

**ANÁLISE DA DEMANDA ENERGÉTICA PARA CLIMATIZAÇÃO DE FACHADAS
VENTILADAS PARA REGIÕES CLIMÁTICAS BRASILEIRAS**

ANA CAROLINA FERNANDES MACIEL

**TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA DEMANDA ENERGÉTICA PARA CLIMATIZAÇÃO
DE FACHADAS VENTILADAS PARA REGIÕES CLIMÁTICAS
BRASILEIRAS**

ANA CAROLINA FERNANDES MACIEL

ORIENTADORA: DRA. MICHELE TEREZA CARVALHO

TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**PUBLICAÇÃO: E.TD - 008A/18
BRASÍLIA-DF: JULHO/2018**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ANÁLISE DA DEMANDA ENERGÉTICA PARA CLIMATIZAÇÃO DE
FACHADAS VENTILADAS PARA REGIÕES CLIMÁTICAS BRASILEIRAS**

ARQ. ANA CAROLINA FERNANDES MACIEL

TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADA POR:

MICHELE TEREZA CARVALHO, DSc. (PECC-UnB)
(Orientadora)

ROSA MARIA SPOSTO, Dsc. (ENC-UnB)
(Examinador Interno)

EDUARDO L. KRÜGER, DSc. (UTFPR)
(Examinador Externo)

LOYDE VIEIRA DE ABREU-HARBICH, DSc. (UFG)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 31 DE JULHO DE 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

MACIEL, ANA CAROLINA FERNANDES

Análise da Demanda Energética para Climatização de Fachadas Ventiladas para Regiões Climáticas Brasileiras.

Realizado em Brasília [Distrito Federal, 2018].

xxviii, - 264p. 210x297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Estruturas e Construção Civil, 2018).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Fachada Ventilada

3. Eficiência Energética

2. Energia Operacional

4. Desempenho Térmico

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MACIEL, A. C. F. (2018). **Análise da Demanda Energética para Climatização de Fachadas Ventiladas para Regiões Climáticas Brasileiras**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD - 008A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 264p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Ana Carolina Fernandes Maciel

TITULO: Análise da Demanda Energética para Climatização de Fachadas Ventiladas para Regiões Climáticas Brasileiras.

GRAU: Doutor

ANO: 2018

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma cópia para esta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Ana Carolina Fernandes Maciel

Rua Eduardo Marquez, 931. Edifício Altanta, ap. 1202.

Bairro Osvaldo Rezende. 38400-442. Uberlândia-MG

ana.maciel.prof.arq@gmail.com

À minha filha, Violeta, razão da minha existência. Tudo é por você e para você!
Aos meus pais, por nunca me deixarem desistir dos meus sonhos!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças, serenidade e condições de sempre continuar.

À querida Rosa Maria Sposto, pelo apoio, amizade e conhecimentos compartilhados.

A minha orientadora Michele Tereza Carvalho, por acreditar na causa, estabelecer metas, exigir excelência para a conclusão deste trabalho e, principalmente, pelo apoio e incentivo.

Ao professor Antônio R. de S. A. Bosso, do IFT-TO, pelo apoio na parte estatística deste trabalho. Ao professor Félix Silva, pelos conhecimentos compartilhados sobre *Revit*. Ao professor Gilson Pedroso, do IFT-TO, ao Paulo A. Iaksch, proprietário da empresa Eucassel Representações, e ao Ricardo Nery, representante de Fachadas Ventiladas em Brasília, pelo apoio no levantamento dos custos das fachadas.

Aos meus pais pelo apoio incondicional na busca por meus sonhos, mesmo quando isso significou a distância física entre nós.

Aos meus irmãos, pelo carinho, suporte e incentivo, principalmente nos últimos anos.

Às minhas sobrinhas Isabela Catarina e Estela Bianca, que mesmo sem compreender direito o porquê, aceitaram minha constante ausência.

Aos meus primos Daniel e Janaína, por todos os momentos juntos, suporte e amizade, principalmente nos últimos sete anos.

Aos professores do PECC, pelos conhecimentos compartilhados. À secretaria do PECC, por todo apoio e auxílio prestado. À Universidade de Brasília e seu Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, pela oportunidade.

Aos amigos do PECC, pela amizade e horas compartilhadas. Especialmente ao Gilson Pedroso pelo companherismo, risadas, apoio incondicional, incentivos e broncas, e às queridas Maria Cláudia e Marília.

Aos amigos de infância, de adolescência, de faculdade e do trabalho, que de uma forma ou de outra fazem parte dessa conquista. Especialmente Fátima, Evelyn e Patrícia.

A todos os que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho.

RESUMO

Atualmente, o consumo energético é item de suma importância na avaliação de edificações, pois estima-se que, no setor de construção civil, ele seja de 45% nos EUA e 42% no Reino Unido, enquanto que a média de 31% é contabilizada nos países da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) em comparação com o total de consumo de energia de toda a indústria. No Brasil o consumo energético por edificações representa 50% do consumo de eletricidade no país. Edificações que prezam pela eficiência energética necessitam de envoltórias pensadas para a localidade e região climática em que se situam, e é nesse panorama que esta pesquisa está inserida, um estudo acerca da Energia Operacional de Fachadas Ventiladas Opacas comparativamente à Fachadas com revestimento aderido para edificações habitacionais de múltiplos pavimentos, em nove regiões climáticas no Brasil (classificação Köppen-Geiger). Neste estudo foi quantificada e analisada a Energia Operacional de Fachada Ventilada de Granito e a de Fachada de Revestimento Aderido de Granito para efeito de comparação. Com os resultados dos custos energéticos de cada uma e o levantamento de custo de implantação, foi realizada a análise do custo-benefício de implantação das fachadas ventiladas opacas nas 16 cidades analisadas. Também foram realizadas, nas nove regiões climáticas, três análises paramétricas para verificar o impacto de diferentes revestimentos (granito, porcelanato e cerâmica), diferentes espessuras de câmara de ar (5, 10 e 15cm) e diferentes aberturas para entrada e saída de ar (2, 4 e 6cm). Para obtenção dos dados, foram realizadas simulações no sistema de informação *BIM* e *BES*, com o auxílio de dois *softwares* de mesma empresa, *Autodesk Revit 2018* e *Green Building Studio*. Os resultados encontrados corroboram os resultados de outros autores e conclui-se que a economia energética apresentada pelas fachadas ventiladas em relação às fachadas de revestimento aderido é de grande relevância, principalmente em climas mais quentes, uma vez que os maiores benefícios encontrados neste estudo foram nas regiões climáticas Af, Am, As, Aw e BSh. Para o Brasil é um sistema de impacto significativo, pois a maior parte do território nacional encontra-se nas zonas mais quentes, colaborando para menores impactos ambientais ao longo da vida útil das edificações que o utilizam e onde foi encontrado o melhor custo-benefício. As análises paramétricas mostraram diferenças nas análises em algumas cidades, demonstrando a influência do clima em diferentes quesitos analisados.

ABSTRACT

Currently, energy consumption is a very important parameter when evaluating building efficiency since it is estimated that of the total energy consumption of the industry sector, the construction sector accounts for 45% and 42% in the USA and United Kingdom, respectively, and for 31% on average in the countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). In Brazil, the energy consumed in buildings accounts for 50% of the electricity consumption in the country. Energy efficient buildings need envelopes designed for the locality and climatic zone where they are located. This research addresses this question by comparing the operational energy consumption between opaque ventilated facade and cladding facades on residential buildings in nine different climatic zones in Brazil (Köppen-Geiger classification). Therefore, the operational energy of a granite ventilated facade and adherent granite facade were quantified and analyzed for comparison purposes. After obtaining the energy costs and the cost of implantation of each one, the cost-benefit analysis of installing the ventilated facades was carried out in the 16 cities analyzed. In the nine climatic zones, three parametric analyses were performed to verify the impact of different coatings (granite, porcelain and ceramic), different air chamber thicknesses (5, 10 and 15 cm) and different air inlet and outlet openings (2, 4 and 6 cm). Simulations were performed in the BIM and BES information systems to obtain the data, using two software from the same company, Autodesk Revit 2018 and Green Building Studio. The obtained results corroborate previous results by other authors and allowed to conclude that ventilated facades provide a significant energy saving capability compared to adherent facades, especially in warmer climates, since the greatest benefits found in this study were in the Af, Am, As, Aw and BSh climatic zones. In Brazil, since most of the national territory is located in hot climate areas, this system can have a significant effect, contributing to lower environmental impact throughout the life cycle of the buildings using it and the best cost-benefit. Parametric analyzes showed differences in the analyses in some cities, demonstrating the climate influence on the different analyzed questions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Consumo de energia elétrica no Brasil (dados de MME, 2017).....	44
Figura 2.2 - Figura esquemática, funcionamento de Fachada Ventilada (MACIEL, 2013)	50
Figura 2.3 - Diferença na transferência de calor - fachada cortina e fachada ventilada (adaptado de Sanjuan et al., 2011).....	51
Figura 2.4 (a, b) – Detalhe do requadro das aberturas nas Fachadas Ventiladas Opacas....	52
Figura 2.5 (a, b) – Detalhe da abertura para entrada de ar	52
Figura 2.6 – Corte em detalhe do rufo para promover a saída de ar (Utifirve, 2010)	53
Figura 2.7 - (a, b) – Exemplo de ancoragem pontual para pedra natural (CUNHA, 2006)	53
Figura 2.8 - (a, b, c, d, e, f) - Passo a passo, montagem de Fachada Ventilada	54
Figura 3.1 - Metodologia Proposta	69
Figura 3.2 - Planta baixa do Pilotis	72
Figura 3.3 - Planta baixa do pavimento tipo.....	72
Figura 3.4 - Planta baixa da Cobertura	73
Figura 3.5 (A e B) - Modelo Tridimensional.....	73
Figura 3.6 - Planta baixa do apartamento tipo.....	73
Figura 3.7 - FVG em corte esquemático – unidades em mm	74
Figura 3.8 - FAG em corte esquemático – unidades em mm	75
Figura 3.9 - FVP em corte esquemático – unidades em mm.....	75
Figura 3.10 - FVC em corte esquemático – unidades em mm	76
Figura 3.11 - Mapa Brasileiro de zoneamento bioclimático (ABNT NBR 15220-3:2005)	77
Figura 3.12 - Identificação da Orientação Solar para EHM	82
Figura 3.13 – Configuração espaço “ <i>Multi-family</i> ”	91
Figura 3.14 – Configuração espaço “ <i>Dormitory-bedroom</i> ”	91
Figura 3.15 – Configuração espaço “ <i>Dining Area – Family Dining</i> ”	91
Figura 3.16 - Planta Baixa do Pavimento Tipo com Zoneamento HVAC	92
Figura 5.1 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Belém/PA.....	116
Figura 5.2 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Belém/PA	117
Figura 5.3 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Belém/PA	117
Figura 5.4 – Consumo Energético comparativo FAG e FVG, Manaus/AM.....	118
Figura 5.5 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Manaus/AM.....	119
Figura 5.6 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Manaus/AM.....	120

Figura 5.7 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Salvador/BA	121
Figura 5.8 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Salvador/BA	122
Figura 5.9 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Salvador/BA	122
Figura 5.10 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir Tabela 5.4.....	124
Figura 5.11 – Consumo Energético Resfriamento, FVG – Região climática Af	124
Figura 5.12 – Benefício Energético FVG X FAG – Região climática Af.....	125
Figura 5.13 – Temperaturas Médias – Região climática Af.....	125
Figura 5.14 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Macéio/AL.....	126
Figura 5.15 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Maceió/AL.....	127
Figura 5.16 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Maceió/AL.....	127
Figura 5.17 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Aracaju/SE.....	128
Figura 5.18 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Aracaju/SE.....	129
Figura 5.19 – Benefício Energético, comparativo mensal, Aracaju/SE	129
Figura 5.20 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, São Luís/MA.....	130
Figura 5.21 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, São Luís/MA ..	131
Figura 5.22 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Aracaju/SE.....	131
Figura 5.23 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir da Tabela 5.8	132
Figura 5.24 – Consumo Energético Resfriamento, FVG – regiões climáticas Am e As...	133
Figura 5.25 – Benefício Energético FVG X FAG – regiões climáticas Am e As.....	133
Figura 5.26 – Temperaturas Médias – regiões climáticas Am e As	134
Figura 5.27 – Velocidade dos Ventos – regiões climáticas Am e As.....	134
Figura 5.28 – Mapeamento da classificação climática Köeppen-Geiger para Maceió e Aracaju (<i>print screen do software Google Earth, 2018</i>).....	135
Figura 5.29 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Brasília/DF.....	136
Figura 5.30 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Brasília/DF	137
Figura 5.31 – Consumo Energético Aquecimento, comparativo mensal, Brasília/DF	138
Figura 5.32 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Brasília/DF	139
Figura 5.33 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Campo Grande/MS	140
Figura 5.34 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Campo Grande/MS	141
Figura 5.35 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Campo Grande/MS.....	141
Figura 5.36 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Cuiabá/MT.....	142
Figura 5.37 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Cuiabá/MT.....	143
Figura 5.38 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Cuiabá/MT.....	144

Figura 5.39 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir da Tabela 5.13	145
Figura 5.40 – Consumo Energético Resfriamento, FVG – Região Climática Aw	146
Figura 5.41 – Benefício Energético FVG X FAG – Região Climática Aw	147
Figura 5.42 – Temperaturas Médias – Região climática Aw	147
Figura 5.43 – Velocidade dos Ventos – Região climática Aw	148
Figura 5.44 – Precipitação Acumulada – Região climática Aw	148
Figura 5.45 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Água Branca/AL.....	149
Figura 5.46 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Água Branca/AL	150
Figura 5.47 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Água Branca/AL.....	150
Figura 5.48 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir da Tabela 5.15	151
Figura 5.49 – Consumo Energético FVG - Água Branca e Cidades Litorâneas	152
Figura 5.50 – Benefício Energético FVG X FAG – Água Branca e Cidades Litorâneas .	152
Figura 5.51 – Temperaturas Médias - Água Branca e Cidades Litorâneas	153
Figura 5.52 – Velocidade dos Ventos - Água Branca e Cidades Litorâneas.....	153
Figura 5.53 – Mapeamento da classificação climática Köppen-Geiger para Água Branca (<i>print screen do software Google Earth, 2018</i>).....	153
Figura 5.54 – Consumo energético comparativo FVG e FAG, Porto Alegre/RS	154
Figura 5.55 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Porto Alegre/RS	155
Figura 5.56 – Consumo Energético Aquecimento, comparativo mensal, Porto Alegre/RS	155
Figura 5.57 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Porto Alegre/RS.....	156
Figura 5.58 – Consumo energético comparativo FVG e FAG, São Paulo/SP	157
Figura 5.59 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, São Paulo/SP ..	157
Figura 5.60 – Consumo Energético Aquecimento, comparativo mensal, São Paulo/SP ..	158
Figura 5.61 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, São Paulo/SP	158
Figura 5.62 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir da Tabela 5.18	159
Figura 5.63 – Consumo Energético Resfriamento, FVG – Região climática Cfa.....	160
Figura 5.64 – Benefício Energético FVG X FAG – Região Climática Cfa	160
Figura 5.65 – Temperaturas Médias – Região climática Cfa	160
Figura 5.66 – Velocidade dos Ventos – Região climática Cfa.....	161
Figura 5.67 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Curitiba/PR	162
Figura 5.68 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Curitiba/PR.....	162

Figura 5.69 – Consumo Energético Aquecimento, comparativo mensal, Curitiba/PR.....	163
Figura 5.70 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Curitiba/PR.....	163
Figura 5.71 - Mecanismo de funcionamento da renovação de ar para sistemas de Fachadas ventiladas em climas quentes e climas frios (adaptado de OJEDA, 2012)	164
Figura 5.72 – Fachada com dupla câmara de ar (adaptado de ASTORQUI e PORRAS-AMORES, 2017)	164
Figura 5.73 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Belo Horizonte/MG.....	165
Figura 5.74 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Belo Horizonte/MG	166
Figura 5.75 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Belo Horizonte/MG.....	166
Figura 5.76 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Nova Friburgo/RJ	168
Figura 5.77 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Nova Friburgo/RJ	168
Figura 5.78 – Consumo Energético Aquecimento, comparativo mensal, Nova Friburgo/RJ	169
Figura 5.79 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Nova Friburgo/RJ.....	169
Figura 5.80 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir Tabela 5.22.....	171
Figura 5.81 – Consumo Energético FVG - regiões climáticas Cfb, Cwa e Cwb	171
Figura 5.82 – Benefício Energético FVG X FAG – regiões climáticas Cfb, Cwa e Cwb.	172
Figura 5.83 – Temperaturas Médias - regiões climáticas Cfb, Cwa e Cwb	172
Figura 5.84 – Velocidade dos Ventos - regiões climáticas Cfb, Cwa e Cwb.....	172
Figura 5.85 – Mapeamento da classificação climática Köeppen-Geiger para Nova Friburgo/RJ (<i>print screen do software Google Earth, 2018</i>)	173
Figura 5.86 – Consumo Energético Anual	173
Figura 5.87 – Consumo Energético Resfriamento anual.....	174
Figura 5.88 – Consumo Energético Aquecimento anual.....	175
Figura 5.89 – Benefício Energético Anual (kWh) FVG x FAG.....	176
Figura 5.90 – Comparativo, Economia Energética, FV, Energia Uso Final e Primária....	176
Figura 5.91 – Benefício Financeiro Anual das FVG em relação às FAG	177
Figura 5.92 – Tempo de Retorno do Investimento nas FVG.....	178
Figura 5.93 – Consumo Aquecimento para diferentes revestimentos externos	179
Figura 5.94 – Comparativo Aquecimento, Análise Principal X Paramétrica, Curitiba/PR	180
Figura 5.95 – Consumo Resfriamento para diferentes revestimentos externos	181

Figura 5.96 – Consumo Energético Total, para diferentes revestimentos externos	181
Figura 5.97 – Benefício Energético, Cerâmica em relação ao Granito	182
Figura 5.98 – Consumo Aquecimento para diferentes espessuras de câmara.....	184
Figura 5.99 – Consumo Resfriamento para diferentes espessuras de câmara.....	185
Figura 5.100 – Consumo Energético Total, para diferentes revestimentos externos	186
Figura 5.101 – Benefício Energético, Câmara de ar de 15cm, em relação à de 10cm	186
Figura 5.102 – Consumo Aquecimento para diferentes aberturas de entrada e saída de ar	188
Figura 5.103 – Consumo Resfriamento para diferentes aberturas de entrada e saída de ar	189
Figura 5.104 – Consumo Energético Total, p/ diferentes aberturas para entrada/saída de ar	190
Figura 5.105 – Benefício Energético, Abertura de entrada/saída de ar de 6cm X 2cm	190
Figura A.1 - Partes constituintes do revestimento aderido (JUNGINGER, 2003)	208
Figura B.1 – Localização e Estação Metereológica de Belém/PA – 1192154	210
Figura B.2 – Localização e Estação Metereológica de Manaus/AM – 962453	210
Figura B.3 – Localização e Estação Metereológica de Salvador/BA – 860840	211
Figura B.4 – Localização e Estação Metereológica de Maceió/AL – 1215324	211
Figura B.5 – Localização e Estação Metereológica de Aracaju/SE – 1212948	211
Figura B.6 – Localização e Estação Metereológica de São Luís/MA – 1199827	212
Figura B.7 – Localização e Estação Metereológica de Brasília/DF – 839402	212
Figura B.8 – Localização e Estação Metereológica de Campo Grande/MS – 823881	212
Figura B.9 – Localização e Estação Metereológica de Cuiabá/MT – 821748	213
Figura B.10 – Localização e Estação Metereológica de Rio de Janeiro – 846107	213
Figura B.11 – Localização e Estação Metereológica de Água Branca/AL – 1211388	213
Figura B.12 – Localização e Estação Metereológica de Porto Alegre/RS – 827906	214
Figura B.13 – Localização e Estação Metereológica de São Paulo/SP – 838846	214
Figura B.14 – Localização e Estação Metereológica de Curitiba/PR – 833267	214
Figura B.15 – Localização e Estação Metereológica de Belo Horizonte/MG – 845893	215
Figura B.16 – Localização e Estação Metereológica de Nova Friburgo/RJ – 847563	215
Figura F.1 – Temperaturas Médias, Belém/PA (a partir de dados <i>GBS</i>)	249
Figura F.2 – Velocidade Ventos, Belém/PA (a partir de dados INMET, 2018)	249
Figura F.3 – Precipitação Acumulada, Belém/PA (a partir de dados INMET, 2018)	250
Figura F.4 – Temperaturas Médias, Manaus/AM (a partir de dados <i>GBS</i>)	250

Figura F.5 – Velocidade Ventos, Manaus/AM (a partir de dados INMET, 2018)	250
Figura F.6 – Precipitação Acumulada, Manaus/AM (a partir de dados INMET, 2018)	251
Figura F.7 – Temperaturas Médias, Salvador/BA (a partir de dados <i>GBS</i>)	251
Figura F.8 – Velocidade Ventos, Salvador/BA (a partir de dados INMET, 2018)	251
Figura F.9 – Precipitação Acumulada, Salvador/BA (a partir de dados INMET, 2018)	252
Figura F.10 – Temperaturas Médias, Maceió/AL (a partir de dados <i>GBS</i>)	252
Figura F.11 – Velocidade Ventos, Maceió/AL (a partir de dados INMET, 2018)	252
Figura F.12 – Precipitação Acumulada, Maceió/AL (a partir de dados INMET, 2018)	253
Figura F.13 – Temperaturas Médias, Aracaju/SE (a partir de dados <i>GBS</i>)	253
Figura F.14 – Velocidade Ventos, Aracaju/SE (a partir de dados INMET, 2018)	253
Figura F.15 – Precipitação Acumulada, Aracaju/SE (a partir de dados INMET, 2018)	254
Figura F.16 – Temperaturas Médias, São Luís/MA (a partir de dados <i>GBS</i>)	254
Figura F.17 – Velocidade Ventos, São Luís/MA (a partir de dados INMET, 2018)	254
Figura F.18 – Precipitação Acumulada, São Luís/MA (a partir de dados INMET, 2018) .	255
Figura F.19 – Temperaturas Médias, Brasília/DF (a partir de dados <i>GBS</i>)	255
Figura F.20 – Velocidade dos Ventos, Brasília/DF (a partir de dados INMET, 2018)	255
Figura F.21 – Precipitação Acumulada, Brasília/DF (a partir de dados INMET, 2018)	256
Figura F.22 – Temperaturas Médias, Campo Grande/MS (a partir de dados <i>GBS</i>)	256
Figura F.23 – Velocidade Ventos, Campo Grande/MS (a partir de dados INMET, 2018)..	256
Figura F.24 – Precipitação Acumulada, Campo Grande/MS (a partir dados INMET, 2018)	
.....	257
Figura F.25 – Temperaturas Médias, Cuiabá/MT (a partir de dados <i>GBS</i>)	257
Figura F.26 – Velocidade dos Ventos, Cuiabá/MT (a partir de dados INMET, 2018)	257
Figura F.27 – Precipitação Acumulada para Cuiabá/MT (a partir de dados INMET, 2018)	
.....	258
Figura F.28 – Temperaturas Médias, Água Branca/AL (a partir de dados <i>GBS</i>)	258
Figura F.29 – Velocidade Ventos, Água Branca/AL (a partir de dados INMET, 2018)	258
Figura F.30 – Precipitação Acumulada, Água Branca/AL (a partir de dados INMET, 2018)	
.....	259
Figura F.31 – Temperaturas Médias, Porto Alegre/RS (a partir de dados <i>GBS</i>)	259
Figura F.32 – Velocidade Ventos, Porto Alegre/RS (a partir de dados INMET, 2018)	259
Figura F.33 – Precipitação Acumulada, Porto Alegre/RS (a partir de dados INMET, 2018)	
.....	260
Figura F.34 – Temperaturas Médias, São Paulo/SP (a partir de dados <i>GBS</i>)	260

Figura F.35 – Velocidade Ventos, São Paulo/SP (a partir de dados INMET, 2018)	260
Figura F.36 – Precipitação Acumulada, São Paulo/SP (a partir de dados INMET, 2018) .	261
Figura F.37 – Temperaturas Médias, Curitiba/PR (a partir de dados <i>GBS</i>)	261
Figura F.38 – Velocidade Ventos, Curitiba/PR (a partir de dados INMET, 2018)	261
Figura F.39 – Precipitação Acumulada, Curitiba/PR (a partir de dados INMET, 2018)	262
Figura F.40 – Temperaturas Médias, Belo Horizonte/MG (a partir de dados <i>GBS</i>)	262
Figura F.41 – Velocidade Ventos, Belo Horizonte/MG (a partir de dados INMET, 2018)	262
Figura F.42 – Precipitação Acumulada, Belo Horiz. /MG (a partir dados INMET, 2018)	263
Figura F.43 – Temperaturas Médias, Nova Friburgo/RJ (a partir de dados <i>GBS</i>)	263
Figura F.44 – Velocidade Ventos, Nova Friburgo/RJ (a partir de dados INMET, 2018) ..	263
Figura F.45 – Precipitação Acumulada, Nova Friburgo/RJ (a partir dados INMET, 2018)	264

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tipos populares de <i>softwares BIM</i> e suas funcionalidades para análises de simulação de desempenho ambiental	57
Tabela 2.2– Palavras-chave utilizadas para busca em português e inglês.....	60
Tabela 3.1 - Projeto padrão representativo dos estados brasileiros (adaptado CBIC, 2017)	70
Tabela 3.2 - Zonas Bioclimáticas Brasileiras X Capitais R8-N	77
Tabela 3.3 – Classificação de Zonas Térmicas (adaptado de ASHRAE 90-1:2016)	78
Tabela 3.4 – Zonas Térmicas de Cidades Brasileiras (a partir de ASHRAE 90-1:2016)....	78
Tabela 3.5 – Classificação Köeppen-Geiger de Climas (adaptado de Köeppen, 2018).....	79
Tabela 3.6 – Classificação Köeppen-Geiger de Climas (adaptado de Köeppen, 2018).....	80
Tabela 3.7 - Cidades Representativas para escopo da pesquisa	80
Tabela 3.8 - Vida Útil de Projeto Mínima e Superior para Partes da Edificação – tabela parcial (adaptada de ABNT NBR 15575-1:2013)	81
Tabela 3.9 – Resumo das configurações gerais utilizadas nas simulações	86
Tabela 3.10 - Valores padrão para Temperaturas Operativas no inverno/verão para edificações com sistemas de resfriamento e aquecimento (adaptada de ISO 17772-1:2017)	86
Tabela 3.11 - Variação de temperatura para cálculos por hora de energia para aquecimento e resfriamento (adaptada de ISO 17772-1:2017).....	87
Tabela 3.12 - Localização de Cidades Brasileiras	88
Tabela 3.13 – Apart. Residencial: Parâmetros e Setpoints (adaptada de ISO 17772-1:2017)	89
Tabela 3.14 – Agenda de Utilização (adaptada de ISO 17772-1:2017)	90
Tabela 3.15 – Descrição dos materiais utilizados nas simulações para a EHM.....	93
Tabela 3.16 – Teste de Tukey, Aquecimento FAG x FVG, Porto Alegre/RS.....	96
Tabela 3.17 – Teste de Tukey, Resfriamento, FAG x FVG, Porto Alegre/RS.....	96
Tabela 3.18 – Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Água Branca/AL	97
Tabela 3.19 – Valores da subestrutura para Fachadas Ventiladas de Granito.....	98
Tabela 3.20 – Custo das Fachadas Ventiladas de Granito para diferentes subestruturas	98
Tabela 3.21 – Custo das Fachadas Ventiladas de Granito em Sistema Perfilado	99
Tabela 3.22 – Custo das Fachadas Ventiladas de Granito em Sistema Pontual.....	100
Tabela 3.23 – Custo detalhado dos Insumos e Mão de Obra para FAG, Porto Alegre/RS	101

Tabela 3.24 – Resumo Custo Insumos e Mão de Obra, Fachada Aderida, Porto Alegre/RS	101
Tabela 3.25 – Custo das placas de granito e frete para Fachada Aderida de Granito	102
Tabela 3.26 – Resumo custos Fachada Aderida de Granito para cada cidade do estudo ..	102
Tabela 4.1 - Consumo energético anual para Fachada Ventilada de Granito.....	104
Tabela 4.2 - Consumo energético anual para Fachada Aderida de Granito (kWh).....	105
Tabela 4.3 - Consumo energético, Vida Útil, Fachada Ventilada de Granito p/ m ² (kWh/m ²)	105
Tabela 4.4 - Consumo energético, Vida Útil, Fachada Aderida de Granito p/ m ² (kWh/m ²)	106
Tabela 4.5 - Consumo energético, Vida Útil, FVG por m ² , em Energia Primária (kWh/m ²)	107
Tabela 4.6 - Consumo energético, Vida Útil, FAG por m ² , em Energia Primária (kWh/m ²)	107
Tabela 4.7 – Custo Energético e Benefício financeiro das FVG em relação às FAG (US\$)	108
Tabela 4.8 – Custo Energético das FVG em relação às FAG (US\$).....	109
Tabela 4.9 – Tempo de Retorno do Investimento para cada cidade estudada.....	109
Tabela 4.10 - Consumo energético anual para Fachada Ventilada de Granito (kWh)	110
Tabela 4.11 - Consumo energético anual para Fachada Ventilada de Porcelanato (kWh)	111
Tabela 4.12 - Consumo energético anual para Fachada Ventilada de Cerâmica (kWh) ..	111
Tabela 4.13 - Consumo energético anual para FVG com câmara de ar de 5cm (kWh)	112
Tabela 4.14 - Consumo energético anual para FVG com câmara de ar de 10cm (kWh) ..	112
Tabela 4.15 - Consumo energético anual para FVG com câmara de ar de 15cm (kWh) ..	112
Tabela 4.16 - Consumo energético anual para FVG com aberturas de 2cm (kWh).....	113
Tabela 4.17 - Consumo energético anual para FVG com aberturas de 4cm (kWh).....	113
Tabela 4.18 - Consumo energético anual para FVG com aberturas de 6cm (kWh).....	114
Tabela 5.1 - Teste de Tukey para Resfriamento, Belém/PA	115
Tabela 5.2 - Teste de Tukey para Resfriamento, Manaus/AM.....	118
Tabela 5.3 - Teste de Tukey para Resfriamento, Salvador/BA	120
Tabela 5.4 - Teste de Tukey, Resfriamento, região climática Af, Fachada Ventilada	123
Tabela 5.5 - Teste de Tukey para Resfriamento, Maceió/AL	126
Tabela 5.6 - Teste de Tukey para Resfriamento, Aracaju/SE	128
Tabela 5.7 - Teste de Tukey para Resfriamento, São Luís/MA	130

Tabela 5.8 - Teste de Tukey, Resfriamento, regiões climáticas Am e As, Fachada Ventilada	132
Tabela 5.9 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Brasília/DF	136
Tabela 5.10 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Campo Grande/MS ...	140
Tabela 5.11 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Cuiabá/MT	142
Tabela 5.12 - Teste de Tukey para Resfriamento, Rio de Janeiro/RJ	145
Tabela 5.13 - Teste de Tukey, Resfriamento, região climática Aw, Fachada Ventilada ..	145
Tabela 5.14 - Teste de Tukey para Resfriamento, Água Branca/AL	148
Tabela 5.15 - Teste de Tukey, Resfriamento, região climática Aw, Fachada Ventilada ..	151
Tabela 5.16 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Porto Alegre/RS	154
Tabela 5.17 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, São Paulo/SP.....	156
Tabela 5.18 - Teste de Tukey, Resfriamento, região climática Aw, Fachada Ventilada ..	159
Tabela 5.19 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Curitiba/PR	161
Tabela 5.20 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Belo Horizonte/MG ..	165
Tabela 5.21 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Nova Friburgo/RJ.....	167
Tabela 5.22 - Teste de Tukey, Resfriamento, Fachada Ventilada.....	170
Tabela 5.23 - Teste de Tukey para Aquecimento, Brasília/DF	179
Tabela 5.24 - Teste de Tukey para Resfriamento	180
Tabela 5.25 – Propriedades térmicas dos revestimentos externos.....	182
Tabela 5.26 – Teste de Tukey para Aquecimento - Nova Friburgo/RJ.....	183
Tabela 5.27 – Teste de Tukey para Resfriamento – Água Branca/AL.....	184
Tabela 5.28 – Teste de Tukey para Aquecimento – Exemplo de Brasília/DF	187
Tabela 5.29 – Teste de Tukey para Resfriamento – Exemplo de Brasília/DF	189
Tabela 5.30 – Teste de Tukey para Resfriamento – Água Branca/AL.....	189
Tabela 5.31 – Resumo da combinação das análises paramétricas para cada cidade	191
Tabela A.1 - Camadas e materiais constituintes de Fachadas com Revestimento Aderido (Medeiros e Sabbatini, 1999)	208
Tabela C.1 - Vedações Externas Fachadas com Revestimento Aderido	216
Tabela C.2 - Vedações Externas Fachadas Ventiladas	216
Tabela C.3 – Alvenarias Internas 14cm	216
Tabela C.4– Alvenarias Internas 9cm	217
Tabela C.5– Esquadrias de Vidro	217
Tabela C.6– Pisos Internos	217
Tabela C.7– Forro de Gesso	217

