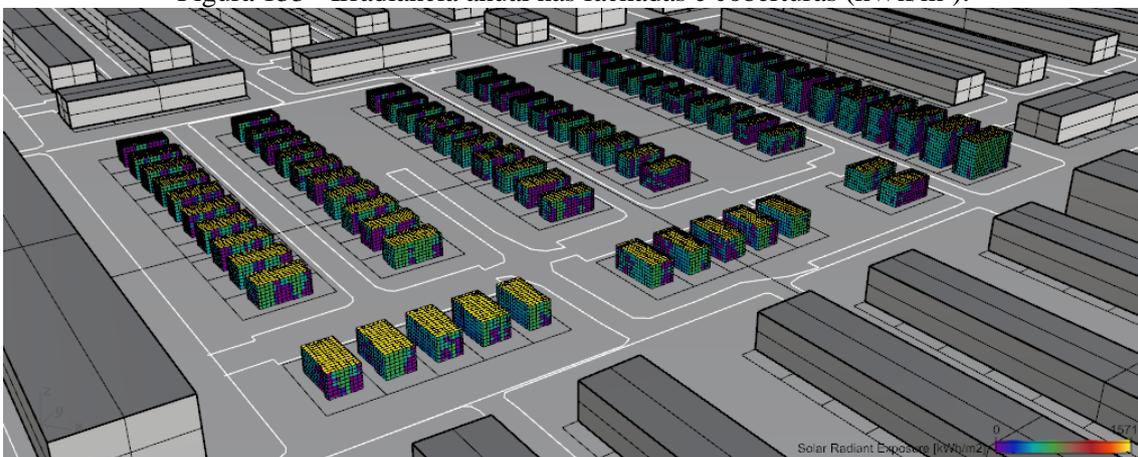
Figura 132 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 35% (RO) e 45% (CSIIR2), número de pavimentos: 2 (RO) e 3 (CSIIR2)

Figura 133 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



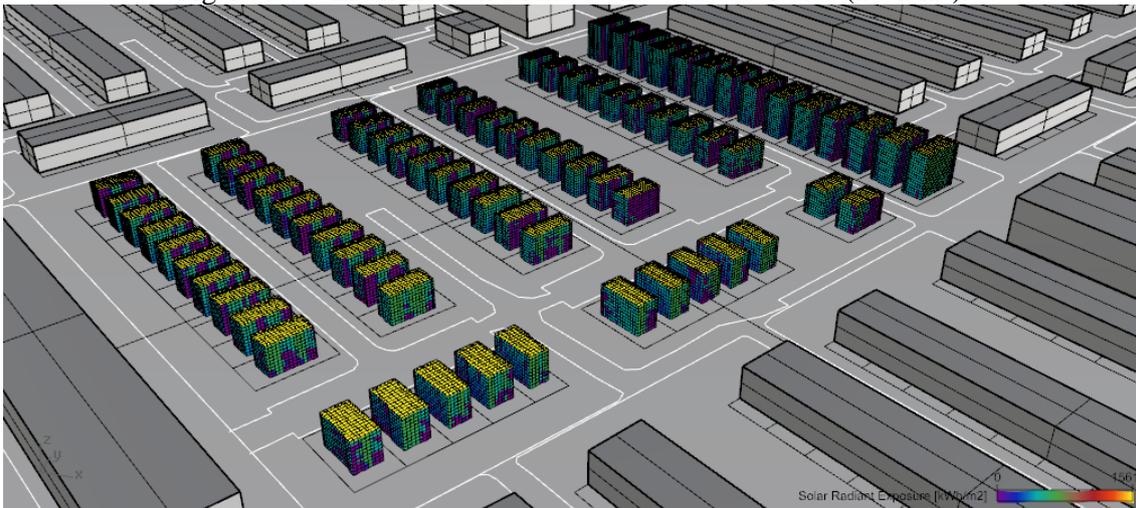
Figura 134 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 35% (RO) e 45% (CSIIR2), número de pavimentos: 3 (RO) e 4 (CSIIR2)

Figura 135 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 136 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

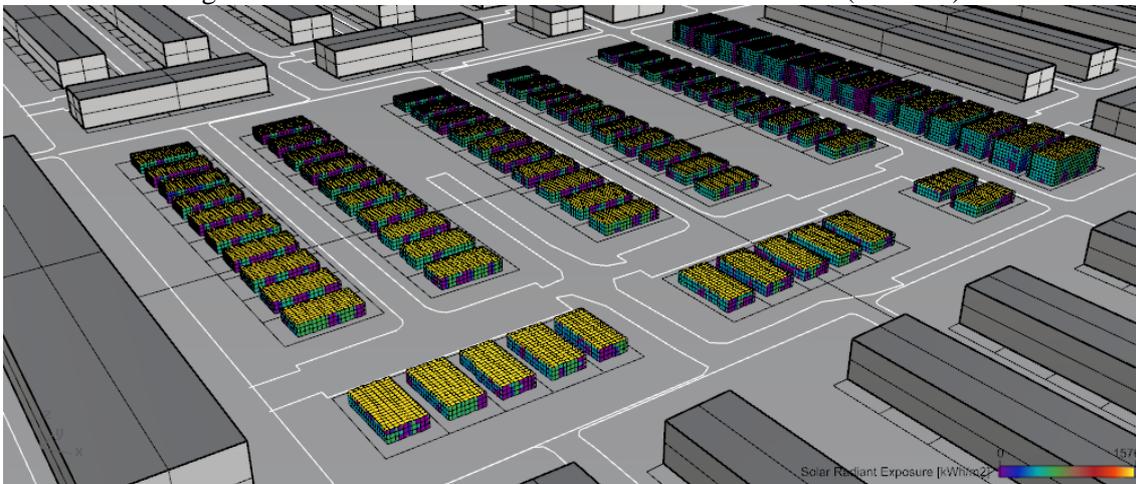


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



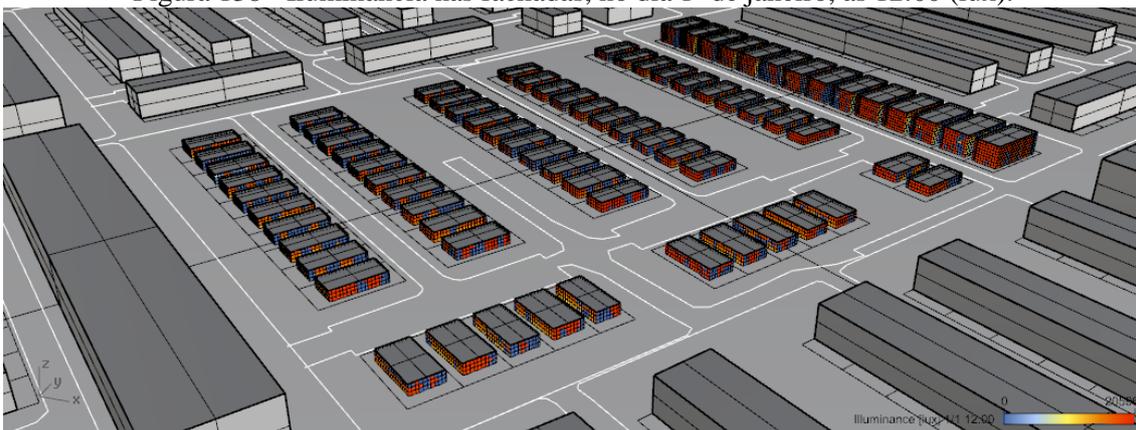
Classe 1, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 50% (RO) e 65% (CSIIR2), número de pavimentos: 1 (RO) e 2 (CSIIR2)

Figura 137 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

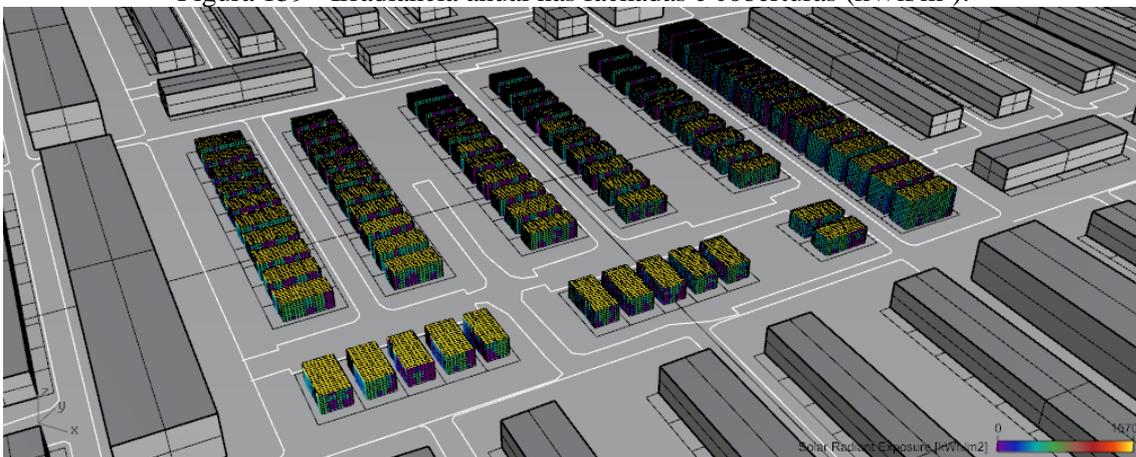
Figura 138 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 50% (RO) e 65% (CSIIR2), número de pavimentos: 2 (RO) e 3 (CSIIR2)

Figura 139 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).



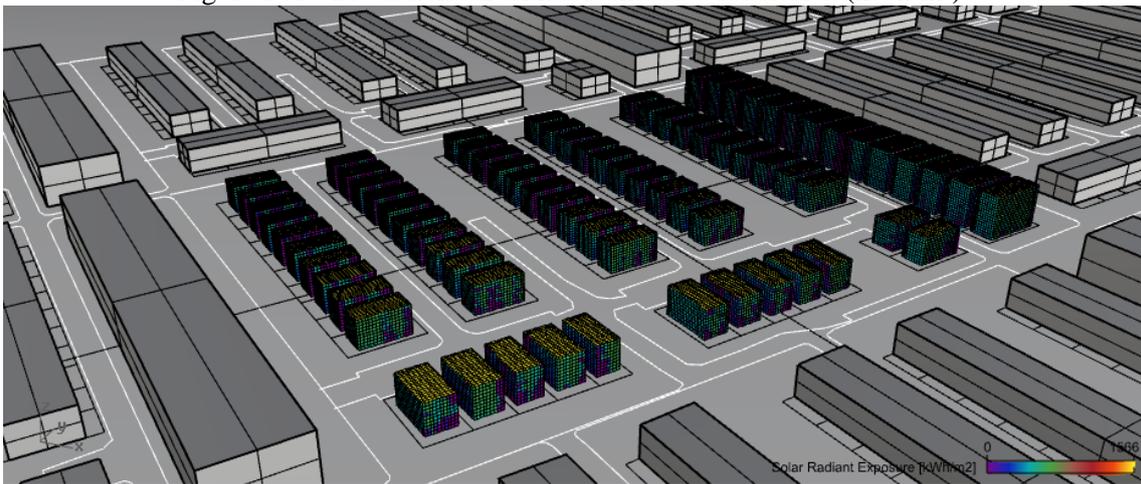
Figura 140 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 50% (RO) e 65% (CSIIR2), número de pavimentos: 3 (RO) e 4 (CSIIR2)

Figura 141 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 142 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

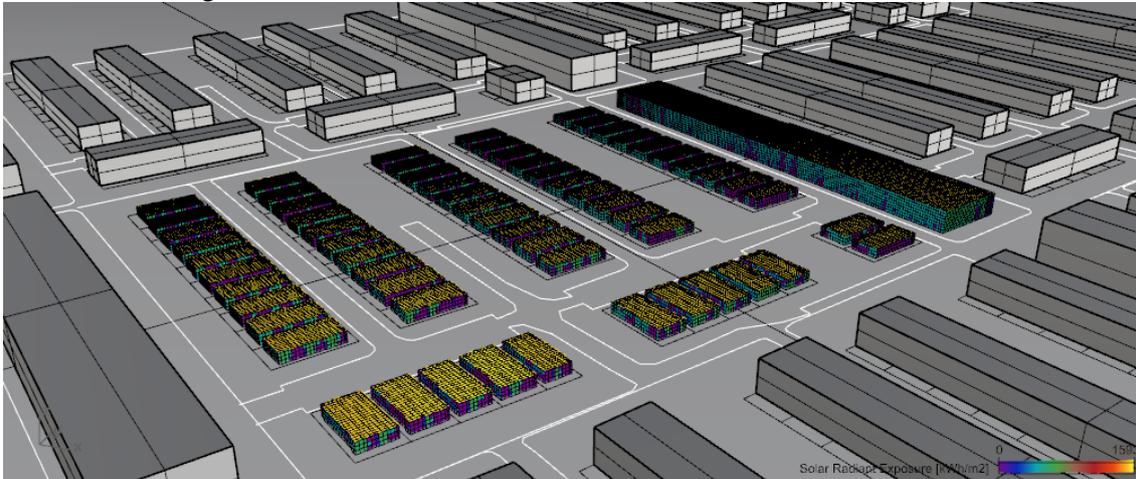


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Classe 1, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 65% (RO) e 100% (CSIIR2),
número de pavimentos: 1 (RO) e 2 (CSIIR2)

Figura 143 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

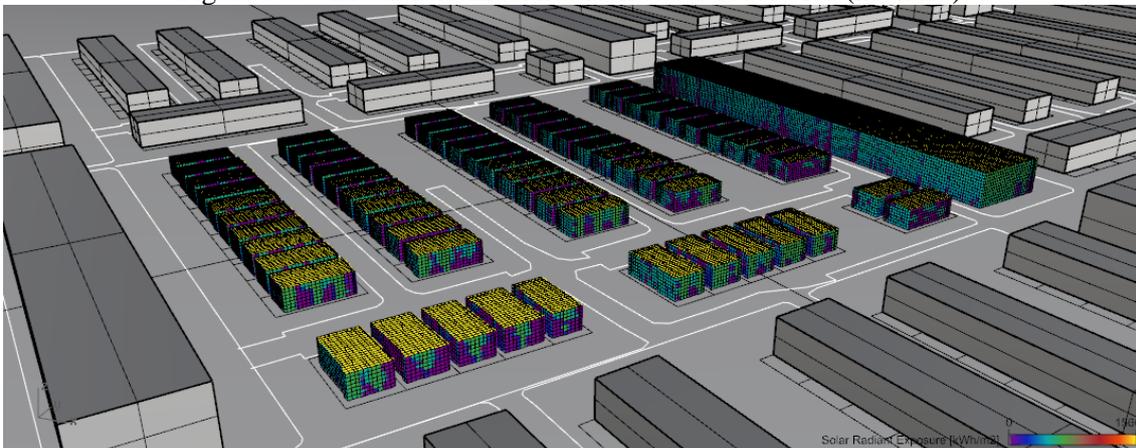
Figura 144 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 65% (RO) e 100% (CSIIR2),
número de pavimentos: 2 (RO) e 3 (CSIIR2)

Figura 145 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

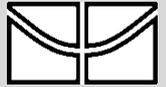


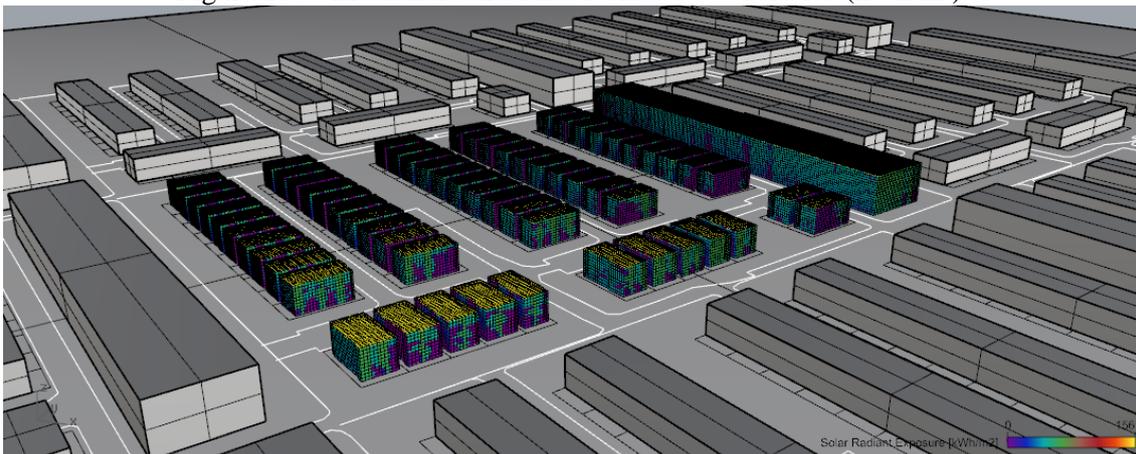
Figura 146 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 65% (RO) e 100% (CSIIR2), número de pavimentos: 3 (RO) e 4 (CSIIR2)

Figura 147 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 148 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

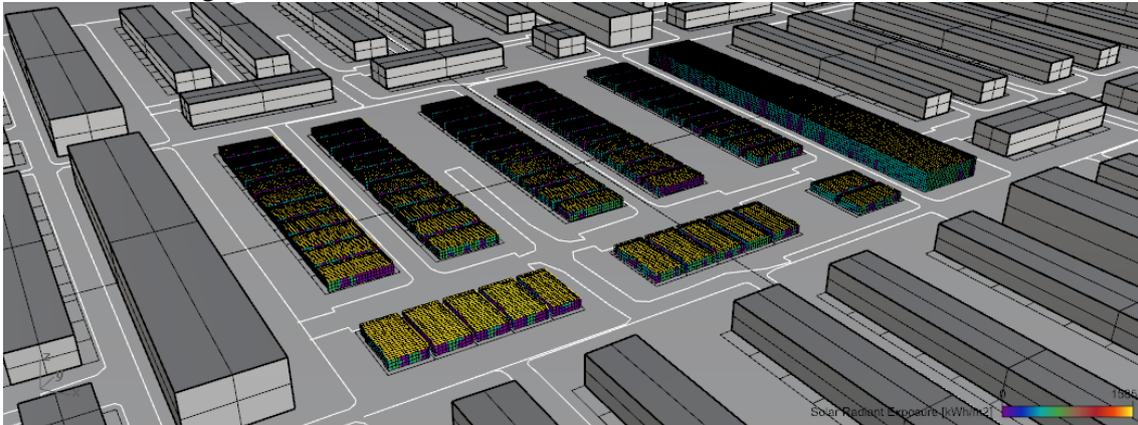


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



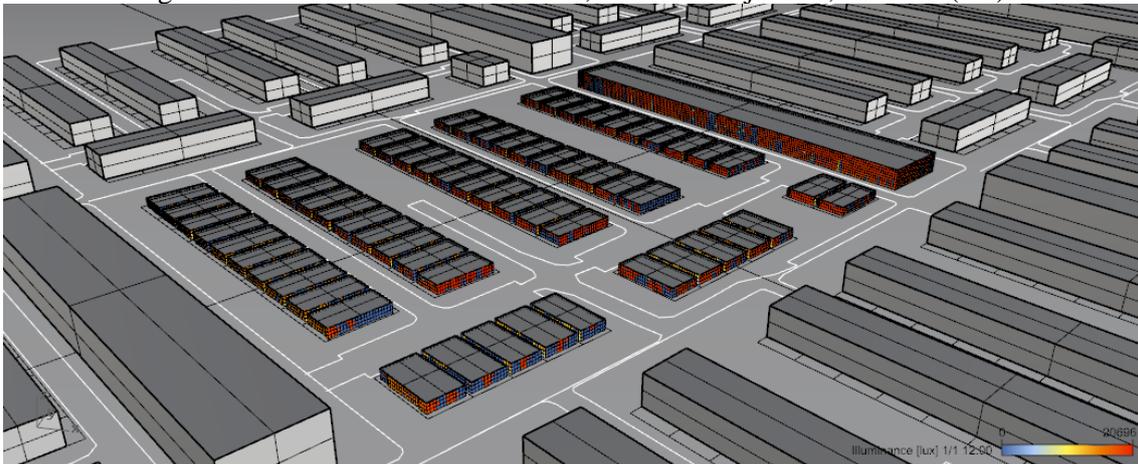
Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 80% (RO) e 100% (CSIIR2),
número de pavimentos: 1 (RO) e 2 (CSIIR2)

Figura 149 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

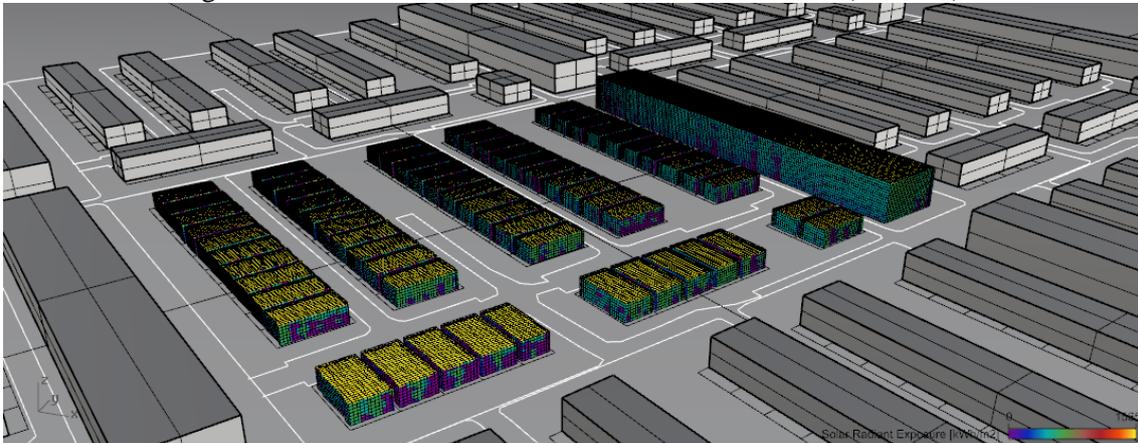
Figura 150 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 80% (RO) e 100% (CSIIR2),
número de pavimentos: 2 (RO) e 4 (CSIIR2)

Figura 151 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

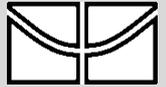


Figura 152 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 35% (RO) e 45% (CSIIR2), número de pavimentos: 1 (RO) e 2 (CSIIR2)

Figura 153 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 154 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

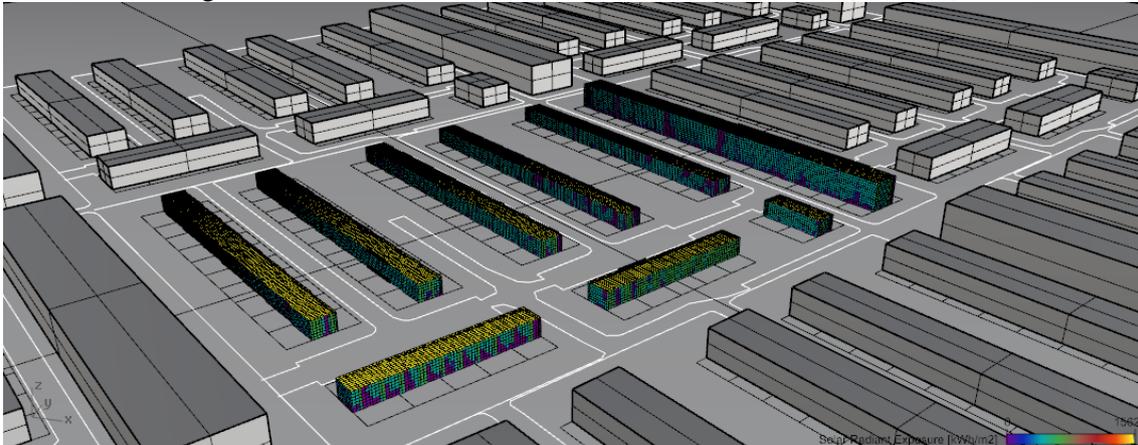


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



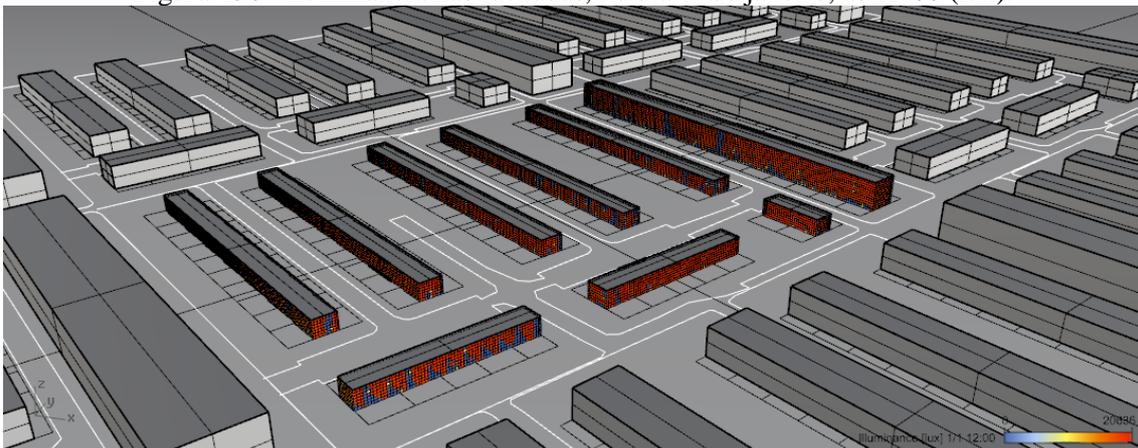
Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 35% (RO) e 45% (CSIIR2), número de pavimentos: 2 (RO) e 3 (CSIIR2)