Tabela C.8– Laje	218
Tabela C.9– Revestimento Aderido pilares e face externa lajes entrepisos	218
Tabela D.1 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Brasília/DF	219
Tabela D.2 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Campo Grande/MS	219
Tabela D.3 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Cuiabá/MT	219
Tabela D.4 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Porto Alegre/RS	220
Tabela D.5 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, São Paulo/SP	220
Tabela D.6 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Curitiba/PR	220
Tabela D.7 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Belo Horizonte/MG	220
Tabela D.8 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Nova Friburgo/RJ	220
Tabela D.9 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Rio de Janeiro/RJ	221
Tabela D.10 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Belém/PA	221
Tabela D.11 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Manaus/AM	221
Tabela D.12 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Salvador/BA	221
Tabela D.13 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Maceió/AL	222
Tabela D.14 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Aracaju/SE	222
Tabela D.15 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, São Luís/MA	222
Tabela D.16 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Brasília/DF	222
Tabela D.17 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Campo Grande/MS	222
Tabela D.18 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Cuiabá/MT	223
Tabela D.19 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Água Branca/AL	223
Tabela D.20 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Porto Alegre/RS	223
Tabela D.21 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, São Paulo/SP	223
Tabela D.22 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Curitiba/PR	223
Tabela D.23 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Belo Horizonte/MG	224
Tabela D.24 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Nova Friburgo/RJ	224
Tabela D.25 - Teste de Tukey, Aquecimento, FVG x FVP x FVC, Brasília/DF	224
Tabela D.26 - Teste de Tukey, Aquecimento, FVG x FVP x FVC, São Paulo/SP	225
Tabela D.27 - Teste de Tukey, Aquecimento, FVG x FVP x FVC, Curitiba/PR	225
Tabela D.28 - Teste de Tukey, Aquecimento, FVG x FVP x FVC, Belo Horizonte/MG ..	225
Tabela D.29 - Teste de Tukey, Aquecimento, FVG x FVP x FVC, Nova Friburgo/RJ	225
Tabela D.30 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Salvador/BA	226
Tabela D.31 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, São Luís/MA	226
Tabela D.32 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Brasília/DF	226

Tabela D.33 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, São Paulo/SP	226
Tabela D.34 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Curitiba/PR	226
Tabela D.35 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Nova Friburgo/RJ	227
Tabela D.36 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Maceió/AL	227
Tabela D.37 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Água Branca/AL	227
Tabela D.38 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Belo Horizonte/MG ..	227
Tabela D.39 - Teste de Tukey, Aquecimento, 5 x 10 x 15cm, Nova Friburgo/RJ	228
Tabela D.40 - Teste de Tukey, Aquecimento, 5 x 10 x 15cm, Brasília/DF	228
Tabela D.41 - Teste de Tukey, Aquecimento, 5 x 10 x 15cm, São Paulo/SP	228
Tabela D.42 - Teste de Tukey, Aquecimento, 5 x 10 x 15cm, Curitiba/PR	229
Tabela D.43 - Teste de Tukey, Aquecimento, 5 x 10 x 15cm, Belo Horizonte/MG	229
Tabela D.44 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Água Branca/AL	229
Tabela D.45 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Salvador/BA	229
Tabela D.46 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Maceió/AL	230
Tabela D.47 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, São Luís/MA	230
Tabela D.48 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Brasília/DF	230
Tabela D.49 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, São Paulo/SP	230
Tabela D.50 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Curitiba/PR	230
Tabela D.51 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Belo Horizonte/MG	231
Tabela D.52 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Nova Friburgo/RJ	231
Tabela D.53 - Teste de Tukey, Aquecimento, 2 x 4 x 6cm, Brasília/DF	231
Tabela D.54 - Teste de Tukey, Aquecimento, 2 x 4 x 6cm, São Paulo/SP	231
Tabela D.55 - Teste de Tukey, Aquecimento, 2 x 4 x 6cm, Curitiba/PR	232
Tabela D.56 - Teste de Tukey, Aquecimento, 2 x 4 x 6cm, Belo Horizonte/MG	232
Tabela D.57 - Teste de Tukey, Aquecimento, 2 x 4 x 6cm, Nova Friburgo/RJ	232
Tabela D.58 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Brasília/DF	232
Tabela D.59 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Água Branca/AL	233
Tabela D.60 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Salvador/BA	233
Tabela D.61 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Maceió/AL	233
Tabela D.62 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, São Luís/MA	233
Tabela D.63 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, São Paulo/SP	233
Tabela D.64 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Curitiba/PR	234
Tabela D.65 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Belo Horizonte/MG	234
Tabela D.66 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Nova Friburgo/RJ	234

Tabela E.1- Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Belém/PA	235
Tabela E.2 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Belém/PA	235
Tabela E.3 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Manaus/AM	236
Tabela E.4 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Manaus/AM	236
Tabela E.5 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Salvador/BA	236
Tabela E.6 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Salvador/BA	237
Tabela E.7 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Maceió/AL	237
Tabela E.8 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Maceió/AL	238
Tabela E.9 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Aracaju/SE	238
Tabela E.10 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Aracaju/SE	239
Tabela E.11 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, São Luís/MA	239
Tabela E.12 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, São Luís/MA	240
Tabela E.13 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Brasília/DF	240
Tabela E.14 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Brasília/DF	240
Tabela E.15 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Campo Grande/MS	241
Tabela E.16 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Campo Grande/MS	241
Tabela E.17 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Cuiabá/MT	241
Tabela E.18 - Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Cuiabá/MT	242
Tabela E.19 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Rio de Janeiro/RJ	242
Tabela E.20 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Rio de Janeiro/RJ	243
Tabela E.21 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Água Branca/AL	243
Tabela E.22 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Água Branca/AL	244
Tabela E.23 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Porto Alegre/RS	244
Tabela E.24 - Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Porto Alegre/RS	245
Tabela E.25 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, São Paulo/SP	245
Tabela E.26 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, São Paulo/SP	245
Tabela E.27 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Curitiba/PR	246
Tabela E.28 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Curitiba/PR	246
Tabela E.29 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Belo Horizonte/MG	246
Tabela E.30 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Belo Horizonte/MG	247
Tabela E.31 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Nova Friburgo/RJ	247
Tabela E.32 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Nova Friburgo/RJ	248

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

%	-	Porcentagem
c	-	Calor Específico
λ	-	Condutividade Térmica
°C	-	Graus celsius
0A	-	Zona térmica úmida extremamente quente
1A	-	Zona térmica úmida muito quente
2A	-	Zona térmica úmida quente
3D	-	Tridimensional ou três dimensões
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACM	-	Alumínio Composto
ACV	-	Análise do Ciclo de Vida
ACVE	-	Análise do Ciclo de Vida Energético
AEC	-	Arquitetura, Engenharia e Construção Civil
Af	-	Clima Equatorial úmido o ano todo
AL	-	Alagoas
AM	-	Amazonas
Am	-	Clima Equatorial de monção
As	-	Clima Equatorial de verões secos
ASHRAE	-	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> (Sociedade Americana de Engenharia de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado)
ASTM	-	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedade Americana de Testes e Materiais)
Aw	-	Clima Equatorial de invernos secos
BA	-	Bahia
BDI	-	<i>Budget Difference Income</i> (Benefícios e Despesas Indiretas)
BEN	-	Balanço Energético Nacional
BES	-	<i>Building Energy Simulation</i> (Simulador de Energia para Edificações)
BIM	-	<i>Building Information Modeling</i> (Modelo da Informação da Edificação)

BR	-	Brasil
BSh	-	Clima Árido Estepe quente
CAD	-	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
Cfa	-	Clima Temperado, úmido o ano todo, verões quentes
Cfb	-	Clima Temperado, úmido o ano todo, verões moderadamente quentes
CFD	–	Fluidodinâmica Computacional
CO2	–	Gás Carbônico
COP	-	Conferência das Partes
CUB	-	Custo Unitário Básico
CT	–	Capacidade Térmica
Cwa	-	Clima Temperado, invernos secos e verões quentes
Cwb	-	Clima Temperado, invernos secos e verões moderadamente quentes
DBS	-	<i>Design Builder Studio</i>
DF	-	Distrito Federal
DOE	-	<i>Design of Experiments</i> (Planejamento de Experimentos)
EHM	–	Edificação Habitacional Modelo
EI	–	Energia Incorporada
ENCE	-	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
Eq	-	Equação
EO	–	Energia Operacional
EPS	-	Poliestireno Expandido
ER	–	Energia Recorrente
ES	-	Espírito Santo
ET	–	Energia Total
EUA	-	Estados Unidos da América
FC	–	Fator Conversão
FAG	-	Fachada Aderida de Granito
FVC	-	Fachada Ventilada de Cerâmica
FVG	-	Fachada Ventilada de Granito
FVP	-	Fachada Ventilada de Porcelanato
g / (m ² .h)	-	Gramas por metro quadrado hora
GBS	-	<i>Green Building Studio</i>

gbXML	-	<i>Green Building eXtensible Markup</i> (formato de arquivo <i>BIM</i>)
HIS	-	Habitação de Interesse Social
HSD	-	Diferença Honestamente Significativa
HVAC	-	<i>Heat, Ventilation and Air-Conditioned</i> (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado)
IESVE	-	<i>Integrated Environmental Solutions Virtual Environmental</i>
ISO	-	<i>International Standard Organization</i> (Organização Internacional de Normativas)
KBtu	-	Kilo Btu (Unidade Térmica Britânica)
KJ/kg.k	-	Kilojoule por kilograma x kelvin
Kg/m ³	-	Kilograma por metro cúbico
kWh	-	Quilowatt-hora
kWh/m ²	-	Quilowatt-hora por metro quadrado
l / (s.m ²)	-	Litro por segundos x metro quadrado
l / (m ² ano)	-	Litro por metro quadrado ano
l / (m ² .h)	-	Litro por metro quadrado x hora
lx	-	Lux
m ²	-	Metro quadrado
MA	-	Maranhão
MG	-	Minas Gerais
mm	-	milímetros
MME	-	Ministério de Minas e Energia
MJ	-	Megajoule
MS	-	Mato Grosso do Sul
MSL	-	Mapeamento Sistemático da Literatura
MT	-	Mato Grosso
NBR	-	Norma Brasileira
NDC	-	<i>Nationally Determined Contribution</i> (Contribuições Nacionalmente Determinadas)
OECD	-	Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	-	Organização das Nações Unidas
PA	-	Pará
PCM	-	<i>Phase Change Material</i>
Ppm	-	Parte por milhão

PR	-	Paraná
PROCEL	–	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PV	-	<i>Photovoltaic</i> (Placas fotovoltaicas)
R8-N	-	Padrão CUB - Residencial de Oito Pavimentos Normal
Ren/h	-	renovação de ar por hora
RJ	-	Rio de Janeiro
RS	-	Rio Grande do Sul
R\$	-	Reais (moeda brasileira)
SE	-	Serjipe
SP	-	São Paulo
TCPO	-	Tabela de Composições e Preços para Orçamentos
TM _{Y2}	-	<i>Test Meteorological Year</i> (Ano de teste meteorológico)
TO	–	Temperatura Operativa
U	–	Transmitância Térmica
UnB	–	Universidade de Brasília
US\$	-	Dólares americanos (moeda americana)
VU	–	Vida Útil
VUP	–	Vida Útil de Projeto
W/m.k	-	Watt por metro x kelvin
W/m ²	-	Watt por metro quadrado
ZB	-	Zona Bioclimática

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA.....	iii
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES	xxi
SUMÁRIO.....	xxv
1. INTRODUÇÃO.....	29
1.1 JUSTIFICATIVA	32
1.2 PROBLEMA.....	37
1.3 OBJETIVOS	37
1.3.1 Objetivo Geral.....	37
1.3.2 Objetivos Específicos	37
1.4 DELIMITAÇÃO.....	38
1.5 ORIGINALIDADE.....	39
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	41
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	43
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES.....	43
2.2 ENERGIA OPERACIONAL.....	46
2.3 FACHADAS VENTILADAS X FACHADAS ADERIDAS.....	48
2.3.1 FACHADAS VENTILADAS.....	51
2.4 BIM PARA ANÁLISES DE ENERGIA OPERACIONAL E DESEMPENHO TÉRMICO	55
2.5 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA	59
2.5.1 Definição de Palavras-chave de Busca	59
2.5.2 Escolha da Base de Dados	61
2.5.3 Formulação de <i>String</i> de Busca	61
2.5.4 Definição dos Critérios de Seleção de Artigos	62
Classificação quanto a Temática	62
Classificação quanto a Data de Publicação	63

2.5.5	IDENTIFICAÇÃO DAS LACUNAS.....	63
2.5.6	PRINCIPAIS ESTUDOS PARA EMBASAMENTO DESTA PESQUISA	65
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	66
3.	METODOLOGIA.....	68
3.1	PADRÃO DE EDIFICAÇÃO	70
3.2	DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL MODELO	71
3.3	TIPOLOGIAS DE FACHADAS UTILIZADAS NA PESQUISA	74
3.3.1	Fachada Ventilada de Granito (FVG).....	74
3.3.2	Fachada Aderida de Granito (FAG).....	74
3.3.3	Fachada Ventilada de Porcelanato (FVP) e Fachada Ventilada de Cerâmica (FVC)	75
3.4	CIDADES E CLIMAS ADOTADOS.....	76
3.5	VIDA ÚTIL CONSIDERADA.....	81
3.6	ORIENTAÇÃO SOLAR	81
3.7	ESCOLHA DOS <i>SOFTWARES</i>	82
3.8	CRIAÇÃO DOS MODELOS	84
3.8.1	Dados de Entrada para o <i>Software</i> - Sistemas Aquecimento/Resfriamento	86
3.8.2	Dados de Entrada para o <i>Software</i> – Ventilação.....	87
3.8.3	Dados de Entrada para o <i>Software</i> - LOCALIZAÇÃO	87
3.8.4	Dados de Entrada para o <i>Software</i> – AGENDA DE OCUPAÇÃO.....	89
3.8.5	Dados de Entrada para o <i>Software</i> – ESPAÇOS	90
3.8.6	Modelos Estudados	92
3.8.7	Dados de Entrada para o <i>Software</i> – MATERIAIS e SISTEMAS	92
3.8.8	Rotina de Simulação	94
3.9	FATOR DE CONVERSÃO ADOTADO.....	94
3.10	TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	95
3.11	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DAS FACHADAS	97
3.11.1	Fachada Ventilada de Granito.....	98
3.11.2	Fachada Aderida de Granito	100
4.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	104
4.1	DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO	104
4.2	DADOS DE ENERGIA OPERACIONAL.....	105

4.3	DADOS DE CUSTOS ENERGÉTICOS.....	108
4.3.1	Tempo de retorno do Investimento.....	108
4.4	DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO – ANÁLISE PARAMÉTRICA 01 .	110
4.5	DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO – ANÁLISE PARAMÉTRICA 02 .	111
4.6	DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO – ANÁLISE PARAMÉTRICA 03 .	113
5.	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	115
5.1	ANÁLISE PRINCIPAL (Fachada Ventilada X Fachada Aderida).....	115
5.1.1	Belém/PA – Região climática Af.....	115
5.1.2	Manaus/AM – Região climática Af.....	118
5.1.3	Salvador/BA – Região climática Af.....	120
5.1.4	Região Climática Af.....	123
5.1.5	Maceió/AL – Região climática Am.....	125
5.1.6	Aracaju/SE – Região climática As.....	128
5.1.7	São Luís/MA – Região climática As.....	130
5.1.8	Regiões Climáticas Am e As.....	132
5.1.9	Brasília/DF – Região climática Aw.....	136
5.1.10	Campo Grande/MS – Região climática Aw.....	139
5.1.11	Cuiabá/MT – Região climática Aw.....	142
5.1.12	Rio de Janeiro/RJ – Região climática Aw.....	144
5.1.13	Região Climática Aw.....	145
5.1.14	Água Branca/AL – Região climática BSh.....	148
5.1.15	Comparativo Água Branca e cidades litorâneas.....	151
5.1.16	Porto Alegre/RS – Região climática Cfa.....	154
5.1.17	São Paulo/SP – Região climática Cfa.....	156
5.1.18	Região Climática Cfa.....	159
5.1.19	Curitiba/PR – Região climática Cfb.....	161
5.1.20	Belo Horizonte/MG – Região climática Cwa.....	165
5.1.21	Nova Friburgo/RJ – Região climática Cwb.....	167
5.1.22	Regiões Climáticas Cfb, Cwa e Cwb.....	170
5.1.23	Comparativo entre Regiões climáticas.....	173
5.2	ANÁLISE PARAMÉTRICA 01: Diferentes Revestimentos.....	178
5.3	ANÁLISE PARAMÉTRICA 02: Diferentes Espessuras de Câmara de Ar.....	183
5.4	ANÁLISE PARAMÉTRICA 03: Diferentes Aberturas Inferior e Superior.....	187
5.5	ANÁLISES PARAMÉTRICAS – Comparativo entre Regiões Climáticas.....	191

6. CONCLUSÕES.....	192
6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	197
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	199
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	205
APÊNDICES	207
APÊNDICE A - Fachadas com Revestimento Aderido.....	208
APÊNDICE B - Configuração Localizações	210
APÊNDICE C - Configuração Sistemas Construtivos	216
APÊNDICE D - Tratamento Estatístico	219
APÊNDICE E - Custos de Implantação de Fachadas.....	235
APÊNDICE F - Dados Climáticos das Cidades	249

1. INTRODUÇÃO

A redução de consumo energético é um tema intensamente discutido no contexto mundial, o qual exige da Indústria da Construção Civil sérias mudanças. De acordo com Ryu e Park (2016), estima-se que o consumo energético no setor de construção civil seja de 45% nos EUA e 42% no Reino Unido, enquanto que a média de 31% é contabilizada nos países da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) em comparação com o total de consumo de energia de toda a indústria. Já a agência Internacional de Energia aponta que edificações residenciais e comerciais consomem cerca de 32% do uso global de energia e são responsáveis por quase 10% das emissões de CO₂ relacionadas ao consumo energético (IEA, 2012). No Brasil o consumo energético por edificações representa 50% do consumo de eletricidade no país, de acordo com o programa Procel Edifica (PROCEL INFO, 2017).

O Protocolo de Kyoto¹, criado em 1997, propôs que os países desenvolvidos assumissem a obrigação de reduzir a emissão dos gases do efeito estufa. Na 21^a Conferência das Partes² (COP21), em Paris, foi adotado um novo acordo, chamado Acordo de Paris, aprovado pelos 195 países participantes, para reduzir emissões de gases de efeito estufa no contexto do desenvolvimento sustentável. O Brasil, em 12 de setembro de 2016, concluiu o processo de ratificação do Acordo de Paris, com, o que as metas brasileiras deixaram de ser pretendidas e tornaram-se compromissos oficiais, sendo esses de reduzir, até 2025, as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, com uma contribuição indicativa subsequente de reduzir, até 2030, as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005 (MMA, 2018).

De acordo com Barbosa (2017), em 17 de novembro de 2017 foi finalizada a Conferência da ONU sobre Mudança Climática (COP23). No topo das agendas estava a construção de um livro de regras para implementar o Acordo de Paris. Um relatório divulgado na primeira semana do encontro mostrou que há uma grande diferença entre as emissões das

¹ Tratado internacional com objetivo de fazer com que os países desenvolvidos assumam o compromisso de reduzir a emissão de gases que agravam o efeito estufa, para aliviar os impactos causados pelo aquecimento global (Kyoto, 2017).

² A Conferência das Partes (COP) é a autoridade máxima para a tomada de decisões sobre os esforços para controlar a emissão dos gases do efeito estufa.

Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e as reduções que os cientistas julgam necessárias a fim de evitar níveis perigosos de aquecimento e efeitos mais destrutivos das mudanças climáticas.

Na busca pela redução dos gases de efeito estufa, e entre eles o CO₂, surgiu também a preocupação com a redução do consumo energético, à qual a Indústria da Construção Civil está fortemente ligada. Edificações pensadas para melhor eficiência energética, ou seja, para baixo consumo energético com excelente desempenho, necessitam de envoltórias pensadas para a localidade e região climática em que se situam, e é neste panorama que esta pesquisa está inserida.

Beraldo (2006) diz que o desempenho de uma edificação está diretamente relacionado com as características dos elementos que o envolvem e suas interações entre o meio exterior e interior. A envoltória é o ponto de partida para a determinação da eficiência energética e para a verificação da necessidade de sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação mecânica.

As Fachadas Ventiladas Opacas têm como principal vantagem a redução das cargas térmicas, promovendo maior desempenho térmico e conseqüentemente menores consumos energéticos pelas edificações. Atingir os objetivos de menor consumo energético se tornou praticamente uma obrigatoriedade para todas as novas edificações, e *retrofits*³, ao redor do mundo, e uma das formas mais eficientes para prever esse consumo são as simulações computacionais.

Esta pesquisa analisou o consumo energético operacional de fachadas ventiladas opacas, um sistema construtivo relativamente novo no país, comparativamente as fachadas de revestimento aderido, para uma edificação habitacional, através de simulações computacionais com dois *softwares* que utilizam o processo *Building Information Modeling (BIM)*. O desenvolvimento desse tema faz parte da linha de pesquisa em Gestão e Sustentabilidade na Construção Civil, proposta no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (UnB).

³ O termo em Inglês refere-se a popular “reforma”, mas com o sentido de customizar, adaptar e melhorar os equipamentos, conforto e possibilidades de uso de uma antiga edificação. Esta pesquisa trata de um estudo de caso para uma edificação nova, não sendo nela tratado o *retrofit*.

Nessa linha de pesquisa foram desenvolvidas as pesquisas de Nabut Neto (2011), sobre energia incorporada e emissões de CO₂ para fachadas em Light Steel Frame; Gouveia (2012), com análise energético-ambiental de fachadas de alumínio composto (ACM) com foco na reciclagem; Uribe (2013) sobre energia incorporada de *Light Steel Frame* na fase de pré-uso para diferentes composições de revestimentos e isolantes térmicos; Pedroso (2015), em uma Avaliação do Ciclo de Vida Energético de Sistemas de vedações de habitações de um projeto típico de habitação térrea para o Distrito Federal; Caldas (2016), com Avaliação do ciclo de vida energético e emissões de CO₂ de edificações de *Light Steel Frame*, e Caldeira (2016), com Avaliação do ciclo de vida energético na fase de pré-uso de telhas termoacústicas com poliestireno expandido para edificação habitacional no DF.

Ressaltam-se as publicações de Campos et al. (2012), com uma avaliação de desempenho térmico de edificação pública em Cuiabá; Paulsen e Sposto (2013), com uma ACVE de habitações convencionais brasileiras para o programa “Minha Casa Minha Vida” do governo federal; Pedroso e Sposto (2013), sobre Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE) de paredes de concreto; Sun (2013), sobre análise de desempenho térmico em diferentes regiões climáticas para habitações na China; Pedroso et al. (2014), sobre análises de Energia Incorporada de HIS nas diferentes fases do ciclo de vida e Soares et al. (2017), com análise de desempenho térmico e eficiência energética de edificações em *light steel frame*.

Nos últimos três anos, foram publicados, pelo programa de pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da UnB, os trabalhos de Caldas et al. (2016-a), Avaliação do ciclo de vida energético e desempenho térmico de habitação de *light steel framing* com diferentes tipos de isolantes térmicos; Caldas et al. (2016-b), Avaliação do ciclo de vida energético e emissões de CO₂ de fachadas para habitações sociais; Caldas et al. (2017), Inventário de emissões de carbono no ciclo de vida de casas de alvenaria de tijolos de *light steel frame* em Brasília-DF, e Caldas, Lira e Sposto (2017), com Avaliação do ciclo de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas.

Sobre Fachadas Ventiladas, foram desenvolvidas, no mesmo programa, as pesquisas de Maciel (2013), acerca de análise de desempenho térmico e Energia Incorporada de fachadas ventiladas, e Santos Filho (2015), com uma análise de Desempenho Térmico e Acústico de

Fachadas Ventiladas de Porcelanato à luz da norma de desempenho, sendo este um estudo de caso em Brasília-DF.

Os principais estudos internacionais acerca das fachadas ventiladas são Patania et al. (2010), com uma análise de três tipos de fachadas ventiladas; Marinosci et al. (2011), com um estudo do comportamento térmico da fachada ventilada de um ambiente em altura, em San Mauro Pascoli, Itália; Sanjuan et al. (2011), com análise comparativa de desempenho térmico de fachadas ventiladas e fachadas cortina em Madri, na Espanha; Suárez et al. (2012), com análise de desempenho energético de fachadas ventiladas opacas de cerâmica, comparativamente a fachadas cortinas em Madri, na Espanha; Marinosci, Semprini e Morini (2014), com análise do comportamento térmico de dez configurações externas diferentes para fachadas ventiladas, em San Mauro Pascoli, Itália; López e Santiago (2015), sobre fachadas ventiladas opacas em 12 regiões climáticas na Espanha, e Gagliano, Nocera e Aneli (2016) com avaliação do impacto dos ventos no desempenho térmico de fachadas ventiladas opacas, comparativamente a fachadas cortinas, para países do sul da Europa.

Esta pesquisa propõe a análise de Energia Operacional⁴ (proveniente de resfriamento e/ou aquecimento de ambientes) de Fachadas Ventiladas Opacas de Granito⁵ comparativamente a Fachadas Aderidas de Granito, sendo um estudo de caso para uma mesma edificação, de oito pavimentos mais pilotis, contemplando nove regiões climáticas (classificação Köppen-Geiger⁶) distintas, em 16 capitais brasileiras. Propõe-se o estudo de um ano para verificação do impacto nos benefícios desse tipo de envoltória e verificação do custo-benefício de implantação desse sistema nas diferentes localidades brasileiras.

1.1 JUSTIFICATIVA

No mundo e no Brasil, reduzir o consumo energético é um desafio, e a cada dia que passa metas mais significativas são acordadas entre os países desenvolvidos e em

⁴ Energia Operacional é um indicador de consumo energético durante a vida útil de uma edificação.

⁵ Foi utilizado o granito Branco Siena como referência, cuja absorvidade considerada foi de $\alpha=0,2$.

⁶ A Classificação Köppen-Geiger é o sistema de classificação climática global mais utilizado na climatologia, que leva em consideração a sazonalidade, temperatura do ar e precipitação. A classificação divide o Brasil em nove regiões climáticas.

desenvolvimento, o que leva o governo de cada país a criar leis, normativas e programas de incentivo para atingi-las.

De acordo com Ryu e Park (2016), o Reino Unido estabeleceu limites para novas habitações com consumo energético zero (*net-zero building*) até 2016, a França estabeleceu objetivo de redução de 38% para o consumo de energia doméstica até 2020, a Dinamarca planejou reduzir em 50% o consumo energético de todas as edificações em 2015 em relação a 2006. O Brasil não tem uma política clara estabelecida para edificações em geral, mas, a partir de agosto de 2014, a Etiquetagem de Edificações⁷ tornou-se obrigatória em edificações da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, sendo essa voluntária para demais tipos de edificações no país. Nesse sentido, as fachadas ventiladas opacas podem auxiliar na redução do consumo energético pelas edificações ao longo de sua vida útil.

IEA (2012) destaca a importância de implementar rigorosos requisitos de economia de energia para novas edificações, e a necessidade de usar tecnologias de alta eficiência na construção de envoltórias e sistemas de aquecimento/resfriamento. Nesse contexto, a redução dos impactos ambientais e a melhoria da eficiência energética das edificações durante todo o seu ciclo de vida é um dos principais objetivos mundiais da política energética.

É necessário um esforço concentrado para melhorar o desempenho global da envoltória de edificações, que tem a maior influência sobre os impactos e necessidades de aquecimento e resfriamento nas edificações (GHIAUS e INARD, 2004). O estudo de Eleftheriadis et al. (2017) demonstrou que em edificações de alto desempenho energético (edificações de baixo consumo energético na fase operacional), os demais tipos de energia, como Energia Incorporada (Fase de Pré-Uso) e Energia Recorrente (Fase de Manutenção), possuem papel significativo no ciclo de vida de edificação comparativamente à Energia Operacional.

A busca por edificações mais eficientes do ponto de vista energético é crescente no mundo, e o Brasil não foge a essa tendência. Novas tecnologias e novos sistemas construtivos são lançados no mercado, e avaliações desses sistemas são necessários para comprovar sua

⁷ A Etiquetagem de Edificações, através do Procel Edifica, é um instrumento de adesão voluntária que tem por objetivo principal identificar as edificações que apresentem as melhores classificações de eficiência energética em uma dada categoria, motivando o mercado consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes.

eficiência de modo a oferecer confiabilidade aos projetistas na especificação em seus projetos. O surgimento dessas novas tecnologias não trouxe a garantia, para o consumidor e para o empreendedor, de que as edificações teriam condições favoráveis de desempenho durante sua vida útil, tendo surgido, então, a preocupação com o desempenho das edificações e seus componentes, e em decorrência, diversas normas para balizar a avaliação desse.

O foco deste estudo está na avaliação do consumo energético de fachadas ventiladas aplicadas para edificações habitacionais verticais. As Fachadas Ventiladas Opacas surgiram no mercado internacional há cerca de 60 anos e no Brasil existem edificações com pouco mais de 30 anos que as utilizam (Maciel, 2013). A maioria dos estudos sobre fachadas ventiladas diz respeito a fachadas duplas de vidro, sendo poucos os estudos a respeito de fachadas ventiladas opacas⁸, decorrendo daí a necessidade de um estudo que compare os benefícios das fachadas ventiladas opacas em relação aos revestimentos aderidos, que não possuem câmara de ar. Verificar qual a tipologia de clima em que esse sistema é mais significativo é um parâmetro que poderá ser utilizado pela indústria de arquitetura, engenharia e construção civil (AEC) mundial, uma vez que regiões climáticas com as mesmas características podem existir em diferentes localidades do mundo.

Ilbañez-Puy et al. (2017) afirmam que o ambiente está constantemente sendo influenciado pelo movimento do ar, umidade relativa, temperatura do ar, radiação solar, qualidade do ar e ruído. Todos são fatores ambientais básicos que afetam o edifício, porém a radiação solar e o vento são considerados os principais influenciadores do desempenho termo-energético das fachadas ventiladas opacas.

De acordo com Astorqui e Porrás-Amores (2017), atualmente existem vários sistemas de fachada ventilada, sendo seu objetivo principal dissipar o calor que a envoltória absorve quando a radiação solar direta cai sobre ela, reduzindo, assim, a temperatura dos ambientes internos do edifício. Tanto a redução do consumo de energia por sistema de resfriamento em períodos quentes quanto a proteção contra a radiação solar são os principais benefícios atribuídos à fachada ventilada.

⁸ Dados confirmados pelo Mapeamento Sistemático da Literatura, Item 2.5.

López e Santiago (2015) afirmam que a economia de energia anual que pode ser obtida por uma Fachada Ventilada Opaca depende fortemente da localização do edifício e, portanto, das condições climáticas. Astorqui e Porras-Amores (2017) afirmam em suas conclusões que, devido à complexidade dos mecanismos de transferência de calor das fachadas ventiladas, é recomendado utilizar a simulação computacional nas fases de projeto como uma ferramenta de decisão para os profissionais, permitindo definir estratégias dinâmicas de ventilação de acordo com as condições climáticas da região onde a fachada ventilada será instalada.

Nesse sentido, torna-se de suma importância saber quais as variáveis climáticas que mais influenciam a economia de energia, a fim de estabelecer quais locais são mais favoráveis para a instalação de um sistema de Fachada Ventilada Opaca. Não existe nenhum estudo no Brasil que avalie esse tipo de fachada nas diferentes regiões climáticas nacionais e, sendo assim, os projetistas trabalham com a incerteza sobre quão favorável é o desempenho termo-energético desse tipo de sistema.

A maneira mais eficiente e rápida para conseguir resultados fidedignos de eficiência energética de novas tecnologias são simulações computacionais (WANG e ZHAI, 2016). Nesse sentido, o *BIM – Building Information Modeling* (Construção Modelos de Informação) contribui significativamente para reduzir o tempo despendido para os quantitativos para análise.