Figura 155 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

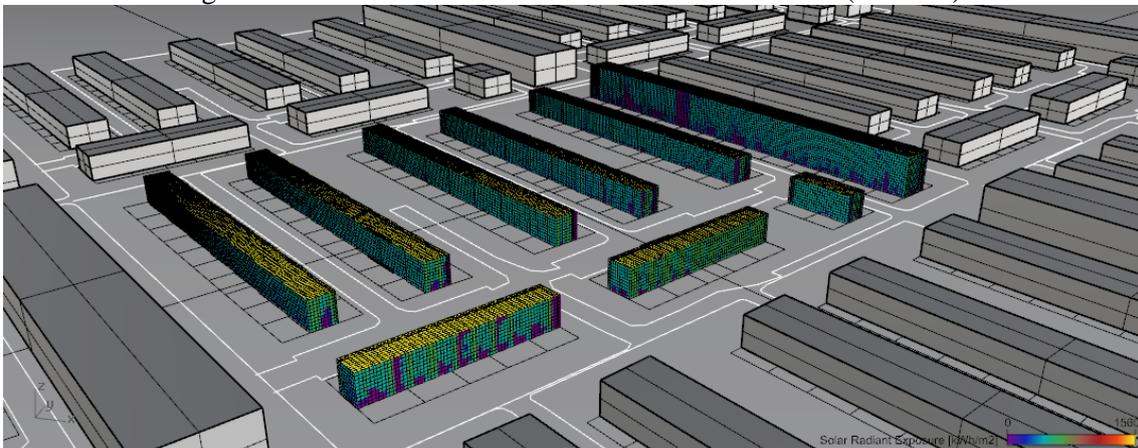
Figura 156 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 35% (RO) e 45% (CSIIR2), número de pavimentos: 3 (RO) e 4 (CSIIR2)

Figura 157 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

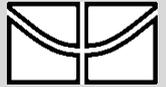
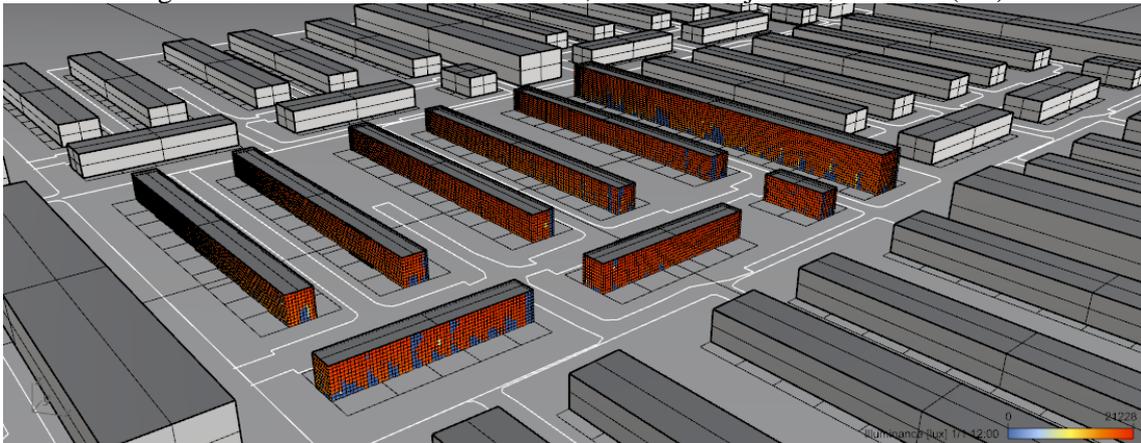


Figura 158 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

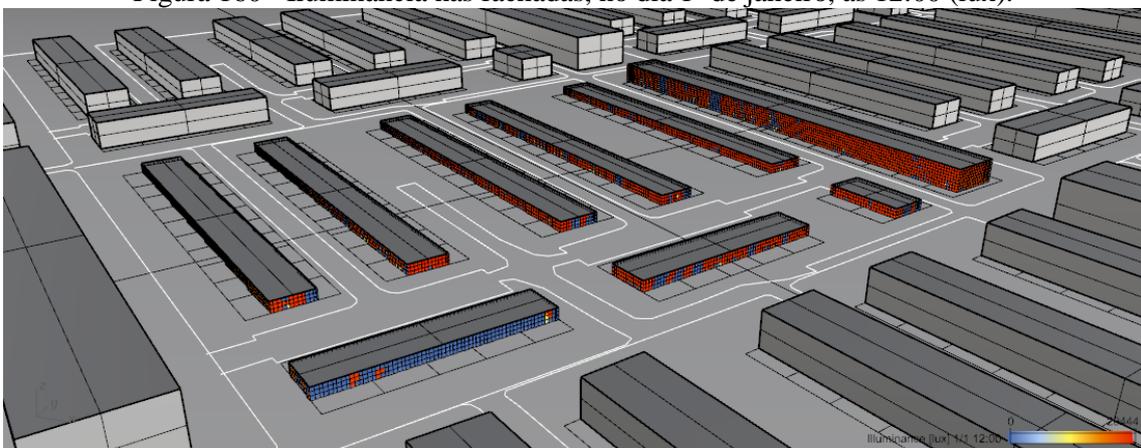
Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 50% (RO) e 65% (CSIIR2), número de pavimentos: 1 (RO) e 2 (CSIIR2)

Figura 159 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 160 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

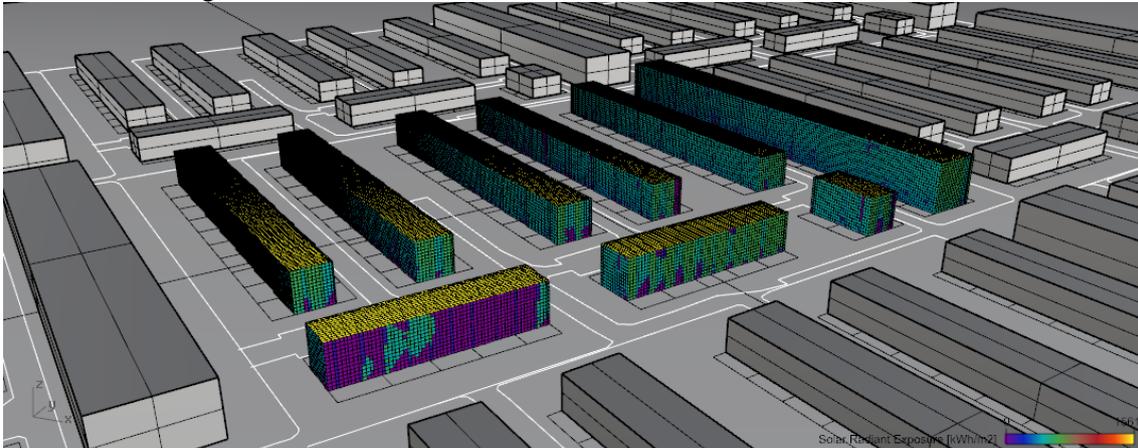


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 50% (RO) e 65% (CSIIR2), número de pavimentos: 2 (RO) e 3 (CSIIR2)

Figura 161 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

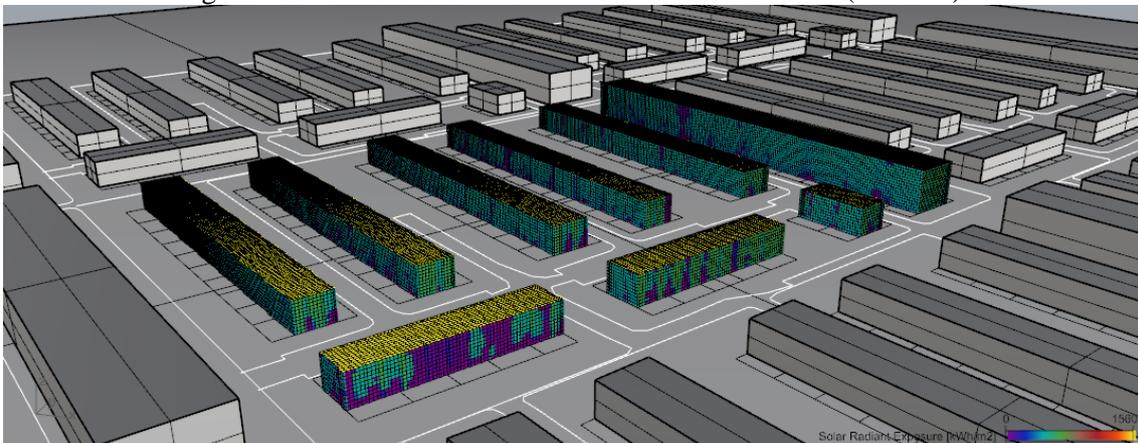
Figura 162 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 50% (RO) e 65% (CSIIR2), número de pavimentos: 3 (RO) e 4 (CSIIR2)

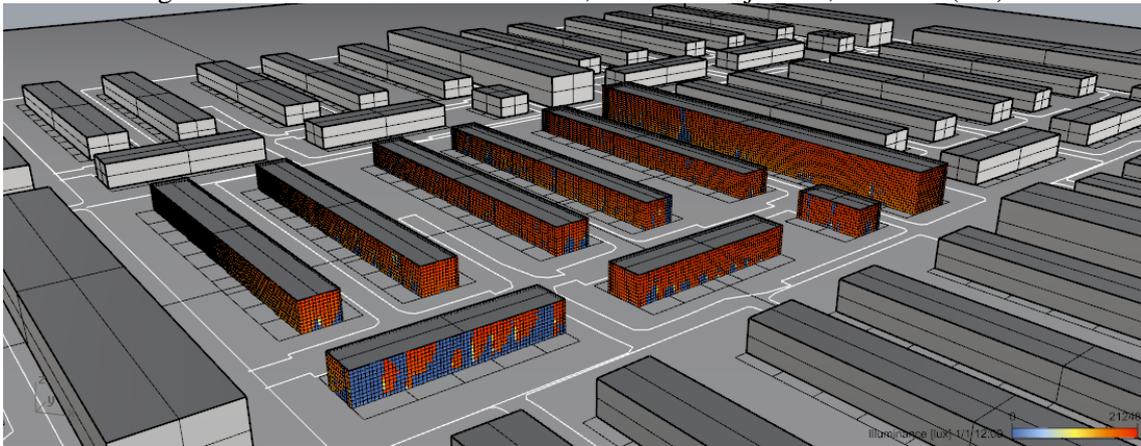
Figura 163 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



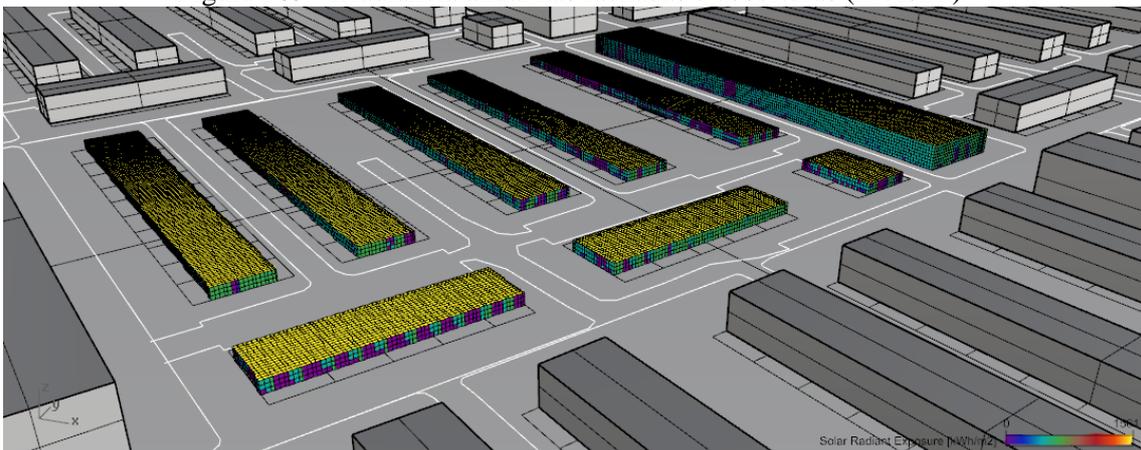
Figura 164 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 65% (RO) e 100% (CSIIR2), número de pavimentos: 1 (RO) e 2 (CSIIR2)

Figura 165 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

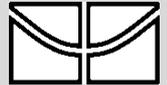


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 166 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

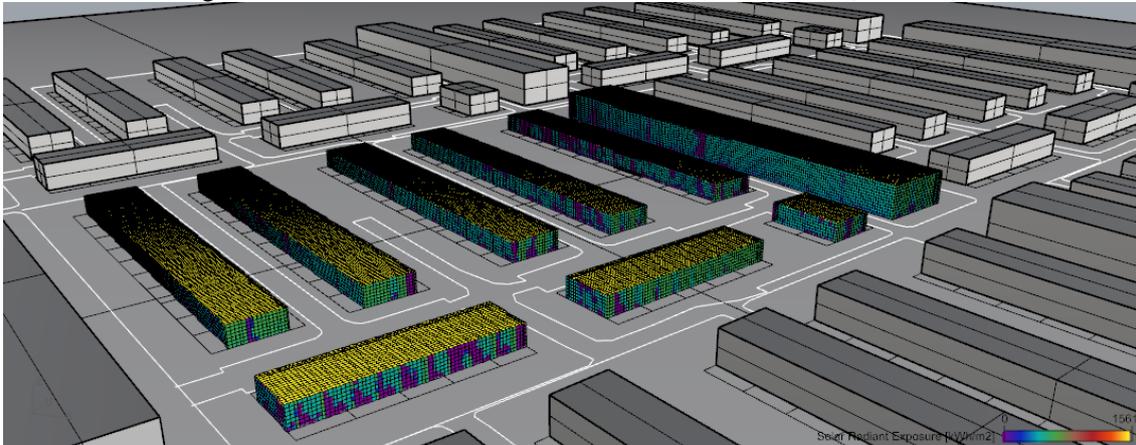


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 65% (RO) e 100% (CSIIR2),
número de pavimentos: 2 (RO) e 3 (CSIIR2)

Figura 167 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

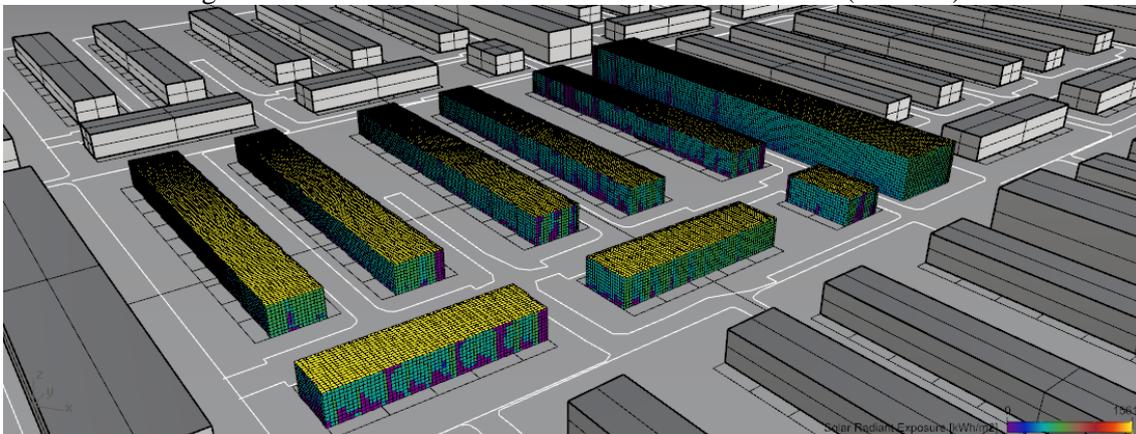
Figura 168 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 65% (RO) e 100% (CSIIR2),
número de pavimentos: 3 (RO) e 4 (CSIIR2)

Figura 169 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



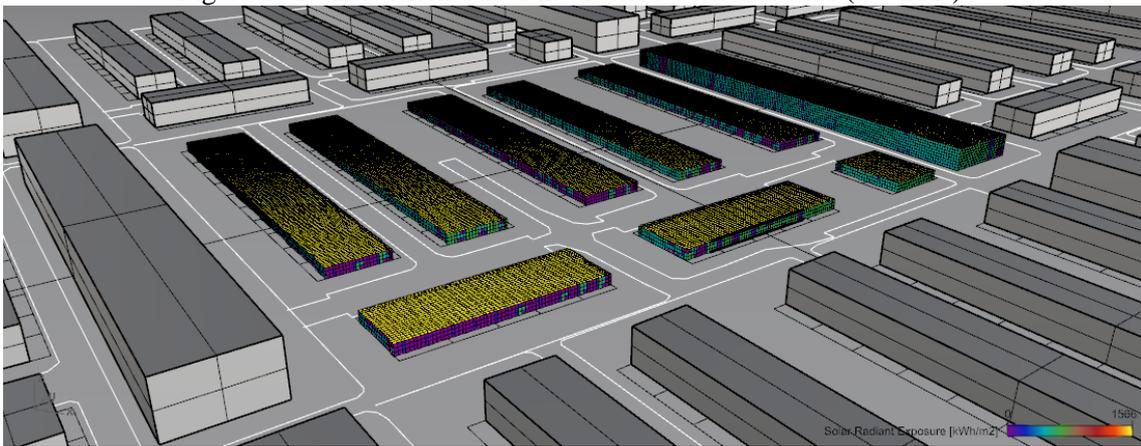
Figura 170 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 80% (RO) e 100% (CSIIR2), número de pavimentos: 1 (RO) e 2 (CSIIR2)

Figura 171 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 172 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

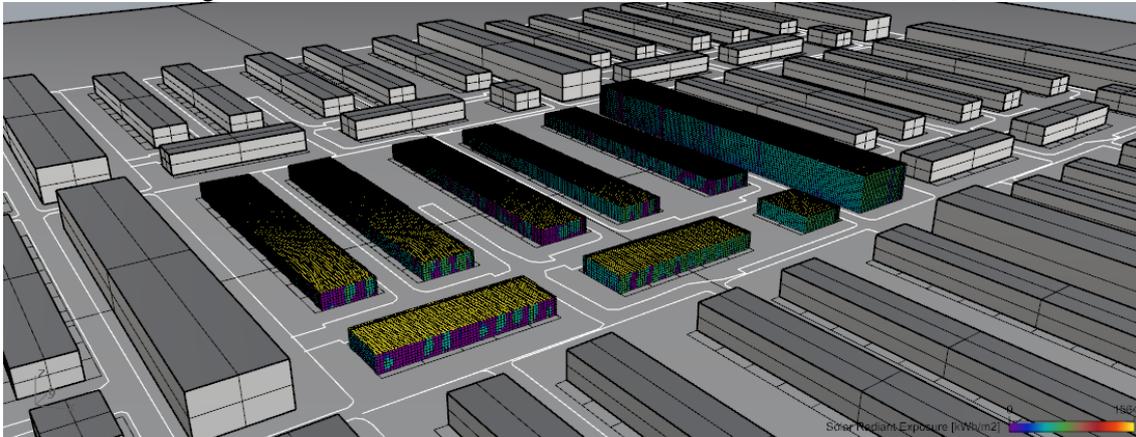


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



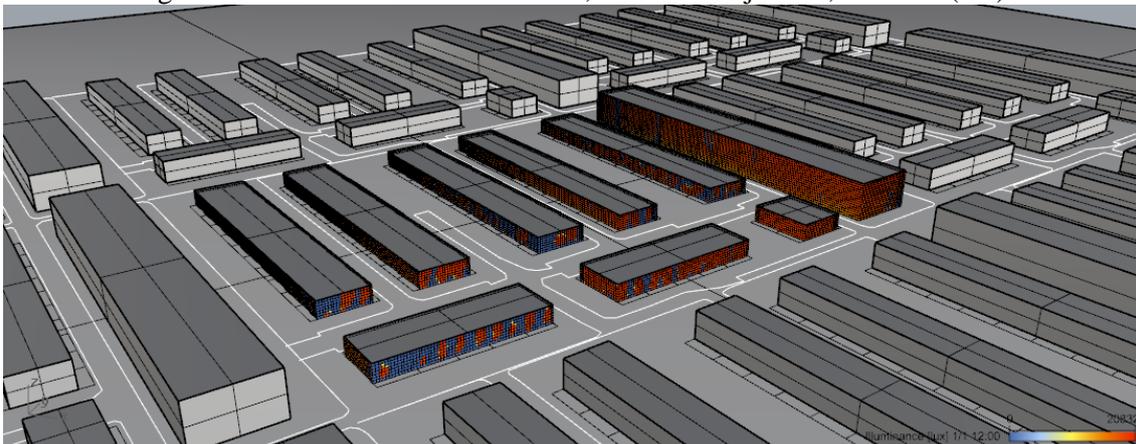
Classe 1, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 80% (RO) e 100% (CSIIR2), número de pavimentos: 2 (RO) e 4 (CSIIR2)

Figura 173 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

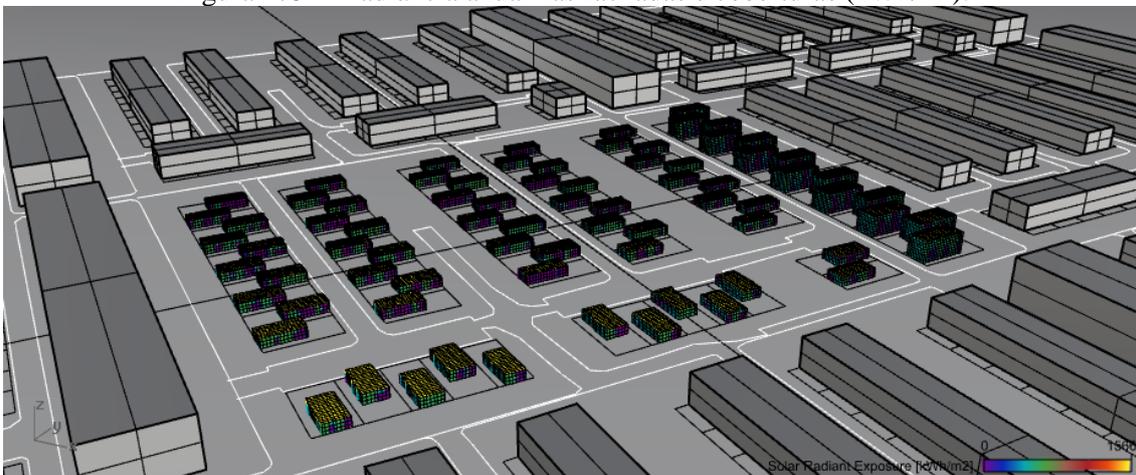
Figura 174 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 1, lotes intercalados, com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 35% (RO) e 45% (CSIIR2), número de pavimentos: 1 (RO) e 2 (CSIIR2)

Figura 175 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



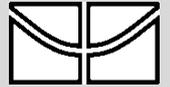
Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Figura 176 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

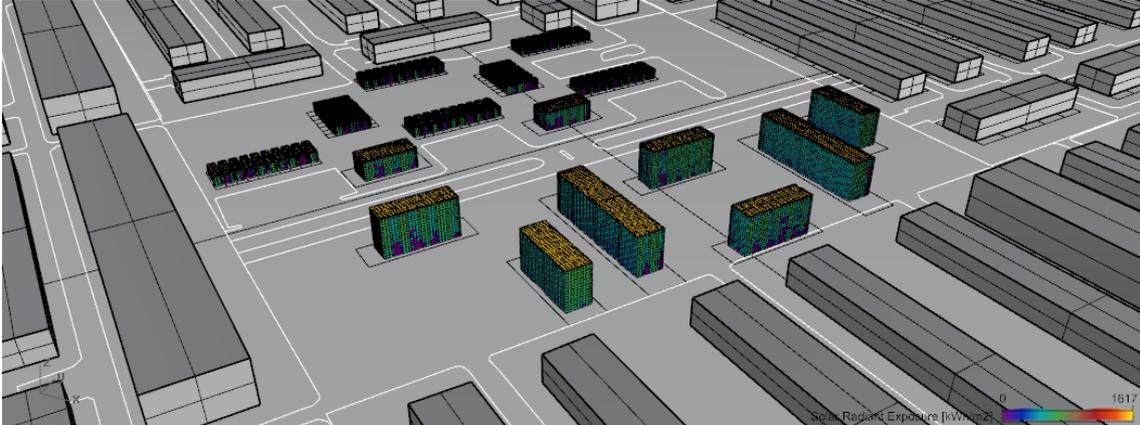


APÊNDICE C – RESULTADOS GRÁFICOS DA CLASSE 2



Classe 2, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 50%, número de pavimentos: 4 (RE3-tipoB), 1 (CSIIR2-tipo1), 2 (CSIIR2-tipo2)