O governo do Reino Unido reconheceu que o *BIM* pode desempenhar um papel crucial no aprimoramento da indústria da construção e colocou-o no centro de suas estratégias de desenvolvimento (KASSEM e AMORIM, 2015). Em março de 2011 foi lançado, no Reino Unido, o “Estudo de Estratégia para o Grupo de Clientes de Construções do Governo pertencente ao Grupo de Trabalho da Indústria do *BIM*”. Tal estratégia teve por objetivo provocar mudanças radicais, clamando por modificação profunda no relacionamento entre as autoridades públicas e a indústria da construção de forma a reduzir os custos em até 20% até 2015 (BSI, 2014).

Em 17 de maio de 2018 foi instituída a Estratégia Nacional de Disseminação do *BIM* no Brasil, por meio do Decreto nº 9.377:2018, com a finalidade de promover um ambiente adequado ao investimento em *BIM* e sua difusão no país. A Estratégia *BIM*-BR tem como

objetivos específicos: difundir o *BIM* e seus benefícios; coordenar a estruturação do setor público para a adoção do *BIM*; criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em *BIM*; estimular a capacitação em *BIM*; propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e as contratações públicas com uso do *BIM*; desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para adoção do *BIM*; desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional *BIM*; estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao *BIM*; e incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade *BIM* (BRASIL, 2018).

Países em desenvolvimento como o Brasil seguem a tendência mundial na busca por edificações com maior eficiência energética, e para conseguir estas metas o *BIM* tem sido inserido no mercado construtivo nacional, tanto por iniciativas empresariais como por estratégia do Governo Federal.

É perceptível o quanto a avaliação de sistemas construtivos de envoltória faz-se necessária, em diversas regiões climáticas, em países em desenvolvimento como o Brasil. É necessário que os projetistas saibam de antemão quão eficientes são os novos sistemas de fachadas na localidade onde a edificação será construída para poder especificar corretamente um sistema com melhor desempenho térmico e energético da edificação e, conseqüentemente, com menor emissão de CO₂.

Os resultados desta pesquisa podem fornecer subsídios a especificações de Fachadas Ventiladas Opacas como sistema construtivo de envoltória para edificações mais sustentáveis do ponto de vista energético-ambiental e subsídios para melhores especificações levando em consideração o custo benefício desses sistemas. Com esta pesquisa será possível, para a indústria da construção civil, através dos seus especificadores de sistemas construtivos (arquitetos e/ou engenheiros), demonstrar para clientes e usuários o quanto o sistema é benéfico do ponto de vista energético e financeiro, uma vez que menor consumo energético impacta diretamente no custo operacional da edificação.

Esta pesquisa ainda promove a análise do impacto de diferentes revestimentos para as Fachadas Ventiladas Opacas, de diferentes espessuras na câmara de ar e de diferentes espessuras para entrada e saída de ar e, com isso, torna possível analisar onde existe potencial de melhora energética para o sistema, nas diferentes regiões climáticas brasileiras.

1.2 PROBLEMA

A indústria da construção civil possui um papel de suma importância, pois, ao propor edificações ou *retrofits* com menor consumo energético durante sua vida útil, o mesmo ocorre nas emissões de CO₂. Compreende-se ainda que as envoltórias representam um papel importante no desempenho térmico das edificações, já que, quando há baixo desempenho térmico, haverá inversamente alto consumo energético por sistemas de refrigeração e calefação.

Análises energéticas de edificação, a partir de simulação computacional, tornam-se importantes ferramentas na avaliação de desempenho energético no ciclo de vida de uma edificação. Considerando o tema proposto, é necessário indagar sobre a realidade brasileira, que possui diversas regiões climáticas, e a crescente utilização das fachadas ventiladas opacas no Brasil para habitações de múltiplos pavimentos:

- Qual o impacto das diferentes regiões climáticas na economia energética proporcionada pelas Fachadas Ventiladas Opacas?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral analisar os benefícios inerentes à demanda energética de fachadas ventiladas opacas comparativamente a fachadas de revestimento aderido em diferentes regiões climáticas brasileiras, para edificações habitacionais.

1.3.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Quantificar o desempenho energético de fachada ventilada opaca de granito, comparativamente a fachada de revestimento aderido de granito;

- Avaliar o custo benefício das fachadas ventiladas opacas em diferentes regiões climáticas brasileiras;
- Realizar avaliação paramétrica das fachadas ventiladas opacas quanto a: diferentes revestimentos externos, diferentes espessuras de câmaras de ar e diferentes aberturas para a principal entrada e saída de ar;
- Avaliar a utilização do sistema de informação *BIM/BES* para avaliações termo-energéticas.

1.4 DELIMITAÇÃO

Toda pesquisa necessita de limites para se tornar viável, e esta não é diferente. Essas delimitações são apresentadas e justificadas a seguir:

- Foi necessário utilizar uma única edificação como modelo, para que as comparações de dados fossem exclusivamente das envoltórias propostas. Entende-se que existem considerações diferentes de sombreamento e materiais para diferentes regiões climáticas, porém incluir essas diferenças no modelo tornaria a comparação de resultados inviável, uma vez que o benefício energético resultante poderia ser de uma estratégia de sombreamento ou da diferença de um revestimento argamassado, por exemplo;
- Foi considerada sempre a mesma orientação solar, e as mesmas estações do ano para as edificações, com a mesma justificativa do item anterior: manter a comparabilidade das envoltórias;
- Não foi considerado o entorno da edificação, por se tratar de um estudo comparativo de sistema construtivo e se esse fosse considerado poderia ter impacto nos resultados, proveniente dele;
- Foram desconsideradas legislações específicas de uso e ocupação do solo, e os códigos de obras das cidades consideradas para implantação das simulações, pois considerar as normativas específicas poderia tornar esta implantação inviável, desviando do objetivo da pesquisa, de avaliar os benefícios das fachadas ventiladas comparativamente ao modelo convencional brasileiro, de revestimento aderido;
- A Fachada Aderida de Granito teve sua espessura de revestimento adotada de 30mm, apesar de a sua espessura padrão ser de 20 mm. Essa diferença foi necessária para a

comparação das edificações não ter interferência nos resultados pela espessura de revestimento, pois a espessura de pedras para fachadas ventiladas é de 30mm;

- As Fachadas Ventiladas foram simuladas com entrada de ar inferior e saída superior. As juntas foram consideradas seladas, pois só é possível analisar o comportamento dos ventos que entram pelas juntas abertas ao longo na câmara de ar com *plug-ins CFD*⁹. Sabe-se que no mercado construtivo as Fachadas Ventiladas são comercializadas com juntas abertas, porém, apesar de as técnicas de *CFD* permitirem obter uma análise muito detalhada do comportamento térmico e fluidodinâmico, elas são bastante complexas e requerem grandes quantidades de recursos computacionais (Suárez, 2012);
- Para a Análise Paramétrica 01, o material ACM não foi utilizado para a comparativa, apesar de muito utilizado no mercado construtivo nacional, por se tratar de um material reflexivo e não opaco, por possuir espessura muito inferior aos demais, por ter espessura de câmara de ar de 7cm usual e a espessura da análise ser de 10cm, e por ter sistema de fixação diferente dos demais revestimentos analisados;
- Não foram considerados os aumentos do kWh nos custos energéticos, ao longo da vida útil da edificação, devido a sua imprevisibilidade, uma vez que, no mundo todo, há tendência a aumentá-lo anualmente;
- Os dados climáticos utilizados são provenientes de estações meteorológicas virtuais existentes no *software Revit*, utilizado para modelagem e configurações das simulações, que provêm dados do ano real baseados em uma média de 30 anos de dados climáticos disponíveis em formatos de arquivos como o *Test Meteorological Year (TMY2)*.

1.5 ORIGINALIDADE

De acordo com Ilbañes-Puy et al. (2017) existe um número considerável de estudos relacionados a envoltórias ventiladas, especialmente focados em fachadas duplas de vidro, fachadas fotovoltaicas, chaminé solar, paredes solares, no entanto menos atenção é dada às Fachadas Ventiladas Opacas. O termo fachada ventilada é utilizado para designar os vários

⁹ *CFD* – *Computer Fluid Dynamic* ou Fluidodinâmica Computacional. Técnica que permite obter análises detalhadas do comportamento térmico e fluidodinâmico de edificações, bastante complexa, que requer grande quantidade de recursos computacionais (Suárez et al., 2012).

tipos mencionados e ainda existem os novos tipos de fachadas ventiladas opacas, que possuem placas fotovoltaicas (*PV – photovoltaic*) ou *Phase Change Material (PCM)*.

Apesar de a literatura reconhecer a economia de energia associada à utilização de fachadas ventiladas opacas em comparação com soluções tradicionais, os estudos existentes consideram um número limitado de localizações e a grande maioria considera somente uma ou duas estações (IBAÑEZ-PUY et al., 2017), fazendo-se necessária a avaliação desse sistema em outros países com diferentes climas, em uma classificação climática mundial, considerando todas as estações do ano.

Através do Mapeamento Sistemático da Literatura, detalhado no Item 2.5, foi possível verificar que estudos a respeito de fachadas ventiladas opacas são muito limitados, sendo a maioria deles realizada na Europa, com foco maior na Espanha e Itália, fazendo-se necessária a avaliação desse sistema em outros países, como o Brasil. Além disso, poucos estudos contemplam todo um ano de análise, restringindo-se normalmente a uma ou duas estações, e a maioria deles trata de poucos climas, fazendo-se necessária a análise desse sistema em diferentes regiões climáticas.

Por fim, o sistema aplicado nos estudos europeus é diferente do brasileiro, tanto em relação às fachadas ventiladas quanto ao sistema convencionalmente utilizado no país para a comparativa. A metodologia proposta nesta pesquisa também é pouco utilizada nos estudos existentes, sendo a maioria estudos experimentais, numéricos ou com módulo *CFD*, em um único ambiente ou fachada (sul ou norte).

Nacionalmente destacam-se os trabalhos de Maciel (2013), que comparou edificações habitacionais, considerando três tipos de fachadas ventiladas opacas - placas pétreas, porcelanato e alumínio composto - em um estudo de caso para uma única cidade brasileira. A autora analisou Energia Incorporada, Energia Operacional e Desempenho Térmico, porém comparou os tipos de fachadas entre si e não com fachadas de revestimento aderido ou fachadas cortinas. Utilizou simulação computacional para obter os quantitativos de Energia Operacional e Desempenho Térmico.

Santos Filho (2015) fez um estudo de caso para análise de desempenho térmico de fachadas ventiladas com porcelanato, comparativamente às fachadas de porcelanato aderido. Utilizou

ferramentas de simulação computacional para os quantitativos. Nenhum dos estudos trabalhou a integração *BIM* entre modelagem e simulação de desempenho empregando *software BES* somente na fase de simulação. Não foram encontrados estudos, no país e no mundo, com a abrangência proposta nestes termos de temática e quantidade de regiões climáticas, durante todas as estações.

Foi constatado que a envoltória é responsável pelos principais benefícios ou malefícios de uma edificação em termos de consumo energético. Sendo assim, um estudo que analisa uma tecnologia de envoltória relativamente nova no mundo, e mais ainda no país, torna-se de grande importância para o mercado construtivo nacional.

Esta pesquisa trata da análise de Energia Operacional (proveniente de resfriamento e/ou aquecimento de ambientes) de Fachada Ventilada Opaca para uma edificação padrão brasileira, de oito pavimentos mais pilotis, em nove regiões climáticas brasileiras, contemplando 16 cidades, no intuito de contribuir com as várias outras pesquisas que vêm sendo feitas ao redor do mundo, para ampliar o conhecimento na área. Diferencia-se, por considerar as quatro estações, numa análise anual, e não somente dias típicos de inverno e verão como alguns estudos e sugestões das normativas internacionais e nacionais. São ainda realizadas três análises paramétricas para compreender o impacto de diferentes revestimentos, diferentes espessuras de câmara de ar e diferentes espessuras da entrada e saída de ar principais das fachadas ventiladas.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho divide-se em seis capítulos:

- 1. Introdução: apresentam-se o tema, sua justificativa, o problema, objetivos gerais e específicos, delimitação e originalidade do tema e a estrutura deste trabalho;
- 2. Revisão Bibliográfica: apresentam-se os conceitos e as referências teóricas que embasam o estudo a respeito de Eficiência Energética de Edificações, Energia Operacional, Fachadas Ventiladas e Aderida, *BIM* para análises de Energia Operacional e o Mapeamento Sistemático da Literatura e Considerações finais do capítulo;

- 3. Metodologia: é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, dividida por etapas de desenvolvimento;
- 4. Apresentação de Resultados: apresentam-se os resultados obtidos;
- 5. Análise dos Resultados: são analisados os resultados obtidos, dividido em: Análise Principal, por cidade, região climática e comparativamente; e Análises Paramétricas;
- 6. Conclusões: apresentam-se as conclusões da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem o intuito de fornecer embasamento teórico sobre a temática desta pesquisa, que engloba a Eficiência Energética de Edificações, Energia Operacional, Fachadas Ventiladas e Aderidas, *BIM* para análises de Energia Operacional, Mapeamento Sistemático da Literatura e Considerações sobre o capítulo.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

Atualmente a redução de combustíveis fósseis e as mudanças climáticas globais têm sido um desafio às preocupações das entidades governamentais ao redor do mundo e vêm tornando-se uma preocupação por parte da população. Uma das soluções para esses problemas é a redução no consumo energético, de forma geral, nos sistemas de resfriamento e aquecimento artificial de ambientes.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), Eficiência Energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

As edificações são um dos maiores setores consumidores de eletricidade, no mundo inteiro, e no Brasil não é diferente. Uma contribuição reconhecida para a conservação de energia, bem como para a remoção de gases de efeito estufa passa por inovação no *design* da edificação, principalmente da envoltória, pela qual se pode contribuir significativamente com a aplicação de sistemas construtivos eficientes, pensados para a localidade e clima no qual estão inseridos.

São no mínimo dois aspectos que envolvem as opções a serem consideradas para o *design* da fachada. Primeiro, ela representa a aparência física das edificações e, segundo, é uma grande parte da barreira térmica entre ambientes internos e externos. Por essa segunda função, envoltórias possuem um papel importante para minimizar as trocas de calor entre ambiente externo e interno e podem afetar significativamente o consumo energético geral da edificação (HALAWA ET AL., 2018).

O consumo de energia elétrica no Brasil é predominantemente no setor industrial, onde a construção civil está inserida, porém, em sua maior parte, ele independe da arquitetura, dos materiais ou sistemas construtivos. Os setores residencial, comercial e público concentram a parte significativa da atuação do projetista para aumentar a eficiência energética das edificações. Ao analisar a Figura 2.1 percebe-se que, dentre os setores citados, o Residencial (foco deste estudo) representa 26% do consumo de energia elétrica do país, seguido do Comercial com 17% (MME, 2017).

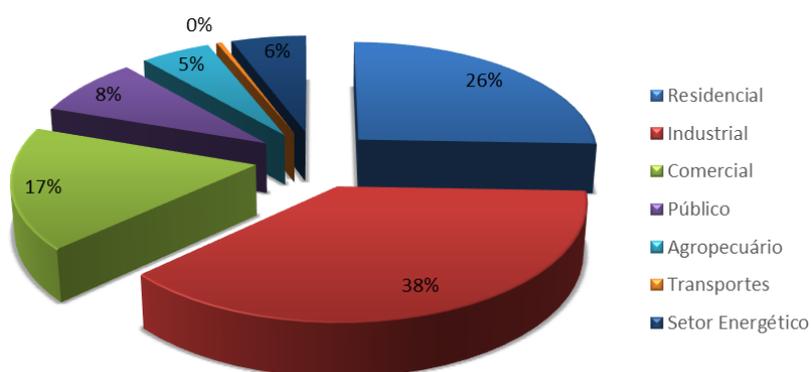


Figura 2.1 - Consumo de energia elétrica no Brasil (dados de MME, 2017)

No setor residencial a maior parte da energia consumida concentra-se nas geladeiras e freezers, chuveiros, ar-condicionado, eletro-eletrônicos (lava-roupas, ferro de passar, som, micro-ondas, etc) e iluminação. No setor comercial a maior parte da energia consumida concentra-se no ar-condicionado, seguido pela iluminação artificial, equipamentos de escritório, elevadores e bombas (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

O estudo de Sartori e Hestnes (2007) concluiu que edificações projetadas com princípios de eficiência energética conseguem reduzir o consumo energético durante sua vida útil e, ainda, que a redução da energia operacional (EO) aparenta ser o aspecto mais importante a ser considerado pelos projetistas que desejam criar edificações energeticamente eficientes durante seu ciclo de vida.

É possível concluir, com base nas afirmações dos autores citados, que o consumo energético de uma edificação está intimamente ligado a suas características arquitetônicas, à escolha dos materiais aplicados e ao tipo de envoltória especificado. De acordo com IEA (2017) o progresso global na obtenção de novas edificações de alta eficiência energética apresenta-se lento, principalmente em países em desenvolvimento. Avanços são alcançados e podem

melhorar muito com o desenvolvimento contínuo de normativas de energia para novas edificações e *retrofits*.

As principais normativas internacionais são ISO 17772-1:2017 (*Energy performance of buildings - Indoor environmental quality*) para Desempenho Térmico, ASHRAE Standard 90.1 (*Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*) e ISO 52000-1:2017 (*Energy performance of buildings*) para eficiência energética de edificações.

No Brasil, em outubro de 2001 foi promulgada a Lei nº 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Em dezembro do mesmo ano foi publicado o Decreto nº 4.059, que regulamenta a Lei nº 10.295, estabelecendo os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética com base em indicadores técnicos e regulamentação específica, sob coordenação do Ministério de Minas e Energia (MME).

Em 2003, foi instituído o Procel Edifica, que promove o uso racional de energia elétrica em edificações desde a sua fundação, visando incentivar a conservação e uso eficiente dos recursos naturais para reduzir os desperdícios e impactos sobre o meio ambiente. A partir de agosto de 2014 a Etiquetagem de Edificações tornou-se obrigatória em edificações da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional. Segundo a IN 02/2014, para as edificações, os projetos devem ser desenvolvidos ou contratados visando, obrigatoriamente, à obtenção da ENCE Geral de Projeto classe “A”, assim como a construção da nova Edificação deve ser executada ou contratada de forma a garantir a obtenção da ENCE Geral da Edificação Construída classe “A”.

O Selo Procel Edifica tem por objetivo classificar as edificações em termos de eficiência energética em uma dada categoria, motivando o mercado consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes. De acordo com Procel Info (2017), o setor de edificações, no Brasil, representa cerca de 50% do consumo de eletricidade. Estima-se um potencial de redução deste consumo em 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reforma que contemplem conceitos de eficiência energética em edificações.

Em 2013 entrou em vigor a ABNT NBR 15575, que trata de Desempenho de Edificações, entre eles Desempenho Térmico, fazendo alusão à norma ABNT NBR 15220:2005 exclusiva

para Desempenho Térmico de Edificações, sendo as duas normativas exclusivas para edificações habitacionais.

Compreende-se que estudos que promovam a comparação entre sistemas inovadores e convencionais, principalmente para envoltórias, tornam-se necessários para auxiliar a promoção de edificações mais eficientes energeticamente.

2.2 ENERGIA OPERACIONAL

Em uma Avaliação do Ciclo de Vida Energético, ferramenta para quantificar os gastos energéticos envolvidos no ciclo de vida de uma edificação, é analisado o consumo energético nas diferentes fases do ciclo. Neste trabalho, o foco é na Fase Operacional (Uso), que, de acordo com Eleftheriadis et al. (2017), é aquela vinculada ao consumo energético durante a fase de operação de um edifício e geralmente cobre uma proporção significativa do total de energia consumida no ciclo de vida, incluindo todos os impactos associados aos sistemas da edificação, como aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação, uso de equipamentos, etc. Os impactos operacionais são acumulados ao longo do tempo e podem ser significativamente influenciados pelo padrão de uso de energia dos ocupantes e pela eficiência dos sistemas.

Ao tratar de energia utilizada no ciclo de vida da edificação, Sartori e Hestnes (2007) definem:

- **Energia Incorporada (EI):** soma das energias necessárias para manufaturar um bem, compreende a energia da extração de matéria-prima, transporte do local de extração ao local de produção e produção do material.
- **Energia Operacional (EO):** energia utilizada na edificação durante a fase de operação, como energia de aquecimento, resfriamento, ventilação, aquecimento de água, iluminação, cocção, dentre outras.
- **Energia Recorrente (ER):** soma da energia incorporada presente em todos os materiais utilizados em reforma ou manutenção da edificação.
- **Energia Total (ET):** soma de todas as energias utilizadas por uma edificação durante seu ciclo de vida.

Eleftheriadis et al. (2017) afirmam que, em termos de consumo energético, a maior parte é proveniente da Fase Operacional, responsável por 85%, enquanto a Fase de Pré-Uso (Energia Incorporada) é responsável por 15%, porém, em edificações de alto desempenho energético (ou seja, baixo consumo na fase operacional), a Energia Incorporada pode chegar a 45%.

Miller e Doh (2014) avaliaram 21 estudos de ACV nas fases de pré-uso e operacional entre 1996 e 2012. Dos estudos avaliados, a Fase Operacional representou a maior porção da energia gasta durante o ciclo de vida de uma edificação, razão pela qual estudos que analisam materiais e/ou sistemas construtivos que possam reduzir o consumo energético durante essa fase ainda são de suma importância para a indústria da construção civil.

De acordo com Weibenberger, Jensch e Lang (2014), a demanda de energia durante a fase operacional das edificações vem caindo de forma constante nos últimos anos. A partir de 2021, na União Européia, as novas edificações devem atingir os padrões de energia zero ou quase zero¹⁰. Essas edificações terão uma demanda de energia operacional muito baixa e, como consequência, o impacto relativo da construção e disposição final aumenta em termos de ciclo de vida, que é também o caso de edificações com baixa demanda de energia operacional, ou seja, a energia incorporada dos materiais escolhidos para implantação da edificação tem e continuará tendo um impacto crescente comparativamente à energia operacional (decrecente).

O que se pode concluir é que nos países desenvolvidos, que possuem metas de redução de gasto energético e de emissão de CO₂, já foram criadas e implantadas várias normativas nesse sentido para *retrofits* e novas edificações, no entanto, para países não desenvolvidos, essa ainda não é uma exigência. O Brasil já possui algumas diretrizes nesse caminho, como explanado no Item 2.1, mas ainda são opcionais para a indústria da construção civil.

Ao tratar de Energia durante o ciclo de vida de uma edificação é comum encontrar dois termos: Energia Primária e Energia de Uso Final:

¹⁰ Edificações chamadas *Net Zero* ou *Nearly Net Zero* são a tendência mundial, com base nas normativas para países desenvolvidos, de redução do consumo energético e consequente redução nas emissões de CO₂ por parte das edificações, o que significa que as novas edificações devem produzir a energia a ser consumida durante sua vida operacional. Em consequência, surgem novos sistemas construtivos como fachadas ventiladas com painéis solares. No Brasil, país subdesenvolvido, essa ainda não é uma exigência.

- **Energia Primária:** energia utilizada para produzir a energia de uso final.
- **Energia de Uso Final (*End-Use*):** energia mensurada depois da transformação, ou seja, energia primária somada a energia gasta no processo de transformação e as perdas na distribuição.

Essa diferenciação se faz importante, pois a energia contabilizada em estudos da Fase Operacional é proveniente de *softwares* de simulação, que contabilizam o consumo energético proveniente de aparelhos de resfriamento e/ou condicionamento de ar, primordialmente. Essa energia é de Uso Final e, para uma base de comparação fidedigna, faz-se necessária à sua conversão em Energia Primária, sem a contabilização das perdas por transformação e distribuição. Para isso é necessário utilizar o valor do Fator de Conversão¹¹ (FC).

Uma vez compreendidas as questões que envolvem Eficiência Energética e Energia Operacional, dá-se seguimento a esta revisão bibliográfica, com os conceitos de fachadas ventiladas e fachadas com revestimento aderido, para melhor compreensão da necessidade do aprofundamento de estudos comparativos frente à economia energética que as fachadas ventiladas podem trazer para edificações habitacionais.

2.3 FACHADAS VENTILADAS X FACHADAS ADERIDAS

As empresas de construção vêm enfrentando cobranças que as fazem repensar suas formas de produção para continuar competitivas, principalmente depois da implementação da norma de desempenho NBR 15575 em 2013. Uma das grandes mudanças foi nas vedações verticais, caracterizadas por alvenaria de baixa produtividade e qualidade muitas vezes insatisfatória, hoje, em parte, substituídas por fachadas metálicas, concreto pré-fabricado, entre outras.

A grande ocorrência de patologias de revestimentos aderidos de fachada faz com que seja frequente a opção por alternativas de elementos industrializados não aderidos e de fácil desconstrução na especificação das fachadas. São diversas as razões das fachadas não aderidas se tornarem populares entre arquitetos, sendo uma das principais permitirem quase

¹¹ Fator de Conversão é o coeficiente de multiplicação que deve ser utilizado para converter energia de uso final para energia primária.

qualquer cor ou forma. Adicionalmente às razões estéticas, a instalação do revestimento exterior é muito fácil e rápida, fazendo com que seja um sistema competitivo, especialmente em restauração de edificações (SANJUAN et al., 2011).

Em relação ao seu desempenho, os fabricantes afirmam existir duas principais vantagens: a ventilação reduz os problemas de umidade, sob o efeito da radiação solar e o seu desempenho energético é melhor do que o das fachadas convencionais. A fachada ventilada foi apontada como um sistema construtivo que pode ajudar a alcançar os objetivos dos padrões de eficiência energética, especialmente em países onde o pico da demanda de energia ocorre durante o período de verão (SANJUAN et al., 2011), que é o caso do Brasil.

De acordo com López e Santiago (2015), as fachadas ventiladas mais populares são aquelas com revestimentos de cerâmica, porcelanato ou pedra natural, como granitos, mármore e limestones, mas também podem ser encontradas em metal, como alumínio composto (ACM).

As fachadas com revestimento aderido são há muito conhecidas, pois são tradicionais no mercado construtivo brasileiro e fazem parte deste trabalho para efeito comparativo com os resultados das fachadas ventiladas opacas. Detalhes para melhor compreensão de fachadas de revestimento aderido podem ser vistos no Apêndice A.

A terminologia Fachadas Ventiladas pode ser aplicada para várias tipologias diferentes, mas dois termos se confundem bastante: Fachada Cortina e Fachada Ventilada. Siqueira Junior (2003) afirma que o sistema de Fachada Ventilada é uma vertente do chamado sistema Fachada Cortina, caracterizado por ser um sistema não aderido, instalado através de *inserts* metálicos ou subestrutura metálica com uma câmara de ar, sendo que, no caso da fachada ventilada, o ar é renovado constantemente, ou seja, toda fachada ventilada é caracterizada como fachada cortina, mas não o inverso.

Fachada-cortina (*curtain-wall* em inglês) é definida pela norma americana ASTM E631 (1993) como “parede exterior não aderida, segura e suportada por membros estruturais do edifício”, e pela norma brasileira ABNT NBR 10821-1:2017 como “caixilhos interligados e estruturados com função de vedação que formam um sistema contínuo, desenvolvendo-se no sentido da altura da fachada da edificação, sem interrupção por pelo menos dois pavimentos”.

Para Kiss (1999), a principal diferença da fachada ventilada em relação a outros sistemas de revestimento com perfis e painéis é a existência - **imperativa** - de orifícios na sua base para entrada do ar, assim como de rufos ou outros artifícios que permitam a saída constante do ar na sua parte superior. (Figura 2.2).

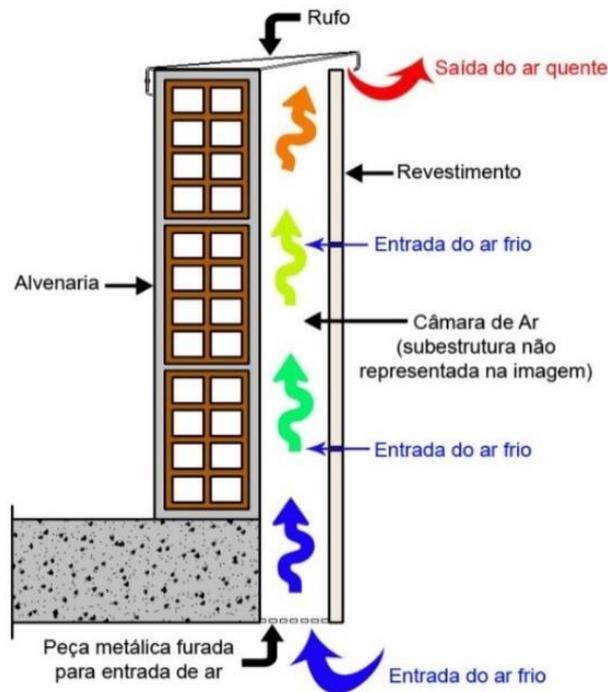


Figura 2.2 - Figura esquemática, funcionamento de Fachada Ventilada (MACIEL, 2013)

Fachadas ventiladas são sistemas de condicionamento passivo de ar. A radiação solar nas placas externas de revestimento os aquece ativando a convecção no interior da câmara de ar, gerando ventilação com fluxo ascendente que entra e sai da câmara através das juntas abertas. Quando esse fluxo deixa a câmara pela abertura superior, extrai energia térmica. Dessa forma, a temperatura da parede e o fluxo de calor para o interior da edificação são reduzidos, reduzindo também a energia necessária para equipamentos de ar-condicionado. Como essa ventilação é produzida pela radiação solar, esse tipo de fachada é particularmente interessante para áreas onde o pico da demanda de energia ocorre durante o verão (SUÁREZ et al., 2012).

Por meio da Figura 2.3 pode-se compreender melhor a diferença no processo de transferência de calor entre Fachada Cortina e Fachada Ventilada. Nas Fachadas Cortina o ar move-se em um circuito fechado (ciclo de convecção) ganhando calor e elevando a temperatura da parede, liberando ar quente para o ambiente interno ao longo do dia. Nas Fachadas

Ventiladas a radiação solar incidente produz efeito chaminé, que força o ar externo a circular ao longo da câmara de ar e aumentar a remoção de calor. O fluxo de ar entra na cavidade através de abertura na parte inferior e pelas juntas abertas e sai pela cavidade superior (SANJUAN et al., 2011).

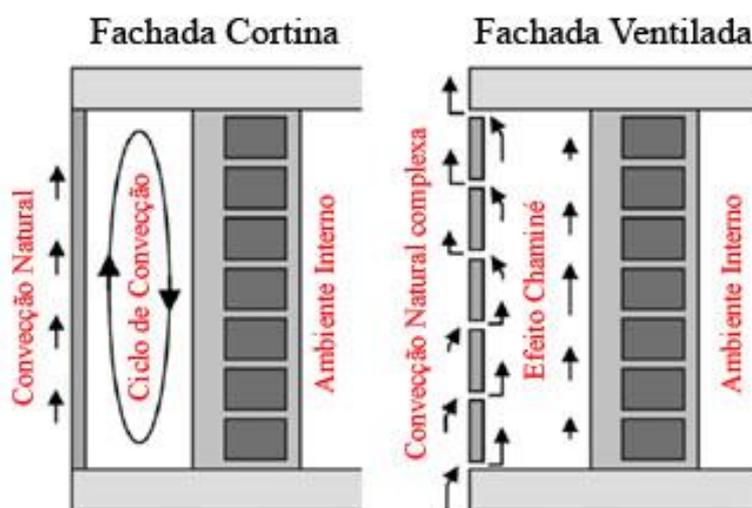


Figura 2.3 - Diferença na transferência de calor - fachada cortina e fachada ventilada (adaptado de Sanjuan et al., 2011)

2.3.1 FACHADAS VENTILADAS

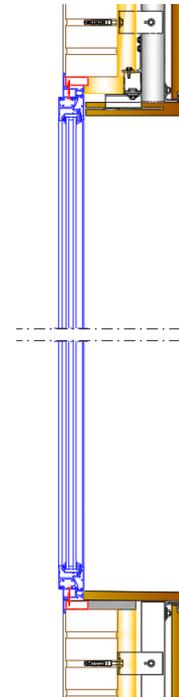
As fachadas ventiladas de granito são o sistema mais conhecido no Brasil, por ser amplamente empregado em Fachadas Cortina, porém existem diversos outros tipos de revestimentos. Rocha (2011) cita como exemplos: vidro, granito, mármore, porcelanatos, cerâmica (extrudadas, esmaltadas, grês e cotto) ou placas compósitas de metais ou laminados melamínicos.