Figura 177 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

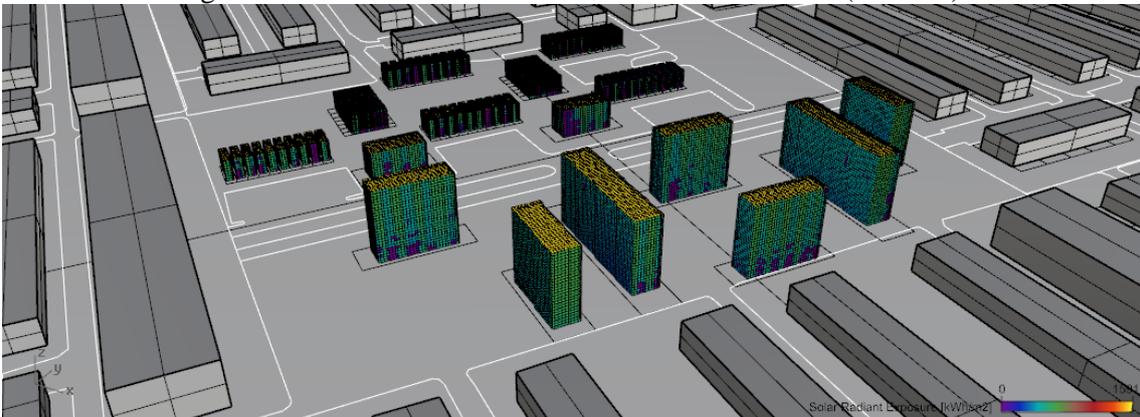
Figura 178 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 2, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação 50%, número de pavimentos: 7 (RE3-tipoB), 2 (CSIIR2-tipo1), 3 (CSIIR2-tipo2)

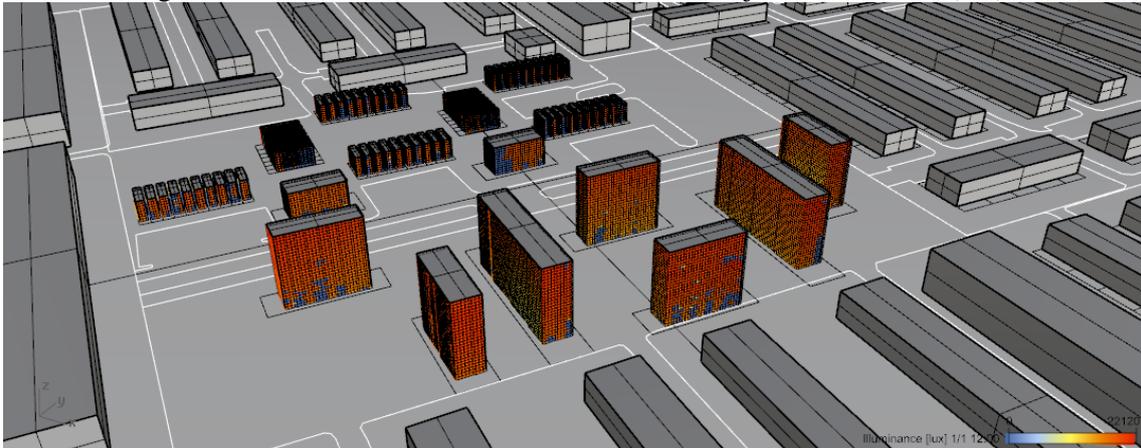
Figura 179 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



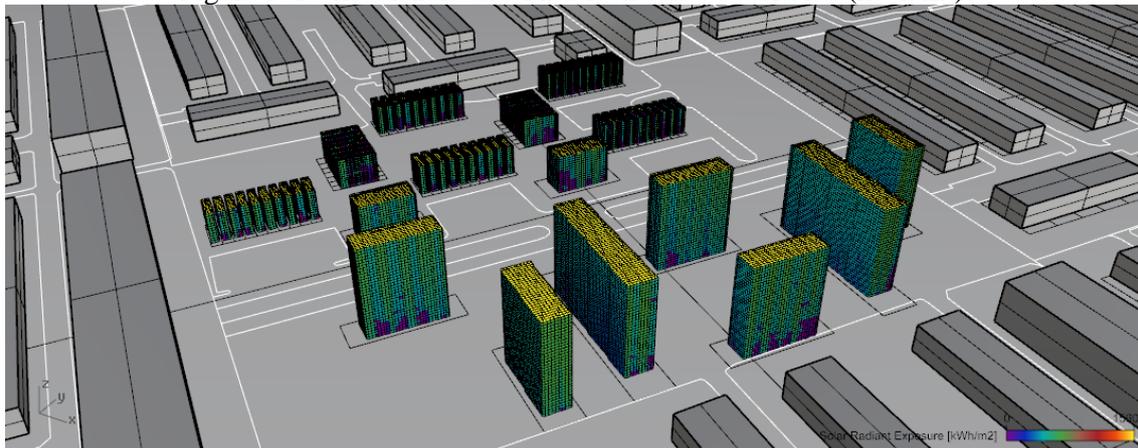
Figura 180 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

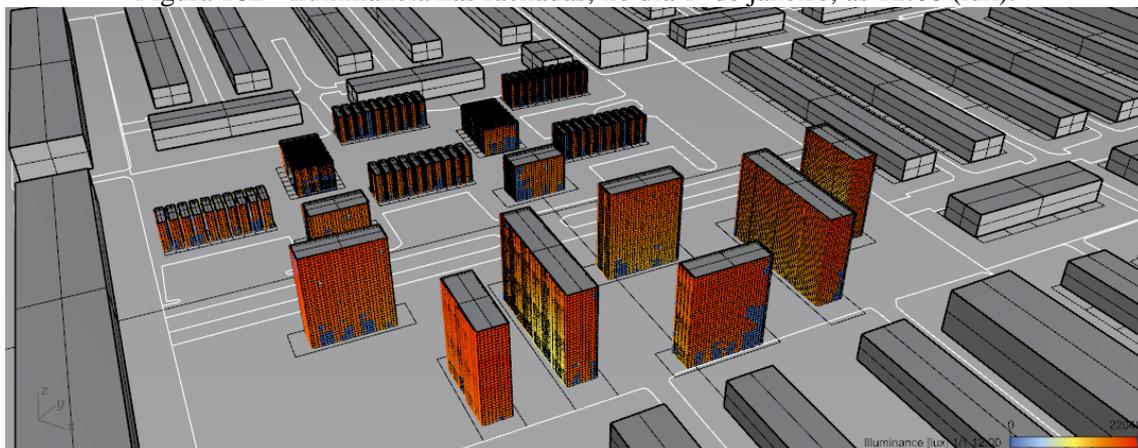
Classe 2, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação 50%, número de pavimentos: 9 (RE3-tipoB), 3 (CSIIR2-tipo1), 4 (CSIIR2-tipo2)

Figura 181 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

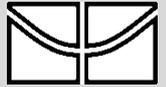


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 182 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

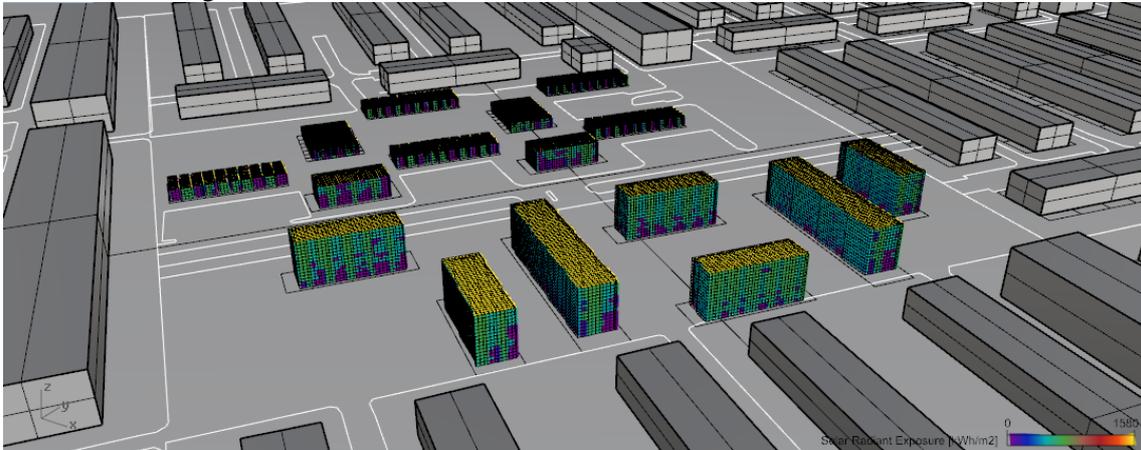


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Classe 2, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 65%, número de pavimentos: 4 (RE3-tipoB), 1 (CSIIR2-tipo1), 2 (CSIIR2-tipo2)

Figura 183 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

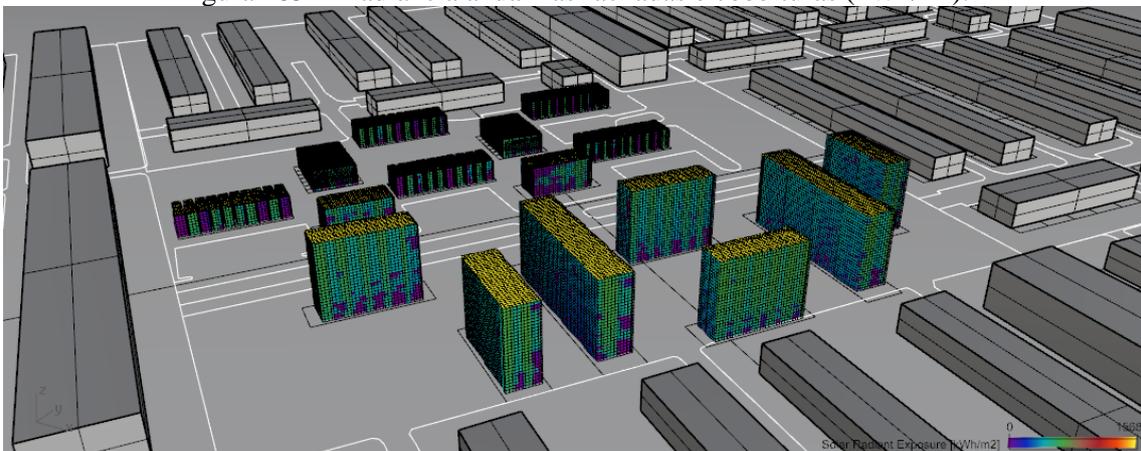
Figura 184 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 2, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação 65%, número de pavimentos: 7 (RE3-tipoB), 2 (CSIIR2-tipo1), 3 (CSIIR2-tipo2)

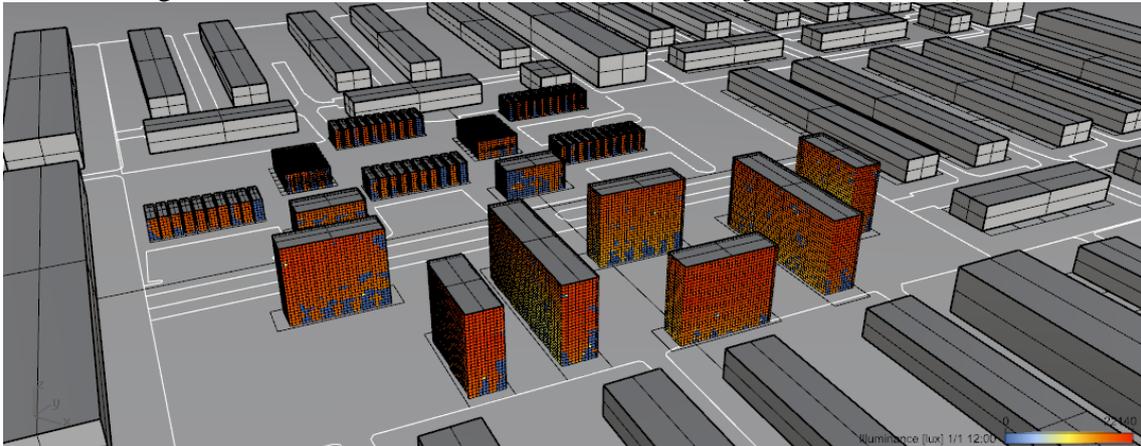
Figura 185 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



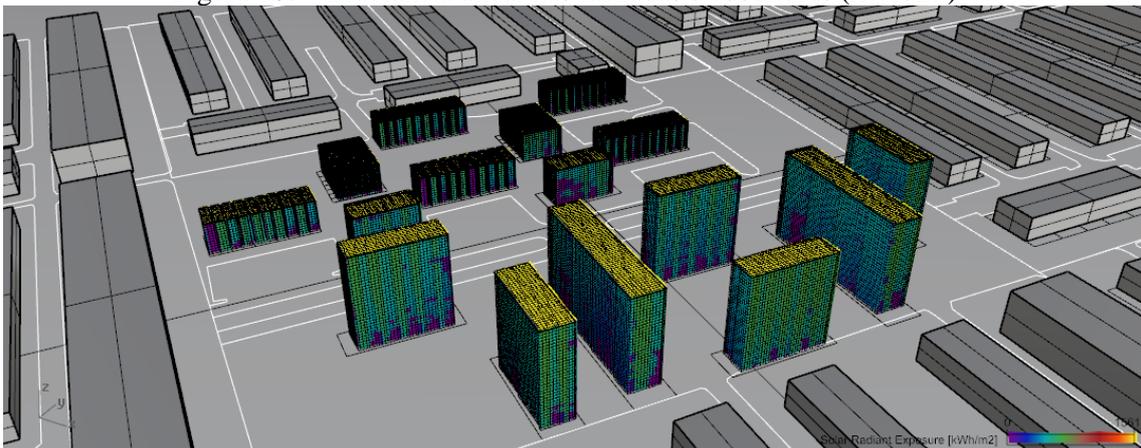
Figura 186 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

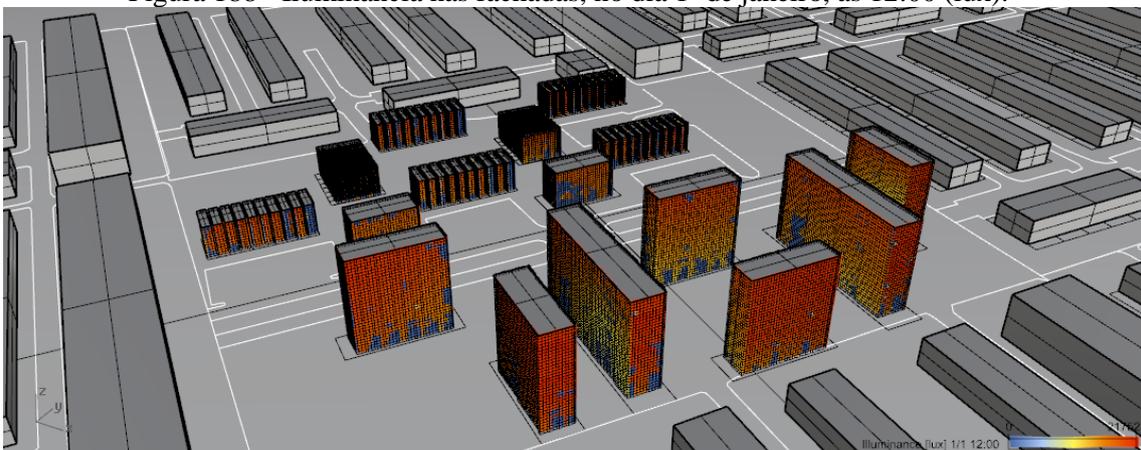
Classe 2, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação 65%, número de pavimentos: 9 (RE3-tipoB), 3 (CSIIR2-tipo1), 4 (CSIIR2-tipo2)

Figura 187 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 188 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

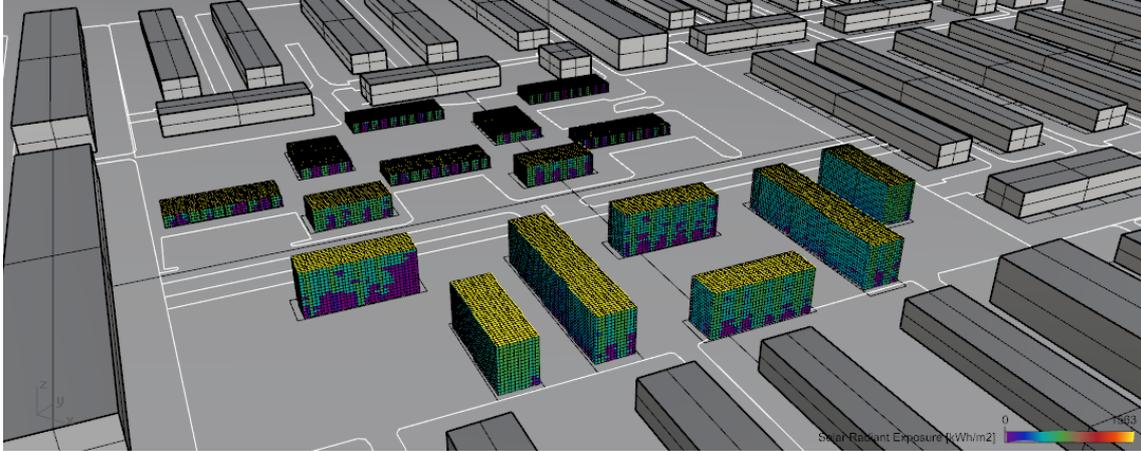


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



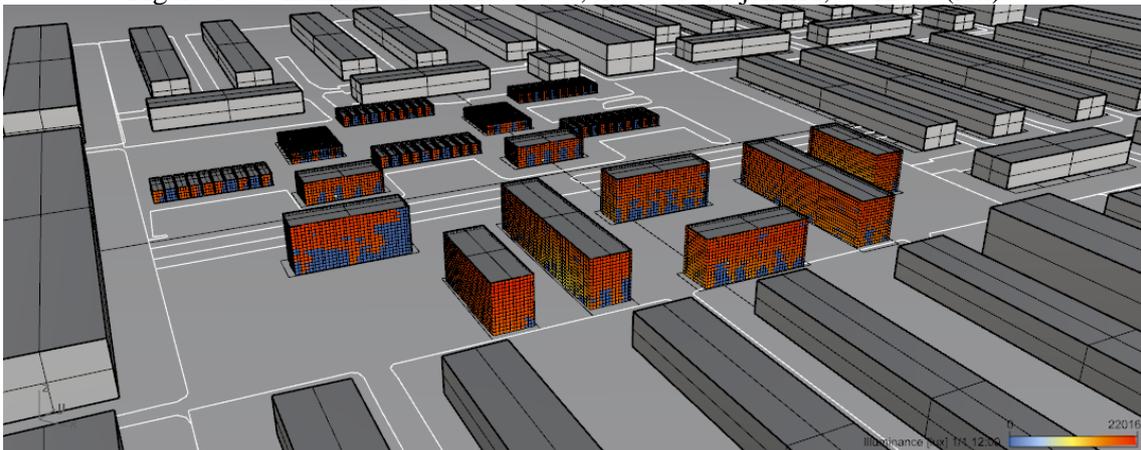
Classe 2, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 80%, número de pavimentos: 4 (RE3-tipoB), 1 (CSIIR2-tipo1), 2 (CSIIR2-tipo2)

Figura 189 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

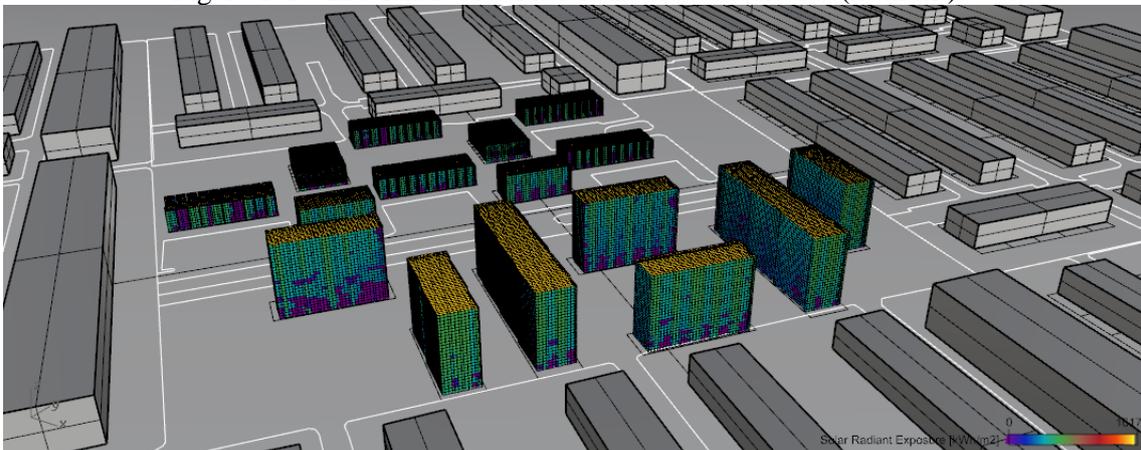
Figura 190 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 2, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação 80%, número de pavimentos: 7 (RE3-tipoB), 2 (CSIIR2-tipo1), 3 (CSIIR2-tipo2)

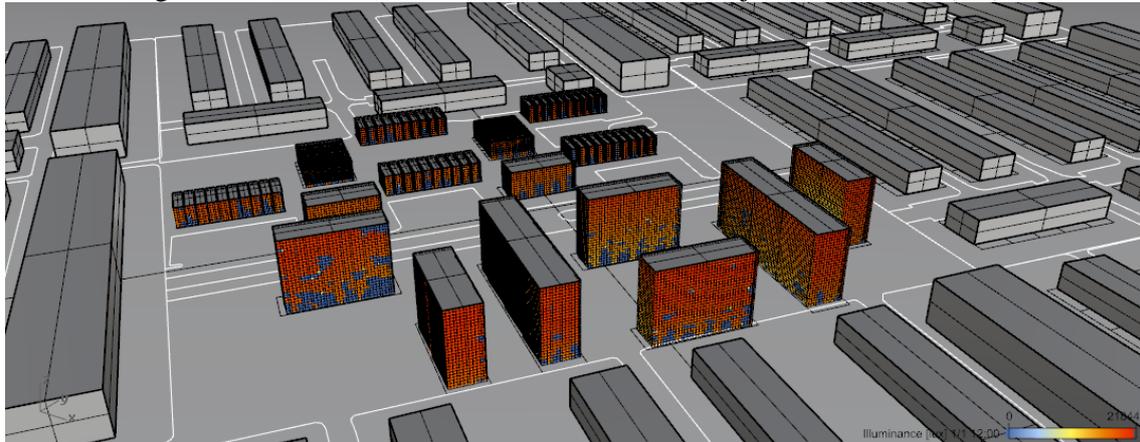
Figura 191 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



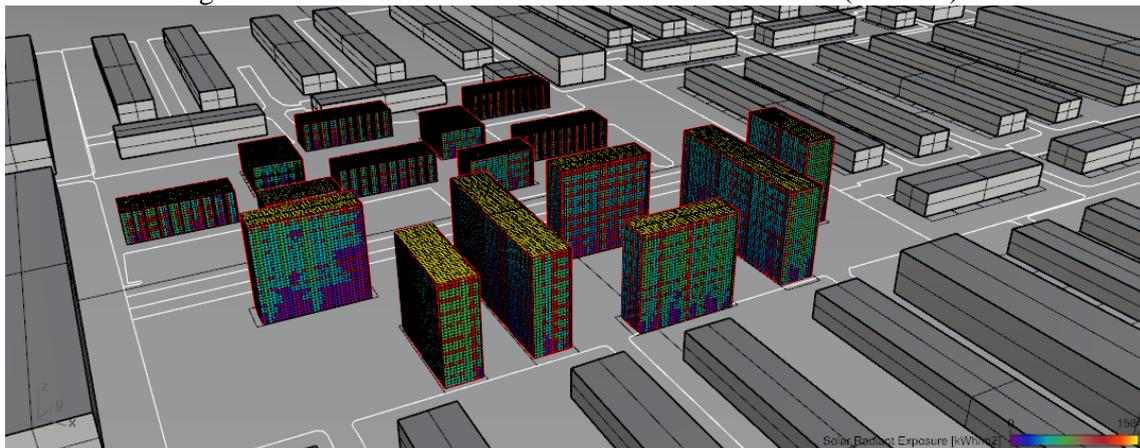
Figura 192 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