As fachadas ventiladas opacas não revestem 100% da fachada, é realizado requadro das aberturas, onde as janelas e ou portas continuam em seu local de origem de projeto e um acabamento no material de revestimento é feito. Um exemplo de edificação com janelas requadradas pode ser visto na Figura 2.4-a e um detalhe do requadro na Figura 2.4-b. As juntas podem ser seladas ou abertas e existe a existência imperativa da abertura para entrada de ar na parte inferior da edificação, que pode ser feita com placa metálica perfurada (detalhe na Figura 2.5-a) ou deixando uma fresta telada (detalhe na Figura 2.5-b). A abertura para

saída de ar situa-se na parte superior da edificação, feita com rufo metálico (detalhe na Figura 2.6).

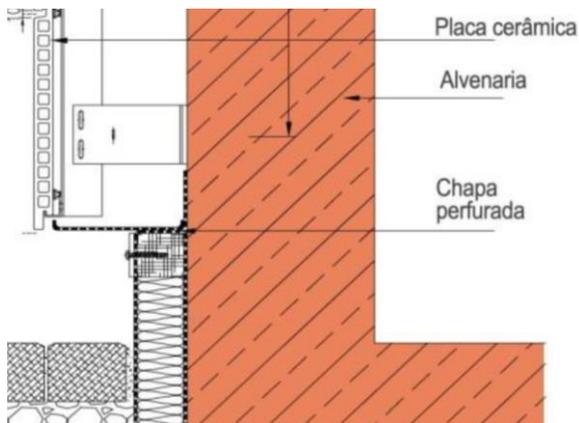


(a) Detalhe do acabamento do requadro

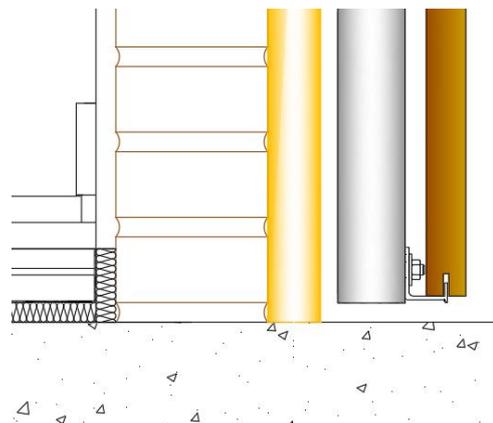


(b) Detalhe construtivo, em corte, do acabamento do requadro (Utifirve-a, 2010)

Figura 2.4 (a, b) – Detalhe do requadro das aberturas nas Fachadas Ventiladas Opacas



(a) Detalhe da entrada de ar na parte inferior com placa metálica perfurada (NBK, sd)



(b) Detalhe da entrada de ar na parte inferior, por fresta telada (Utifirve-b, 2010)

Figura 2.5 (a, b) – Detalhe da abertura para entrada de ar

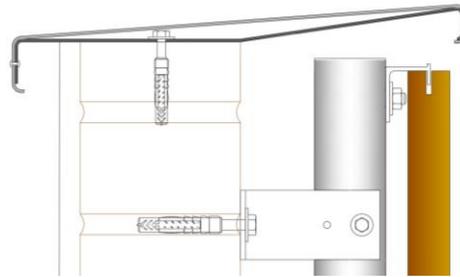


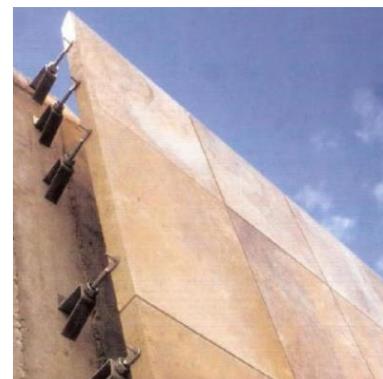
Figura 2.6 – Corte em detalhe do rufo para promover a saída de ar (Utifirve, 2010)

A instalação das Fachadas Ventiladas¹² pode ser em Sistema Perfilado ou Pontual. O sistema pontual é mais comum para fachadas em placas pétreas (granitos, mármore e limestones), já o sistema perfilado é mais utilizado em outros revestimentos (porcelanato, cerâmica, ACM).

No sistema pontual, a fixação é realizada por ancoragens pontuais, diretamente encaixadas por meio de perfurações executadas na espessura das placas, o que evita a necessidade de estrutura auxiliar de suporte. Essa condição reduz consideravelmente o custo do sistema, porém aumenta significativamente a quantidade de fixações ancoradas diretamente ao suporte, contribuindo para a possibilidade da ocorrência de colapso nas fixações, sendo necessário controle muito mais rigoroso, além de provocar redução significativa da produtividade e facilitar o imprevisto em obra. Para esse tipo de fixação é exigido projeto estrutural detalhado e reforços nos pontos de fixação, e não deve ser utilizado em placas com espessura inferior a 30mm. As Figuras 2.7-a e 2.7-b são exemplos de ancoragem em sistema pontual para placas em pedra natural (CUNHA, 2006).



(a) Peças de fixação



(b) Obra em andamento

Figura 2.7 - (a, b) – Exemplo de ancoragem pontual para pedra natural (CUNHA, 2006)

¹² Recomenda-se a impermeabilização da base ou substrato para qualquer uma das tipologias.

A instalação da fachada ventilada com sistema perfilado (Utifirve, 2012) se inicia com a demarcação dos locais dos perfis de sustentação, em seguida são fixadas Cantoneiras de Fixação na base ou substrato, para em seguida serem fixados os perfis nestas cantoneiras. Por último são parafusadas as grapas de fixação nos perfis e encaixadas as placas de revestimento, através de rasgos previamente feitos nelas, para depois ser realizado o encaixe das placas de revestimento nas grapas (Figura 2.8).

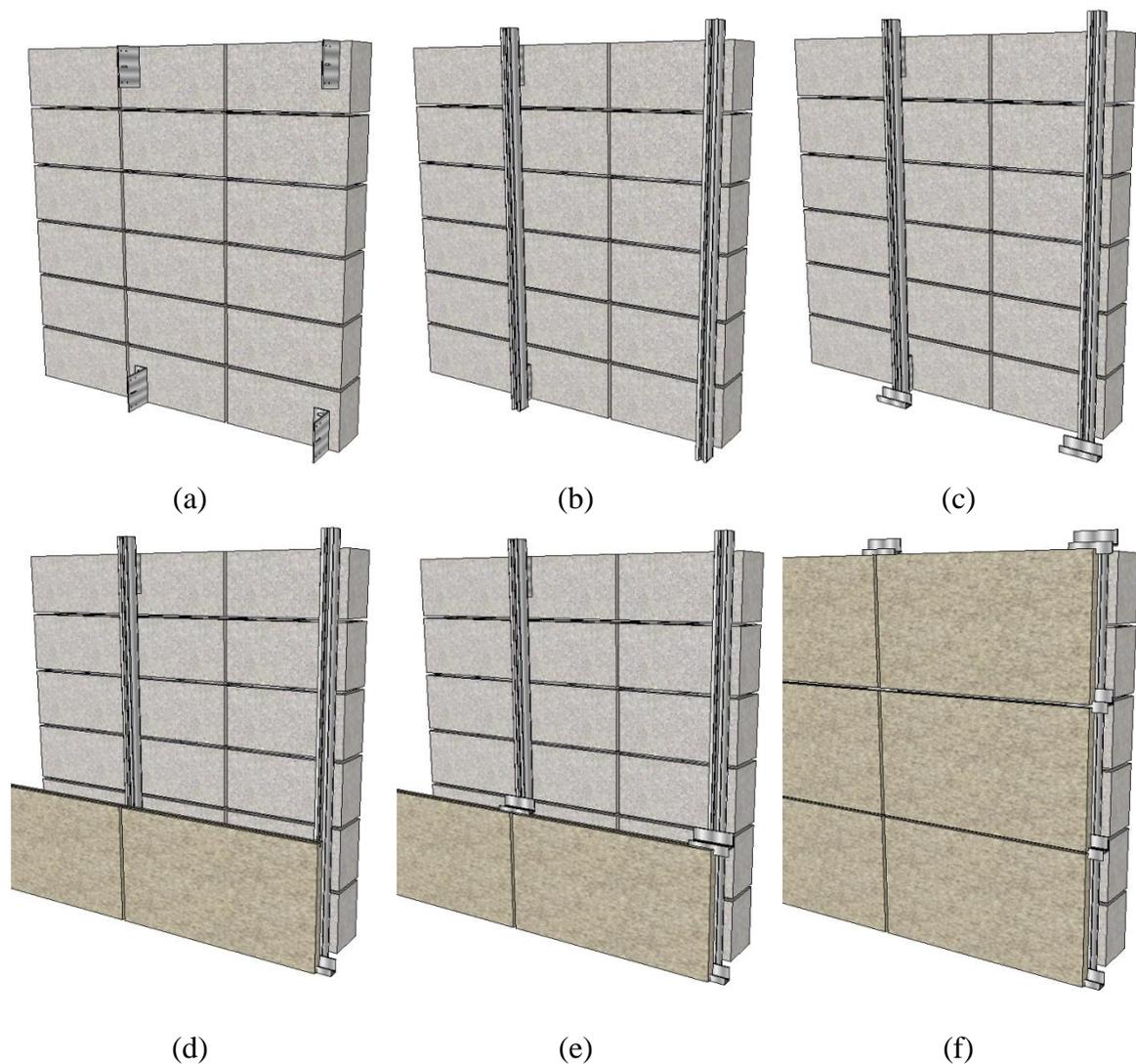


Figura 2.8 - (a, b, c, d, e, f) - Passo a passo, montagem de Fachada Ventilada

Neste item foi apresentada a diferença entre alguns tipos de fachadas de revestimentos não aderido: fachadas cortina e fachadas ventiladas. Também foi detalhado o sistema de fachada ventilada, foco desta pesquisa, para melhor compreensão da metodologia. No próximo item serão apresentados conceitos ligados à forma de quantificar energia operacional de edificações.

2.4 BIM PARA ANÁLISES DE ENERGIA OPERACIONAL E DESEMPENHO TÉRMICO

Considerações de vários autores demonstraram a atual demanda por pesquisas e investigações acerca do desempenho térmico e energético de edificações, em relação ao *design* dessas e dos materiais utilizados nas edificações. Pesquisas ainda mostram que a envoltória é o principal elemento de impacto no consumo energético da edificação, por isso a importância da análise dos materiais presentes na envoltória no que diz respeito aos seus benefícios térmicos e potencial de redução no consumo energético. O maior potencial de redução deste em uma edificação é visto nos sistemas *HVAC* (*Heat, Ventilation and Air-conditioned*), ou seja, nos sistemas de aquecimento, refrigeração e ventilação mecânica.

Na fase operacional, é possível quantificar e avaliar, durante a vida útil da edificação, seu consumo energético e desempenho térmico, através de simulações computacionais, sendo essa uma das formas indicadas pelas normativas internacionais e nacionais. Wang e Zhai (2016) afirmam que edificações consomem mais de 30% da energia gerada em todo o mundo, e é de vital importância reduzir essa porcentagem, o que leva a uma crescente demanda por simulação de energia de construção (*Building Energy Simulation - BES*) para melhorar a eficiência energética das edificações.

De acordo com Wang e Zhai (2016), ferramentas de simulação computacional têm sido aplicadas amplamente e com sucesso em projetos de edificações, otimização, construção, operação e pesquisa há décadas. Essas ferramentas são conhecidas por acelerar o processo de projeto e otimizar o desempenho de construção com custo relativamente baixo. Simulações de edificações estão presentes na fase projetual, de construção, operação e gerenciamento, tornando-se parte indispensável do setor de construção. O *design* baseado em simulação e a otimização de edificações pode ajudar a alcançar uma série de metas específicas, como redução do consumo de energia e impactos ambientais, e melhoria da qualidade do ambiente interno, abrindo assim uma nova era de *design* para arquitetos e engenheiros.

Os métodos que podem melhorar o desempenho de um edifício e, ao mesmo tempo, minimizar os impactos ambientais, atraem cada vez mais a atenção. Nos últimos anos, a *BIM* tornou-se popular para o projeto de construção sustentável, uma vez que simula um

projeto de edificação em ambiente virtualmente visível. Todas as informações relacionadas, incluindo geometria, relações espaciais, informações geográficas, quantidades e propriedades de elementos de construção, são salvas em seu modelo. (LIUA, MENG e TAM, 2015).

Atualmente, a ferramenta mais eficiente e de baixo custo é a simulação computacional, mas, há poucas décadas, ainda era dispendiosa de tempo e dinheiro e realizada com pouquíssima interação entre os profissionais. O *BIM* surge para revolucionar a forma de se trabalhar modelagem, simulação de edificações e análises de desempenho.

Azhar et al. (2011) afirmam que os ambientes tradicionais de planejamento de *design* auxiliado por computador (*CAD*) normalmente não possuem a capacidade de realizar análises de sustentabilidade nos estágios iniciais do desenvolvimento do projeto. Para avaliar com precisão o desempenho da edificação nas primeiras fases de projeto e pré-construção, é necessário acesso a um conjunto abrangente de dados sobre o *design*, materiais, contexto e sistemas hidrossanitário e elétrico de uma edificação. Uma vez que o *BIM* permite que informações multidisciplinares se sobreponham dentro de um modelo, cria-se a oportunidade para medidas de sustentabilidade serem incorporadas ao longo do processo de projeto.

Kota et al. (2014) afirmam que as ferramentas *BIM* não só auxiliam na concepção de uma edificação, mas também são capazes de manter informações não gráficas, como propriedades de materiais relacionadas aos elementos de construção, que não estão disponíveis nas ferramentas de *CAD*. Além disso, as ferramentas *BIM* auxiliam a modelar a geometria rapidamente, com alto grau de precisão e detalhes em comparação às ferramentas *CAD*. O *BIM* não é apenas utilizado para criar o modelo da edificação, mas também como um repositório de informações de construção, que pode ser recuperado para realizar análises diferentes em edificações, como as de consumo energético, luz natural, estimativa de custos e estrutural.

Nos dias atuais, as ferramentas *CAD* para modelagem e simulação já estão sendo consideradas obsoletas, e não há porque continuar utilizando-as, uma vez que existem várias opções de *softwares BIM* que trabalham de forma integrada, consomem menos tempo e são mais precisos comparativamente àquelas. De acordo com Kim et al. (2015), mais de quatrocentos *softwares* para simulação de energia de edificações, criados desde 1996, foram

listados no "*Building Energy Software Tools Directory*" fornecido pelo Departamento de Energia do Estados Unidos (U.S.DOE) em 2013. O uso predominante dessas ferramentas é na educação e na indústria, sendo *Design Builder*, *DOE-2*, *eQuest*, *Ecotect*, *Energy-10*, *Energy Plus*, *Green Building Studio*, *HEED* e *IESVE* amplamente utilizados nos Estados Unidos na indústria da construção civil.

Kota et al. (2016) afirmam que as ferramentas de Simulação de Energia de Edificações (*BES*) exigem a entrada de informações de modelagem da edificação, propriedades do material, descrição do sistema e dados do tempo para calcular a transferência dinâmica de calor por um período especificado. Na prática atual, muitos arquitetos desenvolvem os dados do projeto da edificação sob a forma de modelos digitais, como os modelos *BIM*, que possuem a geometria do edifício e as informações dos materiais necessárias para uma simulação térmica. No entanto, em muitos casos, essa informação não pode ser trocada diretamente entre as ferramentas *BIM* e *BES*. Isso pode ser um problema significativo que causa atraso no processo de estudo do desempenho da edificação.

Existem diversas ferramentas disponíveis no mercado para modelagem e para simulações de desempenho. Analisando a Tabela 2.1 é possível verificar que os *softwares* mais completos no que se refere a análises são *Green Building Studio (GBS)*, *Integrated Environmental Solutions Virtual Environmental (IESVE)* e *Design Builder Simulation (DBS)*. A base de dados do *Energy Plus*, utilizada pelo *GBS*, *IESVE* e *DBS* é suficiente para atender as normativas. Levando em consideração a usabilidade dos *softwares* analisados por Lu et al. (2017), dos três pré-selecionados (*GBS*, *IESVE* e *DBS*), somente o *GBS* pode ser utilizado na fase de *design* e na fase operacional e de manutenção, enquanto o *IESVE* e o *DBS* só podem ser utilizados na fase de *design*.

Tabela 2.1 - Tipos populares de *softwares BIM* e suas funcionalidades para análises de simulação de desempenho ambiental (adaptada de Lu et al., 2017)

<i>Software BIM</i>	Tipos de Análises ^a						Usuários ^b	Usuários ^c
	E	EC	VN	IS	A	AG		
<i>Green Building Studio</i>	√	√	√	√		√	A/D	P/OM
<i>Integrated Environmental Solution Virtual Environmental</i>	√	√	√	√		√	A/D/E/P	P
<i>Bentley Hevacomp</i>	√	√	√				D/E/C	P
<i>AECOSim</i>	√	√		√			E/C/D	P

Tabela 2.2 - Tipos populares de *softwares BIM* e suas funcionalidades para análises de simulação de desempenho ambiental (adaptada de Lu et al., 2017) (continuação)

<i>Energy Plus</i>	√	√		√	√	E/A	P
<i>HEED</i>	√	√				A/A/D/C	P
<i>Design Builder Simulation</i>	√	√	√	√		C/E/A	P
<i>eQUEST</i>	√		√	√		A/E/C	P/C/OM
<i>DOE2</i>	√		√	√		A/E/C/G	P
<i>FloVENT</i>				√		E	P
<i>ODEON Room Acoustics Software</i>					√	A/E	P
<i>TRNSYS</i>	√		√	√		A/E	P

a E de energia, EC de emissões de carbono, VN de ventilação natural, IS de iluminação natural e solar, A de acústica e AG de água

b A de arquitetos, D de *designers*, E de engenheiros, P de proprietários, C de consultores, G de governantes

c P de projeto, C de construção, OM de operação e manutenção

Kim et al. (2015) afirmam que algumas ferramentas de simulação podem ser conectadas às ferramentas de criação do *BIM* no formato de complementos, como o *IESVE* e o *Green Building Studio*, permitindo a simulação de energia dentro do ambiente *BIM*. O *GBS* é um ambiente de análise de energia nas nuvens baseado no *DOE-2.2*. Os modelos de energia são gerados a partir de modelos do *Autodesk Revit* por meio de determinados processos de preparação manual. Em seguida, a simulação é realizada em um serviço de nuvem e os resultados são relatados aos usuários. O *IESVE* possui um plug-in *Revit* que pode gerar um modelo de energia baseado em *gbXML* no próprio *software*, mas a edição do modelo de energia exportada deve ser feita na interface *IESVE*.

A partir da análise dos estudos de Lu et al. (2017), Kota et al. (2016) e Kim et al. (2015), verificou-se que poucos *softwares* permitem integração entre *BIM* e *BES*. O *IESVE* e o *DBS* necessitam que o modelo, criado em *BIM*, seja exportado para o *software* de simulação e a edição de energia seja realizada no *BES*, porém nesta ação alguns dados podem ser perdidos e haver a necessidade de reconfiguração de materiais e parâmetros do modelo, o que não ocorre com o *Green Building Studio*, pois é um ambiente de análise nas nuvens, onde todas as configurações de modelagem, materiais, energia e parâmetros climáticos são realizados no *software BIM*, da mesma empresa, *Autodesk Revit*. Por esta facilidade de trabalho e confiabilidade de resultado, os softwares *Autodesk Revit* e *Green Building Studio* foram escolhidos para o desenvolvimento desta pesquisa.

Neste item foram apresentados conceitos ligados à forma de quantificar energia operacional de edificações. No próximo item será apresentado o Mapeamento Sistemático da Literatura, realizado para conhecer o grau de aprofundamento do conhecimento e as lacunas existentes em relação ao tema proposto nesta pesquisa.

2.5 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA

Para conhecer o grau de aprofundamento do conhecimento sobre o tema fachadas ventiladas e seu desempenho termo-energético, realizou-se o levantamento dos termos mais empregados em artigos de pesquisas internacionais, com o objetivo de verificar em que posição o tema proposto se encontra na comunidade científica no mundo.

Para a aquisição desses dados, utilizou-se a técnica de Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), uma vez que a sistematicidade desse processo é essencial para resultado livre de vícios e subjetividade. O objetivo principal dessa técnica, de acordo com Arantes e Labaki (2016), é conhecer o panorama geral acerca do assunto estudado. Agostinho e Argôlo (2016) acrescentam a verificação de lacunas do conhecimento e o desenvolvimento de trabalhos associados.

O escopo de aplicação do Mapeamento Sistemático da Literatura divide-se em cinco fases: definição de palavras-chave de busca; escolha da base de dados; formulação de *string* de busca; definição dos critérios de seleção de artigos; extração da informação (Agostinho e Granja, 2016).

2.5.1 Definição de Palavras-chave de Busca

A temática deste trabalho é bem específica e é esperado que exista um número limitado de trabalhos, uma vez que trata da Energia Operacional de um único sistema construtivo, Fachada Ventilada Opaca. De acordo com Ilbañes-Puy et al. (2017), não pode ser negado que existe um número considerável de estudos relacionados a envoltórias ventiladas, especialmente focados em fachadas duplas de vidro, fachadas fotovoltaicas, chaminé solar, paredes solares, no entanto menos atenção é dada às Fachadas Ventiladas Opacas. Porém é necessário compreender que o termo fachada ventilada é utilizado para designar todos os

vários tipos mencionados pelos autores e que ainda há diferenças entre as fachadas ventiladas opacas, por isso faz-se necessária a caracterização de cada uma:

- **Fachadas Translúcidas:** possuem câmara de ar ventilada e fechamento em vidro, também conhecidas como Fachadas Duplas de Vidro (*Double Skin Facade*);
- **Fachadas Opacas:** possuem câmara de ar ventilada ou não, com juntas abertas ou seladas. Podem ser divididas da seguinte forma:
 - **Fachada Cortina:** fachada com câmara de ar fechada, juntas seladas e revestimento opaco;
 - **Fachada Ventilada de Juntas Seladas:** fachada com câmara de ar aberta na parte inferior e superior, revestimento opaco e juntas entre revestimentos seladas;
 - **Fachada Ventilada de Juntas Abertas:** fachada com câmara de ar aberta na parte inferior e superior, revestimento opaco e juntas entre revestimentos abertas.

Ainda existem as novas fachadas ventiladas opacas que possuem placas fotovoltaicas (*PV – photovoltaic*) ou *Phase Change Material (PCM)*, sem tradução para o português. A temática desta pesquisa engloba a análise de Fachadas Ventiladas em diferentes regiões climáticas e utiliza em sua metodologia a aplicação do *BIM (Building Information Modeling)* em conjunto com simulações energéticas (*BES*). Com base na temática proposta são definidas as palavras-chave, com a devida tradução para o inglês na Tabela 2.2, uma vez que o banco de dados é internacional.

Tabela 2.3– Palavras-chave utilizadas para busca em português e inglês

Palavras-chave em Português	Palavras-chave em Inglês
• Energia Operacional	• <i>Operational Energy</i>
• Consumo Energético	• <i>Energy Consumption</i>
• Desempenho Térmico	• <i>Thermal Performance</i>
• Eficiência Energética	• <i>Energy Efficiency</i>
• Fachada Ventilada	• <i>Ventilated Facade</i>
• Região climática	• <i>Climate Zone</i>
• <i>BIM</i>	• <i>BIM</i>
• Simulação Energética	• <i>Energy Simulation</i>

2.5.2 Escolha da Base de Dados

A base de dados é a plataforma utilizada para busca de artigos e textos científicos. As palavras-chave definidas são colocadas na plataforma que, ao avaliá-las, promove a localização dos temas que as circundam. Existe um consenso quanto ao uso de algumas plataformas quando a temática se volta para engenharia civil (ARANTES e LABAKI, 2016; AGOSTINHO e ARGÔLO, 2016) e elas foram utilizadas para esse Mapeamento Sistemático da Literatura: *Scopus* e *Web of Science*.

Utilizou-se o portal de buscas Periódicos Capes¹³, por ser ele um instrumento de captação de artigos e textos de diversos bancos de dados vinculado a instituições federais do Brasil para facilitar a aquisição de conhecimento por parte do meio acadêmico e científico, disponibilizados pelo governo federal brasileiro.

2.5.3 Formulação de *String* de Busca

String de busca é a configuração de como as palavras-chave serão associadas, e para isso são utilizados os operadores, que são as formas de conexão entre as palavras e definem o tipo de relação entre elas. Nesta pesquisa foi utilizado somente o Operador Booleano AND, que significa que serão encontrados artigos que tenham a primeira E a segunda palavra-chave adotada na busca. O Operador Booleano OR, onde são encontrados artigos com a primeira OU a segunda palavra chave não foi utilizado, pois nos testes realizados a maioria dos artigos encontrados não equivaliam à busca requerida, tornando-a sem a conexão necessária com a temática. Na Tabela 2.3 é apresentado o conjunto de palavras-chave utilizadas.

Tabela 2.3 – Conjunto de Palavras-chave utilizadas para busca em Português e Inglês

Conjunto de Palavras-chave em Português		Conjunto de Palavras-chave em Inglês	
Energia Operacional E Fachada Ventilada	Consumo Energético E Fachada Ventilada	<i>Operational Energy AND Ventilated Façade</i>	<i>Energy Consumption AND Ventilated Façade</i>
Desempenho Térmico E Fachada Ventilada	Eficiência Energética E Fachada Ventilada	<i>Thermal Performance AND Ventilated Façade</i>	<i>Energy Efficiency AND Ventilated Façade</i>
Energia Operacional E <i>BIM</i>	Fachada Ventilada E <i>BIM</i>	<i>Operational Energy AND BIM</i>	<i>Ventilated Façade AND BIM</i>
Fachada Ventilada E Simulação Energética	Fachada Ventilada E Regiões climáticas	<i>Ventilated Façade AND Energy simulation</i>	<i>Ventilated Façade AND Climate Zone</i>

¹³ <http://www.periodicos.capes.gov.br>

2.5.4 Definição dos Critérios de Seleção de Artigos

A partir da escolha da base de dados e da *string* de busca, ainda é necessária a aplicação de alguns filtros de busca. Definiram-se alguns parâmetros, sendo o primeiro filtro utilizado o tipo de material, artigos, para restringir a busca a esse tipo de publicação, pois o banco de dados também fornece outros textos, como dissertações, teses, livros e imagens.

O segundo filtro aplicado foi o da linguagem, “inglês e português”, para que somente artigos nesses idiomas fossem selecionados na busca, levando em consideração o domínio de linguagem da autora. O terceiro filtro aplicado foi o de data de publicação, 2010 a 2018, para que somente os artigos dos últimos oito anos fossem selecionados.

O terceiro filtro foi a base de dados “scopus” e “web of Science”. A partir destes filtros foram encontrados 613 artigos. Iniciou-se então a leitura dos títulos eliminando-se todos aqueles que não tratavam de fachada ventilada opaca (artigos de fachada dupla de vidro, fachada de *PCM*, fotovoltaicas etc). Após essa leitura, a busca restringiu-se a 84 exemplares e foi então realizada a eliminação daqueles em duplicidade, reduzindo-se a 56 artigos. Foi realizada a leitura dos seus resumos, do que resultou a redução para 25, que foram lidos na íntegra e classificados.

Classificação quanto a Temática

Cinco artigos analisam o comportamento térmico das Fachadas Ventiladas Opacas, em sua maioria com módulos *CFD* sem análise comparativa com outro tipo de fachada. Cinco artigos tratam da análise de um novo modelo de Fachada Ventilada Opaca, três artigos comparam Fachada Ventilada Opaca com o modelo de Fachada convencional do país, três artigos comparam Fachada Ventilada Opaca com Fachada Cortina, três artigos tratam da utilização do *BIM* para análises energéticas e dois artigos são revisão da literatura sobre Fachadas Ventiladas, sendo que um deles, publicado em 2017, trata da Revisão Sistemática da Literatura acerca do tema Fachada Ventilada Opaca com várias comparativas entre os estudos levantados e que substitui com êxito a revisão realizada por esta autora, porém, muitos dos artigos presentes naquela tratam de análise numérica ou experimental para validação de um modelo de avaliação de fachada ventilada.

Classificação quanto a Data de Publicação

Quanto ao ano de publicação dos artigos, a amostragem é bem diversificada, sendo dois ou três de cada ano (2010 a 2018) exceto para o ano de 2017, que conta com seis publicações.

Classificação quanto ao País De Estudo

A respeito dos países de aplicação, tendo-se excluído os artigos sobre *BIM* e revisões de literatura, restaram 20 publicações, das quais nove se referem a estudos em uma cidade da Espanha, sete, a uma cidade da Itália, um estudo em cinco regiões climáticas na Europa e outro em 12 regiões climáticas na Espanha. Nenhum estudo sobre Fachada Ventilada Opaca foi encontrado nesta revisão sistemática da literatura fora da Europa.

Classificação quanto à Metodologia Aplicada no Estudo

Os estudos foram classificados ainda quanto à metodologia aplicada: sete foram estudos experimentais com células teste, oito foram simulações em módulos *CFD* de uma célula ou uma fachada específica, seis foram numéricos e três, simulações energéticas. Nessa classificação não estão inseridos os estudos de revisão da literatura e *BIM*, e alguns estudos estão em duplicidade em numérica, experimental e simulação energética.

2.5.5 IDENTIFICAÇÃO DAS LACUNAS

O MSL promove a identificação das lacunas de conhecimento referente à temática em estudo, que é formulada a partir da análise das classificações. A partir da análise da classificação quanto à temática é possível concluir que a amostragem de estudos a respeito de fachadas ventiladas opacas é muito pequena. Ao juntar os dados da classificação por ano de publicação, esse dado fica ainda mais concreto, uma vez que cada ano tem somente cerca de duas ou três publicações desta temática e, na terceira classificação, país de estudo, todas as publicações de 2010 a 2018 estão concentradas na Europa, principalmente Espanha e Itália, demonstrando assim que estudos desse tipo de sistema construtivo em outros continentes e países se fazem necessários.

A classificação quanto ao país de estudo também demonstrou a abrangência dos estudos quanto às regiões climáticas estudadas: de 20 publicações, somente duas contemplam mais

de uma região climática, a maioria delas contempla uma única região climática, normalmente sem informar qual, e algumas poucas afirmam utilizar a classificação Köppen-Geiger. O estudo de cinco regiões climáticas na Europa não menciona a classificação utilizada, somente cita os climas avaliados (Estocolmo, Suíça – Clima Continental Úmido; Gdansk, Polônia – Clima Continental Temperado; Paris, França – Clima Oceânico Temperado; Madrid, Espanha – clima Semiárido frio; e Atenas, Grécia – Clima Mediterrâneo Quente), assim como o estudo de 12 regiões climáticas da Espanha cita uma classificação do país em forma de código (Cádiz - A3, Almeria - A4, Valencia - B3, Córdoba - B4, Oviedo - C1, Orense - C2, Granada - C3, Badajoz - C4, Vitoria - D1, Salamanca - D2, Zaragoza - D3 e Burgos - E1). Com essa análise tem-se outro *gap*, o de análises acerca das regiões climáticas brasileiras, seguindo, preferencialmente, uma classificação internacional, para que os climas analisados possam ser comparados aos de outras partes do mundo.

Com a leitura dos artigos, percebeu-se que as Fachadas Ventiladas Opacas possuem configuração construtiva na Europa diferente da utilizada no Brasil. Em todos os estudos analisados consta a aplicação de uma camada de isolante térmico junto ao substrato, normalmente lã de rocha de 5cm de espessura, no interior da câmara de ar, enquanto no Brasil o sistema é aplicado sem isolante térmico. Outra diferença encontrada é que as envoltórias convencionais européias, no geral, são compostas de paredes duplas de tijolo ou bloco de concreto com uma camada de ar ou isolante térmico, sendo o segundo normalmente poliestireno expandido. Com isso tem-se outro *gap* da necessidade de se analisar diferentes configurações de envoltórias, mais especificamente as utilizadas nas edificações brasileiras.

A última classificação da metodologia aplicada demonstra muitos estudos focados na análise do comportamento do fluxo de ar na câmara ventilada por meio de análises numéricas e simulações em módulos *CFD*, e em menor número há amostragens de análises experimentais e simulações energéticas para confirmar e comparar o desempenho energético das fachadas ventiladas em relação a outras tipologias. Pouquíssimos estudos foram realizados com metodologia *BIM* para modelagem em conjunto com sistema *BES* integrado, como o proposto nesta pesquisa, encontrando-se aí mais uma lacuna: a utilização do sistema integrado *BIM + BES* para simulações de análises energéticas.

2.5.6 PRINCIPAIS ESTUDOS PARA EMBASAMENTO DESTA PESQUISA

Os estudos internacionais analisados no Mapeamento Sistemático da Literatura, que embasaram esta pesquisa foram:

Patania et al. (2010) - analisaram três tipos de fachadas ventiladas, com simulações *CFD*, para investigar o comportamento térmico das diferentes tipologias.