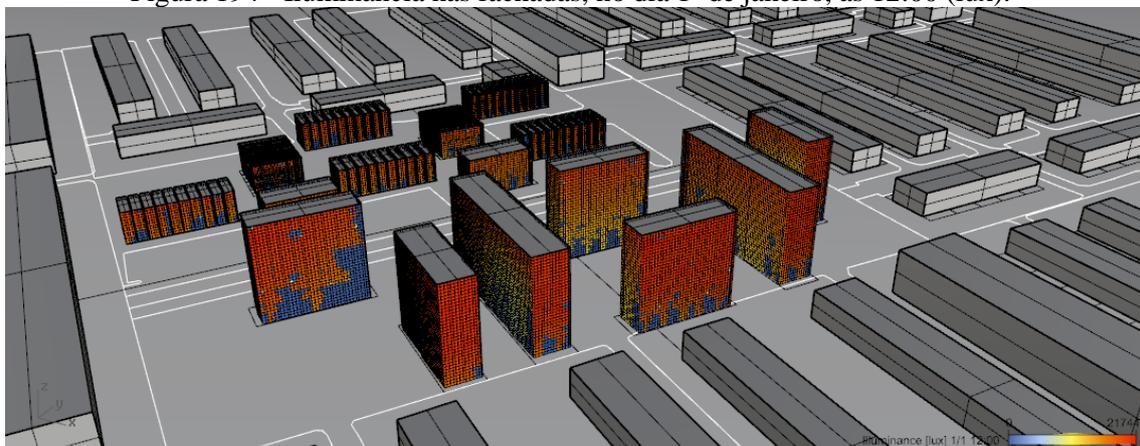
Classe 2, lotes com afastamentos laterais, taxa de ocupação 80%, número de pavimentos: 9 (RE3-tipoB), 3 (CSIR2-tipo1), 4 (CSIR2-tipo2)

Figura 193 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

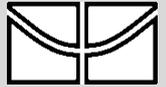


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 194 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

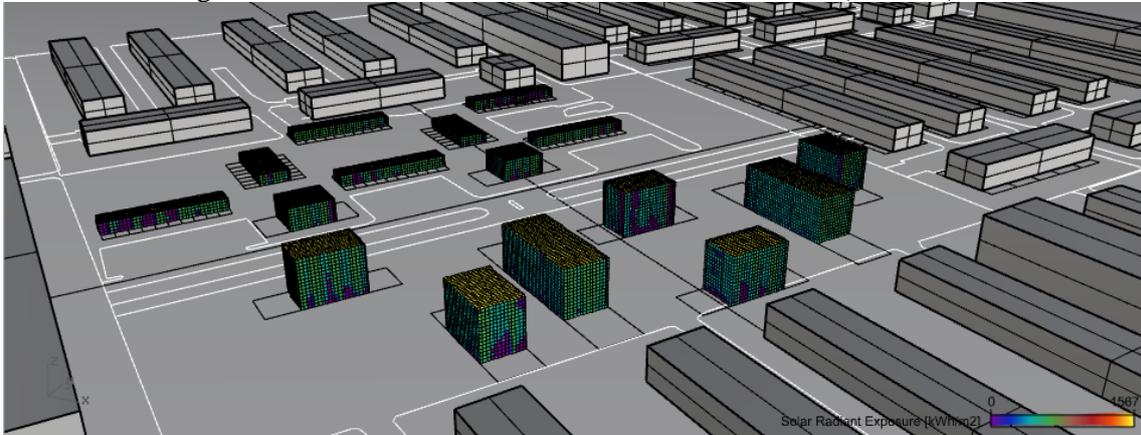


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 50%, número de pavimentos: 4 (RE3-tipoB), 1 (CSIIR2-tipo1), 2 (CSIIR2-tipo2)

Figura 195 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

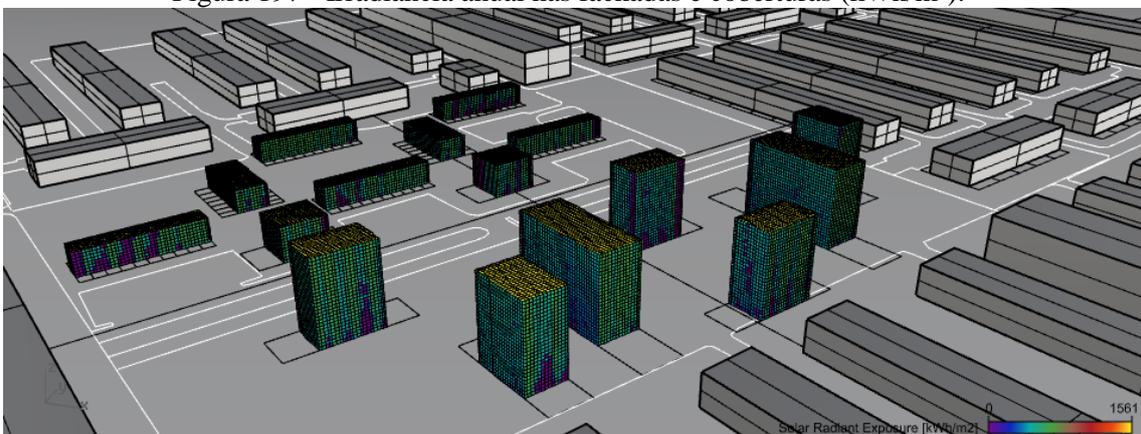
Figura 196 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação 50%, número de pavimentos: 7 (RE3-tipoB), 2 (CSIIR2-tipo1), 3 (CSIIR2-tipo2)

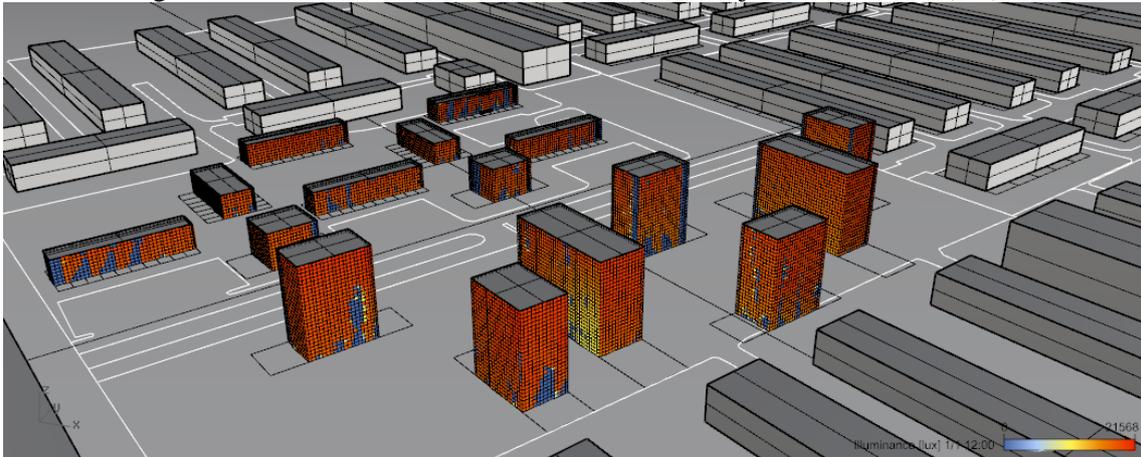
Figura 197 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



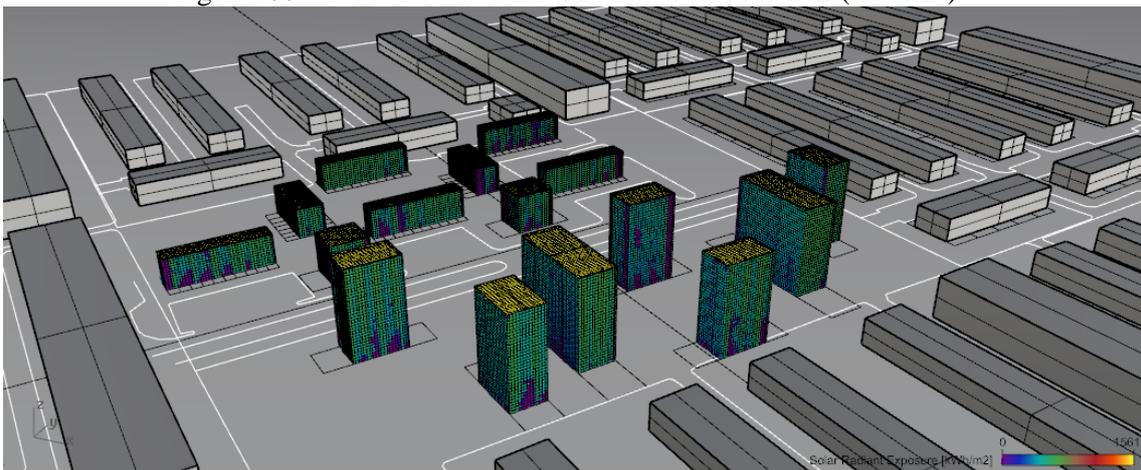
Figura 198 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

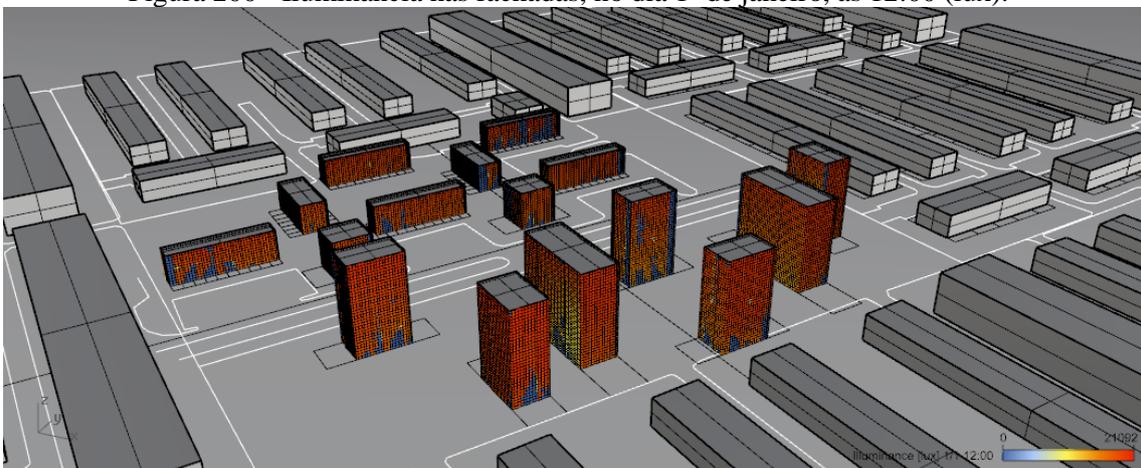
Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação 50%, número de pavimentos: 9 (RE3-tipoB), 3 (CSIIR2-tipo1), 4 (CSIIR2-tipo2)

Figura 199 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

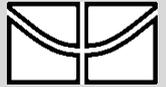


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 200 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

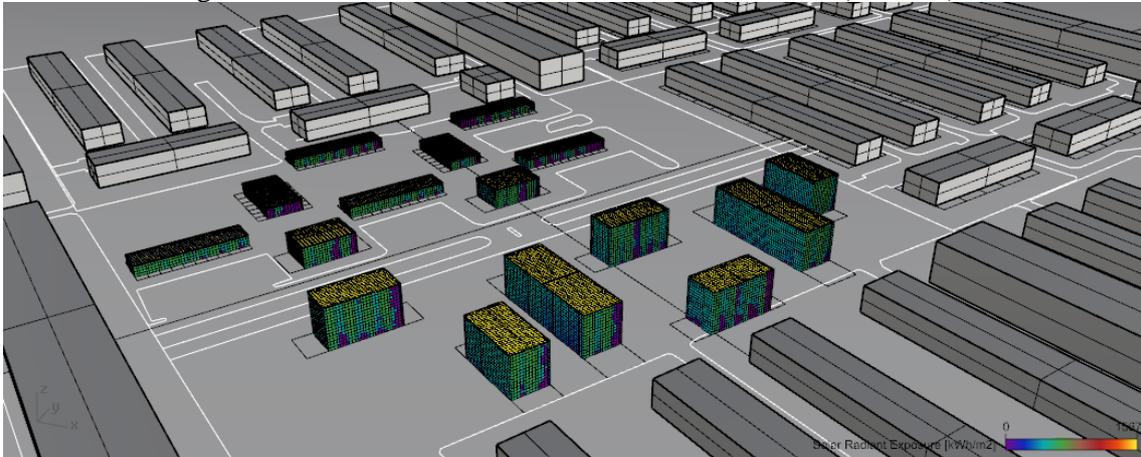


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



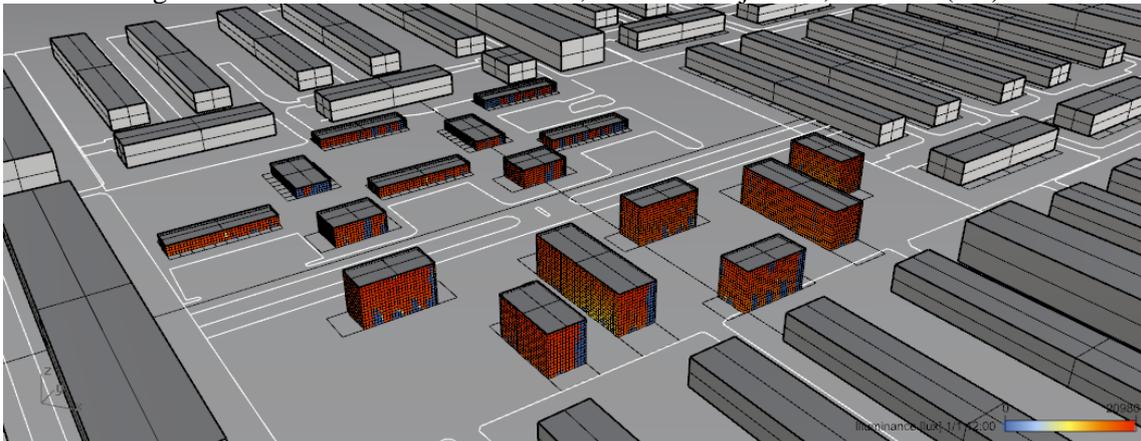
Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 65%, número de pavimentos: 4 (RE3-tipoB), 1 (CSIIR2-tipo1), 2 (CSIIR2-tipo2)

Figura 201 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

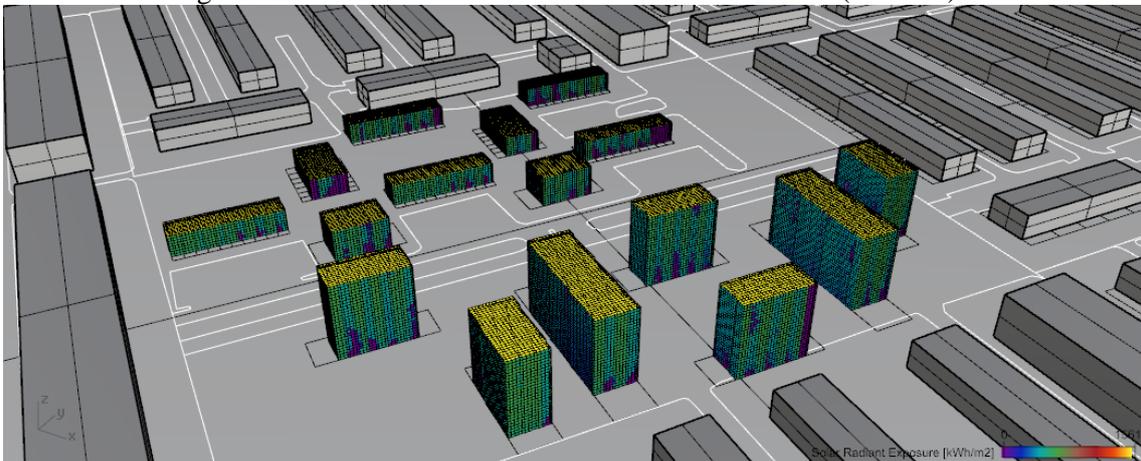
Figura 202 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação 65%, número de pavimentos: 7 (RE3-tipoB), 2 (CSIIR2-tipo1), 3 (CSIIR2-tipo2)

Figura 203 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

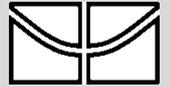
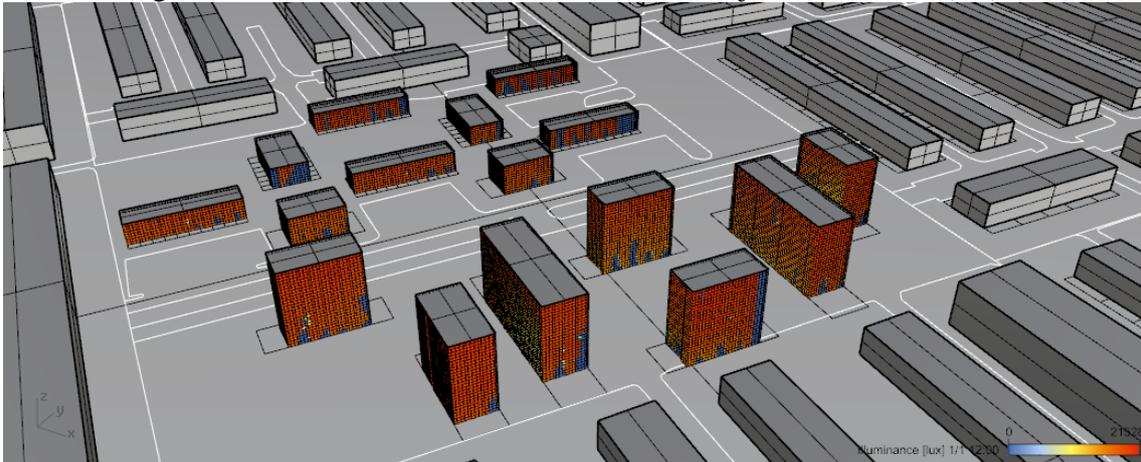


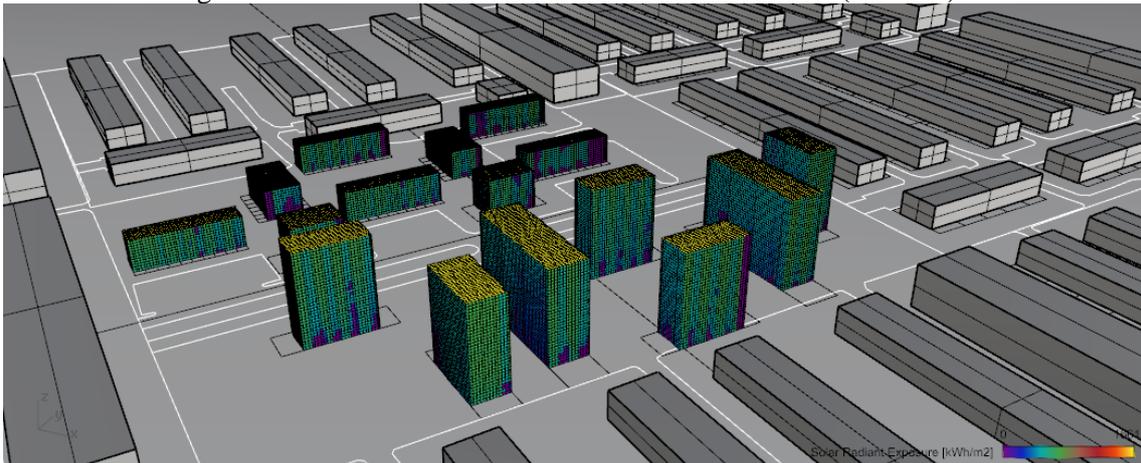
Figura 204 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

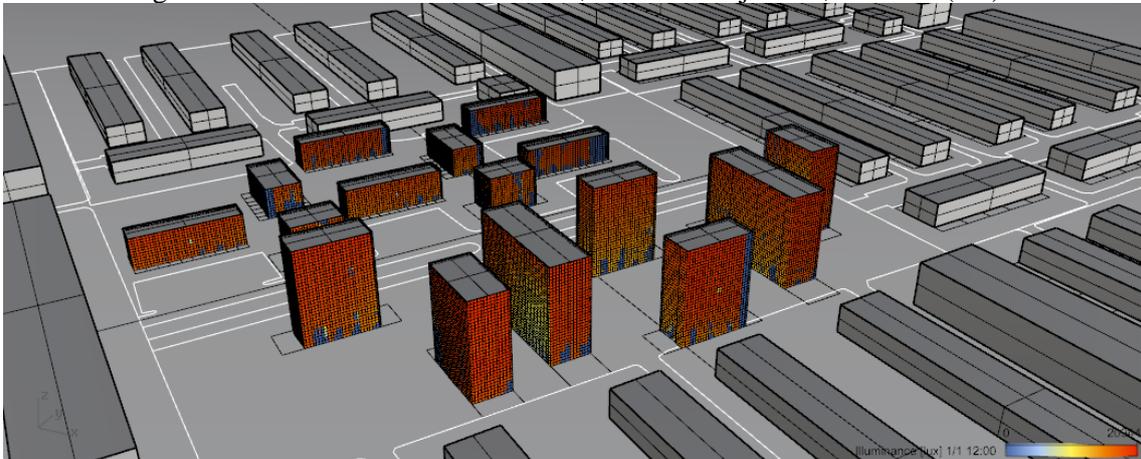
Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação 65%, número de pavimentos: 9 (RE3-tipoB), 3 (CSIIR2-tipo1), 4 (CSIIR2-tipo2)

Figura 205 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

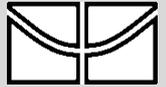


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 206 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

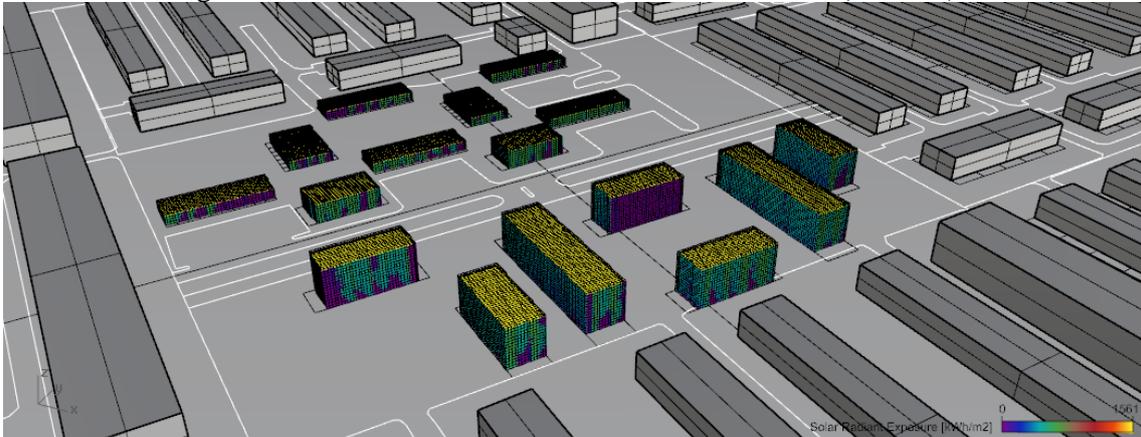


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 80%, número de pavimentos: 4 (RE3-tipoB), 1 (CSIIR2-tipo1), 2 (CSIIR2-tipo2)