Sanjuan et al. (2011) - analisaram o efeito chaminé produzido em fachadas ventiladas e a comparação do desempenho energético dessas comparativamente a fachadas cortinas em Madri, na Espanha.

Marinosci et al. (2011) - estudaram o comportamento térmico da fachada ventilada de um ambiente em altura utilizando medições em campo e simulações em ESP-r em San Mauro Pascoli, Itália, somente para o inverno.

Suárez et al. (2012) - fizeram uma análise de desempenho energético de fachadas ventiladas opacas de cerâmica com camada de isolamento térmico, comparando as temperaturas e fluxos de transferência de calor nas câmaras de ar em relação a fachadas cortinas em Madri, na Espanha, cidade com clima continental de verões quentes e invernos frios, através de técnicas *CFD*, durante o ano para as fachadas norte e sul.

Cianfrini et al. (2012) - conduziram um estudo numérico para avaliar um novo tipo de fachada ventilada mecanicamente aplicada a substratos leves que inclui um dispositivo evaporativo de refrigeração e um dispositivo de troca de calor comparativamente a um modelo tradicional de envoltória.

Giancola et al. (2012) - realizaram um estudo numérico e experimental de fachadas ventiladas reais com orientação sul em Almeria, Espanha, de clima Mediterrâneo quente, durante um ano para análise do verão e do inverno.

Marinosci, Semprini e Morini (2014) - realizaram um estudo experimental de fachadas ventiladas, com dez configurações externas diferentes, para verificar o comportamento delas durante um dia típico de verão, para o clima Mediterrâneo, em San Mauro Pascoli, na Itália.

Guillén et al. (2014) - realizaram um comparativo numérico e experimental entre fachada ventilada *lightweight* e fachada convencional dupla com isolante térmico. Foram 24hrs de experimento em Valencia, Espanha.

López e Santiago (2015) - fizeram um estudo sobre fachadas ventiladas opacas, somente no inverno, em 12 localidades e 12 regiões climáticas, na Espanha. Foi um estudo de caso que utilizou de simulações computacionais para as medições, em um cômodo de escritório comercial, sendo esse o estudo mais completo e mais próximo da proposta desta pesquisa, porém comparou fachadas ventiladas e fachadas cortinas.

Gagliano, Nocera e Aneli (2016) - fizeram uma análise do comportamento de fachadas ventiladas opacas, durante o dia típico de verão, através de simulação *CFD* para avaliar a ação dos ventos, considerando diferentes cenários de ventos (velocidade e direção) em países do sul da Europa comparando com fachadas cortinas.

Alonso et al. (2016) - fizeram um estudo comparativo entre envoltórias convencionais ao pós-guerra em Madrid (M1), uma Fachada Ventilada de Cerâmica com isolante de EPS (M2) e uma envoltória convencional com isolante EPS (M3).

Astorqui e Porrás-Amores (2017) - analisaram uma nova proposta de fachadas ventilada, com duas câmaras de ar, sendo uma regulável, em comparação a fachadas ventiladas convencionais, de uma câmara, no quesito eficiência energética de edificações, em Sevilha, na Espanha.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados conceitos e justificativas importantes para o desenvolvimento da pesquisa proposta. Inicialmente abrangeu-se o tema Eficiência Energética de Edificações, tendo sido possível compreender a importância da análise do consumo energético de edificações, de novos materiais e sistemas construtivos lançados no mercado para promover a redução, nas edificações, do consumo energético mundial.

O item seguinte tratou de Energia Operacional para compreender o índice de avaliação do consumo energético durante a fase de uso da edificação em diferentes envoltórias, convertendo os resultados obtidos nos *softwares* em energia primária para comparação de eficiência energética entre os sistemas propostos.

Posteriormente foram apresentados os conceitos envolvidos nos sistemas de envoltórias propostos: Fachada Ventilada de Granito e Fachada Aderida de Granito. Nesse item se fez a diferenciação entre Fachadas Cortinas de Fachadas Ventiladas, pois são sistemas distintos, com diferentes resultados térmicos, cujos conceitos são muitas vezes confundidos, até mesmo entre atores da construção civil e acadêmicos.

Em seguida tratou-se da forma de obtenção dos resultados necessários para as análises, destacando-se a importância de se trabalhar com sistemas computacionais integrados, como o *BIM* e *BES*, para resultados fidedignos e confiáveis.

Por fim, apresentou-se o Mapeamento Sistemático da Literatura utilizado para compreender tanto o aprofundamento do tema proposto no panorama internacional quanto as lacunas existentes para validar o tema proposto.

3. METODOLOGIA

Este capítulo visa apresentar a metodologia proposta para o alcance do objetivo principal deste trabalho, e a metodologia proposta para atingir os objetivos específicos de avaliar: o custo benefício das fachadas ventiladas opacas e o impacto energético do emprego, nelas, de diferentes revestimentos externos, de diferentes espessuras de câmaras de ar e de diferentes espessuras para entrada e saída de ar principais, em diferentes regiões climáticas.

Para a proposta do objetivo principal e o primeiro objetivo específico (custo-benefício) foram selecionadas duas tipologias de fachadas: Fachada Ventilada de Granito (FVG) e Fachada Aderida de Granito (FAG). Foram realizadas 32 (trinta e duas) simulações de desempenho energético, sendo uma simulação para cada tipologia – duas tipologias distintas, em cada cidade pré-determinada – em 16 cidades brasileiras. A metodologia proposta é apresentada na Figura 3.1.

Para atingir os objetivos específicos foram realizadas três análises paramétricas, somente no modelo de Fachada Ventilada, para analisar o efeito de diferentes cenários sobre ela. Na Análise Paramétrica 01, foram comparados três revestimentos externos¹⁴, com 27¹⁵ simulações, sendo um modelo para cada revestimento externo de fachada ventilada em nove cidades brasileiras (uma para cada região climática na classificação Köppen-Geiger). Na Análise Paramétrica 02 foram comparadas três espessuras de câmara de ar, 05, 10 e 15cm de espessura, nas nove regiões climáticas, com 27 simulações, uma para cada espessura em cada cidade. Na Análise Paramétrica 03 foram comparadas três aberturas de ar inferior e superior na fachada, de 02, 04 e 06cm, com 27 simulações, uma para cada abertura para cada cidade.

¹⁴ Para todos os revestimentos externos foi utilizada como referência a cor clara, e verificada a existência desta no mercado construtivo, de absorvidade $\alpha=0,20$.

¹⁵ Para cada uma das análises paramétricas seriam realizadas 27 simulações, porém, aproveitou-se uma simulação de cada cidade da análise principal, portanto, foram realizadas mais 18 simulações para cada cenário.

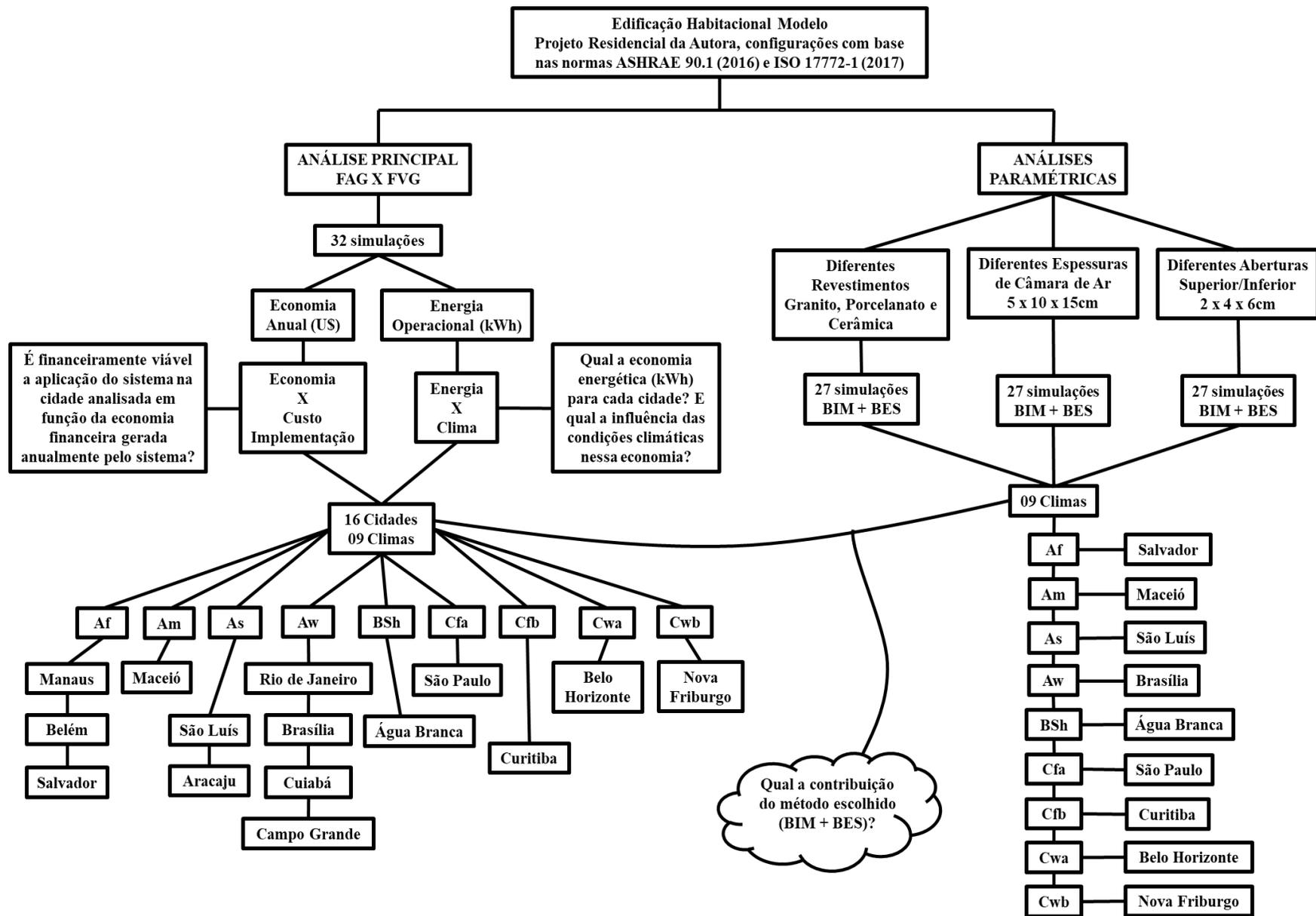


Figura 3.1 - Metodologia Proposta

¹⁶ Definição das regiões climáticas: Af (Clima Equatorial úmido o ano todo), Am (Clima Equatorial de monção), As (Clima Equatorial de verões secos), Aw (Clima Equatorial de invernos secos), BSH (Clima Árido Estepe quente), Cfa (Clima Temperado, úmido o ano todo, verões quentes), Cfb (Clima Temperado, úmido o ano todo, verões moderadamente quentes), Cwa (Clima Temperado, invernos secos e verões quentes) e Cwb (Clima Temperado, invernos secos e verões moderadamente quentes)

Nesta pesquisa foram realizadas simulações computacionais para o ano todo para quantificação da Energia Operacional (EO) proveniente do sistema de resfriamento/aquecimento. Quando a Temperatura Operativa (TO) for superior/inferior às temperaturas adotadas como *setpoints*, ou seja, acima/abaixo dos *setpoints*, o sistema de resfriamento/aquecimento é ativado para que o ambiente permaneça na TO adequada.

Para o objetivo principal, os resultados de consumo energético (energia de uso final) para um ano foram convertidos em energia primária (utilizando o fator de conversão 1,67¹⁷) e multiplicados pela Vida Útil da edificação, definida como 50 anos. Para as análises paramétricas foi realizada a comparativa anual do consumo energético.

3.1 PADRÃO DE EDIFICAÇÃO

Para elaboração do projeto arquitetônico da Edificação utilizada neste estudo, foram analisados os padrões residenciais brasileiros, utilizado pelo Custo Unitário Básico (CUB) calculado pelo Sindicato da Construção Civil Brasileiro (Sinduscon).

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2017), o CUB médio do Brasil é calculado mensalmente através do seu banco de dados, realizado a partir dos resultados dos CUB's estaduais divulgados pelos Sinduscon's de todo o país. Atualmente 21 estados brasileiros compõem a média do CUB Brasil, e o CUB de cada estado é representado pelas respectivas capitais, em sua grande maioria. O padrão de construção representativo para cada estado está descrito na Tabela 3.1, sendo o mais utilizado no Brasil o R8-N, residencial normal de oito pavimentos, que, por ser o mais usual, foi o padrão de edificação adotado para esta pesquisa.

Tabela 3.1 - Projeto padrão representativo dos estados brasileiros (adaptado CBIC, 2017)

Entidades	Projeto-padrão representativo
SINDUSCON-ES	R-médio(1)
SINDUSCON-AL	R8-N
SINDUSCON-AM	R8-N

¹⁷ Fator de Conversão de Maciel (2013), conforme explanado no Item 2.2.

Tabela 3.1 - Projeto padrão representativo dos estados brasileiros (continuação)

SINDUSCON-BA	R8-N
SINDUSCON-CE	R8-N
SINDUSCON-DF	R8-N
SINDUSCON-GO	R16-A
SINDUSCON-MA	R8-N
SINDUSCON-MG	R8-N
SINDUSCON-MS	R8-N
SINDUSCON-MT	R8-N
SINDUSCON-PA	R8-N
SINDUSCON-João Pessoa-PB	R8-N
SINDUSCON-PE	R16-N
SINDUSCON-PR	R8-N
SINDUSCON-RJ	R8-N
SINDUSCON-RO	R8-N(3)
SINDUSCON-RS	R8-N(3)
SINDUSCON-Grande Florianópolis-SC	R-médio(2)
SINDUSCON-SE	R8-N(3)
SINDUSCON-SP	R8-N

Observações:

- (1) O projeto-padrão representativo do CUB/m² do SINDUSCON-ES é uma média aritmética de todos os projetos residenciais.
- (2) O projeto-padrão representativo do CUB/m² do SINDUSCON-Grande Florianópolis-SC é uma média aritmética de todos os projetos residenciais.
- (3) Para efeito de cálculo do CUB médio Brasil, o Banco de Dados-CBIC considerou para os Estados de SE, RO e RS o projeto-padrão representativo R8-N.

3.2 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL MODELO

Para o projeto da Edificação Habitacional Modelo (EHM) foram utilizadas as diretrizes do Projeto Padrão do CUB Nacional R8-N (Residência Multifamiliar, padrão normal de oito pavimentos) que requer Garagem, Pilotis e Oito Pavimentos Tipo. Com base nessas diretrizes a autora criou o projeto base desta pesquisa.

A Garagem contém escada, elevadores, 64 vagas cobertas, depósito de lixo e instalação sanitária. O Pilotis deve conter escada, elevadores, hall de entrada, salão de festas, copa, dois banheiros, central de gás e guarita. O pavimento Tipo hall de circulação, escada, elevadores

e quatro apartamentos por andar, com três dormitórios, sendo uma suíte, sala de estar/jantar, banheiro social, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda. Para análises, a garagem em subsolo não faz parte dos cálculos de simulação, e por isso não foi incluída nos detalhamentos de projeto e no modelo tridimensional.

Na Figura 3.2 apresenta-se a Planta Baixa do pilotis com área útil de 291m², na Figura 3.3 a Planta Baixa do Pavimento Tipo com 448,30m² e, na Figura 3.4, a planta baixa da Cobertura, que não foi especificada pelo Projeto Padrão do CUB, sendo, assim, projetada conforme melhor custo benefício para este tipo de edificação. Na Figura 3.5-A e B apresenta-se o Modelo Tridimensional da Edificação.

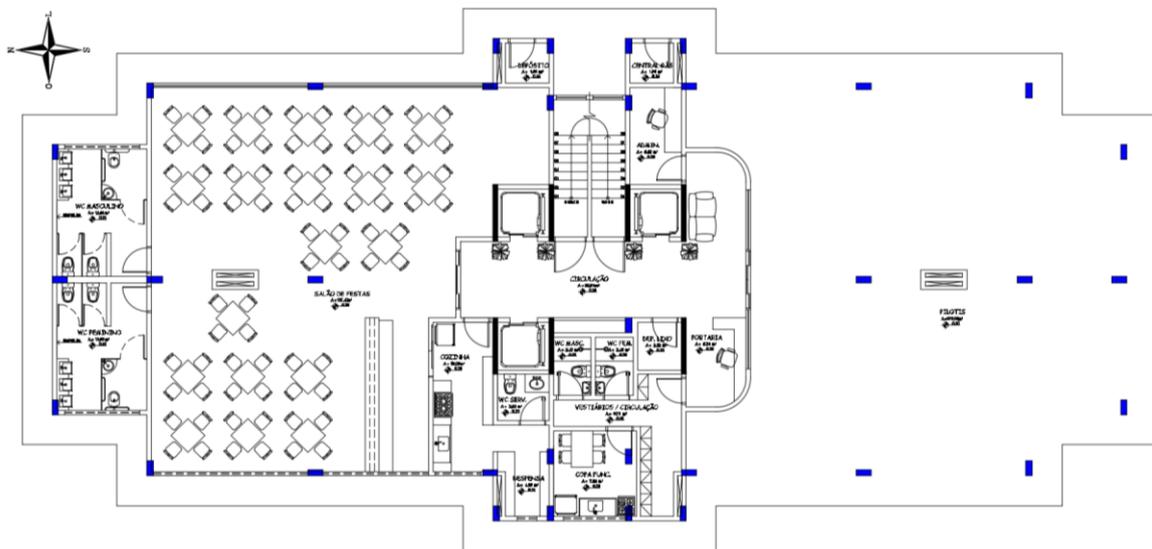


Figura 3.2 - Planta baixa do Pilotis

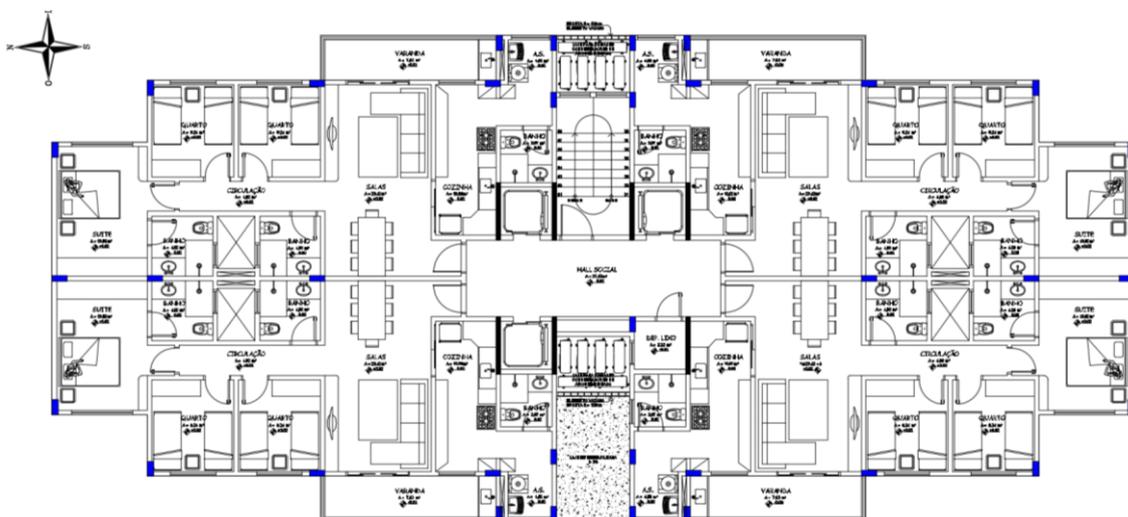


Figura 3.3 - Planta baixa do pavimento tipo

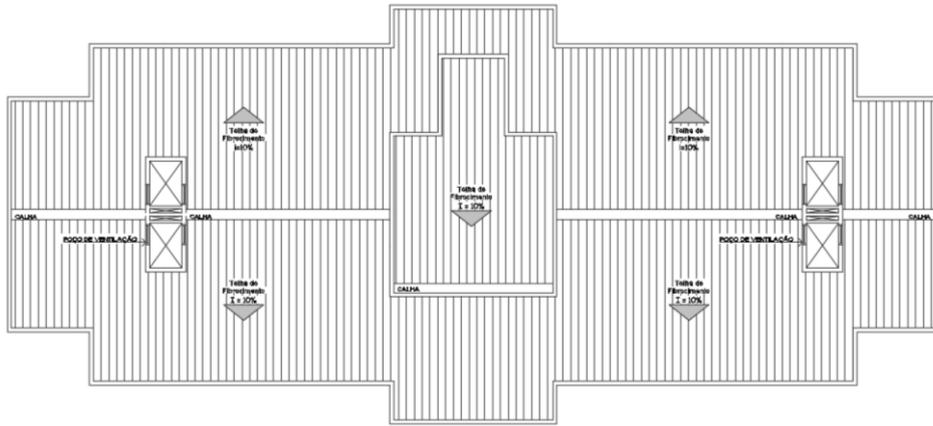


Figura 3.4 - Planta baixa da Cobertura



(A) Fachada Oeste



(B) Fachada Leste

Figura 3.5 (A e B) - Modelo Tridimensional

Cada apartamento¹⁸ tipo possui 92,08m², com três quartos (uma suíte), banho social, sala de estar e jantar conjugadas, varanda, cozinha, área e banheiro de serviço (Figura 3.6).

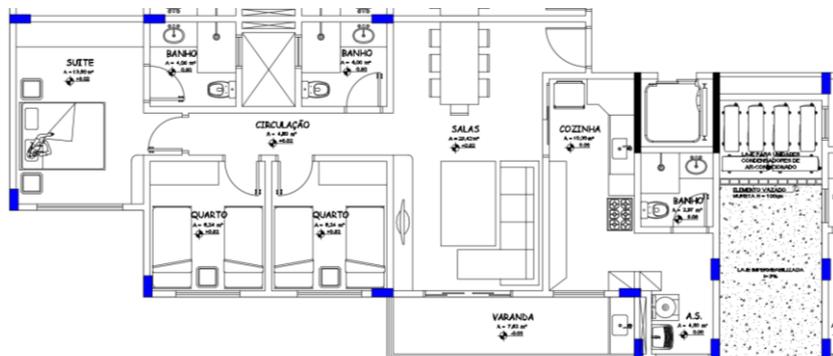


Figura 3.6 - Planta baixa do apartamento tipo

¹⁸ Os apartamentos possuem previsão para ar-condicionado nos três quartos e sala e cada bloco possui lajes em balanço para acondicionamento das máquinas condensadoras, para modelo *Split* de ar-condicionado.

3.3 TIPOLOGIAS DE FACHADAS UTILIZADAS NA PESQUISA

Neste item apresentam-se as tipologias utilizadas na Análise Principal e Análise Paramétrica 01, sendo: Fachada Ventilada de Granito, Fachada Aderida de Granito, Fachada Ventilada de Porcelanato e Fachada Ventilada de Cerâmica.

3.3.1 Fachada Ventilada de Granito (FVG)

A Fachada Ventilada de Granito desta pesquisa utiliza colchão de ar de 100 mm de espessura, e revestimento de granito com 30 mm de espessura, conforme Figura 3.7.

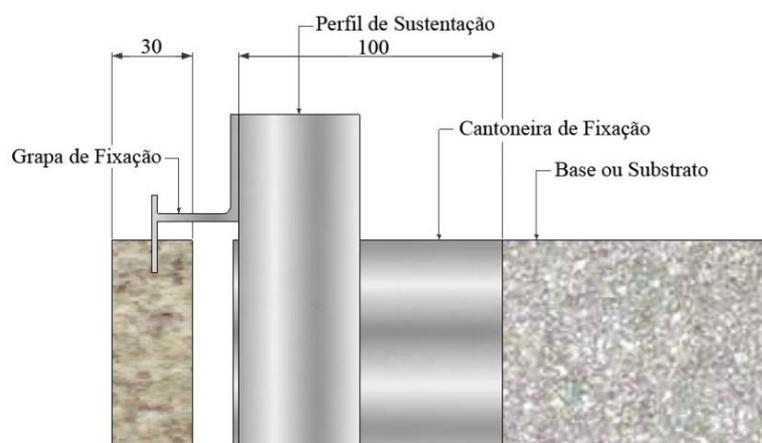


Figura 3.7 - FVG em corte esquemático – unidades em mm

3.3.2 Fachada Aderida de Granito (FAG)

Para a Fachada Aderida de Granito foi adotada a descrição de Junginger (2003): base ou substrato, chapisco, camada de regularização, camada de fixação e revestimento, este com 30 mm de espessura (Figura 3.8). A espessura padrão de granito aderido é de 20 mm, porém para fachadas ventiladas é de 30mm, e para a comparação das edificações não ter interferência nos resultados pela espessura de revestimento, adotou-se a mesma espessura utilizada em fachadas ventiladas.

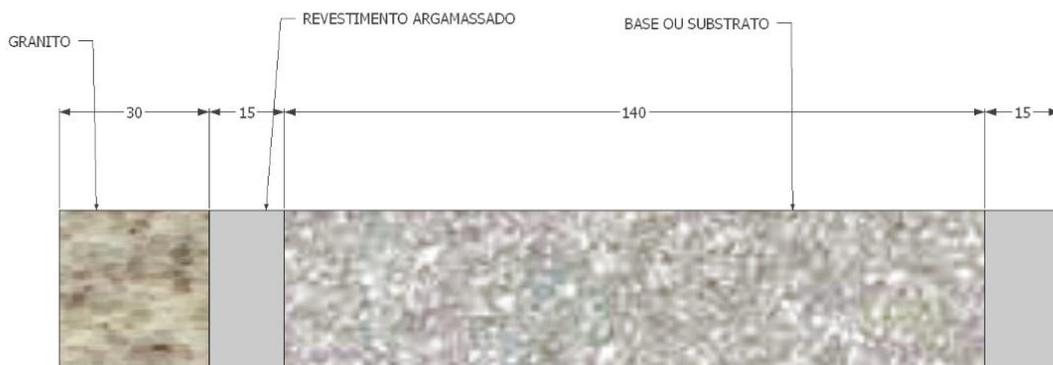


Figura 3.8 - FAG em corte esquemático – unidades em mm

3.3.3 Fachada Ventilada de Porcelanato (FVP) e Fachada Ventilada de Cerâmica (FVC)

Para a Análise Paramétrica 01, foram alterados os revestimentos externos (de granito para porcelanato e para cerâmica extrudada). Manteve-se o colchão de ar de 100 mm de espessura, sendo o revestimento porcelanato com 12 mm de espessura, conforme Figura 3.9, e o revestimento cerâmica extrudada com 30 mm de espessura, conforme Figura 3.10.

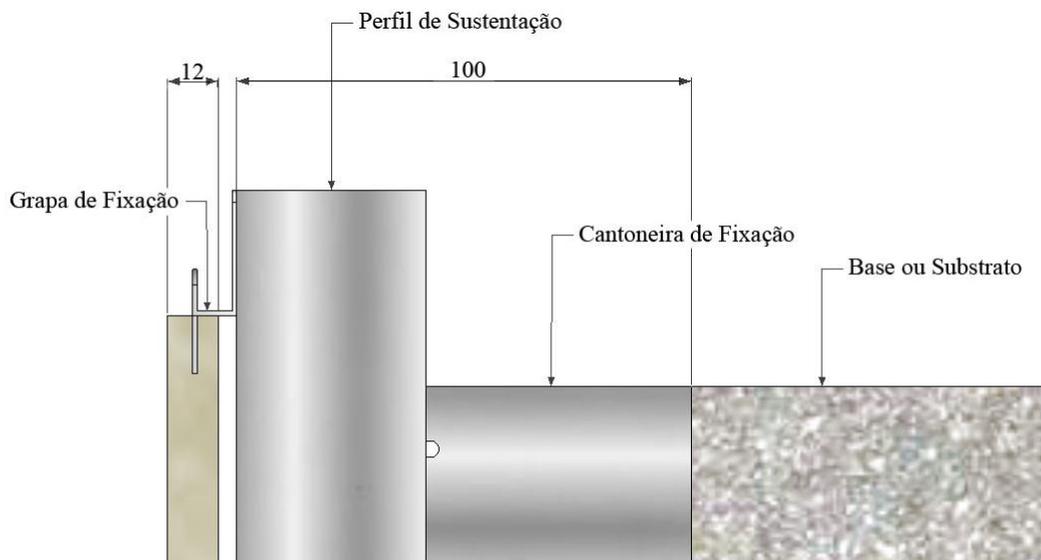


Figura 3.9 - FVP em corte esquemático – unidades em mm

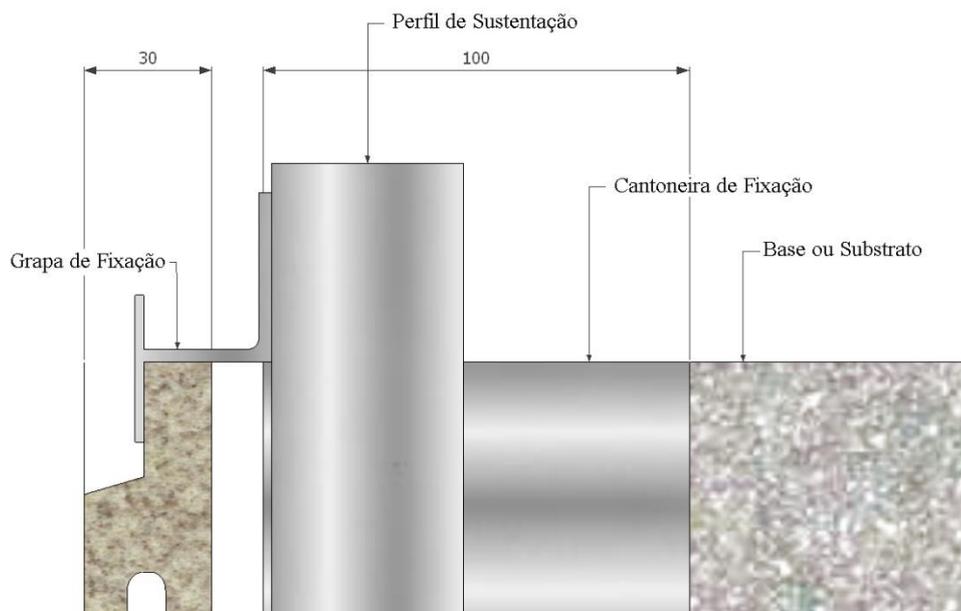


Figura 3.10 - FVC em corte esquemático – unidades em mm

3.4 CIDADES E CLIMAS ADOTADOS

Neste item foram analisados três normativas para análise e definição das cidades com base nas classificações climáticas brasileira e internacionais, sendo elas ABNT NBR 15220:2005, ASHRAE 90.1:2016 e classificação Köeppen-Geiger (2006)¹⁹.

A ABNT 15220:2005 divide o território brasileiro, que é muito extenso, em oito zonas bioclimáticas relativamente homogêneas quanto ao clima. Na Figura 3.11 é possível ver o mapeamento delas. Na Tabela 3.2 selecionaram-se as capitais brasileiras com padrão R8-N e verificou-se a classificação climática da normativa.

É possível verificar que as zonas bioclimáticas 02 e 05 não possuem capitais representativas. Definiu-se inicialmente o escopo de cidades a serem analisadas a partir dessa Tabela, incluindo-se posteriormente representantes das zonas bioclimáticas 02 e 05, mesmo não sendo capitais, para que a pesquisa ficasse mais abrangente quanto às tipologias climáticas. Após análise das três classificações climáticas, foram incluídas as cidades Água Branca, no

¹⁹ Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, **15**, 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130. Disponível em: <<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at>>.

interior de Alagoas, como representante da Zona Bioclimática 02, e Nova Friburgo, no interior do Rio de Janeiro, como representante da Zona Bioclimática 05.