Figura 207 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

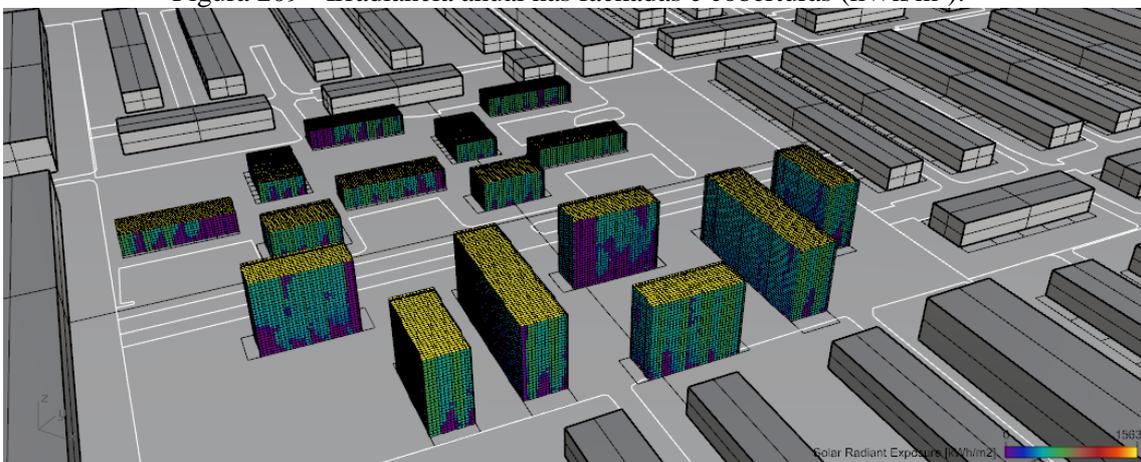
Figura 208 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação 80%, número de pavimentos: 7 (RE3-tipoB), 2 (CSIIR2-tipo1), 3 (CSIIR2-tipo2)

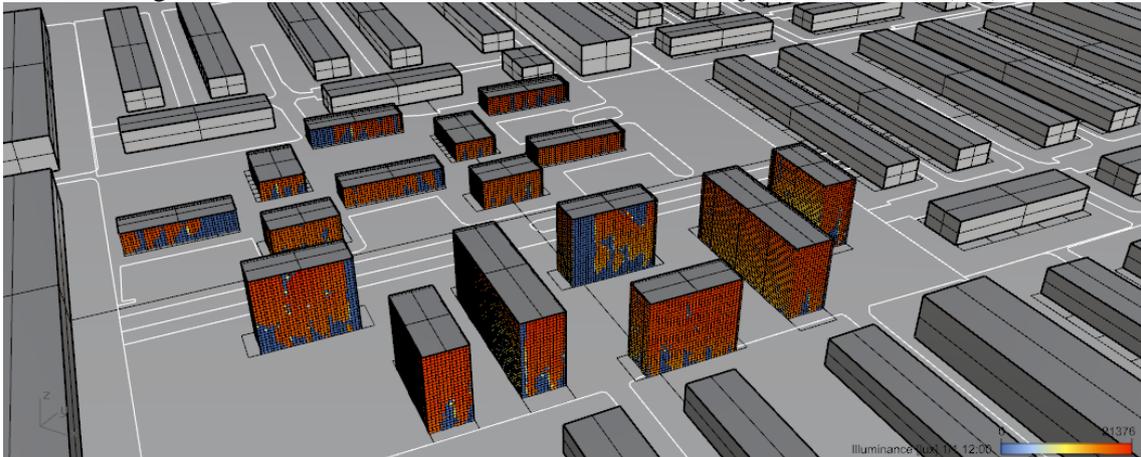
Figura 209 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



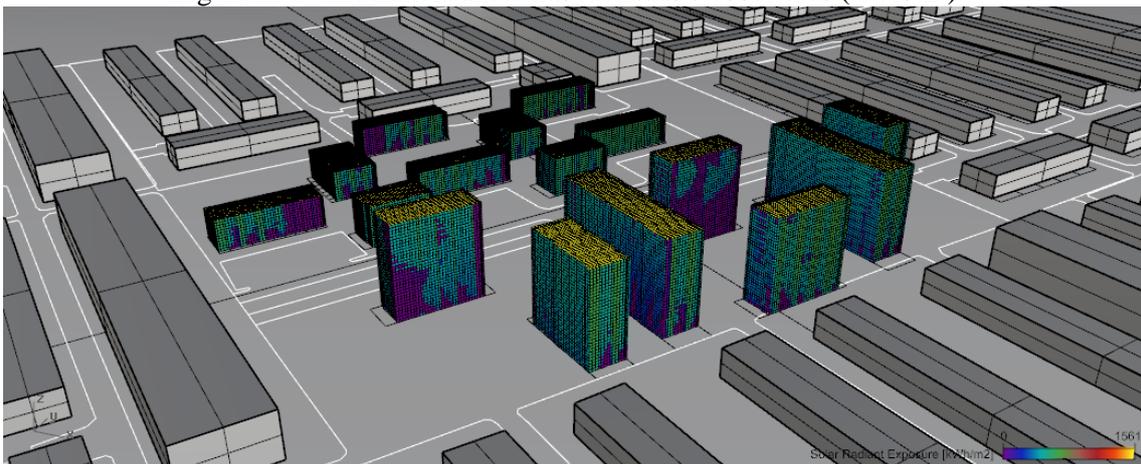
Figura 210 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

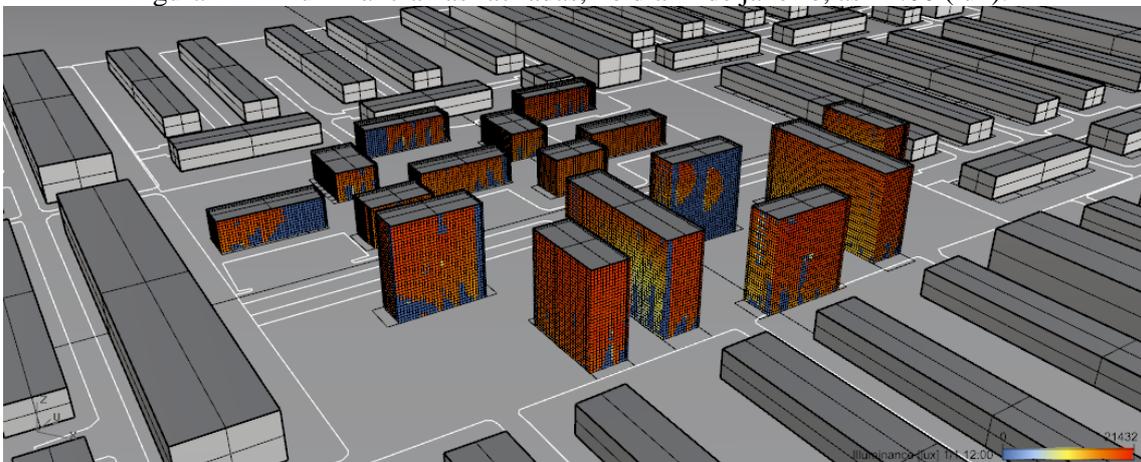
Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação 80%, número de pavimentos: 9 (RE3-tipoB), 3 (CSIIR2-tipo1), 4 (CSIIR2-tipo2)

Figura 211 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 212 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

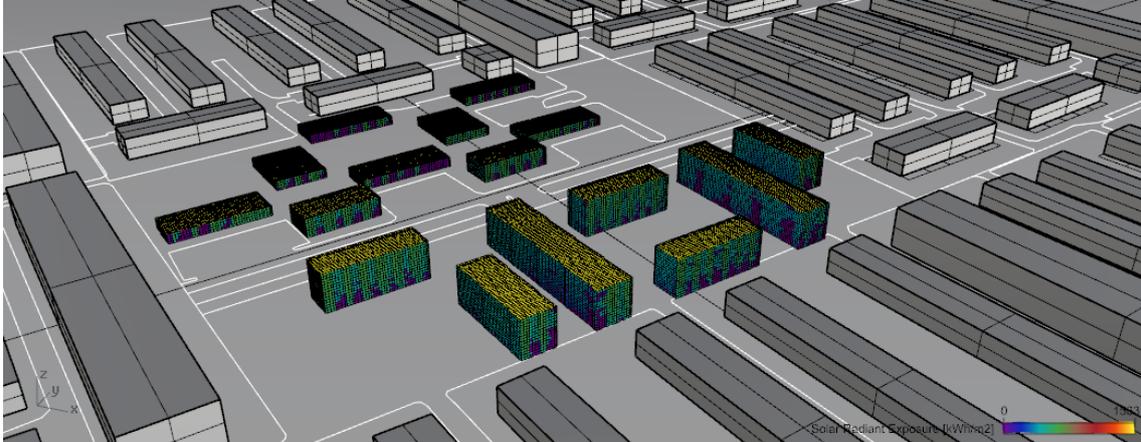


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



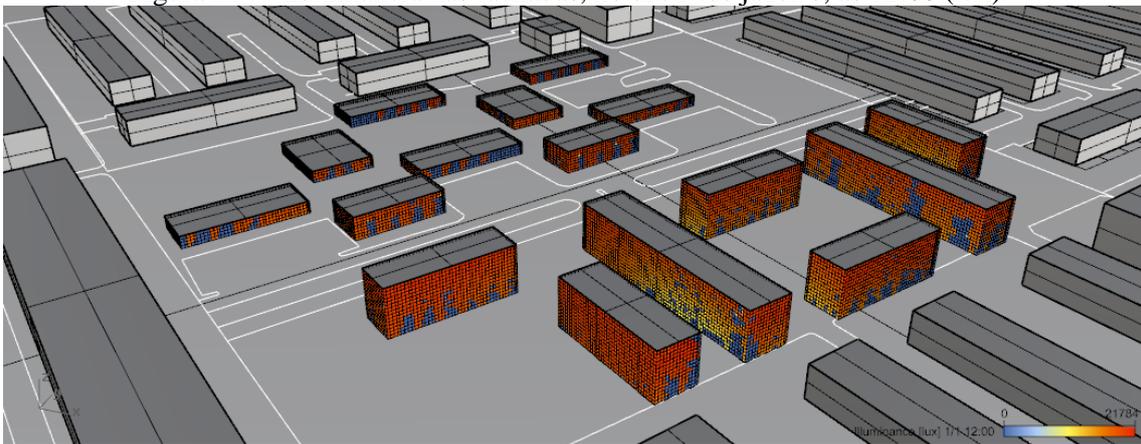
Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação: 100%, número de pavimentos: 4 (RE3-tipoB), 1 (CSIIR2-tipo1), 2 (CSIIR2-tipo2)

Figura 213 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

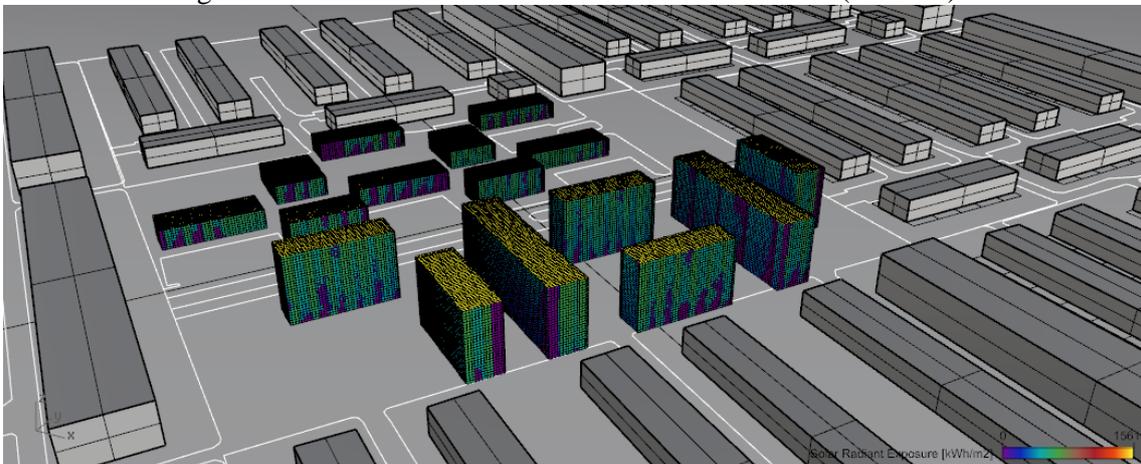
Figura 214 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação 100%, número de pavimentos: 7 (RE3-tipoB), 2 (CSIIR2-tipo1), 3 (CSIIR2-tipo2)

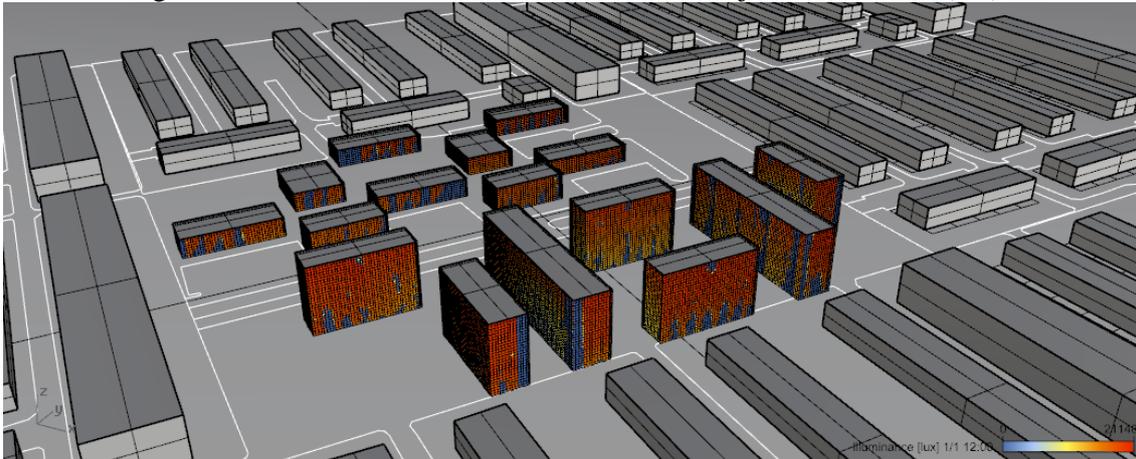
Figura 215 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



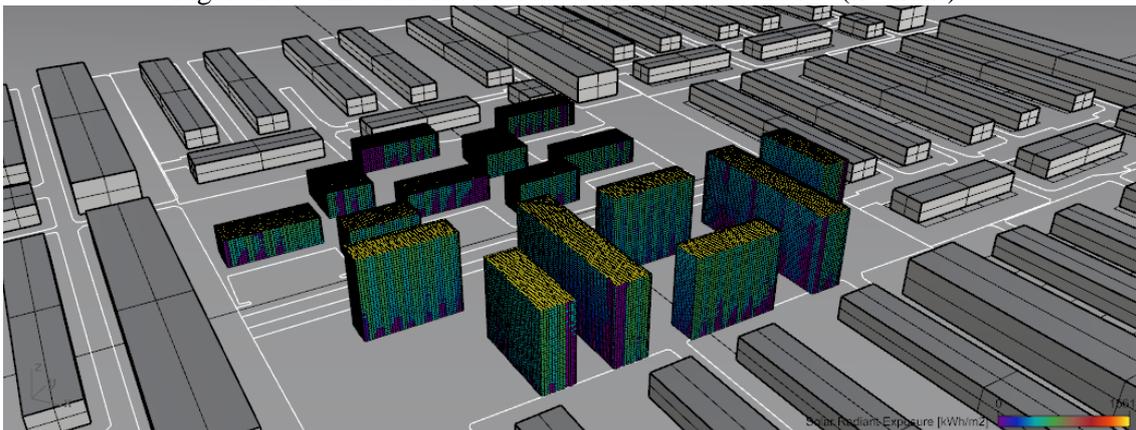
Figura 216 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

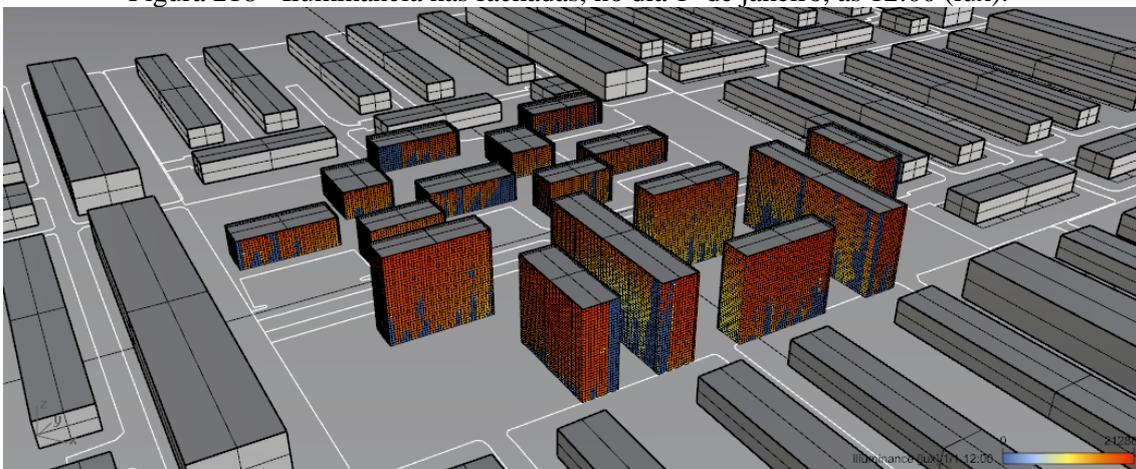
Classe 2, lotes sem afastamentos laterais, taxa de ocupação 100%, número de pavimentos: 9 (RE3-tipoB), 3 (CSIIR2-tipo1), 4 (CSIIR2-tipo2)

Figura 217 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

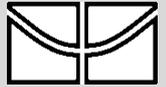


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 218 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

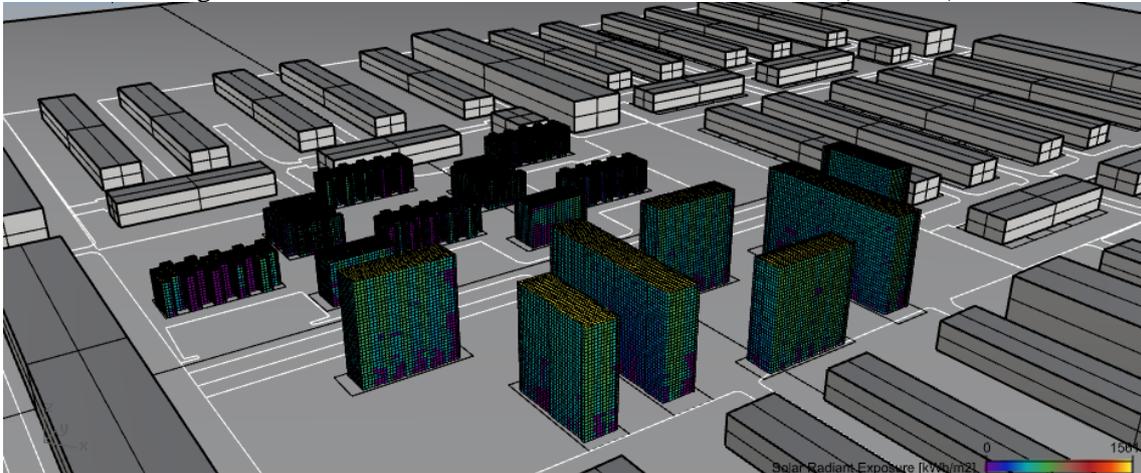


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



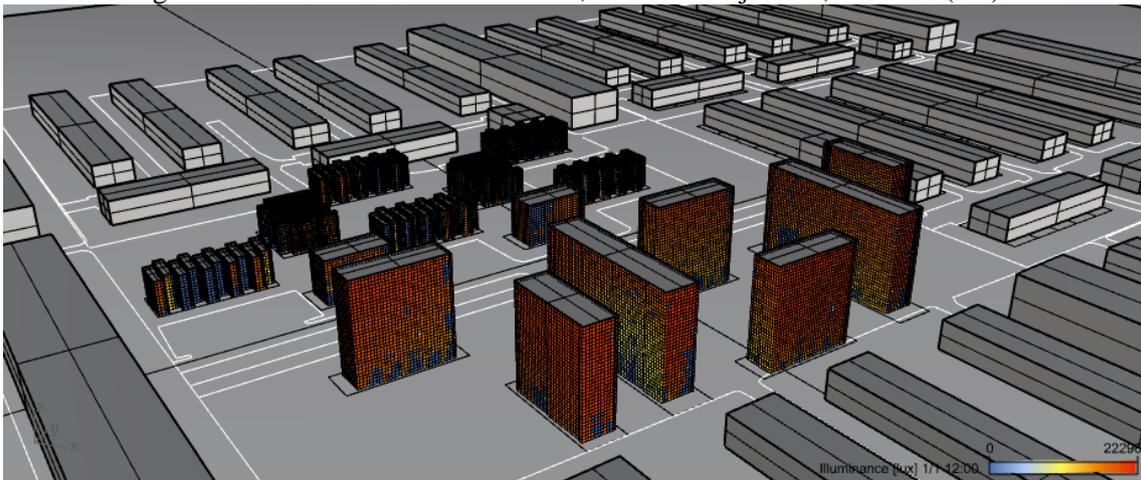
Classe 2, lotes intercalados, com afastamentos laterais, taxa de ocupação: 65%, número de pavimentos: 9 (RE3-tipoB), 3 (CSIIR2-tipo1), 4 (CSIIR2-tipo2)

Figura 219 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 220 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

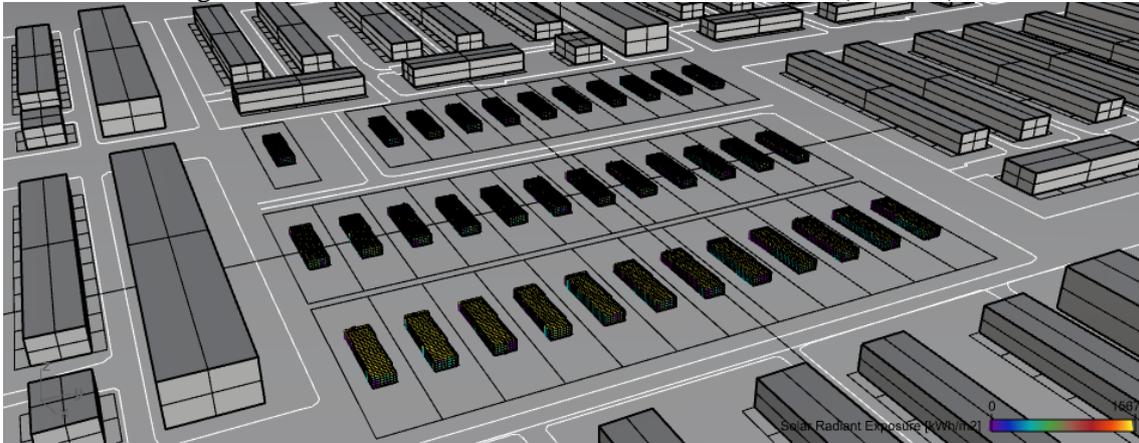


APÊNDICE D – RESULTADOS GRÁFICOS DA CLASSE 3



Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 1

Figura 221 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

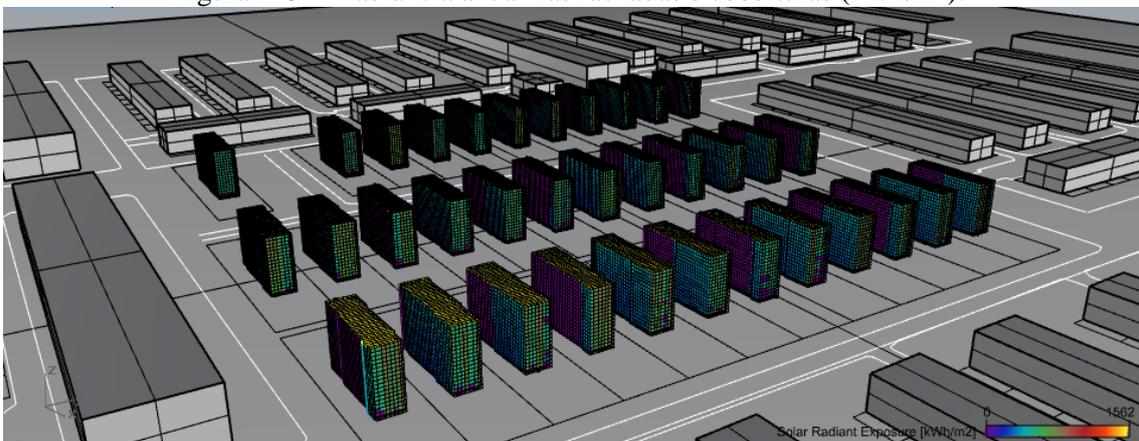
Figura 222 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 5