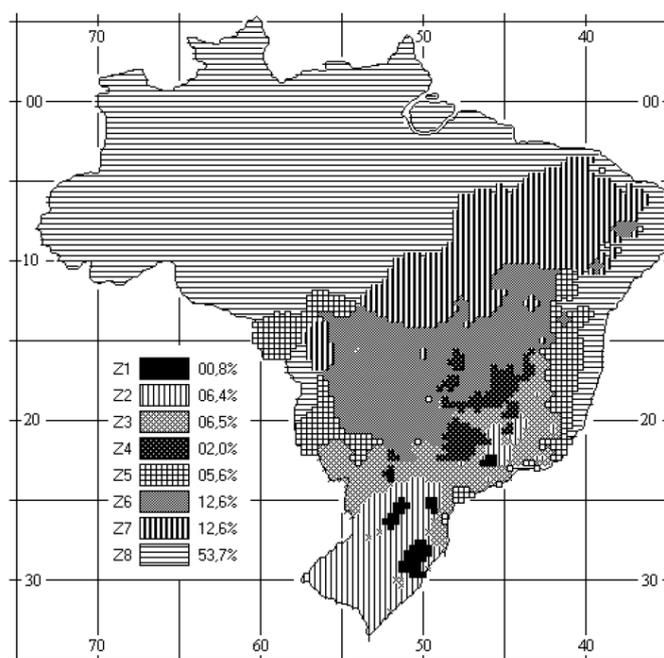


Figura 3.11 - Mapa Brasileiro de zoneamento bioclimático (ABNT NBR 15220-3:2005)

Tabela 3.2 - Zonas Bioclimáticas Brasileiras X Capitais R8-N

REGIÃO	ESTADO	CAPITAL	ZONA BIOCLIMÁTICA
Norte	Amazonas	Manaus	8
	Pará	Belém	8
Nordeste	Alagoas	Maceió	8
	Bahia	Salvador	8
	Maranhão	São Luís	8
	Sergipe	Aracaju	8
Sudeste	Minas Gerais	Belo Horizonte	3
	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	8
	São Paulo	São Paulo	3
Centro-Oeste	Distrito Federal	Brasília	4
	Mato Grosso	Cuiabá	7
	Mato Grosso do Sul	Campo Grande	6
Sul	Paraná	Curitiba	1
	Rio Grande do Sul	Porto Alegre	3

Observação:

(1) As cores representam as diferentes zonas bioclimáticas brasileiras

A ASHRAE 90.1:2016 classifica as cidades conforme zonas térmicas, com a numeração de “0” a “8” (Tabela 3.3) e com as letras: C, B e A (C: Marítimo; B: Seco e A:Úmido). Na Tabela 3.4 é apresentado um resumo da norma, com as cidades brasileiras que foram selecionadas para este trabalho, todas classificadas como úmidas (A).

Tabela 3.3 – Classificação de Zonas Térmicas (adaptado de ASHRAE 90-1:2016)

Zona Térmica	Nome
0	Extremamente quente
1	Muito quente
2	Quente
3	Levemente quente
4	Misturado
5	Levemente Frio
6	Frio
7	Muito frio
8	Subártico/ártico

Tabela 3.4 – Zonas Térmicas de Cidades Brasileiras (a partir de ASHRAE 90-1:2016)

Cidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Zona Térmica	Precipitação (mm)
Água Branca/AL	-9,25	-37,94	623	Não possui	Não possui
Aracaju/SE	-10,98	-37,07	4	0A	1489
Belém/PA	-1,38	-48,48	10	0A	2958
Belo Horizonte/MG	-19,85	-43,95	852	2A	1477
Brasília/DF	-15,87	-47,93	1.172	2A	1515
Campo Grande/MS	-20,47	-54,67	592	1A	1498
Cuiabá/MT	-15,65	-56,10	165	0A	1346
Curitiba/PR	-25,52	-49,17	935	3A	1604
Maceió/AL	-9,52	-35,78	7	1A	1627
Manaus/AM	-3,15	-59,98	92	0A	2282
Nova Friburgo/RJ	-22,28	-42,53	858	Não possui	1372
Porto Alegre/RS	-30,00	-51,18	10	2A	1353
Rio de Janeiro/RJ	-22,90	-43,17	2	1A	1154
Salvador/BA	-12,90	-38,33	8	0A	1804
São Luís/MA	-2,60	-44,23	3,66	0A	1982
São Paulo/SP	-23,62	-46,65	760	2A	1511

De acordo com a ASHRAE 90.1:2016, as zonas térmicas brasileiras vão de levemente quentes e úmidas a extremamente quentes e úmidas. De acordo com essa normativa internacional, o Brasil não possui nenhuma zona térmica fria e todo o território brasileiro é dividido somente em quatro zonas. Já a normativa brasileira ABNT NBR 15220:2005 classifica o país em oito zonas bioclimáticas. O que as normativas possuem em comum é a classificação da maior parte do território brasileiro em um zoneamento muito quente, na norma internacional 0A e na nacional 8.

A última classificação analisada foi a Köeppen-Geiger, uma classificação genérica e a mais utilizada na climatologia, ecologia e geografia, que relaciona o clima com a vegetação, a precipitação pluvial e características sazonais (AYODE, 1996). O Brasil, nesta classificação, é dividido em nove regiões climáticas: Af, Am, As, Aw, BSh, Cwa, Cwb, Cfa e Cfb. Para descobrir a classificação climática brasileira, foi utilizado sua representação cartográfica, disponibilizada para o Google Earth²⁰, um *software* de localização, disponibilizado pelo site oficial.

A classificação de Köeppen-Geiger é baseada na premissa de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é uma expressão do clima nela prevalecente, e divide as regiões climáticas de acordo com a sazonalidade, a temperatura do ar e a precipitação. Na Tabela 3.5 é apresentada a forma de classificação e na Tabela 3.6 apresenta-se o resumo das regiões climáticas brasileiras, de acordo com Köeppen-Geiger.

Tabela 3.5 – Classificação Köeppen-Geiger (adaptado de AYODE, 1996)

Clima	Precipitação	Temperatura
A: Equatorial	W: Deserto	h: árido quente
B: Árido	S: Estepe	k: árido frio
C: Temperado	f: úmido o ano todo	a: verão quente
D: Continental	s: verão seco	b: verão moderadamente quente
E: Polar	w: inverno seco	c: verão frio
	m: monção	d: inverno muito frio
		F: Polar congelante
		T: Polar Tundra

²⁰ A representação cartográfica foi obtida através do site da classificação, <<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>>, com o link para arquivo KMZ em alta resolução, Global_1986-2010_KG_5m.kmz.

Tabela 3.6 – Classificação Köeppen-Geiger para a pesquisa (adaptado de AYODE, 1996)

Clima Brasileiro	Descrição
Af	Clima Equatorial úmido o ano todo
Am	Clima Equatorial de monção
As	Clima Equatorial de verões secos
Aw	Clima Equatorial de invernos secos
BSh	Clima Árido Estepe quente
Cfa	Clima Temperado, úmido o ano todo, verões quentes
Cfb	Clima Temperado, úmido o ano todo, verões moderadamente quentes
Cwa	Clima Temperado, invernos secos e verões quentes
Cwb	Clima Temperado, invernos secos e verões moderadamente quentes

A partir da análise das cidades brasileiras, das classificações climáticas e do padrão construtivo R8-N, foi possível determinar o escopo de análise desta pesquisa, apresentado na Tabela 3.7. As cidades de Água Branca, em Alagoas, e Nova Friburgo, no Rio de Janeiro, foram selecionadas dentre as cidades existentes e classificadas nas zonas bioclimáticas 02 e 05 e que também representam as regiões climáticas BSh e Cwb, apesar de não possuírem classificação pela ASHRAE, que só trabalhou com as capitais do país. Ao final da análise, chegou-se a 16 cidades brasileiras, com pelo menos uma cidade representando cada clima de cada uma das classificações analisadas. Para análise de resultados, dar-se-á preferência pela classificação climática mais utilizada no mundo, Köeppen-Geiger, que também é a mais abrangente dentre as analisadas, embora não considere a continentalidade e altitude das cidades na classificação.

Tabela 3.7 - Cidades Representativas para escopo da pesquisa

REGIÃO	ESTADO	CAPITAL	ZB / ASHRAE / KÖEPPEN
Nordeste	Alagoas	Maceió	8 / 1A / Am
Nordeste	Alagoas	Água Branca	5 / NP/ BSh
Nordeste	Bahia	Salvador	8 / 0A / Af
Nordeste	Maranhão	São Luís	8 / 0A / As
Nordeste	Sergipe	Aracaju	8 / 0A / As
Norte	Amazonas	Manaus	8 / 0A / Af
Norte	Pará	Belém	8 / 0A / Af

Tabela 3.7 - Cidades Representativas para escopo da pesquisa (continuação)

Centro-Oeste	Distrito Federal	Brasília	4 / 2A / Aw
Centro-Oeste	Mato Grosso	Cuiabá	7 / 0A / Aw
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	Campo Grande	6 / 1A / Aw
Sudeste	Minas Gerais	Belo Horizonte	3 / 2A / Cwa
Sudeste	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	8 / 1A / Aw
Sudeste	Rio de Janeiro	Nova Friburgo	2 / NP / Cwb
Sudeste	São Paulo	São Paulo	3 / 2A / Cfa
Sul	Paraná	Curitiba	1 / 3A / Cfb
Sul	Rio Grande do Sul	Porto Alegre	3 / 2A / Cfa

Obs: ZB – Região climática; NP – não possui classificação
As Cidades Água Branca (AL) e Nova Friburgo (RJ) não são capitais brasileiras.

3.5 VIDA ÚTIL CONSIDERADA

De acordo com a ABNT NBR 15575:2013, Vida Útil (VU) é a medida de durabilidade de um edifício e suas partes, e todos os envolvidos devem atuar para que a edificação alcance sua vida útil, que poderá ser prolongada através de manutenções periódicas. Na Tabela 3.8 é possível verificar que as vedações externas, foco desta pesquisa, possuem VUP mínima maior ou igual a 40 anos e VUP superior maior ou igual a 60 anos. Foi então, adotado como VUP, o valor intermediário de 50 anos.

Tabela 3.8 - Vida Útil de Projeto Mínima e Superior para Partes da Edificação – tabela parcial (adaptada de ABNT NBR 15575-1:2013)

Parte da Edificação	Exemplos	VUP (anos)	
		Mínimo	Superior
Vedação Externa	Paredes de vedação externas, painéis de fachada, fachadas-cortina	≥ 40	≥ 60

3.6 ORIENTAÇÃO SOLAR

De acordo com Ibañez-Puy et al. (2017), geralmente, a configuração de orientação solar para as fachadas, para avaliações de edificações, deve ser a mais desfavorável possível. A norma brasileira de desempenho ABNT NBR 15575-1:2013 recomenda, no caso de análise de

desempenho térmico de edificações residenciais de múltiplos pavimentos, posicionar a orientação solar da edificação de tal forma que a unidade a ser avaliada tenha a condição mais crítica do ponto de vista térmico:

- **Verão:** janela do dormitório ou da sala voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para norte;
- **Inverno:** janela do dormitório ou da sala de estar voltada para sul e a outra parede exposta voltada para leste.

A localização do norte, conforme Figura 3.12, atende a condição mais crítica do ponto de vista térmico para o verão e parcialmente para o inverno. Por se tratar de uma edificação com apartamentos opostos, não foi possível aplicar a condição de inverno completamente, ficando com a janela do quarto para o leste e outra parede para o sul, sendo esse quarto inverso ao quarto que atende a condição crítica de verão.

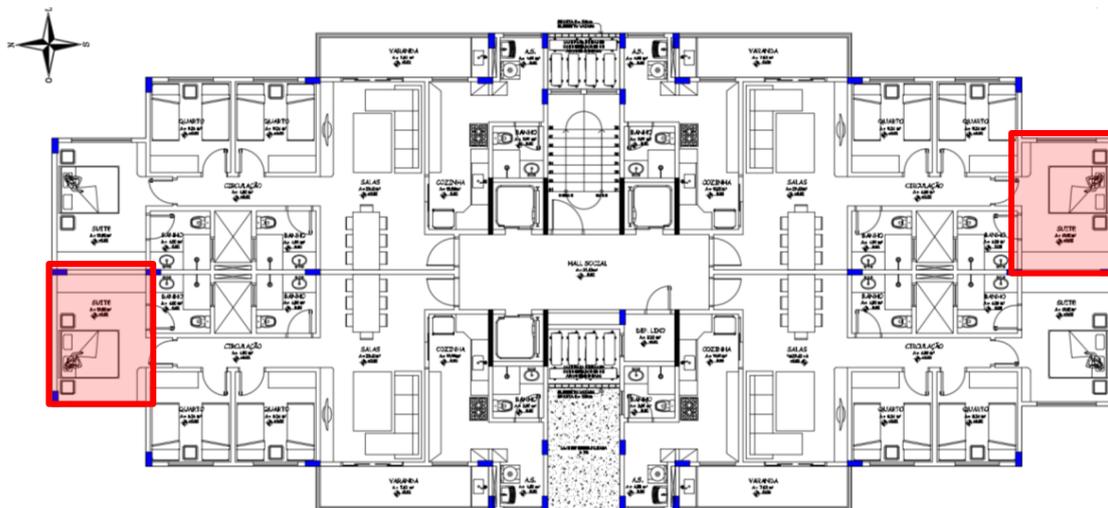


Figura 3.12 - Identificação da Orientação Solar para EHM

3.7 ESCOLHA DOS SOFTWARES

Esta pesquisa utilizou simulações computacionais para gerar os dados para análise de Energia Operacional, através de dois *softwares* que utilizam o processo *Building Information Modeling (BIM)*, sendo o *Revit*, da *Autodesk®*, para construção dos modelos dos edifícios e o *Green Building Studio (GBS)*, igualmente da *Autodesk®*, para as simulações energéticas.

De acordo com Pan, Qin e Zhao (2017), no processo de análise energética de edificações existem três abordagens básicas para a utilização de diferentes ferramentas de modelagem e simulação:

1. Abordagem convencional, na qual o usuário constrói o modelo 3D utilizando *software* de modelagem como o *AutoCAD*, sendo a geometria, a seguir, importada para o *software* de simulação de energia, como *DOE-2* e *EnergyPlus*, para que o usuário insira as informações volumétricas e dados para análise de energia (zoneamento, sistema *HVAC*, agenda de ocupação etc.) em *software* com interface baseada em texto gerando os resultados da simulação;
2. A segunda abordagem é utilizar *software* de simulação *all-in-one* (tudo em um só), como *eQuest* e *DesignBuilder*, que geralmente fornecem interface amigável com modelador 3D integrado. O usuário irá construir a geometria da edificação e definir as especificações do sistema de cada espaço de construção e elementos com visualização clara.
3. A terceira abordagem é utilizar ferramentas de modelagem de informações de construção (*BIM*), como o *Revit*, para criar a geometria da edificação e aplicar todas as configurações de análise de energia. Posteriormente estas informações serão exportadas como arquivo *gbXML* que é reconhecido pelo *software* de simulação de energia.

A segunda abordagem simplifica o processo de transferência de dados entre diferentes *softwares*, o que geralmente é propenso a erros e que ocorre na primeira abordagem, no entanto exige que o usuário reconstrua o modelo que normalmente já foi criado em outro *software* de projeto. Como as interfaces de modelagem 3D dos *softwares* de análise energética não são tão sofisticadas quanto as dos *softwares* de modelagem 3D, esse processo ainda é demorado. Diferente das duas primeiras abordagens, a terceira integra o processo de modelagem com o processo de configuração energética. Ao importar dados de análise de energia e dados geométricos do modelo *BIM*, o tempo e a incerteza são significativamente reduzidos (PAN, QIN e ZHAO, 2017).

Com base nos autores foi possível concluir, que dentre as alternativas, a terceira é a menos dispendiosa de tempo e evita retrabalhos. Ruy e Park (2016) afirmam que os dados do *BIM* podem ser integrados com *softwares* de simulação de desempenho energético, como, entre outros, o *Green Building Studio (GBS)*, *Ecotect* e *Project Vasari*, e essa integração os tornam

poderosas ferramentas de tomada de decisão para o projeto de uma edificação de alto desempenho energético.

De acordo com Sanhudo et al. (2018), uma conexão em tempo real entre ferramenta de modelagem e *software* de análise de energia deve ser estabelecida. Isso significa que as modificações no modelo *BIM* devem afetar a simulação de energia sem a necessidade de exportar/importar arquivos entre os *softwares*. Para conseguir isso, um fluxo constante de informações teria que ocorrer entre os dois programas usando um esquema de dados bem definido.

Com a escolha pelos sistemas *BIM + BES*, através das plataformas *Revit* e *Green Building Studio*, que trabalham com forte integração, há maior facilidade no processo, uma vez que é possível realizar diversas simulações para obtenção de resultados sem perda de dados no processo de exportação do arquivo. Isso ocorre, porque o *GBS* é um serviço nas nuvens e, com apenas alguns cliques dentro do *Revit*, o modelo é analisado nas nuvens sem necessidade de que o usuário exporte/importe o arquivo, pois essa parte é realizada automaticamente pelo *Revit*, o que reduz tempo, facilita o processo de simulação e limita os erros que poderiam ocorrer, como Sanhudo et al. (2018) afirma no parágrafo anterior.

3.8 CRIAÇÃO DOS MODELOS

Foram construídos dois modelos base da edificação no *software BIM (Building Information Modeling) Autodesk Revit®*, um modelo de Fachada Ventilada de Granito e o outro de Fachada Aderida de Granito. Os modelos foram construídos em etapas, pavimento tipo, cobertura e pilotis. Por fim, integraram-se todos os pavimentos em um único arquivo, com os arquivos originais se comportando como *links*. Portanto, a configuração dos materiais foi realizada em cada arquivo original, com a mesma nomenclatura para não haver confusão no modelo final. Além da configuração de materiais, foi realizada a configuração para os sistemas de aquecimento/resfriamento, do tempo de simulação (anual), do tipo de ocupação (habitação multifamiliar), dentre outras. As análises de Energia Operacional foram realizadas no serviço nas nuvens, considerado *software BES*, da mesma empresa, *Green Building Studio (GBS)*.

Uma vez criados os dois modelos base, foram criadas várias cópias para alteração de parâmetros. Para a análise principal foi alterado em cada arquivo o parâmetro localização²¹, então foram 16 arquivos para Fachada Ventilada de Granito e 16 arquivos para Fachada Aderida de Granito.

Para a Análise Paramétrica 01²² (diferentes revestimentos externos) foram alterados dois parâmetros, revestimento externo e localização, resultando em nove arquivos para cada tipo: Fachada Ventilada de Granito, Fachada Ventilada de Porcelanato e Fachada Ventilada de Cerâmica.

Para a Análise Paramétrica 02 (diferentes espessuras de câmara de ar) foram alterados os parâmetros somente da Fachada Ventilada de Granito, tendo-se trabalhado a geometria da fachada, resultando em três arquivos distintos (com 5, 10 e 15cm de câmara de ar) e cada tipologia com nove cópias, uma para cada região climática.

Para a Análise Paramétrica 03 (diferentes espessuras de abertura superior/inferior) foram alterados os parâmetros somente da Fachada Ventilada de Granito, tendo-se trabalhado a geometria da fachada, sendo três arquivos distintos (com 2, 4 e 6cm de entrada e saída de ar) e cada tipologia com nove cópias, uma para cada região climática.

Foram realizadas 32 simulações para a análise principal, somando-se 18 simulações da Análise Paramétrica 01, 18 da Análise Paramétrica 02 e 18 da Análise Paramétrica 03²³, totalizando então 86 simulações distintas, conforme Tabela 3.9.

²¹ Nos arquivos raiz – *links* e no arquivo principal, portanto quatro arquivos a serem alterados para cada simulação.

²² Nas Análises Paramétricas 01, 02 e 03 aproveitaram-se as simulações da análise principal, Fachada Ventilada de Granito para as nove zonas climáticas.

²³ A quantidade de simulações são diferentes das apresentadas na Figura 3.2 devido ao aproveitamento das simulações das Fachadas de Granito para as análises paramétricas.

Tabela 3.9 – Resumo das configurações gerais utilizadas nas simulações

Configuração	Análise Principal	Análise Paramétrica 01	Análise Paramétrica 02	Análise Paramétrica 03
Localização	16 cidades brasileiras	09 cidades brasileiras (01 de cada região climática)	09 cidades brasileiras (01 de cada região climática)	09 cidades brasileiras (01 de cada região climática)
Revestimento Externo	Granito	Granito, Porcelanato e Cerâmica	Granito	Granito
Espessura da Câmara de Ar	100 mm	100 mm	50, 100 e 150mm	100 mm
Abertura para entrada e saída de ar	2 cm	2cm	2cm	2, 4 e 6cm

3.8.1 Dados de Entrada para o *Software* - Sistemas Aquecimento/Resfriamento

Conforme ISO 17772-1:2017, para análise de consumo energético, consideram-se os *setpoint* de temperaturas conforme Tabela 3.10, com os *setpoints* de temperatura mínima 20°C para nível II²⁴ e temperatura máxima de 26°C.

Tabela 3.10 - Valores padrão para Temperaturas Operativas no inverno/verão para edificações com sistemas de resfriamento e aquecimento (adaptada de ISO 17772-1:2017)

Tipo de Edifício/espço	Categoria	Temperatura Operativa (°C)	
		Mínimo para aquecimento (inverno)	Mínimo para resfriamento (verão)
Edificações Residenciais (quartos, salas de jantar, cozinhas)	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
	IV	16,0	28,0

Observação: Assume-se 50% de umidade relativa do ar e velocidade do ar < 0,1m/s

²⁴ A norma ISO 17772-1:2017 estabelece diferentes categorias para faixas de temperatura: Categoria I refere-se a nível Alto - ocupantes com necessidades especiais (crianças, idosos, deficientes, etc.), Categoria II refere-se a nível Médio, Categoria II Moderado e Categoria IV Baixo – nível que não provocará riscos à saúde, mas reduz o conforto dos usuários. Adotou-se para esta tese a Categoria II, Médio.

Para edificações residenciais, a norma ASHRAE 90.1:2016 recomenda a utilização de um único equipamento de ar-condicionado por ambiente – de janela ou sistema *Split*, para resfriamento e/ou aquecimento. O equipamento utilizado foi o “*RESIDENTIAL 17 SEER/9.6 HSPF SPLIT HP <5.5 TON*”, dentre as opções disponibilizadas pelo *software*.

3.8.2 Dados de Entrada para o *Software* – Ventilação

Foi considerada a ventilação natural da própria edificação, proveniente das janelas e portas, conforme projeto arquitetônico, levando em consideração que a normativa ISO 17772-1:2017 recomenda valores mínimos para atender aos requisitos de qualidade do ar e saúde da zona ocupada. Na Tabela 3.11 são apresentados valores pré-definidos para ventilação em litros por pessoa e litros por m².

Tabela 3.11 - Variação de temperatura para cálculos por hora de energia para aquecimento e resfriamento (adaptada de ISO 17772-1:2017)

Categoria	Ventilação por fluxo de ar total para pessoas não adaptadas	
	Litros por pessoa	Litros por m ²
I	20	2
II	14	1,4
III	8	0,8
IV	5,5	0,55

Também foi considerada a infiltração de ar através de frestas conforme estabelece a normativa brasileira ABNT NBR 15575-1:2013 (Anexo B), com taxa de renovação do ar do ambiente de 1 ren/h. A taxa de renovação da cobertura deve ser a mesma, de 1 ren/h.

3.8.3 Dados de Entrada para o *Software* - LOCALIZAÇÃO

Para esta pesquisa, foi utilizada uma das opções padronizadas pelo *Revit*, de localização pelo *Internet Mapping Service*. As estações climáticas virtuais do *Revit* provêm dados do ano real baseados em uma média de 30 anos de dados climáticos disponíveis em formatos de arquivos como o *Test Meteorological Year (TMY2)*, que, de acordo com Carlo e Lamberts (2005),

representa uma compilação de temperaturas sem extremos de meses provenientes de diferentes anos. Para esta pesquisa foi utilizado o ano de 2017 como ano de referência. Verificou-se a localização (latitude e longitude) de cada uma das cidades comparativamente aos dados de localização da norma ASHRAE 90-1:2016 e constatou-se que a localização pelo *software* possui diferenças mínimas²⁵, que podem ser desconsideradas. Na Tabela 3.12 são apresentadas as latitudes e longitudes consideradas.

Tabela 3.12 - Localização de Cidades Brasileiras

Cidade	Latitude	Longitude
Manaus/AM	-3,12	-60,02
Belém/PA	-1,45	-48,50
Maceió/AL	-9,66	-35,73
Água Branca/AL	-9,25	-37,90
Salvador/BA	-12,98	-38,52
São Luís/MA	-2,52	-44,24
Aracaju/SE	-10,90	-37,07
Belo Horizonte/MG	-19,91	-43,93
Rio de Janeiro/RJ	-22,91	-43,17
Nova Friburgo/RJ	-22,28	-42,53
São Paulo/SP	-23,56	-46,65
Brasília/DF	-15,77	-47,92
Campo Grande/MS	-20,45	-54,61
Cuiabá/MT	-15,59	-56,09
Curitiba/PR	-25,43	-49,27
Porto Alegre/RS	-30,03	-51,22

Ao determinar a cidade, deve-se escolher uma estação meteorológica dentre as existentes. Tomou-se então como base a normativa internacional ASHRAE 90-1:2016, que considera como parâmetro a localização do aeroporto de cada cidade para fins de análises energéticas. As estações escolhidas são apresentadas no Apêndice B.

²⁵ As diferenças encontradas foram testadas por meio do aplicativo *Google Maps*, e constatou-se que a localização da cidade é mantida, sem diferenças visuais. Numericamente, são diferenças menores do que 0,10°.

3.8.4 Dados de Entrada para o Software – AGENDA DE OCUPAÇÃO

A norma ASHRAE 90.1:2016 estabelece, no Anexo G3, que os sistemas *HVAC* devem ser ativados/desativados conforme agenda de ocupação, porém não provê essa agenda. Ela é variável conforme o tipo de edifício e os *softwares* normalmente já as possuem predefinidas. A norma ISO 17772-1:2017 provê algumas sugestões, e a referente à habitação multifamiliar será utilizada nesta pesquisa, sendo apresentadas, nas Tabelas 3.13 e 3.14, agendas de ocupação pertinentes a um apartamento residencial.

Tabela 3.13 – Apart. Residencial: Parâmetros e *Setpoints* (adaptada de ISO 17772-1:2017)

	Parâmetro	Valor	Unidade
Tempo de Operação	INÍCIO, hora do dia	0	Hora
	FIM, hora do dia	24	Hora
	Intervalos	0	Horas
	Dias/semana	7	Dias
	Horas/dia	24	Horas
	Horas/ano	8760	Horas
Ganhos Térmicos Internos	Ocupantes	28,3	m ² /pessoa
	Ocupantes (total)	4,2	W/m ²
	Ocupantes (secos)	2,8	W/m ²
	Equipamento	3	W/m ²
	Iluminação (salas/dormitórios) ²⁶	8,4/6,57	W/m ²
	Produção de umidade	2,12	g/(m ² .h)
	Produção de CO ₂	0,66	l/(m ² .h)
<i>Setpoints</i>	TO mínima	20	°C
	TO máxima	26	°C
	Taxa de ventilação	0,5	l/(s.m ²)
	Taxa de ventilação para emissão de CO ₂	0,28	l/(s.m ²)
	Concentração máxima de CO ₂	500	Ppm
	Umidade relativa do ar mínima	25	%
	Umidade relativa do ar máxima	60	%
	Iluminação em espaços de trabalho	0	lx

²⁶ O parâmetro de iluminação, assim como ocupação, serve para simular o ganho de calor interno, que terá impacto no consumo energético pelos sistemas *HVAC*.

Tabela 3.14 – Agenda de Utilização (adaptada de ISO 17772-1:2017)

Cálculo Energético						
Hora	Dias de Semana			Finais de Semana		
	Ocupantes	Aparelhos	Iluminação	Ocupantes	Aparelhos	Iluminação
1	1	0,5	0	1	0,5	0
2	1	0,5	0	1	0,5	0
3	1	0,5	0	1	0,5	0
4	1	0,5	0	1	0,5	0
5	1	0,5	0	1	0,5	0
6	1	0,5	0	1	0,5	0
7	0,5	0,5	0,15	0,8	0,5	0,15
8	0,5	0,7	0,15	0,8	0,7	0,15
9	0,5	0,7	0,15	0,8	0,7	0,15
10	0,1	0,5	0,15	0,8	0,5	0,15
11	0,1	0,5	0,05	0,8	0,5	0,05
12	0,1	0,6	0,05	0,8	0,6	0,05
13	0,1	0,6	0,05	0,8	0,6	0,05
14	0,2	0,6	0,05	0,8	0,6	0,05
15	0,2	0,6	0,05	0,8	0,6	0,05
16	0,2	0,5	0,05	0,8	0,5	0,05
17	0,5	0,5	0,2	0,8	0,5	0,2
18	0,5	0,7	0,2	0,8	0,7	0,2
19	0,5	0,7	0,2	0,8	0,7	0,2
20	0,8	0,8	0,2	0,8	0,8	0,2
21	0,8	0,8	0,2	0,8	0,8	0,2
22	0,8	0,8	0,2	0,8	0,8	0,2
23	1,0	0,6	0,15	1,0	0,6	0,15
24	1,0	0,6	0,15	1,0	0,6	0,15

3.8.5 Dados de Entrada para o Software – ESPAÇOS

Foram três tipos de espaços utilizados, um para o edifício “*Multi-family*”, com as configurações conforme instruções das normativas estudadas e apresentadas na Figura 3.13, e as demais para os espaços condicionados artificialmente “*Dormitory Bedroom*” para os Quartos, apresentada na Figura 3.14, e “*Dinning Area – Family Dinning*” para as Salas, apresentada na Figura 3.15. Os valores foram modificados conforme as instruções das normativas.

Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	28.300 m ²
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	58.61 W
Lighting Load Density	7.03 W/m ²
Power Load Density	3.00 W/m ²
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Residencial Ocupação
Lighting Schedule	Residencial Iluminação
Power Schedule	Residencial Equipamentos
Outdoor Air per Person	14.00 L/s
Outdoor Air per Area	1.40 L/(s·m ²)
Air Changes per Hour	0.000000
Outdoor Air Method	by ACH
Opening Time	00:00
Closing Time	23:59
Unoccupied Cooling Set Point	26.00 °C

Figura 3.13 – Configuração espaço “Multi-family”

Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	28.300 m ²
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	45.43 W
Lighting Load Density	6.57 W/m ²
Power Load Density	3.00 W/m ²
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Residencial Ocupação
Lighting Schedule	Residencial Iluminação
Power Schedule	Residencial Equipamentos
Outdoor Air per Person	14.00 L/s
Outdoor Air per Area	1.40 L/(s·m ²)
Air Changes per Hour	1.000000
Outdoor Air Method	by ACH

Figura 3.14 – Configuração espaço “Dormitory-bedroom”

Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	28,300 m ²
Sensible Heat Gain per person	80,59 W
Latent Heat Gain per person	80,59 W
Lighting Load Density	8,40 W/m ²
Power Load Density	3,00 W/m ²
Plenum Lighting Contribution	20,0000%
Occupancy Schedule	Residencial Ocupação
Lighting Schedule	Residencial Iluminação
Power Schedule	Residencial Equipamentos
Outdoor Air per Person	14,00 L/s
Outdoor Air per Area	1,40 L/(s·m ²)
Air Changes per Hour	1,000000
Outdoor Air Method	by ACH

Figura 3.15 – Configuração espaço “Dining Area – Family Dining”

3.8.6 Modelos Estudados

Para todas as simulações foi realizado o zoneamento da edificação e configurado o sistema *HVAC* para salas e dormitórios, conforme Figura 3.16.

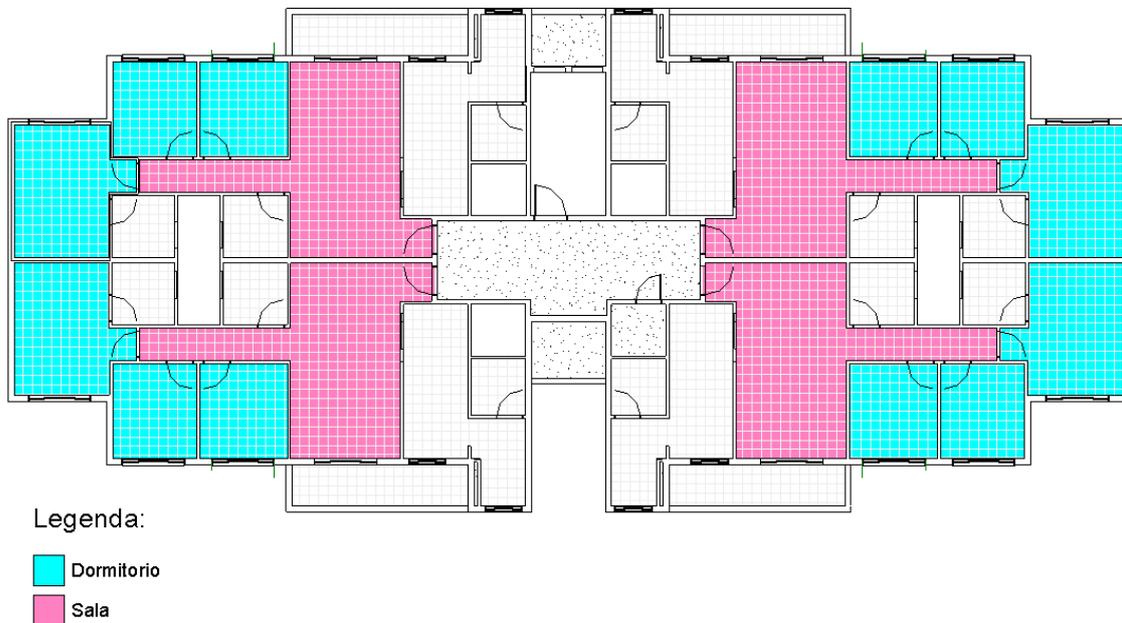


Figura 3.16 - Planta Baixa do Pavimento Tipo com Zoneamento *HVAC*

3.8.7 Dados de Entrada para o *Software* – MATERIAIS e SISTEMAS

Os materiais e componentes são descritos na Tabela 3.15, considerando o seu local de aplicação, espessura e propriedades de condutividade térmica (λ), calor específico (c) e densidade. Todos os materiais e sistemas dos modelos foram criados e configurados no *software*, sendo as propriedades dos materiais utilizadas do banco de dados do próprio, que segue a normativa ASHRAE 90.1. A configuração dos sistemas foi realizada com base em dados do mercado construtivo brasileiro. Os dados de U e CT são calculados pelo *software* e os sistemas são descritos com mais detalhes no Apêndice C.

Tabela 3.15 – Descrição dos materiais utilizados nas simulações para a EHM

Sistema	Material	Espessura (mm)	λ (W/m.k)	c (kJ/kg.k)	Densidade (kg/m ³)
Vedações Externas (FAG)	Granito	30	3,49	0,79	2880
	Emboço	15	0,72	0,84	1860
	Concreto ²⁷	20	1,0460	0,657	2300
	Camada de ar	100	0,0250	1,0035	1,20
	Concreto	20	1,0460	0,657	2300
Vedações Externas (FVG)	Concreto	20	1,0460	0,657	2300
	Camada de ar	100	0,0250	1,0035	1,20
	Concreto	20	1,0460	0,657	2300
Paredes Internas (9cm)	Gesso Cola	5	0,51	0,96	1120
	Concreto	20	1,0460	0,657	2300
	Camada de ar	50	0,0250	1,0035	1,20
	Concreto	20	1,0460	0,657	2300
	Gesso Cola	5	0,51	0,96	1120
Paredes Internas (14cm)	Gesso Cola	5	0,51	0,96	1120
	Concreto	20	1,0460	0,657	2300
	Camada de ar	100	0,0250	1,0035	1,20
	Concreto	20	1,0460	0,657	2300
	Gesso Cola	5	0,51	0,96	1120
Esquadrias de Vidro	Requadro em alumínio anodizado	--	230	0,897	2700
	Vidro comum incolor (6mm)	6	1,10	0,84	2480
Piso Internos	Porcelanato 60x60cm	10	1,60	0,77	2400
	Emboço	5	0,72	0,84	1860
	Contrapiso	50	0,21	0,84	580
Forro de Gesso	Gesso Acartonado	12	0,35	0,84	875
	Gesso Cola	3	0,51	0,96	1120
Laje de piso e entrepiso	Concreto	150	1,046	0,657	2300
Revestimento Pilares	Granito	30	3,49	0,79	2880
	Emboço	15	0,72	0,84	1860

²⁷ Os materiais Concreto + Câmara de Ar + Concreto representam o bloco de concreto.

3.8.8 Rotina de Simulação

O primeiro passo foi realizar diversos testes para verificar as simulações. Depois de obtidos os primeiros resultados fidedignos²⁸, iniciou-se a rotina de simulação.

Iniciaram-se as simulações em duas tipologias FVG e FAG, da análise principal para as 16 cidades das nove regiões climáticas, sendo elas: Belém (Af), Manaus (Af), Maceió (Am), Aracaju (As), São Luís (As), Brasília (Aw), Cuiabá (Aw), Campo Grande (Aw), Rio de Janeiro (Aw), Água Branca (BSh), Porto Alegre (Cfa), São Paulo (Cfa), Curitiba (Cfb), Belo Horizonte (Cwa) e Nova Friburgo (Cwb). São simulações anuais, que geram resultados levando em consideração o consumo energético dos sistemas *HVAC*.

A segunda etapa da pesquisa foi realizar as simulações das Análises Paramétricas, que foi iniciada com a preparação dos modelos para cada tipo de análise. Em seguida simulou-se a tipologia para as nove localidades e assim sucessivamente, tendo-se aproveitado, para não haver retrabalho, as simulações que possuíam as mesmas configurações contidas na análise principal.

3.9 FATOR DE CONVERSÃO ADOTADO

Como descrito no Item 2.2, a diferenciação entre energia primária e energia de uso final faz-se necessária uma vez que o consumo energético proveniente de aparelhos de resfriamento e ou condicionamento de ar é em energia de Uso Final, e faz-se necessária sua conversão em Energia Primária, sem a contabilização das perdas por transformação e distribuição. Nesta pesquisa foi utilizado o FC calculado por Maciel (2013) para o ano de 2012, com base no BEN 2013, pois as perdas por transformação e distribuição não demonstraram diferença significativa de 2013 a 2018, sendo considerado então, $FC = 1,67$.

²⁸ Resultados Fidedignos são resultados válidos, de acordo com o esperado para determinado clima, com todas as configurações realizadas ativas funcionando.

3.10 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Após obtenção dos resultados das simulações, eles foram planilhados em arquivo Excel e passaram por tratamento estatístico. Iniciou-se o tratamento estatístico pela ferramenta Anova (Teste F), que mostra se existe diferenças entre médias, porém a ferramenta do Teste de Tukey mostrou-se mais completa para a análise dos resultados, uma vez que além de analisar diferenças entre médias, mostra onde elas estão.

De acordo com Levin (2012), a ferramenta do Teste de Tukey é utilizada para comparar médias, mostrando onde estão as diferenças entre elas, duas a duas, ao nível de significância considerada. Se em um conjunto há cinco médias, por exemplo, a ferramenta permite comparar duas a duas de forma a detectar se são diferentes estatisticamente em relação a um nível de confiança estipulado.

O teste de Tukey é baseado no valor da Diferença Honestamente Significativa (HSD), o qual é dado pela Equação 1:

$$\text{HSD} = q_{\alpha; k; k(n-1)} \cdot \sqrt{\frac{S_{\text{Dentro}}^2}{n}} \quad \text{Eq.1}$$

Onde $q_{\alpha; k; k(n-1)}$ é a Amplitude Estudentizada do teste de Tukey com α nível de significância, com k tratamentos com n repetições ou observações, n é o número de meses analisados e

$k(n-1)$ é o erro (graus de liberdade). E o termo $S_{\text{Dentro}}^2 = \frac{s_A^2 + s_B^2 + s_C^2 + \dots + s_k^2}{k}$ é a média quadrática das variâncias dentro dos k tratamentos (LEVIN, 2012).

Para realizar os cálculos, ao nível de significância de 5% (confiabilidade de 95%), foram utilizados os valores mais próximos de um conjunto específico, sendo que para algumas cidades foram utilizados todos os meses. O valor de HSD deve ser interpretado como sendo o maior valor para que não haja diferença entre duas médias consideradas, ou seja, se a diferença de duas médias for maior que HSD, então as duas médias são diferentes estatisticamente ao nível de significância considerado. Se a diferença entre duas médias for menor que HSD, então as duas médias são iguais estatisticamente ao nível de significância considerado.

Realizou-se o Teste de Tukey na análise principal, para todas as cidades nos dois quesitos (aquecimento e resfriamento), e nas três análises paramétricas da mesma forma. Todos os testes realizados são apresentados no Apêndice D. Para exemplificação e melhor compreensão, é apresentado a seguir um cálculo da Análise Principal e um cálculo da Análise Paramétrica.

São apresentados os parâmetros e o resumo do teste de Tukey para comparar as médias de aquecimento da Fachada Aderida de Granito e Fachada Ventilada de Granito para Porto Alegre/RS na Tabela 3.16. Para calcular a média do aquecimento foram considerados três meses (maio, junho e setembro), cujos valores estão próximos e com representatividade considerada em relação à variável aquecimento. Para Porto Alegre, a diferença entre as médias é 91,67, sendo menor que o HSD com valor de 831,61; portanto as médias são iguais e devem possuir o mesmo código (a). Nesse caso, o tipo de fachada não interfere no consumo energético por aquecimento.

Tabela 3.16 – Teste de Tukey, Aquecimento FAG x FVG, Porto Alegre/RS

Parâmetros do teste de Tukey			
n	3	$q_{\alpha;gI1;gI2}$	3,93
k	2	s_{Dentro}^2	134330,6667
α	0,05	HSD	831,61
Aquecimento	Médias	Diferença	Código
FAG	2976,60	225,00	a
FVG	2751,60		a

São apresentados os parâmetros e resumo do teste de Tukey para a variável resfriamento (Tabela 3.17), para a qual foram considerados os meses de dezembro a março (quatro meses). Nesse caso, a diferença entre as médias é 2760, sendo maior do que HSD, com valor de 2613,67; portanto, as médias de resfriamento são diferentes estatisticamente e devem possuir códigos diferentes (a e b). Nesse caso, o tipo de fachada interfere no consumo energético por resfriamento.

Tabela 3.17 – Teste de Tukey, Resfriamento, FAG x FVG, Porto Alegre/RS

Parâmetros do teste de Tukey			
n	4	$q_{\alpha;gI1;gI2}$	3,46
k	2	s_{Dentro}^2	2282488,33
α	0,05	HSD	2613,67
Resfriamento	Médias	Diferença	Código
FAG	12009	2760	a
FVG	9249		b

Para as Análises Paramétricas, os cálculos estatísticos foram realizados para os dois quesitos: Aquecimento e Resfriamento, em um comparativo de três tipologias. Apresenta-se a seguir o exemplo de Água Branca, da Análise Paramétrica 01.

Na Tabela 3.18 são apresentados os parâmetros e o resumo do teste de Tukey para comparar as médias de Resfriamento das Fachadas Ventiladas de Granito, Porcelanato e Cerâmica. Para calcular a média de Água Branca foram considerados os meses de outubro a abril, que possuem maior homogeneidade entre si, e com representatividade considerada em relação à variável.

Para Água Branca, a diferença entre as médias FVG e FVP é 1001,14, sendo maior que o HSD com valor de 813,48, portanto as médias são diferentes, devendo possuir códigos diferentes (a e b). A diferença entre as médias FVG e FVC é 131,43, sendo menor que o HSD, portanto as médias são iguais e devem possuir o mesmo código (a). A diferença entre as médias FVP e FVC é 1132,57, sendo maior do que o HSD, portanto diferentes, devendo possuir códigos diferentes. Nesse caso, o tipo de revestimento interfere no consumo energético das fachadas ventiladas.

Tabela 3.18 – Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Água Branca/AL

Parâmetros do teste de Tukey					
n	7	$Q_{\alpha; g1; g2}$	4,17	α	0,050
k	3	S_{Dentro}^2	266387,92	HSD	813,48
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG	9840,86	FVG	FVP	FVC	a
FVP	10842,00	1001,14			b
FVC	9709,43	131,43	1132,57		a

3.11 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DAS FACHADAS

Foram realizados levantamentos dos custos de implantação para: Fachada Aderida de Granito, Fachada Ventilada de Granito com sistema estrutural perfilado e com sistema pontual, para cidades não litorâneas e para cidades litorâneas. Os levantamentos referem-se à edificação em estudo, tendo sido realizado o levantamento dos custos totais das fachadas.

3.11.1 Fachada Ventilada de Granito

A Fachada Ventilada de Granito é composta de subestrutura, revestimento externo (granito) e mão de obra de instalação. Com o projeto do estudo em mãos, a Eucassel Representações Ltda forneceu o orçamento da subestrutura (Tabela 3.19) para os sistemas perfilado e pontual, sendo que, para cidades litorâneas (com salinidade), o material deve ser o aço inox 316 e, para regiões não litorâneas (sem salinidade), o aço a ser utilizado é o inox 304. Foi considerada subestrutura em aço galvanizado e peças em inox, conforme orientações do fornecedor, para placas de granito 80x100cm. O frete para cada cidade, no percentual de 10% do valor total da nota fiscal, também foi considerado.

Tabela 3.19 – Valores da subestrutura para Fachadas Ventiladas de Granito

Material	Valor (por m²)
Sistema Pontual, Inox 304	R\$ 35,00
Sistema Pontual, Inox 316	R\$ 52,00
Sistema Perfilado em aço galvanizado e inox 304	R\$ 115,00
Sistema Perfilado em aço galvanizado e inox 316	R\$ 165,00

Para a mão de obra consultou-se um representante de fachadas cortina e ventilada em Brasília-DF, que forneceu o valor da mão de obra, valor este utilizado para as diferentes situações apresentadas. Os valores foram multiplicados pela metragem quadrada da edificação e somados ao frete. Os dados levantados são apresentados na Tabela 3.20.

Tabela 3.20 – Custo das Fachadas Ventiladas de Granito para diferentes subestruturas

Sistema Perfilado - Regiões Não Litorâneas (Inox 304 e perfil galvanizado)				
Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
Subestrutura	m ²	2.832,79	R\$ 115,00	R\$ 325.770,85
Mão de obra	m ²	2.832,79	R\$ 80,00	R\$ 226.623,20
Frete	m ²	2.832,79	10,00%	R\$ 55.239,41
Valor Total:				R\$ 552.394,05

Sistema Perfilado - Regiões Litorâneas (Inox 316 e perfil galvanizado)				
Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
Subestrutura	m ²	2.832,79	R\$ 165,00	R\$ 467.410,35
Mão de obra	m ²	2.832,79	R\$ 80,00	R\$ 226.623,20
Frete	m ²	2.832,79	10,00%	R\$ 69.403,36
Valor Total:				R\$ 694.033,55

Tabela 3.20 – Custo das FVG para diferentes subestruturas (continuação)

Sistema Pontual - Regiões Não litorâneas (Inox 304)				
Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
Subestrutura	m ²	2.832,79	R\$ 35,00	R\$ 99.147,65
Mão de obra	m ²	2.832,79	R\$ 80,00	R\$ 226.623,20
Frete	m ²	2.832,79	10,00%	R\$ 32.577,09
Valor Total:				R\$ 325.770,85

Sistema Pontual - Regiões Litorâneas (Inox 316)				
Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
Subestrutura	m ²	2.832,79	R\$ 52,00	R\$ 147.305,08
Mão de obra	m ²	2.832,79	R\$ 80,00	R\$ 226.623,20
Frete	m ²	2.832,79	10,00%	R\$ 37.392,83
Valor Total:				R\$ 373.928,28

Por fim, somaram-se os valores do material de revestimento (granito) e do respectivo frete, levantados nas fachadas aderidas. As cidades litorâneas deste estudo são: Manaus, Salvador, Maceió, Aracaju, São Luís e Rio de Janeiro. Os custos para as fachadas ventiladas são apresentados na Tabela 3.21 e 3.22.

Tabela 3.21 – Custo das Fachadas Ventiladas de Granito em Sistema Perfilado

Cidade/Estado	Zona Climática	Subestrutura + Mão de Obra + Frete	Granito + Frete	Custo Total
Belém/PA	Af	R\$ 694.033,55	R\$ 191.059,73	R\$ 885.093,28
Manaus/AM	Af	R\$ 552.394,05	R\$ 276.913,75	R\$ 829.307,80
Salvador/BA	Af	R\$ 694.033,55	R\$ 119.494,52	R\$ 813.528,07
Maceió/AL	Am	R\$ 694.033,55	R\$ 139.669,82	R\$ 833.703,37
Aracaju/SE	As	R\$ 694.033,55	R\$ 133.302,31	R\$ 827.335,86
São Luis/MA	As	R\$ 694.033,55	R\$ 171.403,52	R\$ 865.437,07
Brasília/DF	Aw	R\$ 552.394,05	R\$ 120.982,58	R\$ 673.376,63
Campo Grande/MS	Aw	R\$ 552.394,05	R\$ 140.811,81	R\$ 693.205,86
Cuiabá/MT	Aw	R\$ 552.394,05	R\$ 149.878,59	R\$ 702.272,64
Rio de Janeiro/RJ	Aw	R\$ 694.033,55	R\$ 92.259,60	R\$ 786.293,15
Água Branca/AL	BSh	R\$ 552.394,05	R\$ 135.274,85	R\$ 687.668,90
Porto Alegre/RS	Cfa	R\$ 552.394,05	R\$ 146.071,93	R\$ 698.465,98
São Paulo/SP	Cfa	R\$ 552.394,05	R\$ 106.794,12	R\$ 659.188,17
Curitiba/PR	Cfb	R\$ 552.394,05	R\$ 120.913,36	R\$ 673.307,41
Belo Horizonte/MG	Cwa	R\$ 552.394,05	R\$ 95.927,83	R\$ 648.321,88
Nova Friburgo/RJ	Cwb	R\$ 552.394,05	R\$ 88.868,21	R\$ 641.262,26

Tabela 3.22 – Custo das Fachadas Ventiladas de Granito em Sistema Pontual

Cidade/Estado	Zona Climática	Subestrutura + Mão de Obra + Frete	Granito + Frete	Custo Total
Belém/PA	Af	R\$ 373.928,28	R\$ 191.059,73	R\$ 564.988,01
Manaus/AM	Af	R\$ 325.770,85	R\$ 276.913,75	R\$ 602.684,60
Salvador/BA	Af	R\$ 373.928,28	R\$ 119.494,52	R\$ 493.422,80
Maceió/AL	Am	R\$ 373.928,28	R\$ 139.669,82	R\$ 513.598,10
Aracaju/SE	As	R\$ 373.928,28	R\$ 133.302,31	R\$ 507.230,59
São Luis/MA	As	R\$ 373.928,28	R\$ 171.403,52	R\$ 545.331,80
Brasília/DF	Aw	R\$ 325.770,85	R\$ 120.982,58	R\$ 446.753,43
Campo Grande/MS	Aw	R\$ 325.770,85	R\$ 140.811,81	R\$ 466.582,66
Cuiabá/MT	Aw	R\$ 325.770,85	R\$ 149.878,59	R\$ 475.649,44
Rio de Janeiro/RJ	Aw	R\$ 373.928,28	R\$ 92.259,60	R\$ 466.187,88
Água Branca/AL	BSh	R\$ 325.770,85	R\$ 135.274,85	R\$ 461.045,70
Porto Alegre/RS	Cfa	R\$ 325.770,85	R\$ 146.071,93	R\$ 471.842,78
São Paulo/SP	Cfa	R\$ 325.770,85	R\$ 106.794,12	R\$ 432.564,97
Curitiba/PR	Cfb	R\$ 325.770,85	R\$ 120.913,36	R\$ 446.684,21
Belo Horizonte/MG	Cwa	R\$ 325.770,85	R\$ 95.927,83	R\$ 421.698,68
Nova Friburgo/RJ	Cwb	R\$ 325.770,85	R\$ 88.868,21	R\$ 414.639,06

3.11.2 Fachada Aderida de Granito

A Fachada Aderida de Granito é composta de revestimento argamassado do substrato (chapisco e emboço) e sua aplicação, mais o granito aplicado. Para o levantamento dos custos do revestimento argamassado, foi realizado o levantamento das quantidades requeridas para cada insumo e mão de obra, e da mão de obra para aplicação dos insumos, para cada uma das 16 cidades. Também foram levantados os custos de cada item e aplicado BDI de 30%.

Para o levantamento desses dados foi utilizado como referência o TCPO. Na Tabela 3.23 é apresentado o levantamento detalhado para a cidade de Porto Alegre e, na Tabela 3.24, o resumo desta. O levantamento de dados das demais cidades é apresentado no Apêndice E.

Tabela 3.23 – Custo detalhado dos Insumos e Mão de Obra para FAG, Porto Alegre/RS

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	VALOR TOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 5,41	130%+30%	R\$ 161,76
AREIA	1,22	M³	R\$ 62,00	30%	R\$ 98,33
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,55	30%	R\$ 347,49
TOTAL:					R\$ 607,58

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	VALOR TOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 5,41	130%+30%	R\$ 161,76
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 62,00	30%	R\$ 98,33
CAL	122	KG	R\$ 0,60	30%	R\$ 95,16
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,55	30%	R\$ 173,75
TOTAL:					R\$ 529,00

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	VALOR TOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 6,92	130%+30%	R\$ 2,07
SERVENTE	0,1	H	R\$ 5,41	130%+30%	R\$ 1,62
TOTAL:					R\$ 3,69

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	VALOR TOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 6,92	130%+30%	R\$ 16,35
SERVENTE	0,47	H	R\$ 5,41	130%+30%	R\$ 7,60
TOTAL:					R\$ 23,95

Tabela 3.24 – Resumo Custo Insumos e Mão de Obra, Fachada Aderida, Porto Alegre/RS

Descrição	Unid	Quantidade	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 607,58	R\$ 8.760,67
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 529,00	R\$ 45.765,75
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,69	R\$ 10.641,19
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 23,95	R\$ 69.066,77
TOTAL:				R\$ 134.234,37

Em seguida, foi realizado o levantamento do quantitativo e custos das placas de granito²⁹ e do frete da cidade de Cachoeiro de Itapemirim/ES (cidade produtora de granito) para a cidade de instalação da fachada. Foram consideradas placas de granito Branco Siena, com

²⁹ Utilizou-se o tamanho 80x100cm, normalmente utilizado para as placas de fachadas ventiladas para manter o padrão e não haver distorção nos comparativos.

laterais lixadas e acabadas³⁰. Para o cálculo do frete foi considerado o transporte rodoviário³¹, com distância calculada através do aplicativo “*Goggle Maps*”. Apresentam-se os dados de material e frete para fachada aderida de granito na Tabela 3.25.

Tabela 3.25 – Custo das placas de granito e frete para Fachada Aderida de Granito

Cidade/Estado	Zona Climática	Distância Cidade Produtora (Km)	Custo frete para 1 Ton	Custo Total do Frete	Custo Granito acabado / Ton	Custo Granito acabado + frete
Belém/PA	Af	3256,00	R\$ 651,20	R\$ 112.677,14	R\$ 453,00	R\$ 191.059,73
Manaus/AM	Af	4413,00	R\$ 1.147,38	R\$ 198.531,16	R\$ 453,00	R\$ 276.913,75
Salvador/BA	Af	1188,00	R\$ 237,60	R\$ 41.111,93	R\$ 453,00	R\$ 119.494,52
Maceió/AL	Am	1771,00	R\$ 354,20	R\$ 61.287,23	R\$ 453,00	R\$ 139.669,82
Aracaju/SE	As	1587,00	R\$ 317,40	R\$ 54.919,72	R\$ 453,00	R\$ 133.302,31
São Luis/MA	As	2688,00	R\$ 537,60	R\$ 93.020,93	R\$ 453,00	R\$ 171.403,52
Brasília/DF	Aw	1231,00	R\$ 246,20	R\$ 42.599,99	R\$ 453,00	R\$ 120.982,58
Campo Grande/MS	Aw	1804,00	R\$ 360,80	R\$ 62.429,22	R\$ 453,00	R\$ 140.811,81
Cuiabá/MT	Aw	2066,00	R\$ 413,20	R\$ 71.496,00	R\$ 453,00	R\$ 149.878,59
Rio de Janeiro/RJ	Aw	401,00	R\$ 80,20	R\$ 13.877,01	R\$ 453,00	R\$ 92.259,60
Água Branca/AL	BSh	1644,00	R\$ 328,80	R\$ 56.892,26	R\$ 453,00	R\$ 135.274,85
Porto Alegre/RS	Cfa	1956,00	R\$ 391,20	R\$ 67.689,34	R\$ 453,00	R\$ 146.071,93
São Paulo/SP	Cfa	821,00	R\$ 164,20	R\$ 28.411,53	R\$ 453,00	R\$ 106.794,12
Curitiba/PR	Cfb	1229,00	R\$ 245,80	R\$ 42.530,77	R\$ 453,00	R\$ 120.913,36
Belo Horizonte/MG	Cwa	507,00	R\$ 101,40	R\$ 17.545,24	R\$ 453,00	R\$ 95.927,83
Nova Friburgo/RJ	Cwb	303,00	R\$ 60,60	R\$ 10.485,62	R\$ 453,00	R\$ 88.868,21

Obs: Cada placa tem área média de 5,50 m², com peso de 60,00kg/m². Extraindo para a área das fachadas da edificação em estudo, tem-se peso total de 173,03 toneladas.

Para finalizar o levantamento dos custos das fachadas aderidas, foram somados os custos para o revestimento argamassado (insumos + mão de obra) com os do granito (placas de granito + frete), chegando ao valor total para cada cidade estudada (Tabela 3.26).

Tabela 3.26 – Resumo custos Fachada Aderida de Granito para cada cidade do estudo

Cidade/Estado	Zona Climática	Custo Granito acabado + frete	Custo Insumos e Mão de Obra	Custo Total
Belém/PA	Af	R\$ 191.059,73	R\$ 124.967,31	R\$ 316.027,04
Manaus/AM	Af	R\$ 276.913,75	R\$ 138.828,39	R\$ 415.742,14
Salvador/BA	Af	R\$ 119.494,52	R\$ 137.957,49	R\$ 257.452,00
Maceió/AL	Am	R\$ 139.669,82	R\$ 123.503,07	R\$ 263.172,88
Aracaju/SE	As	R\$ 133.302,31	R\$ 128.289,15	R\$ 261.591,46

³⁰ Custo da placa R\$ 453,64 por metro quadrado.

³¹ Para o frete para a cidade de Manaus foi acrescido 30% devido ao modo fluvial a partir de Porto Velho/RO.

Tabela 3.26 – Resumo custos FAG para cada cidade do estudo (continuação)

São Luis/MA	As	R\$ 171.403,52	R\$ 119.428,41	R\$ 290.831,93
Brasília/DF	Aw	R\$ 120.982,58	R\$ 134.245,40	R\$ 255.227,98
Campo Grande/MS	Aw	R\$ 140.811,81	R\$ 118.141,81	R\$ 258.953,63
Cuiabá/MT	Aw	R\$ 149.878,59	R\$ 125.765,11	R\$ 275.643,70
Rio de Janeiro/RJ	Aw	R\$ 92.259,60	R\$ 157.584,70	R\$ 249.844,30
Água Branca/AL	BSh	R\$ 135.274,85	R\$ 126.582,66	R\$ 261.857,52
Porto Alegre/RS	Cfa	R\$ 146.071,93	R\$ 134.234,37	R\$ 280.306,29
São Paulo/SP	Cfa	R\$ 106.794,12	R\$ 143.333,30	R\$ 250.127,42
Curitiba/PR	Cfb	R\$ 120.913,36	R\$ 134.975,94	R\$ 255.889,30
Belo Horizonte/MG	Cwa	R\$ 95.927,83	R\$ 125.638,51	R\$ 221.566,34
Nova Friburgo/RJ	Cwb	R\$ 88.868,21	R\$ 134.215,34	R\$ 223.083,54

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste item serão apresentados os resultados numéricos de consumo energético, energia operacional e custos energéticos para a Análise Principal e, em seguida, os resultados de consumo energético para as Análises Paramétricas. No Item 5, “Análise de Resultados”, os dados apresentados nesse capítulo serão discutidos.

4.1 DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO

O *Green Building Studio* provê resultados de consumo energético em kWh, MJ e KBtu, bastando escolher a forma. Neste item apresentam-se os resultados de consumo em kWh e kWh/m². Na Tabela 4.1 apresenta-se o consumo energético da Fachada Ventilada de Granito e, na Tabela 4.2, o consumo energético da Fachada Aderida de Granito.

Tabela 4.1 - Consumo energético anual para Fachada Ventilada de Granito

Cidade	Região Climática	Consumo Aquecimento	Consumo Resfriamento	Consumo Total	Consumo Total p/ m²
Belém/PA	Af	0	156858	156858	64,21
Manaus/AM	Af	0	127602	127602	52,23
Salvador/BA	Af	0	141783	141783	58,04
Maceió/AL	Am	0	141857	141857	58,07
Aracaju/SE	As	0	138370	138370	56,64
São Luís/MA	As	0	153518	153518	62,84
Brasília/DF	Aw	4518	27030	31548	12,91
Campo Grande/MS	Aw	1665	94967	96632	39,55
Cuiabá/MT	Aw	109	125038	125147	51,23
Rio de Janeiro/RJ	Aw	0	115135	115135	47,13
Água Branca/AL	BSh	0	96121	96121	39,35
Porto Alegre/RS	Cfa	14331	52971	67302	27,55
São Paulo/SP	Cfa	6394	45912	52306	21,41
Curitiba/PR	Cfb	31539	17837	49376	20,21
Belo Horizonte/MG	Cwa	3163	56421	59584	24,39
Nova Friburgo/RJ	Cwb	21734	21036	42770	17,51

Tabela 4.2 - Consumo energético anual para Fachada Aderida de Granito (kWh)

Cidade	Região Climática	Consumo Aquecimento	Consumo Resfriamento	Consumo Total	Consumo Total p/ m²
Belém/PA	Af	0	184319	184319	75,45
Manaus/AM	Af	0	148164	148164	60,65
Salvador/BA	Af	0	166554	166554	68,18
Maceió/AL	Am	0	167051	167051	68,38
Aracaju/SE	As	0	161131	161131	65,96
São Luís/MA	As	0	191087	191087	78,22
Brasília/DF	Aw	5172	49851	55023	22,52
Campo Grande/MS	Aw	1987	113472	115459	47,26
Cuiabá/MT	Aw	205	146851	147056	60,19
Rio de Janeiro/RJ	Aw	0	133901	133901	54,81
Água Branca/AL	BSh	0	117064	117064	47,92
Porto Alegre/RS	Cfa	15380	68692	84072	34,41
São Paulo/SP	Cfa	6682	60013	66695	27,30
Curitiba/PR	Cfb	29102	27303	56405	23,09
Belo Horizonte/MG	Cwa	3185	73992	77177	31,59
Nova Friburgo/RJ	Cwb	19447	31588	51035	20,89

4.2 DADOS DE ENERGIA OPERACIONAL

Neste item apresentam-se os resultados de consumo energético pela vida útil da edificação (50 anos), e convertem-se os dados para energia primária (FC=1,67) apresentado no Item 3.9. Nas Tabelas 4.3 e 4.4 apresentam-se os resultados durante a vida útil (kWh/m²) e, nas Tabelas 4.4 e 4.5 os resultados em energia primária (kWh/m²).