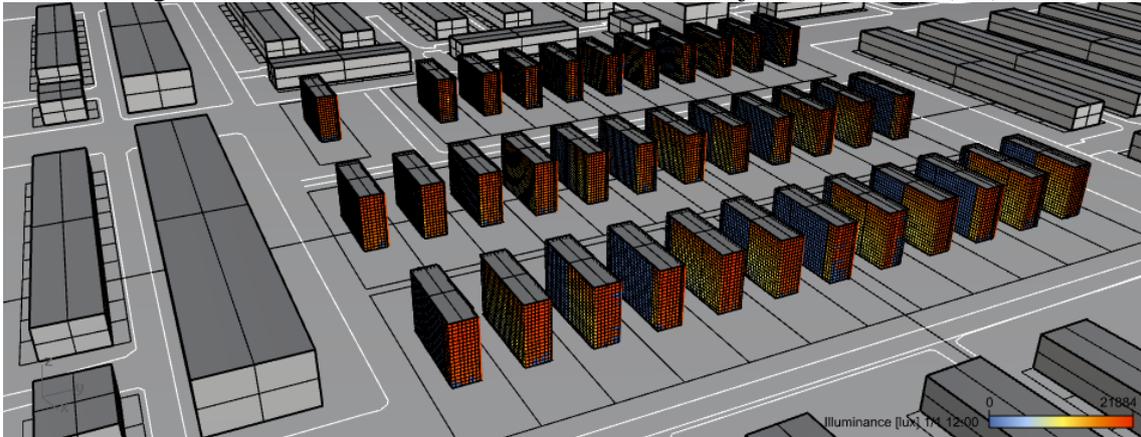
Figura 223 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



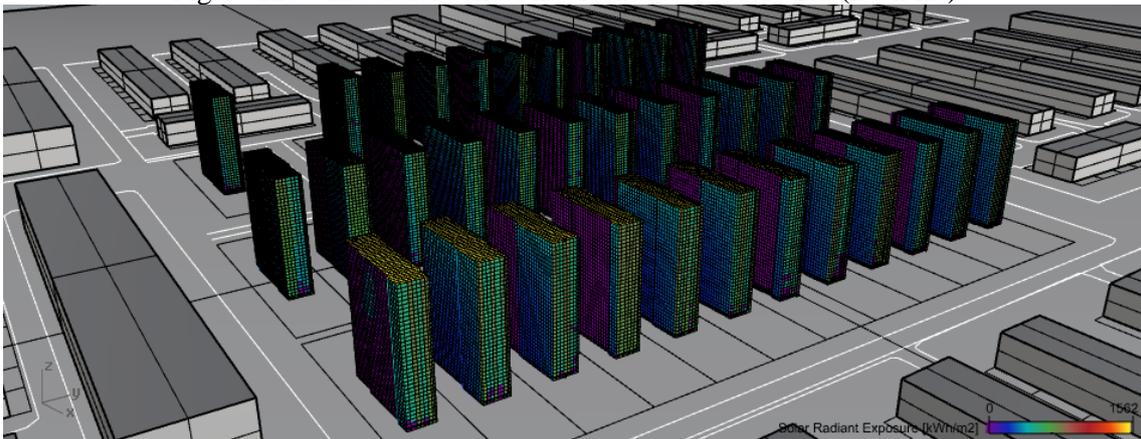
Figura 224 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

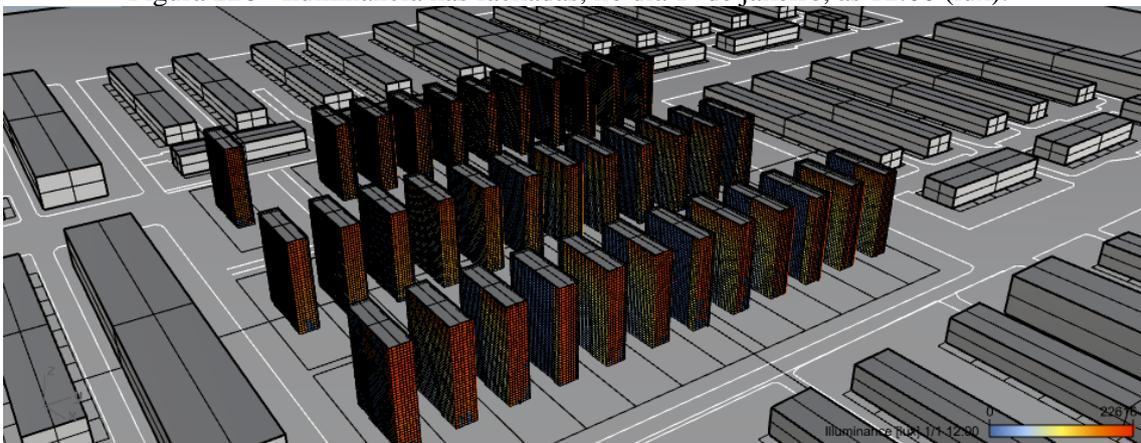
Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 10

Figura 225 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

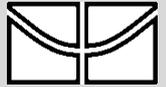


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 226 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

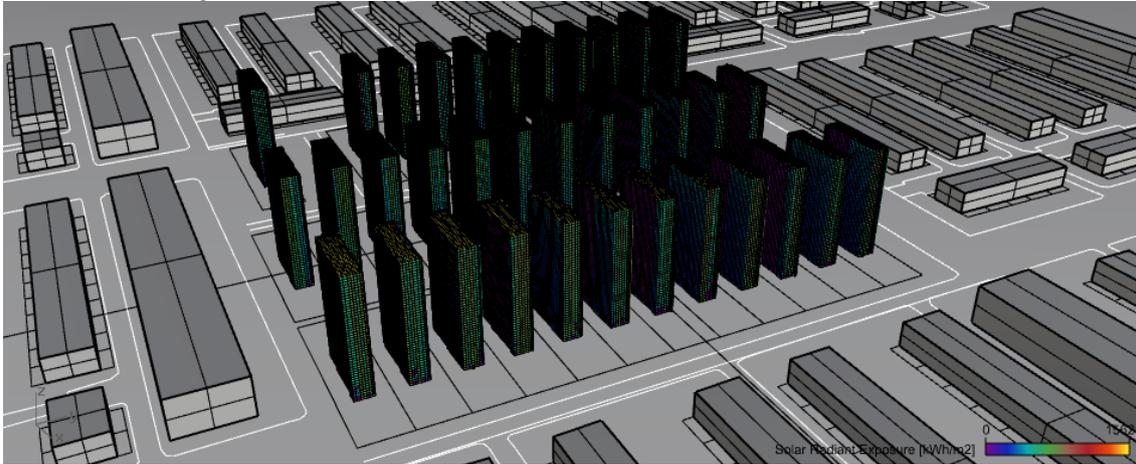


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



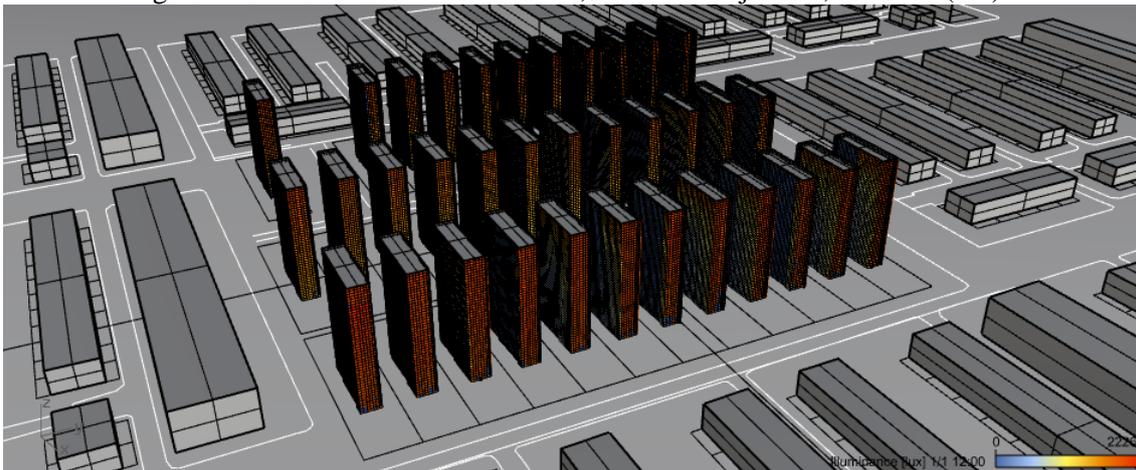
Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 15

Figura 227 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

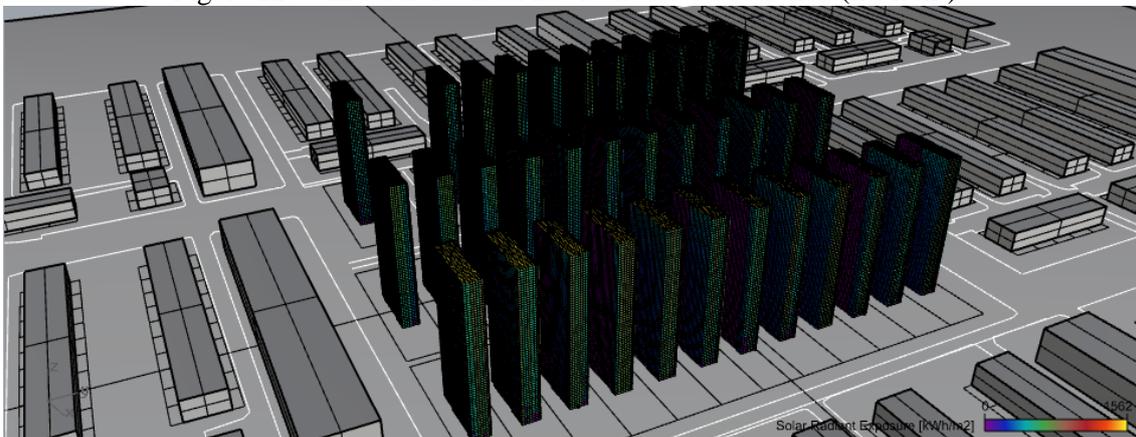
Figura 228 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, às 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 20

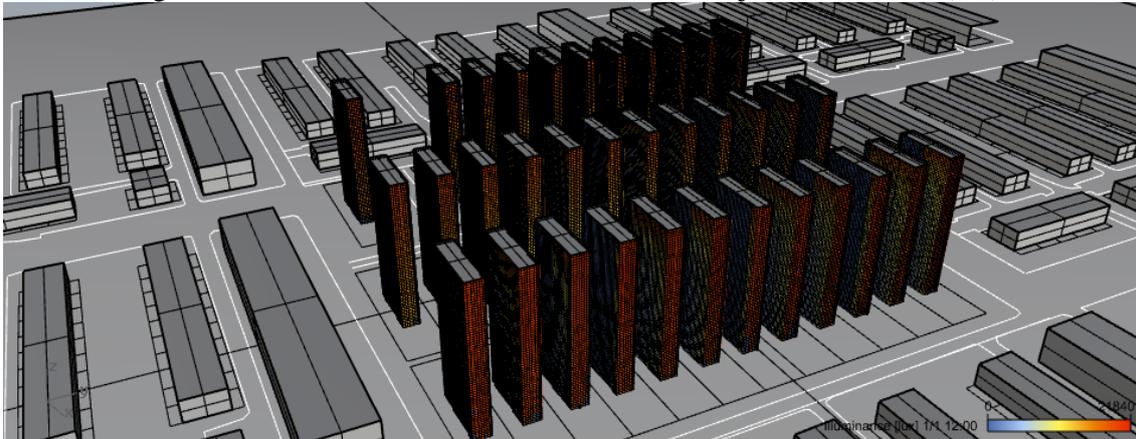
Figura 229 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



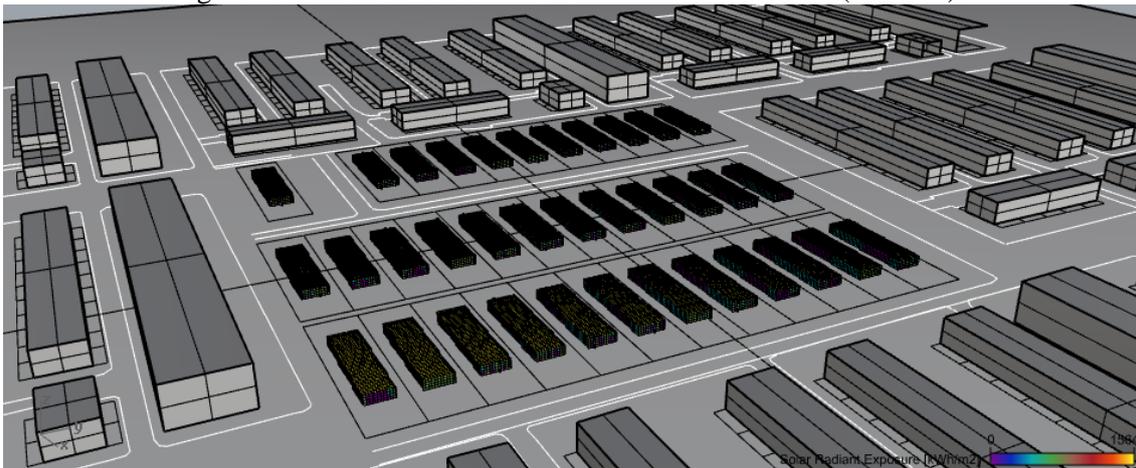
Figura 230 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

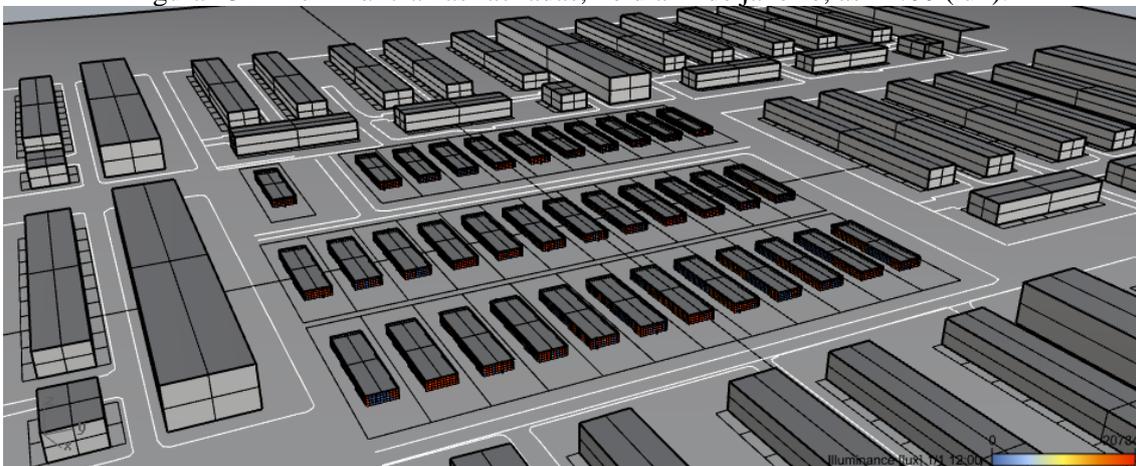
Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 30%, número de pavimentos: 1

Figura 231 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 232 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

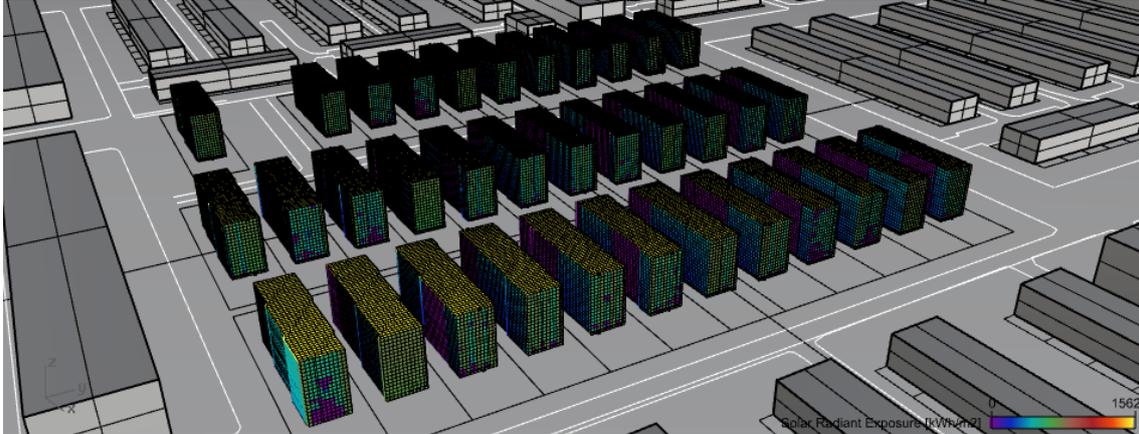


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



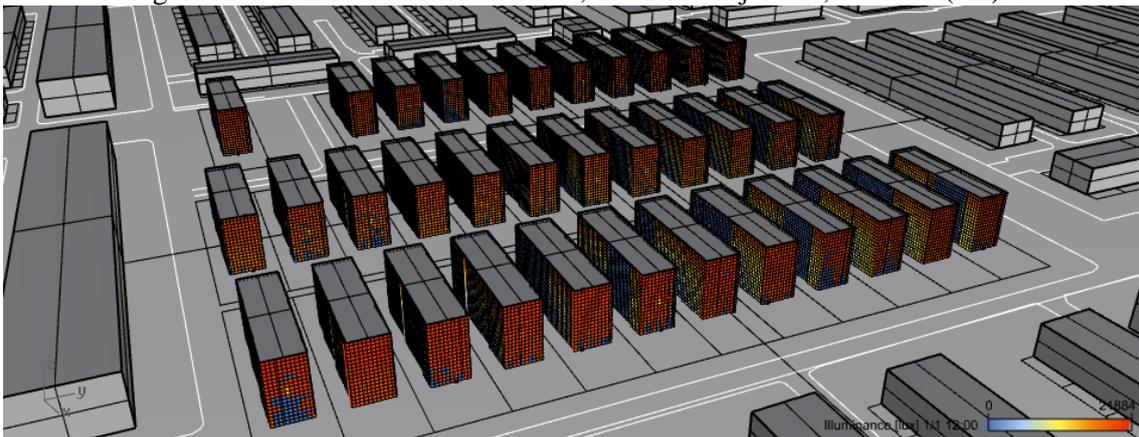
Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 30%, número de pavimentos: 5

Figura 233 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

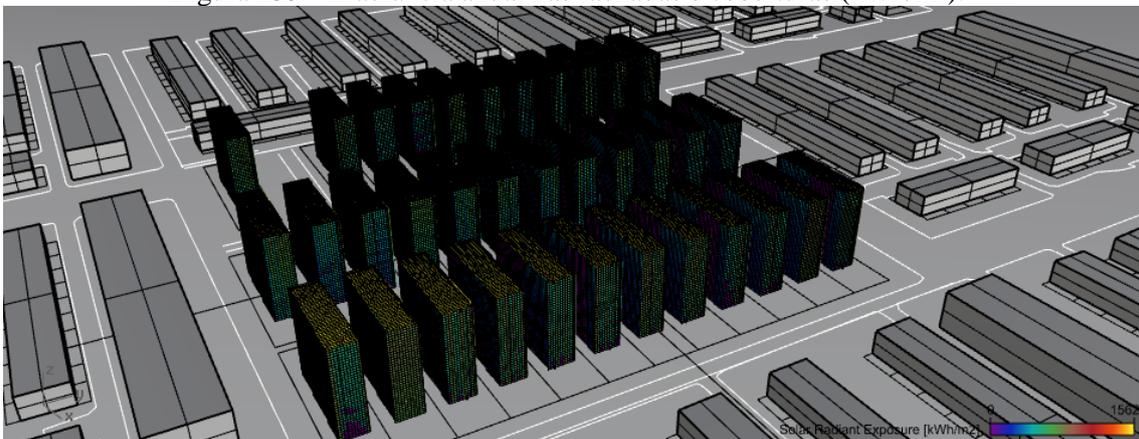
Figura 234 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 30%, número de pavimentos: 10

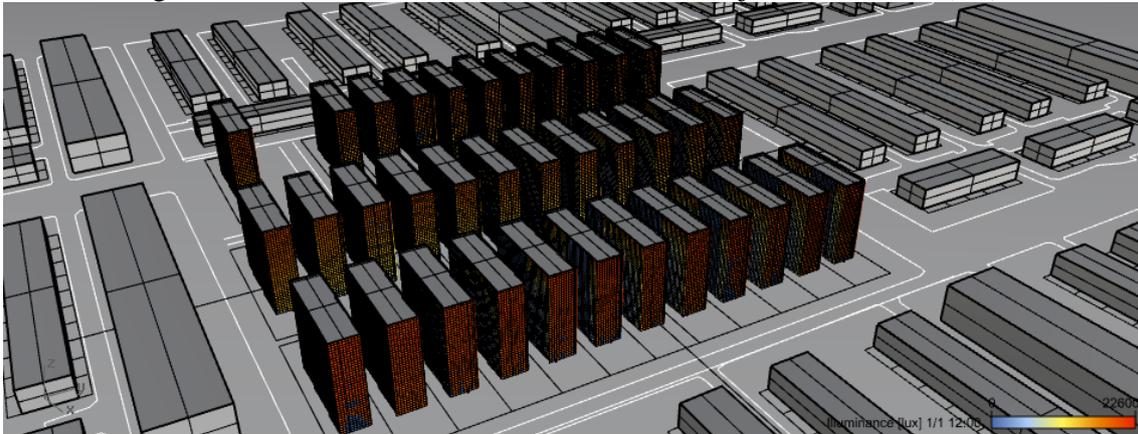
Figura 235 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Figura 236 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

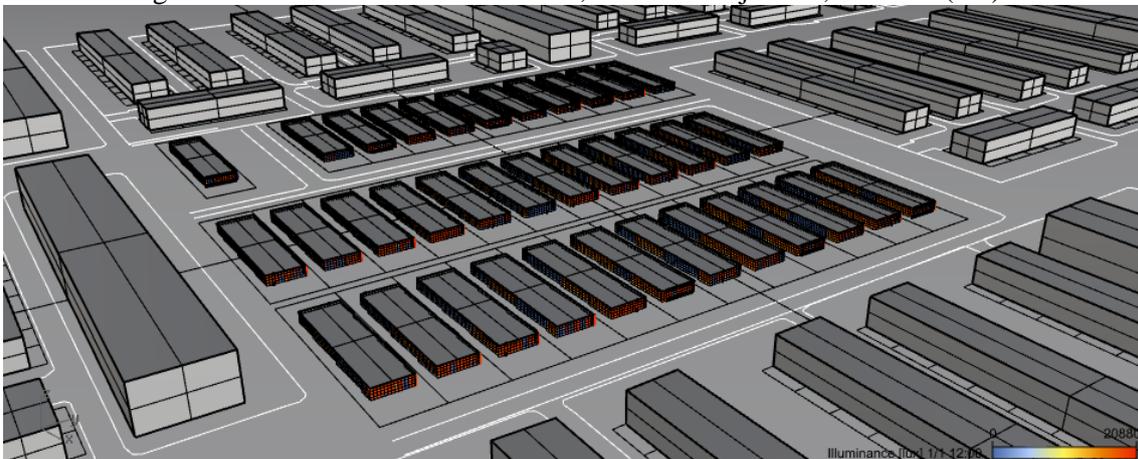
Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 45%, número de pavimentos: 1

Figura 237 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

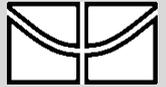


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 238 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

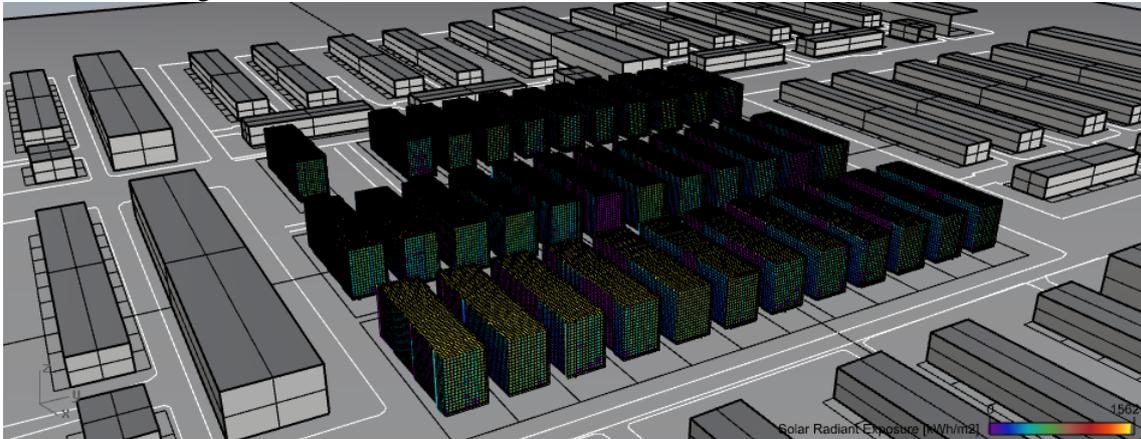


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 45%, número de pavimentos: 5

Figura 239 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

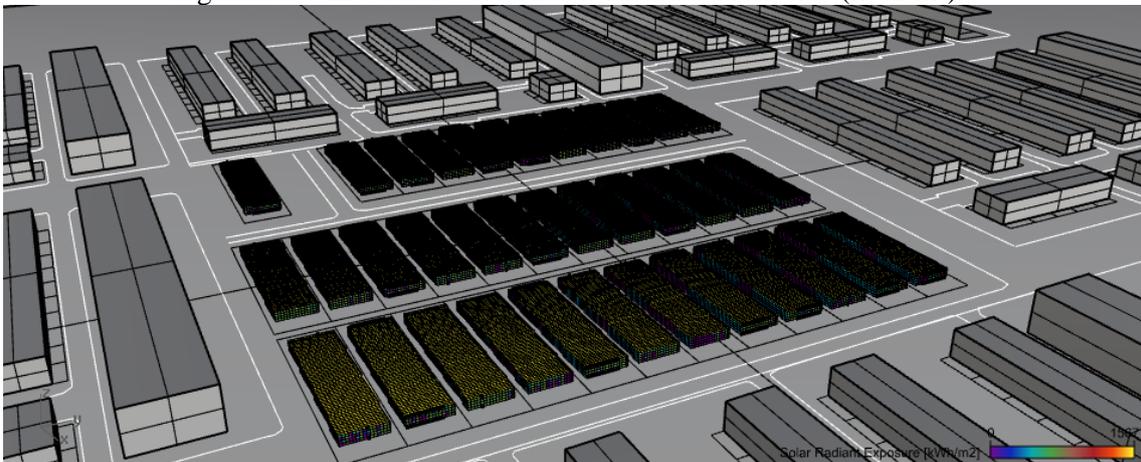
Figura 240 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 60%, número de pavimentos: 1

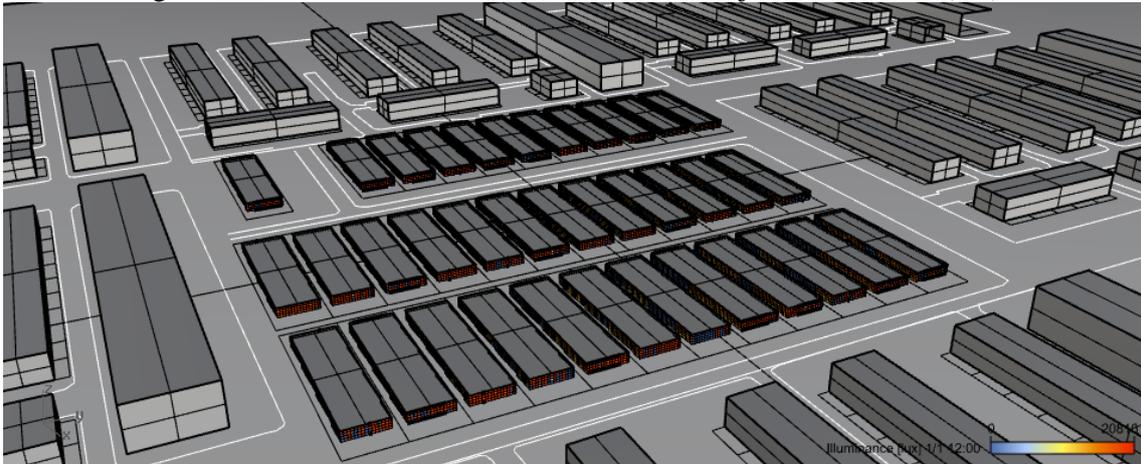
Figura 241 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



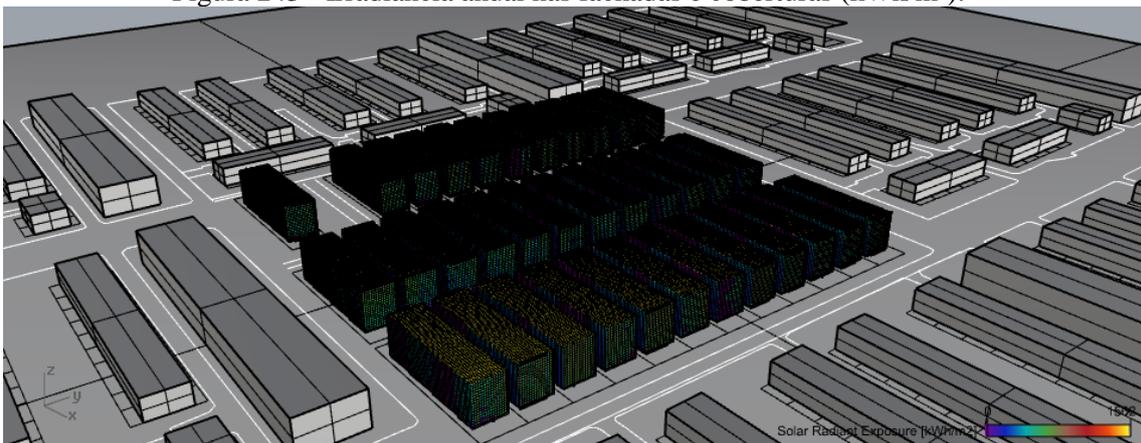
Figura 242 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

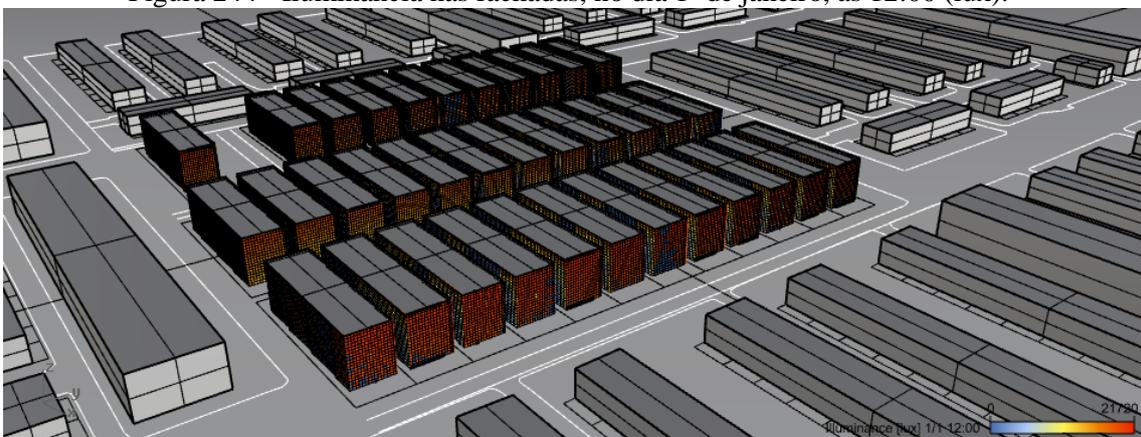
Classe 3, edifícios no centro dos lotes, taxa de ocupação: 60%, número de pavimentos: 5

Figura 243 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

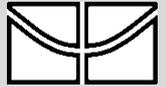


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 244 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

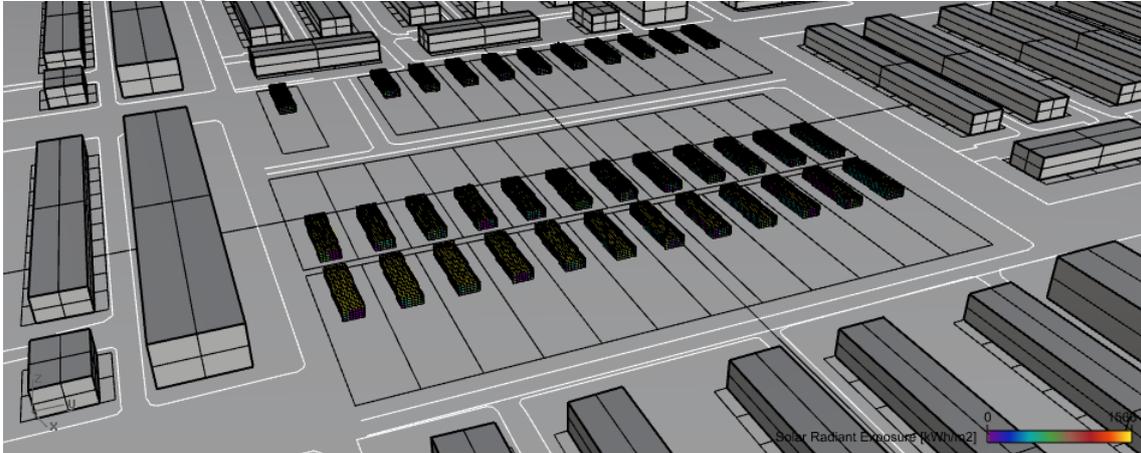


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 1

Figura 245 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

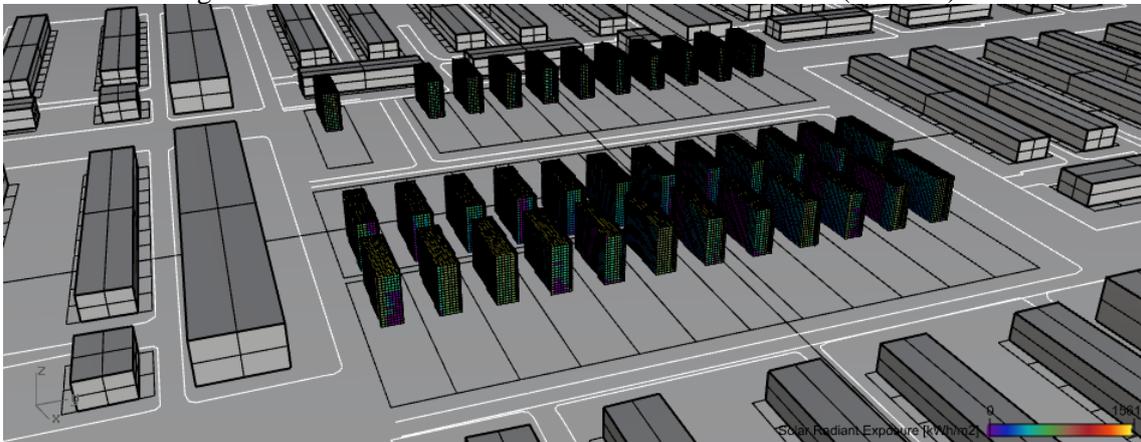
Figura 246 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 5

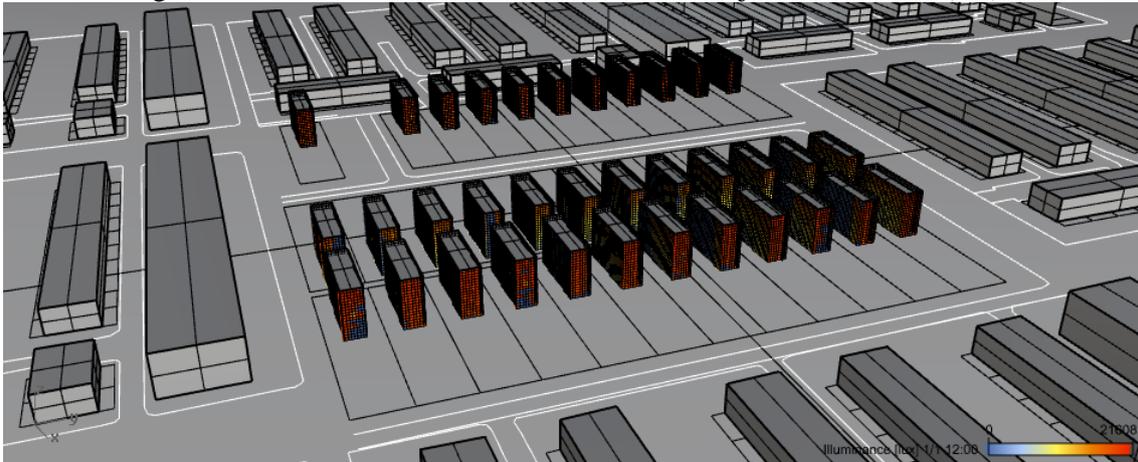
Figura 247 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



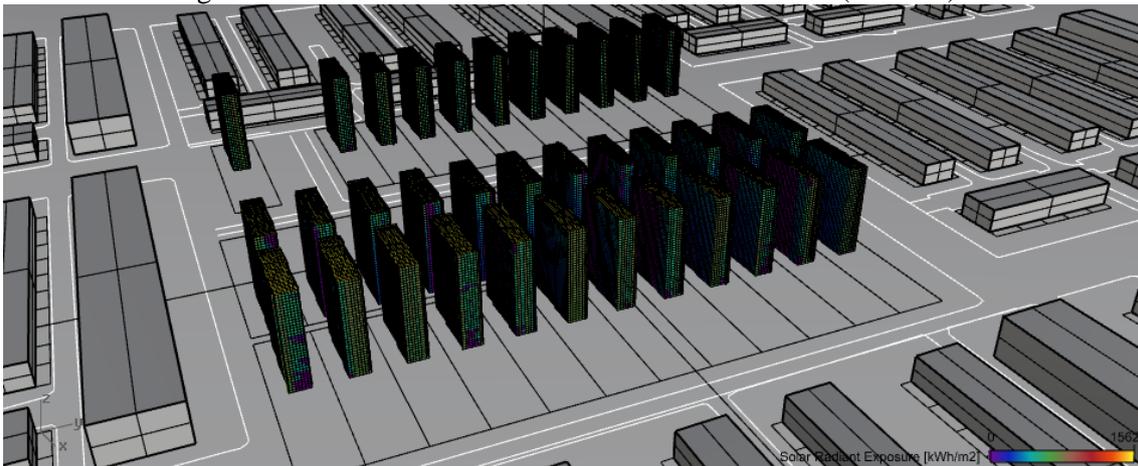
Figura 248 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

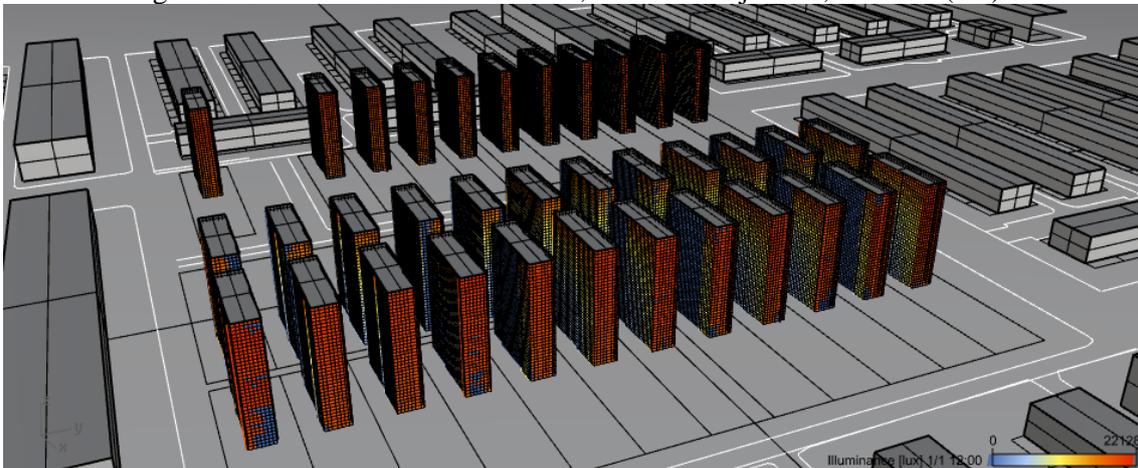
Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 10

Figura 249 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

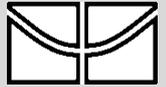


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 250 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

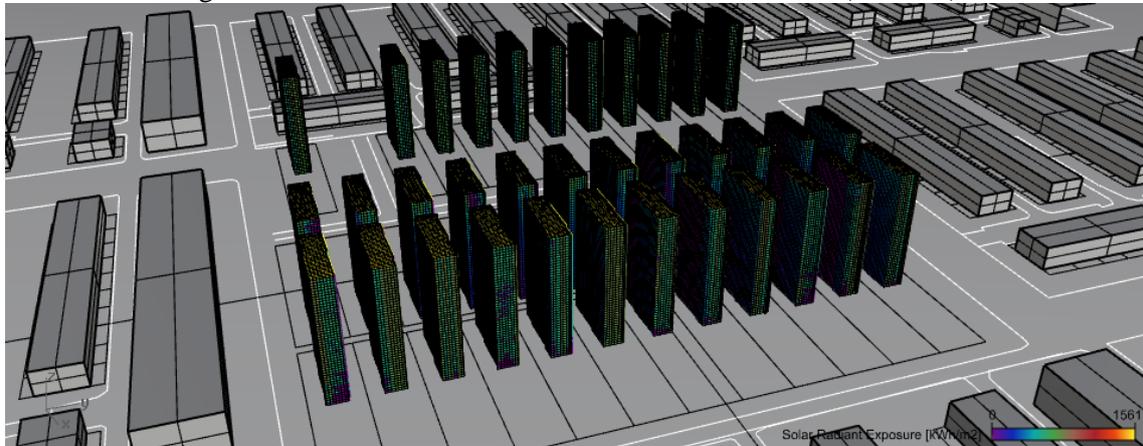


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



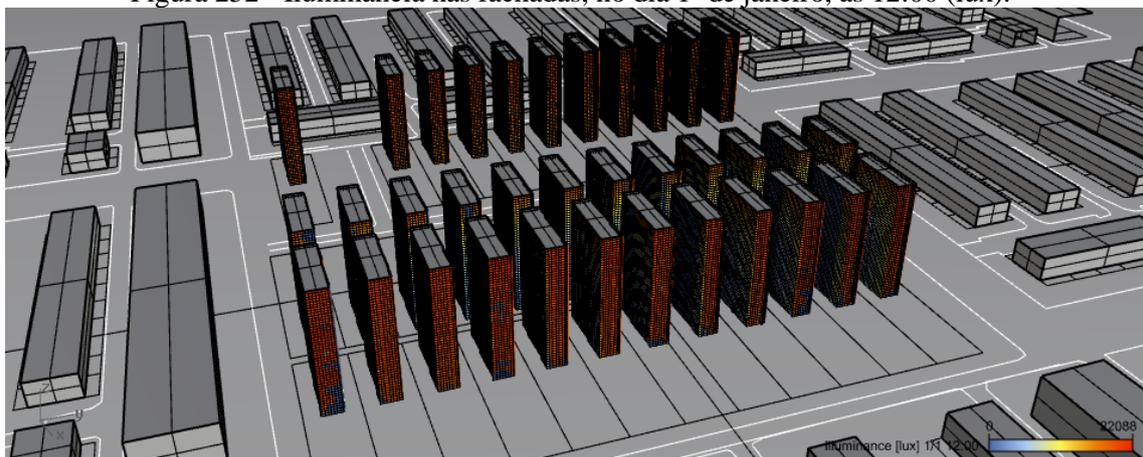
Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 15

Figura 251 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

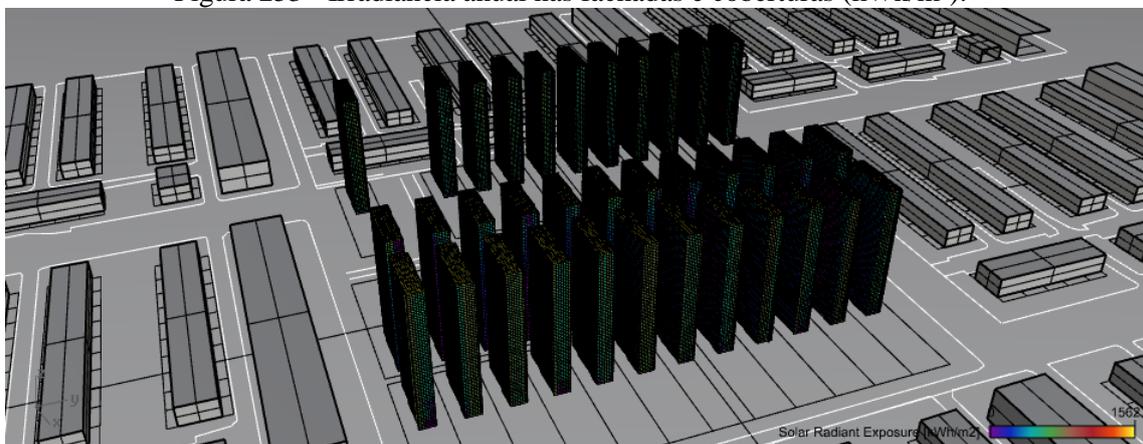
Figura 252 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 20

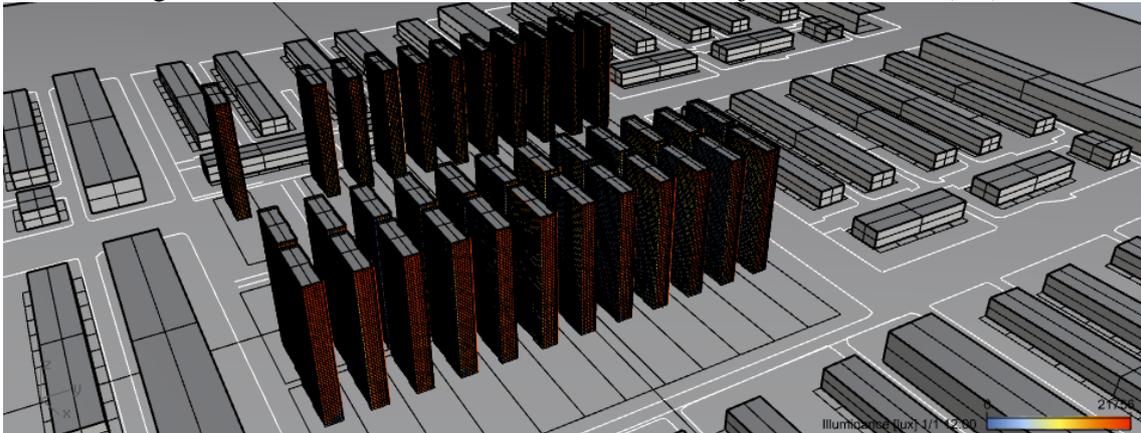
Figura 253 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinoceros + Grasshopper + DIVA).



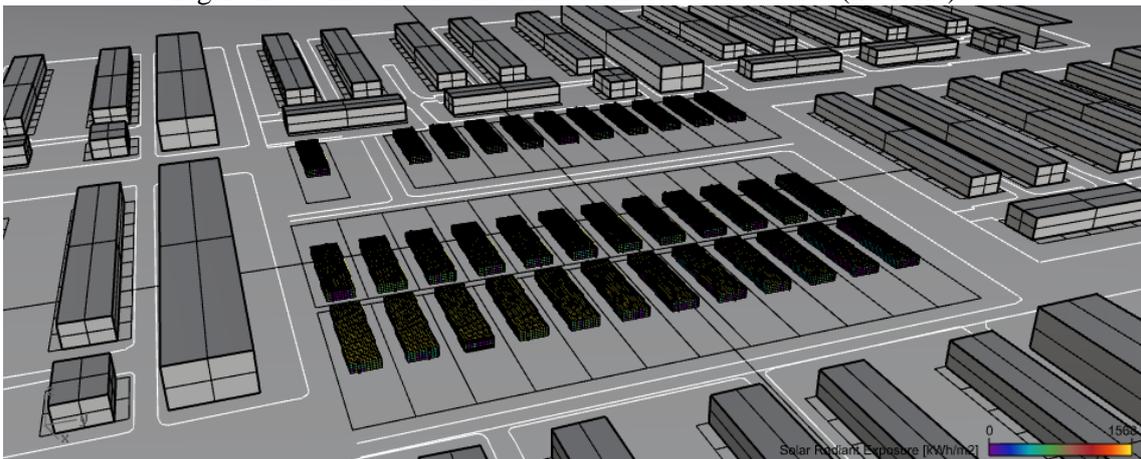
Figura 254 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

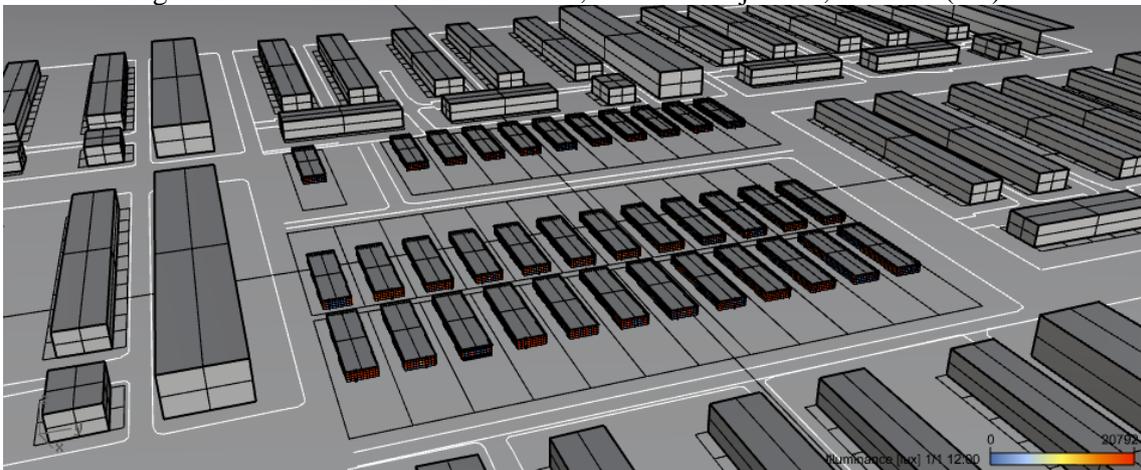
Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 30%, número de pavimentos: 1

Figura 255 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 256 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

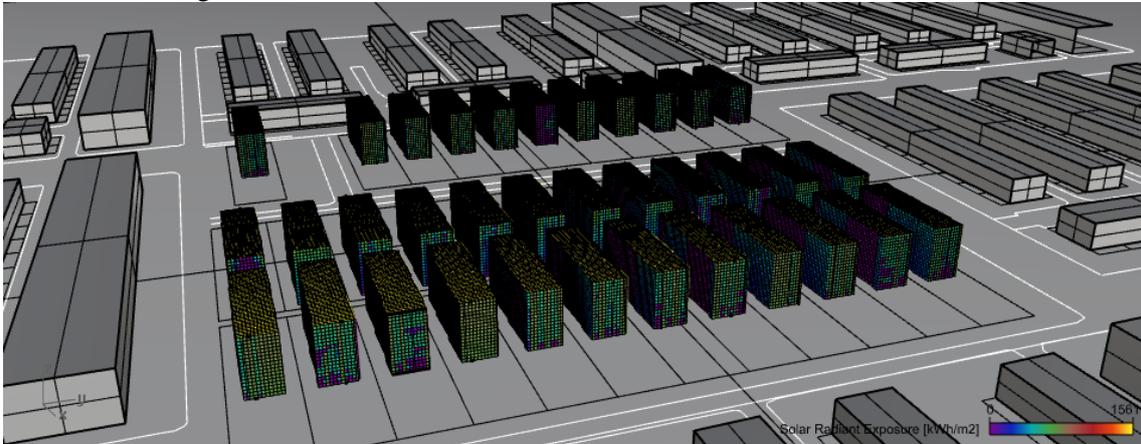


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



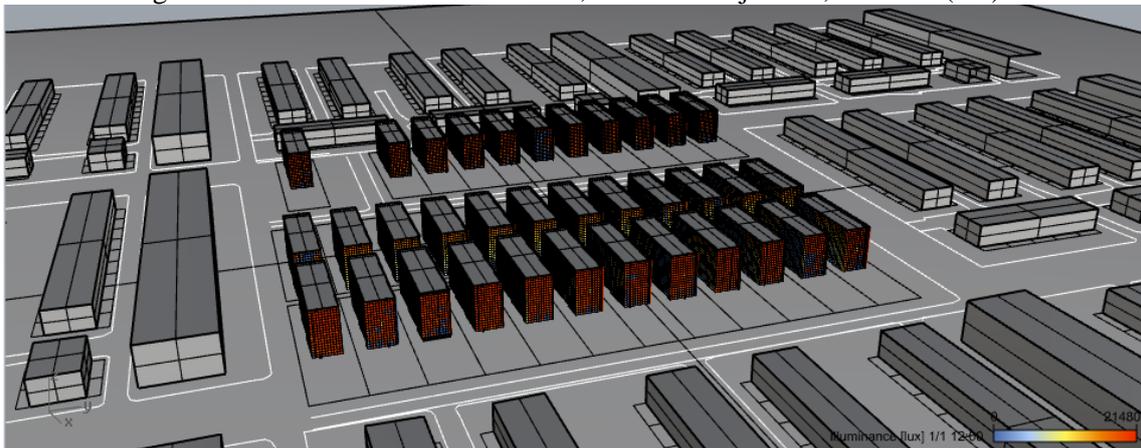
Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 30%, número de pavimentos: 5

Figura 257 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

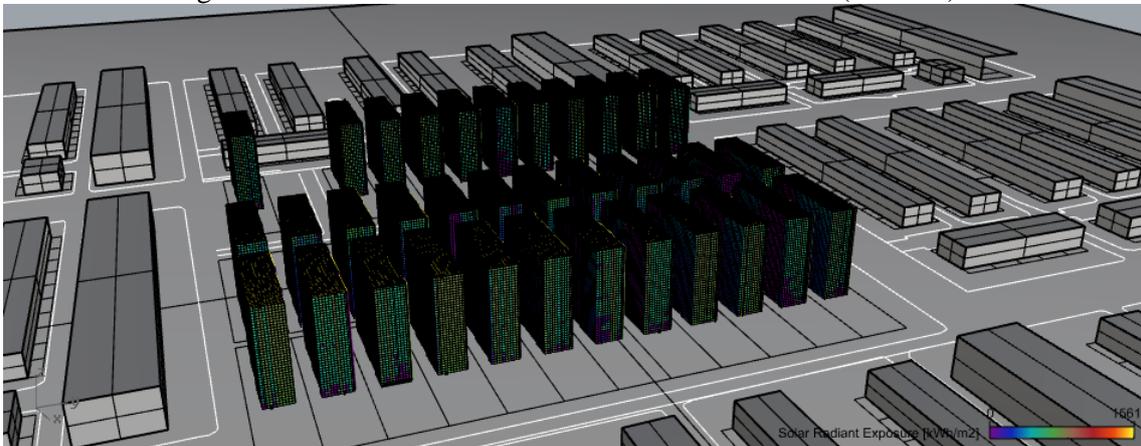
Figura 258 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 30%, número de pavimentos: 10

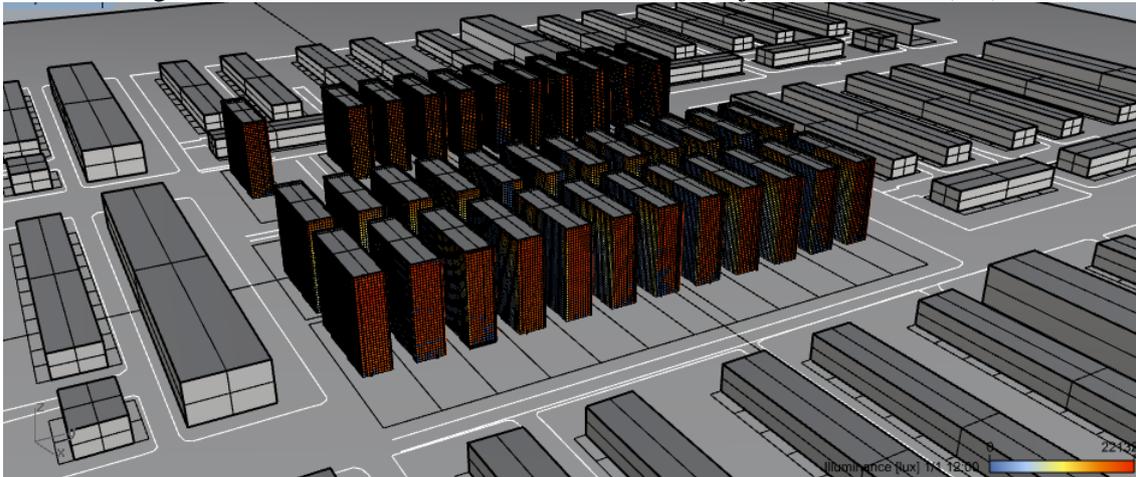
Figura 259 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



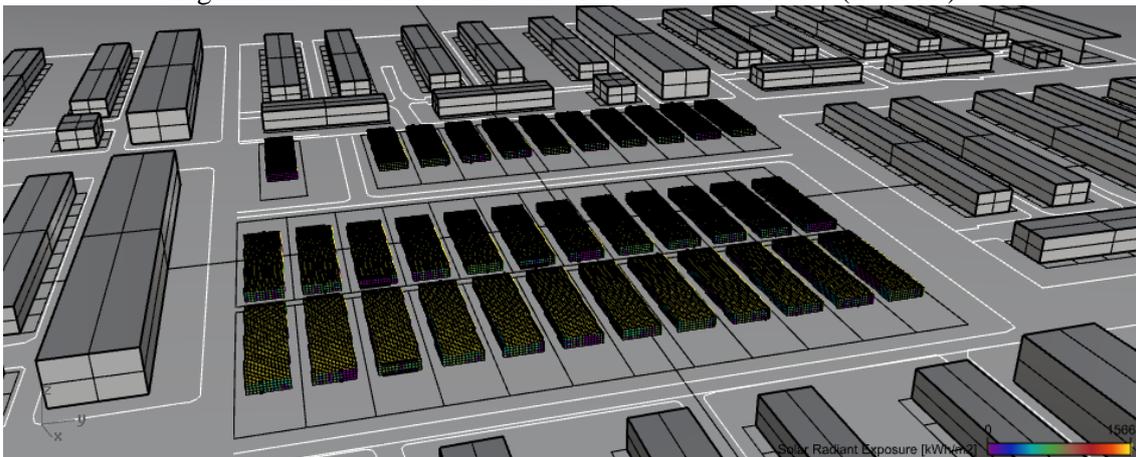
Figura 260 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

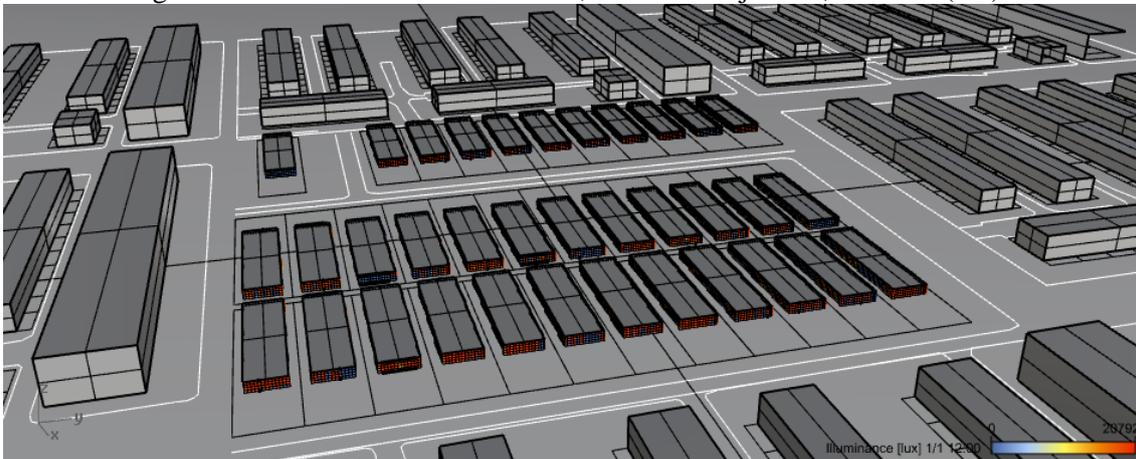
Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 45%, número de pavimentos: 1

Figura 261 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 262 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

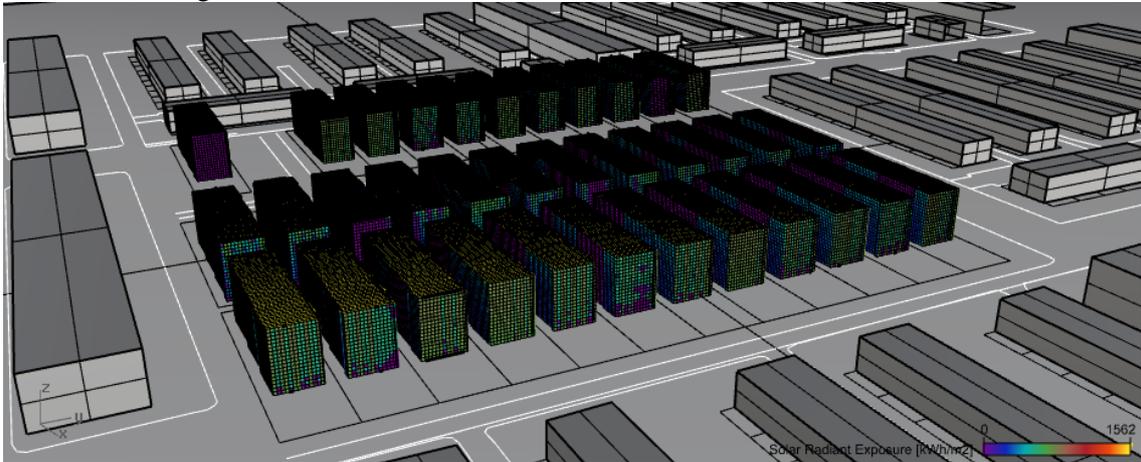


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



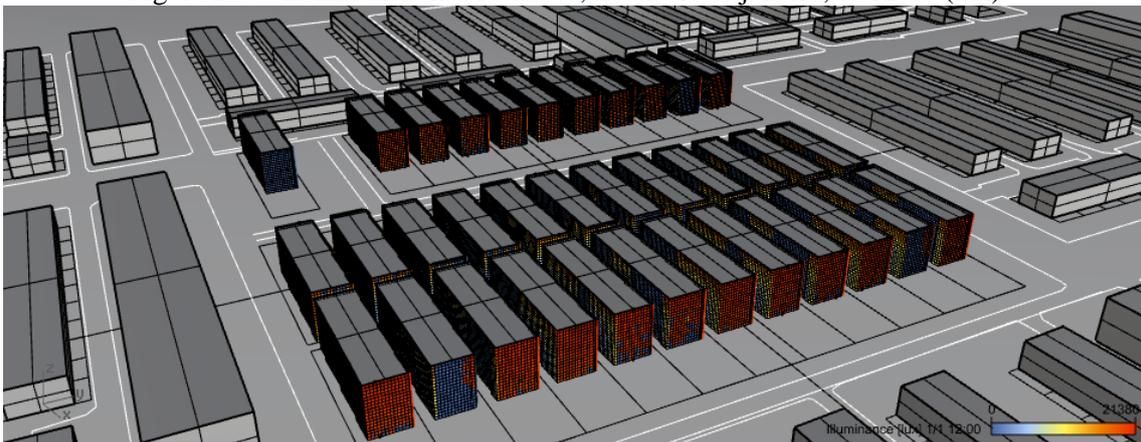
Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 45%, número de pavimentos: 5

Figura 263 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

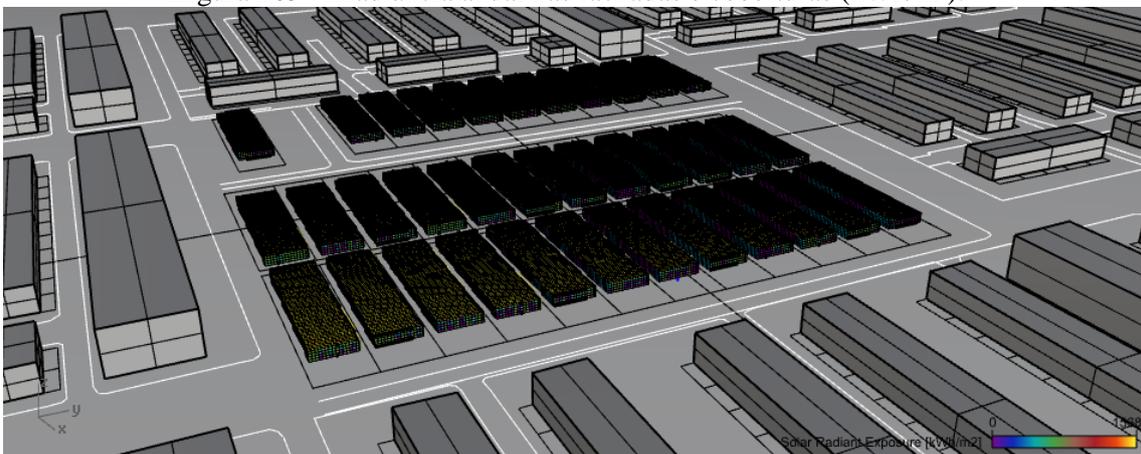
Figura 264 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 60%, número de pavimentos: 1

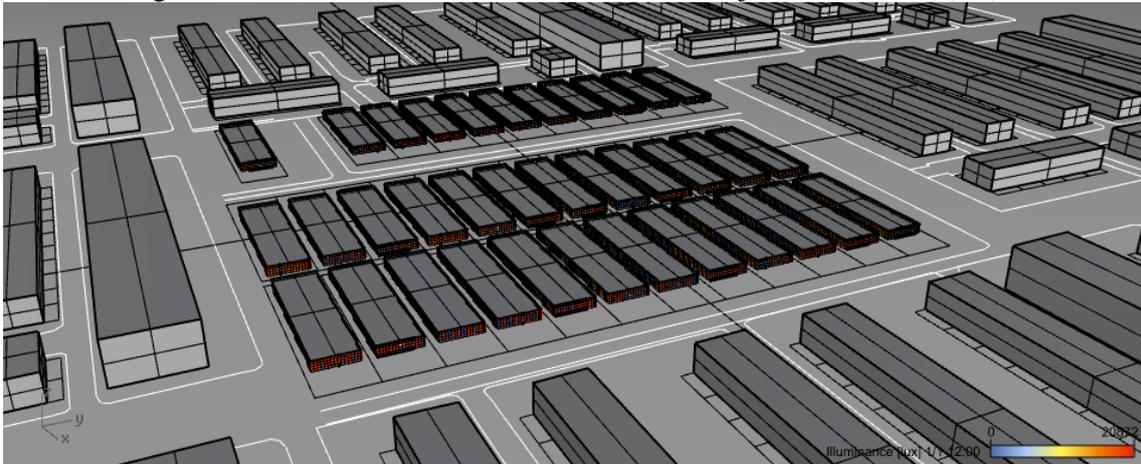
Figura 265 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



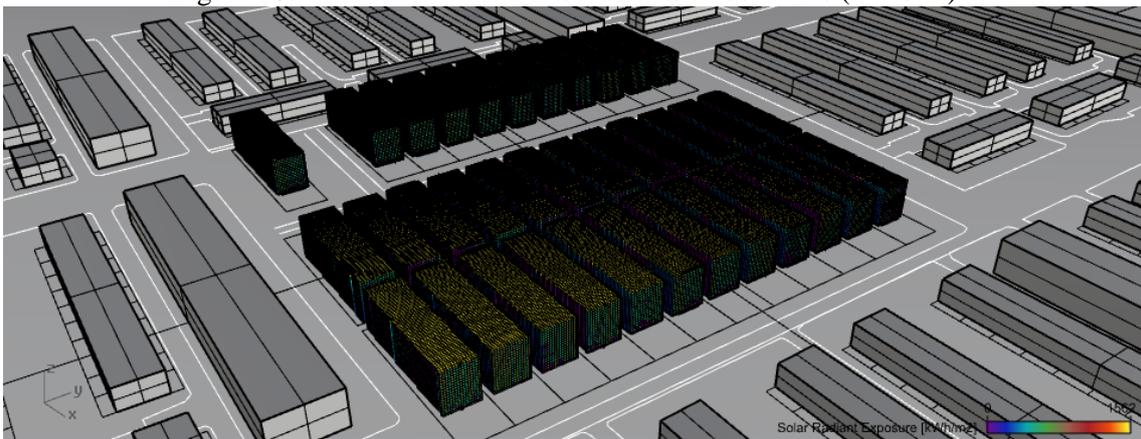
Figura 266 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

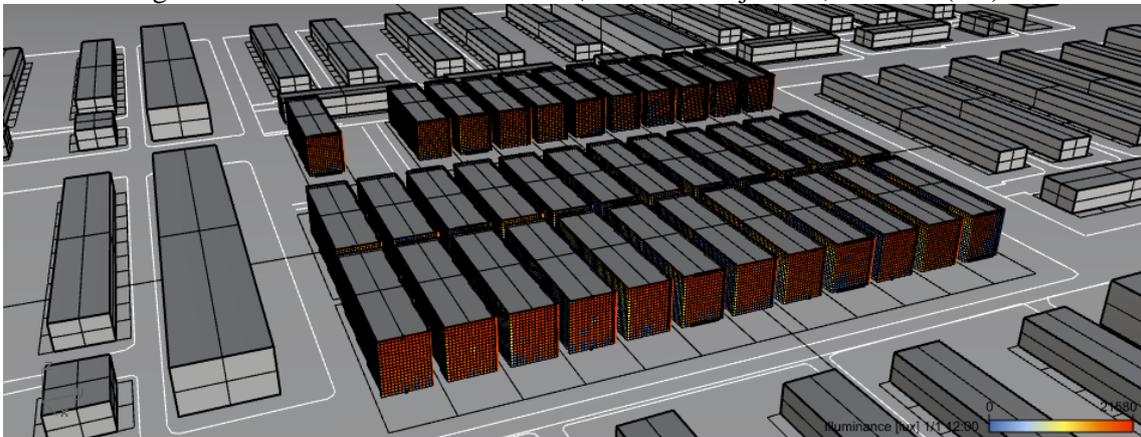
Classe 3, edifícios próximos ao fundo dos lotes, taxa de ocupação: 60%, número de pavimentos: 5

Figura 267 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).

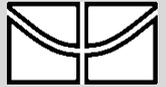


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 268 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).

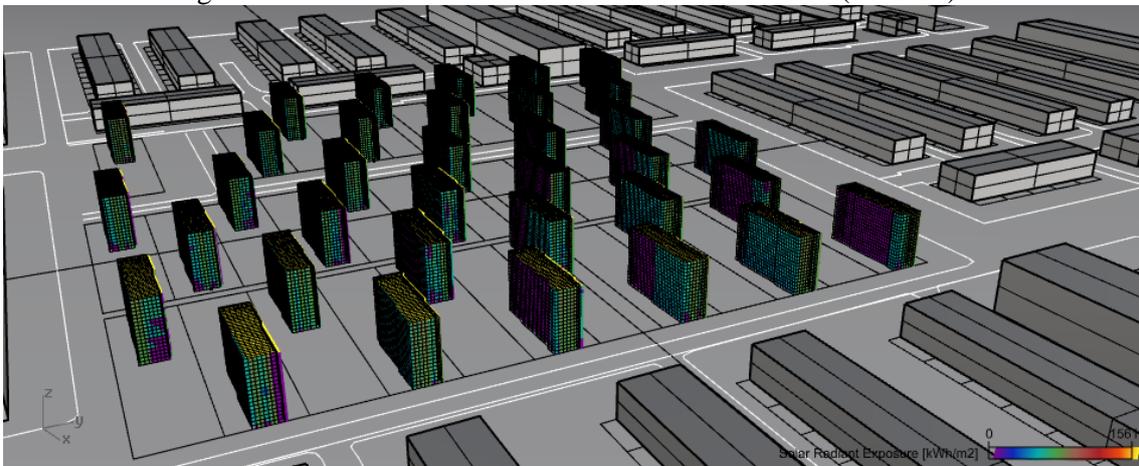


Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).



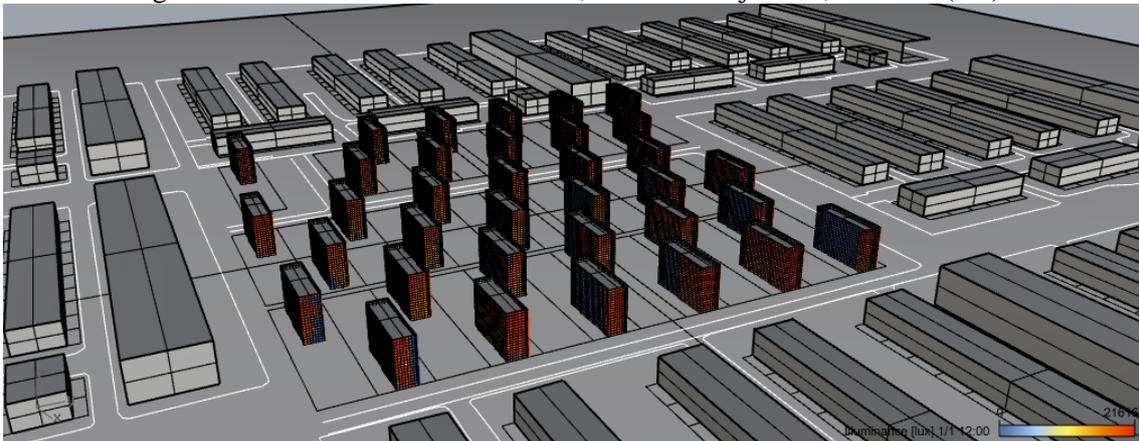
Classe 3, edifícios intercalados, taxa de ocupação: 15%, número de pavimentos: 5

Figura 269 - Irradiância anual nas fachadas e coberturas (kWh/m²).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).

Figura 270 - Iluminância nas fachadas, no dia 1º de janeiro, as 12:00 (lux).



Fonte: A autora (Rhinceros + Grasshopper + DIVA).