Tabela 4.3 - Consumo energético, Vida Útil, Fachada Ventilada de Granito p/ m² (kWh/m²)

Cidade	Região Climática	Consumo Aquecimento	Consumo Resfriamento	Consumo Total
Belém/PA	Af	0,00	3210,36	3210,36
Manaus/AM	Af	0,00	2611,58	2611,58
Salvador/BA	Af	0,00	2901,82	2901,82
Maceió/AL	Am	0,00	2903,34	2903,34
Aracaju/SE	As	0,00	2831,97	2831,97

Tabela 4.3 - Consumo energético, Vida Útil, FVG p/ m² (kWh/m²) (continuação)

São Luís/MA	As	0,00	3142,00	3142,00
Brasília/DF	Aw	92,47	553,21	645,68
Campo Grande/MS	Aw	34,08	1943,66	1977,73
Cuiabá/MT	Aw	2,23	2559,11	2561,34
Rio de Janeiro/RJ	Aw	0,00	2356,43	2356,43
Água Branca/AL	BSh	0,00	1967,27	1967,27
Porto Alegre/RS	Cfa	293,31	1084,14	1377,45
São Paulo/SP	Cfa	130,86	939,66	1070,53
Curitiba/PR	Cfb	645,50	365,06	1010,56
Belo Horizonte/MG	Cwa	64,74	1154,75	1219,48
Nova Friburgo/RJ	Cwb	444,82	430,54	875,36

Tabela 4.4 - Consumo energético, Vida Útil, Fachada Aderida de Granito p/ m² (kWh/m²)

Cidade	Região Climática	Consumo Aquecimento	Consumo Resfriamento	Consumo Total
Belém/PA	Af	0,00	3772,39	3772,39
Manaus/AM	Af	0,00	3032,42	3032,42
Salvador/BA	Af	0,00	3408,80	3408,80
Maceió/AL	Am	0,00	3418,97	3418,97
Aracaju/SE	As	0,00	3297,81	3297,81
São Luís/MA	As	0,00	3910,91	3910,91
Brasília/DF	Aw	105,85	1020,28	1126,14
Campo Grande/MS	Aw	40,67	2322,39	2363,06
Cuiabá/MT	Aw	4,20	3005,55	3009,74
Rio de Janeiro/RJ	Aw	0,00	2740,50	2740,50
Água Branca/AL	BSh	0,00	2395,91	2395,91
Porto Alegre/RS	Cfa	314,78	1405,89	1720,67
São Paulo/SP	Cfa	136,76	1228,26	1365,02
Curitiba/PR	Cfb	595,62	558,80	1154,42
Belo Horizonte/MG	Cwa	65,19	1514,37	1579,55
Nova Friburgo/RJ	Cwb	398,01	646,50	1044,51

Tabela 4.5 - Consumo energético, Vida Útil, FVG por m², em Energia Primária (kWh/m²)

Cidade	Região Climática	Consumo Aquecimento	Consumo Resfriamento	Consumo Total
Belém/PA	Af	0,00	5361,29	5361,29
Manaus/AM	Af	0,00	4361,35	4361,35
Salvador/BA	Af	0,00	4846,04	4846,04
Maceió/AL	Am	0,00	4848,57	4848,57
Aracaju/SE	As	0,00	4729,39	4729,39
São Luis/MA	As	0,00	5247,14	5247,14
Brasília/DF	Aw	154,42	923,87	1078,29
Campo Grande/MS	Aw	56,91	3245,90	3302,81
Cuiabá/MT	Aw	3,73	4273,71	4277,44
Rio de Janeiro/RJ	Aw	0,00	3935,23	3935,23
Água Branca/AL	BSh	0,00	3285,35	3285,35
Porto Alegre/RS	Cfa	489,82	1810,51	2300,33
São Paulo/SP	Cfa	218,54	1569,24	1787,78
Curitiba/PR	Cfb	1077,98	609,66	1687,64
Belo Horizonte/MG	Cwa	108,11	1928,43	2036,54
Nova Friburgo/RJ	Cwb	742,85	719,00	1461,85

Tabela 4.6 - Consumo energético, Vida Útil, FAG por m², em Energia Primária (kWh/m²)

Cidade	Região Climática	Consumo Aquecimento	Consumo Resfriamento	Consumo Total
Belém/PA	Af	0,00	6299,89	6299,89
Manaus/AM	Af	0,00	5064,14	5064,14
Salvador/BA	Af	0,00	5692,70	5692,70
Maceió/AL	Am	0,00	5709,68	5709,68
Aracaju/SE	As	0,00	5507,34	5507,34
São Luis/MA	As	0,00	6531,22	6531,22
Brasília/DF	Aw	176,78	1703,87	1880,65
Campo Grande/MS	Aw	67,91	3878,39	3946,31
Cuiabá/MT	Aw	7,01	5019,26	5026,27
Rio de Janeiro/RJ	Aw	0,00	4576,64	4576,64
Água Branca/AL	BSh	0,00	4001,16	4001,16
Porto Alegre/RS	Cfa	525,68	2347,84	2873,52
São Paulo/SP	Cfa	228,39	2051,20	2279,59
Curitiba/PR	Cfb	994,69	933,20	1927,88
Belo Horizonte/MG	Cwa	108,86	2528,99	2637,85
Nova Friburgo/RJ	Cwb	664,68	1079,66	1744,34

4.3 DADOS DE CUSTOS ENERGÉTICOS

Neste item apresentam-se os dados de custos energéticos para Fachadas Ventiladas de Granito e Fachadas Aderidas de Granito, assim como a diferença entre esses custos energéticos, chegando-se ao resultado do benefício financeiro apresentado pelas fachadas ventiladas em relação às aderidas. O *Green Building Studio* considera US\$ 0,12 cada kWh. Apresenta-se nas Tabelas 4.7 o custo energético em um ano, para Fachada Ventilada de Granito (FVG), para Fachada Aderida de Granito (FAG), e a diferença entre os custos, resultando no benefício financeiro alcançado.

Tabela 4.7 – Custo Energético e Benefício financeiro das FVG em relação às FAG (US\$)

Cidade	Região Climática	Custo FVG anual	Custo FAG anual	Benefício Financeiro
Belém/PA	Af	\$21.971,06	\$25.229,80	\$3.258,74
Manaus/AM	Af	\$18.465,93	\$20.891,46	\$2.425,53
Salvador/BA	Af	\$20.123,92	\$23.098,28	\$2.974,36
Maceió/AL	Am	\$20.174,75	\$23.157,81	\$2.983,06
Aracaju/SE	As	\$19.757,01	\$22.447,38	\$2.690,37
São Luís/MA	As	\$22.571,15	\$26.042,02	\$3.470,87
Brasília/DF	Aw	\$7.833,28	\$9.714,38	\$1.881,10
Campo Grande/MS	Aw	\$14.756,23	\$16.966,77	\$2.210,54
Cuiabá/MT	Aw	\$18.174,60	\$20.758,73	\$2.584,13
Rio de Janeiro/RJ	Aw	\$16.973,97	\$19.179,86	\$2.205,89
Água Branca/AL	BSh	\$14.706,00	\$17.159,50	\$2.453,50
Porto Alegre/RS	Cfa	\$11.238,12	\$13.200,32	\$1.962,20
São Paulo/SP	Cfa	\$9.448,42	\$11.115,28	\$1.666,86
Curitiba/PR	Cfb	\$9.096,42	\$9.880,28	\$783,86
Belo Horizonte/MG	Cwa	\$10.312,18	\$12.373,08	\$2.060,90
Nova Friburgo/RJ	Cwb	\$8.295,47	\$9.235,83	\$940,36

4.3.1 Tempo de retorno do Investimento

Para verificar o tempo de retorno do investimento foi necessário calcular a diferença entre os custos da implantação da fachada ventilada (sistema perfilado e pontual) e da fachada aderida. Em seguida, foi feita a conversão da diferença encontrada para implantação do

sistema de reais (R\$) para dólares (US\$), considerando o valor do dólar de R\$ 3,72, cotação realizada em 29/05/2018. Na Tabela 4.8 apresentam-se os custos totais para fachada ventilada - sistema perfilado, fachada ventilada – sistema pontual e fachada aderida (provenientes das Tabelas 3.21, 3.22 e 3.26 em dólares), assim como a diferença de custo da Fachada Ventilada de Granito – Sistema Perfilado e Fachada Ventilada de Granito – Sistema Pontual em relação à Fachada Aderida de Granito.

Tabela 4.8 – Custo Energético das FVG em relação às FAG (US\$)

Cidade	Região Climática	Implantação FVG Perfilado	Implantação FVG Pontual	Implantação FAG	Diferença FVG Perfilado X FAG	Diferença FVG Pontual X FAG
Belém/PA	Af	\$237.928,30	\$151.878,50	\$84.953,50	\$152.974,80	\$66.924,99
Manaus/AM	Af	\$222.932,20	\$162.011,99	\$111.758,64	\$111.173,56	\$50.253,35
Salvador/BA	Af	\$218.690,34	\$132.640,54	\$69.207,53	\$149.482,81	\$63.433,01
Maceió/AL	Am	\$224.113,81	\$138.064,00	\$70.745,40	\$153.368,41	\$67.318,61
Aracaju/SE	As	\$222.402,11	\$136.352,31	\$70.320,28	\$152.081,83	\$66.032,02
São Luis/MA	As	\$232.644,37	\$146.594,57	\$78.180,63	\$154.463,75	\$68.413,94
Brasília/DF	Aw	\$181.015,22	\$120.095,01	\$68.609,67	\$112.405,55	\$51.485,34
Campo Grande/MS	Aw	\$186.345,66	\$125.425,45	\$69.611,19	\$116.734,47	\$55.814,26
Cuiabá/MT	Aw	\$188.782,97	\$127.862,75	\$74.097,77	\$114.685,20	\$53.764,98
Rio de Janeiro/RJ	Aw	\$211.369,13	\$125.319,32	\$67.162,45	\$144.206,68	\$58.156,88
Água Branca/AL	BSh	\$184.857,23	\$123.937,02	\$70.391,81	\$114.465,43	\$53.545,21
Porto Alegre/RS	Cfa	\$187.759,67	\$126.839,46	\$75.351,15	\$112.408,52	\$51.488,30
São Paulo/SP	Cfa	\$177.201,12	\$116.280,90	\$67.238,55	\$109.962,57	\$49.042,35
Curitiba/PR	Cfb	\$180.996,62	\$120.076,40	\$68.787,45	\$112.209,17	\$51.288,96
Belo Horizonte/MG	Cwa	\$174.280,08	\$113.359,86	\$59.560,85	\$114.719,23	\$53.799,02
Nova Friburgo/RJ	Cwb	\$172.382,33	\$111.462,11	\$59.968,69	\$112.413,63	\$51.493,42

Com os dados da diferença de custo de implantação entre fachadas ventiladas e fachadas aderidas, dividiram-se esses valores pelo benefício gerado pelas fachadas ventiladas em cada cidade para descobrir o tempo necessário para haver o retorno financeiro do investimento (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 – Tempo de Retorno do Investimento para cada cidade estudada

Cidade	Região Climática	Diferença FVG Perfilado X FAG	Diferença FVG Pontual X FAG	Economia Financeira Anual	Retorno Investimento - Perfilado (anos)	Retorno Investimento - Pontual (anos)
Belém/PA	Af	\$152.974,80	\$66.924,99	\$3.258,74	47	21
Manaus/AM	Af	\$111.173,56	\$50.253,35	\$2.425,53	46	21
Salvador/BA	Af	\$149.482,81	\$63.433,01	\$2.974,36	50	21
Maceió/AL	Am	\$153.368,41	\$67.318,61	\$2.983,06	51	23

Tabela 4.9 – Tempo de Retorno do Investimento para cada cidade estudada (continuação)

Aracaju/SE	As	\$152.081,83	\$66.032,02	\$2.690,37	57	25
São Luis/MA	As	\$154.463,75	\$68.413,94	\$3.470,87	45	20
Brasília/DF	Aw	\$112.405,55	\$51.485,34	\$1.881,10	60	27
Campo Grande/MS	Aw	\$116.734,47	\$55.814,26	\$2.584,13	45	22
Cuiabá/MT	Aw	\$114.685,20	\$53.764,98	\$2.210,54	52	24
Rio de Janeiro/RJ	Aw	\$144.206,68	\$58.156,88	\$2.205,89	65	26
Água Branca/AL	BSh	\$114.465,43	\$53.545,21	\$2.453,50	47	22
Porto Alegre/RS	Cfa	\$112.408,52	\$51.488,30	\$1.962,20	57	26
São Paulo/SP	Cfa	\$109.962,57	\$49.042,35	\$1.666,86	66	29
Curitiba/PR	Cfb	\$112.209,17	\$51.288,96	\$783,86	143	65
Belo Horizonte/MG	Cwa	\$114.719,23	\$53.799,02	\$2.060,90	56	26
Nova Friburgo/RJ	Cwb	\$112.413,63	\$51.493,42	\$940,36	120	55

4.4 DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO – ANÁLISE PARAMÉTRICA 01

Para as análises paramétricas foram simuladas três situações para nove cidades, sendo cada uma delas representante de uma região climática. Após as simulações realizadas para os três revestimentos (Granito, Porcelanato e Cerâmica), os resultados foram planilhados em três colunas (Consumo Aquecimento, Consumo Resfriamento e Consumo Total) mensalmente e anualmente. Na Tabela 4.10 apresenta-se o consumo energético anual da Fachada Ventilada de Granito, na Tabela 4.11, o de Porcelanato e, na Tabela 4.12, o de Cerâmica.

Tabela 4.10 - Consumo energético anual para Fachada Ventilada de Granito (kWh)

Cidade	Zona Climática	Consumo Aquecimento (kWh)	Consumo Resfriamento (kWh)	Consumo Total (kWh)
Salvador/BA	Af	0	141783	141783
Maceió/AL	Am	0	141857	141857
São Luís/MA	As	0	153518	153518
Brasília/DF	Aw	4518	27030	31548
Água Branca/AL	BSh	0	96121	96121
São Paulo/SP	Cfa	6400	45974	52374
Curitiba/PR	Cfb	31539	17837	49376
Belo Horizonte/MG	Cwa	3163	56421	59584
Nova Friburgo/RJ	Cwb	21734	21036	42770

Tabela 4.11 - Consumo energético anual para Fachada Ventilada de Porcelanato (kWh)

Cidade	Zona Climática	Consumo Aquecimento (kWh)	Consumo Resfriamento (kWh)	Consumo Total (kWh)
Salvador/BA	Af	0	141775	141775
Maceió/AL	Am	0	141846	141846
São Luís/MA	As	0	161823	161823
Brasília/DF	Aw	4517	27030	31547
Água Branca/AL	BSh	0	105980	105980
São Paulo/SP	Cfa	6400	45974	52374
Curitiba/PR	Cfb	31562	17861	49423
Belo Horizonte/MG	Cwa	4798	32491	37289
Nova Friburgo/RJ	Cwb	21732	21036	42768

Tabela 4.12 - Consumo energético anual para Fachada Ventilada de Cerâmica (kWh)

Cidade	Zona Climática	Consumo Aquecimento (kWh)	Consumo Resfriamento (kWh)	Consumo Total (kWh)
Salvador/BA	Af	0	128058	128058
Maceió/AL	Am	0	128202	128202
São Luís/MA	As	0	148477	148477
Brasília/DF	Aw	4931	25196	30127
Água Branca/AL	BSh	0	94419	94419
São Paulo/SP	Cfa	6757	38101	44858
Curitiba/PR	Cfb	28786	15890	44676
Belo Horizonte/MG	Cwa	3370	47422	50792
Nova Friburgo/RJ	Cwb	21732	16421	38153

4.5 DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO – ANÁLISE PARAMÉTRICA 02

Após as simulações realizadas para as três diferentes espessuras de câmara de ar (5, 10 e 15cm), os resultados foram planilhados em três colunas (Consumo Aquecimento, Consumo Resfriamento e Consumo Total) mensalmente e anualmente. Na Tabela 4.13 apresenta-se o consumo energético anual da Fachada Ventilada de Granito com câmara de ar de 5cm de espessura, na Tabela 4.14, com a de 10 cm de espessura e, na Tabela 4.15, com a de 15cm de espessura.

Tabela 4.13 - Consumo energético anual para FVG com câmara de ar de 5cm (kWh)

Cidade	Zona Climática	Consumo Aquecimento (kWh)	Consumo Resfriamento (kWh)	Consumo Total (kWh)
Salvador/BA	Af	0	141748	141748
Maceió/AL	Am	0	141809	141809
São Luís/MA	As	0	161803	161803
Brasília/DF	Aw	4540	27001	31541
Água Branca/AL	BSh	0	105941	105941
São Paulo/SP	Cfa	6435	45941	52376
Curitiba/PR	Cfb	31624	17842	49466
Belo Horizonte/MG	Cwa	3190	56373	59563
Nova Friburgo/RJ	Cwb	21789	21004	42793

Tabela 4.14 - Consumo energético anual para FVG com câmara de ar de 10cm (kWh)

Cidade	Zona Climática	Consumo Aquecimento (kWh)	Consumo Resfriamento (kWh)	Consumo Total (kWh)
Salvador/BA	Af	0	141783	141783
Maceió/AL	Am	0	141857	141857
São Luís/MA	As	0	153518	153518
Brasília/DF	Aw	4518	27030	31548
Água Branca/AL	BSh	0	96121	96121
São Paulo/SP	Cfa	6394	45912	52306
Curitiba/PR	Cfb	31561	17862	49423
Belo Horizonte/MG	Cwa	3163	56421	59584
Nova Friburgo/RJ	Cwb	21734	21036	42770

Tabela 4.15 - Consumo energético anual para FVG com câmara de ar de 15cm (kWh)

Cidade	Zona Climática	Consumo Aquecimento (kWh)	Consumo Resfriamento (kWh)	Consumo Total (kWh)
Salvador/BA	Af	0	137184	137184
Maceió/AL	Am	0	137344	137344
São Luís/MA	As	0	156726	156726
Brasília/DF	Aw	4408	26303	30711
Água Branca/AL	BSh	0	102650	102650
São Paulo/SP	Cfa	6212	44273	50485

Tabela 4.15 - Consumo energético anual para FVG com câmara de ar de 15cm (continuação)

Curitiba/PR	Cfb	30829	17021	47850
Belo Horizonte/MG	Cwa	3047	54408	57455
Nova Friburgo/RJ	Cwb	21230	20072	41302

4.6 DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO – ANÁLISE PARAMÉTRICA 03

Após as simulações realizadas para as três diferentes aberturas para entrada e saída de ar (inferior e superior) (5, 10 e 15cm), os resultados foram planilhados em três colunas (Consumo Aquecimento, Consumo Resfriamento e Consumo Total), mensalmente e anualmente. Na Tabela 4.16 apresenta-se o consumo energético anual da Fachada Ventilada de Granito com aberturas inferior e superior de 2cm, na Tabela 4.17, de 4cm de espessura e, na Tabela 4.18, de 6cm de espessura.

Tabela 4.16 - Consumo energético anual para FVG com aberturas de 2cm (kWh)

Cidade	Zona Climática	Consumo Aquecimento (kWh)	Consumo Resfriamento (kWh)	Consumo Total (kWh)
Salvador/BA	Af	0	141783	141783
Maceió/AL	Am	0	141857	141857
São Luís/MA	As	0	153518	153518
Brasília/DF	Aw	4407	34471	38878
Água Branca/AL	BSh	0	96121	96121
São Paulo/SP	Cfa	6394	45912	52306
Curitiba/PR	Cfb	31561	17862	49423
Belo Horizonte/MG	Cwa	3163	56421	59584
Nova Friburgo/RJ	Cwb	21734	21036	42770

Tabela 4.17 - Consumo energético anual para FVG com aberturas de 4cm (kWh)

Cidade	Zona Climática	Consumo Aquecimento (kWh)	Consumo Resfriamento (kWh)	Consumo Total (kWh)
Salvador/BA	Af	0	128063	128063
Maceió/AL	Am	0	128208	128208
São Luís/MA	As	0	148481	148481

Tabela 4.17 - Consumo energético anual para FVG com aberturas de 4cm (continuação)

Brasília/DF	Aw	4902	28535	33437
Água Branca/AL	BSh	0	83403	83403
São Paulo/SP	Cfa	8161	38101	46262
Curitiba/PR	Cfb	32189	13579	45768
Belo Horizonte/MG	Cwa	3369	47425	50794
Nova Friburgo/RJ	Cwb	22672	16436	39108

Tabela 4.18 - Consumo energético anual para FVG com aberturas de 6cm (kWh)

Cidade	Zona Climática	Consumo Aquecimento (kWh)	Consumo Resfriamento (kWh)	Consumo Total (kWh)
Salvador/BA	Af	0	128063	128063
Maceió/AL	Am	0	128208	128208
São Luís/MA	As	0	148481	148481
Brasília/DF	Aw	4518	27030	31548
Água Branca/AL	BSh	0	83403	83403
São Paulo/SP	Cfa	6757	38101	44858
Curitiba/PR	Cfb	32189	13579	45768
Belo Horizonte/MG	Cwa	3372	47425	50797
Nova Friburgo/RJ	Cwb	22672	16436	39108

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste item são analisados os resultados comparativos entre tipologias e entre regiões climáticas, para Energia Operacional e custo-benefício da Análise Principal, e a seguir são apresentados e analisados os resultados das Análises Paramétricas.

5.1 ANÁLISE PRINCIPAL (Fachada Ventilada X Fachada Aderida)

Após as simulações realizadas, os resultados foram planilhados e apresentados no Item 4. Neste capítulo são realizadas as análises referentes aos resultados obtidos comparativamente aos dados climáticos de cada cidade e região climática.

5.1.1 Belém/PA – Região climática Af

A região climática Af - Clima Equatorial úmido o ano todo, de grande representatividade no país - foi representada nesta pesquisa pelas cidades de Belém, capital do Pará, Manaus, capital do Amazonas e Salvador, capital da Bahia.

Após tratamento estatístico³² (Tabela 5.1) verificou-se que as médias de resfriamento para a fachada aderida e ventilada são diferentes, uma vez que a diferença entre elas foi superior ao HSD, ou seja, o tipo de fachada interfere no consumo energético. Não houve demanda pelo sistema de aquecimento.

Tabela 5.1 - Teste de Tukey para Resfriamento, Belém/PA

Parâmetros do teste de Tukey - Belém/PA			
n	12	$q_{\alpha; g1; g2}$	2,93
k	2	s_{Dentro}^2	863873,09
α	0,05	HSD	786,14
Resfriamento		Diferença	Código
FAG	15359,92	2288,42	a
FVG	13071,50		b

³² Para Tratamento Estatístico foi utilizado o Teste de Tukey, explanado no Item 3.7, que leva em consideração as médias. Se essas forem menores que o valor de HSD são consideradas iguais, se forem maiores são consideradas diferentes.

Na Figura 5.1 apresenta-se o resumo do consumo energético para Belém/PA, sendo possível verificar o quanto a cidade é quente pela alta demanda pelo sistema artificial de resfriamento. E não apresenta temperaturas abaixo de 20°C, uma vez que as simulações não indicaram necessidade para sistemas de aquecimento. A economia gerada pelas Fachadas Ventiladas é alta, de 27.460 kWh anuais, ou 15% menos consumo de energia elétrica.

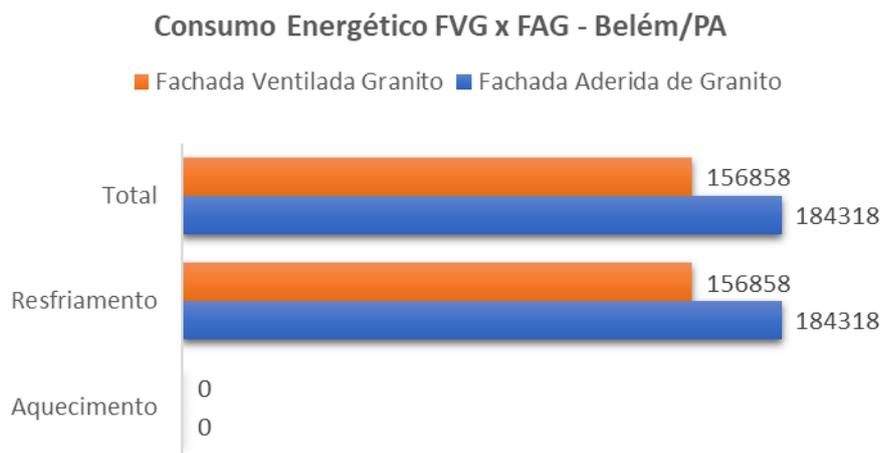


Figura 5.1 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Belém/PA

As temperaturas em Belém ficam entre 22° e 34°C, com a linha de temperatura média linear durante o ano. A velocidade dos ventos é baixa e a precipitação é alta durante todo o ano, mesmo com baixas de junho a novembro. Nesta pesquisa foram analisados os dados climáticos de temperatura, ventos e pluviosidade, por serem os dados utilizados pela classificação climática Köeppen-Geiger, na qual está embasada. Compreende-se que a pluviosidade proporciona impacto na umidade relativa do ar - quanto maior o índice de pluviosidade, maior a probabilidade de altas taxas de umidade relativa do ar -, além de as chuvas produzirem dias mais nublados que podem ter impacto na radiação solar incidente nas fachadas. Os dados climáticos, graficados, de todas as cidades analisadas nesta pesquisa, podem ser vistos no Apêndice F.

Os resultados de consumo energético foram somente no sistema de resfriamento (Figura 5.2), com demanda linear ao longo do ano, confirmando os parâmetros de altas temperaturas e baixas velocidades de vento, corroborando os resultados de López e Santiago (2015) e Gagliano, Nocera e Aneli (2016) de que, quanto maior a temperatura e menor a velocidade dos ventos, maior será a necessidade de sistemas artificiais de resfriamento de ar.

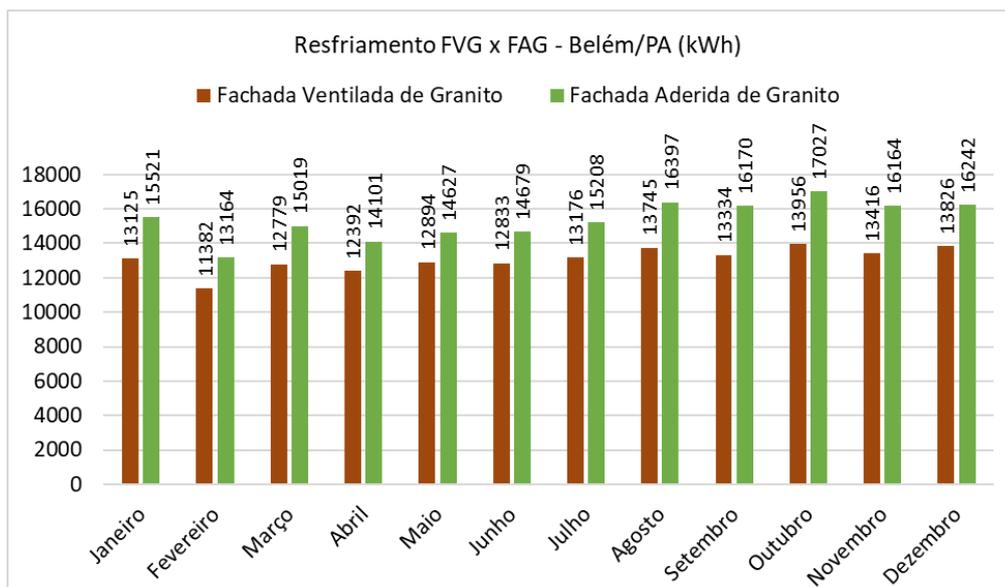


Figura 5.2 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Belém/PA

O benefício energético produzido pelas fachadas ventiladas (Figura 5.3) foi maior nos meses de setembro a novembro, coincidindo com as médias de temperaturas máximas, as mais altas velocidades de ventos e os índices mais baixos de precipitação.

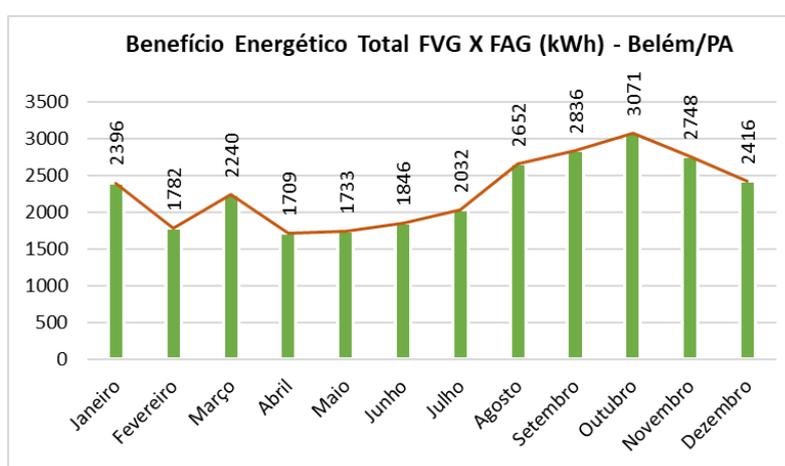


Figura 5.3 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Belém/PA

Em relação à parte financeira, cujos resultados foram apresentados nas Tabelas 4.8 e 4.9 do Capítulo 4³³, as Fachadas Ventiladas de Granito, comparadas à Fachada de Revestimento Aderido, em Belém/PA, geram economia de US\$ 3.258,74 anualmente³⁴. Belém, com suas altas temperaturas e baixas velocidades de vento, é a segunda cidade, entre as analisadas,

³³ Todos os dados de custos apresentados nas Tabelas 4.8 e 4.9 do Capítulo 4 servem como base para as análises financeiras a respeito das fachadas ventiladas em cada uma das cidades desta pesquisa.

³⁴ Os valores apresentados nas análises financeiras são referentes à edificação desta pesquisa, não são por m².

que obtém mais vantagens no quesito benefício energético e financeiro. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 152.974,80 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 66.924,99 para a instalação em sistema pontual. Com a economia gerada pela fachada ventilada, a implantação dela leva cerca de 47 anos para se pagar no sistema perfilado e 21 anos no sistema pontual.

5.1.2 Manaus/AM – Região climática Af

Manaus é a segunda cidade representante da região climática Af. Após tratamento estatístico (Tabela 5.2), verificou-se que as médias de resfriamento são diferentes, portanto o tipo de fachada interfere no consumo energético. Não houve demanda pelo sistema de aquecimento.

Tabela 5.2 - Teste de Tukey para Resfriamento, Manaus/AM

Parâmetros do teste de Tukey			
n	12	$q_{\alpha;g1;g2}$	2,93
k	2	s^2_{Dentro}	902116,68
α	0,05	HSD	803,36
Resfriamento		Diferença	Código
FAG	12347,00	1713,50	a
FVG	10633,50		b

Na Figura 5.4 apresenta-se o resumo do consumo energético para a cidade, pelo qual é possível verificar que a cidade é muito quente pela alta demanda pelo sistema artificial de resfriamento. O benefício gerado pelas Fachadas Ventiladas no quesito resfriamento foi de 20.563 kWh anuais (7.000 kWh menor do que Belém), gerando economia de 14% de energia elétrica. Apesar de numericamente a diferença ser significativa, percentualmente há equivalência.

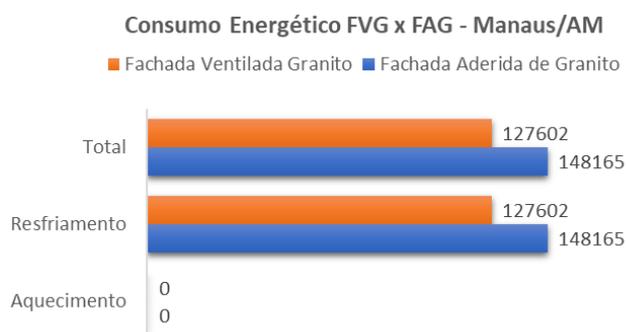


Figura 5.4 – Consumo Energético comparativo FAG e FVG, Manaus/AM

Manaus possui temperaturas um pouco menores que Belém, assim como a precipitação. A velocidade média dos ventos³⁵, assim como a de Belém, é baixa durante todo o ano, influenciando na alta necessidade de sistemas artificiais de resfriamento. O gráfico de consumo energético por resfriamento (Figura 5.5) demonstra curva bem similar à das temperaturas, mostrando, nessa cidade, pouca influência da precipitação e dos ventos.

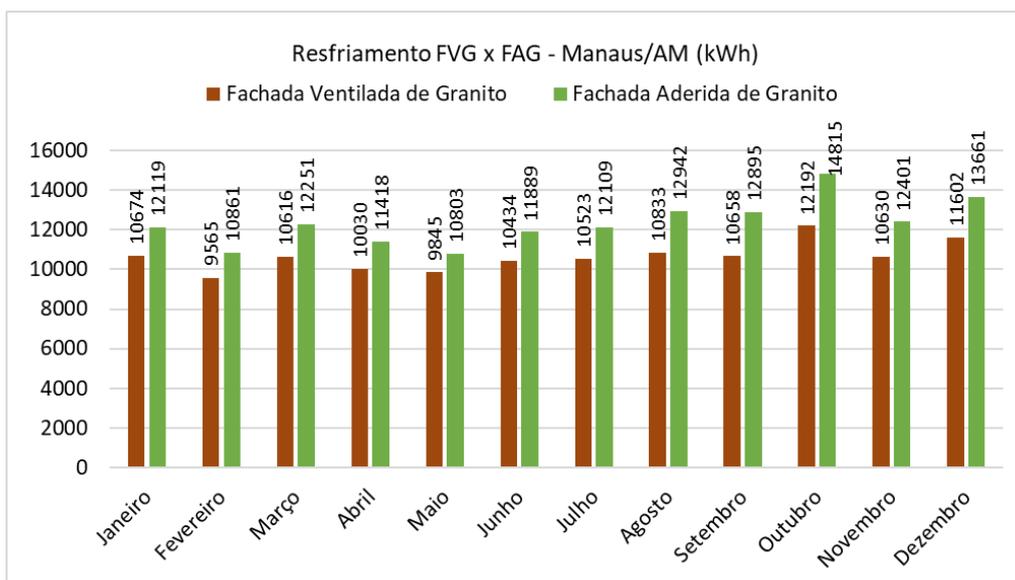


Figura 5.5 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Manaus/AM

Já o benefício energético produzido pelas fachadas ventiladas (Figura 5.6) coincidiu em todos os meses, com as médias de temperaturas máximas e, em quase todos os meses, com as velocidades de ventos, demonstrando assim que a velocidade dos ventos possui influência no comportamento do ar no interior da câmara de ar e, conseqüentemente, na performance das fachadas ventiladas.

Tais dados corroboram, assim como os dados referentes a Belém, a afirmação de Ibañez-Puy et al. (2017), de que as principais características climáticas influenciadoras no desempenho energético de fachadas ventiladas são a radiação solar e a velocidade dos ventos, enquanto López e Santiago (2015), assim como Gagliano, Nocera e Aneli (2016), relacionam temperatura e velocidade dos ventos ao desempenho das fachadas.

³⁵ A velocidade média dos ventos das cidades de Manaus e Nova Friburgo é proveniente de dados das Normais Climatológicas de 1961-1990, pois não foram disponibilizadas pelo Inmet (2018) as Normais Climatológicas – Velocidade dos Ventos de 1981-2010 para elas.

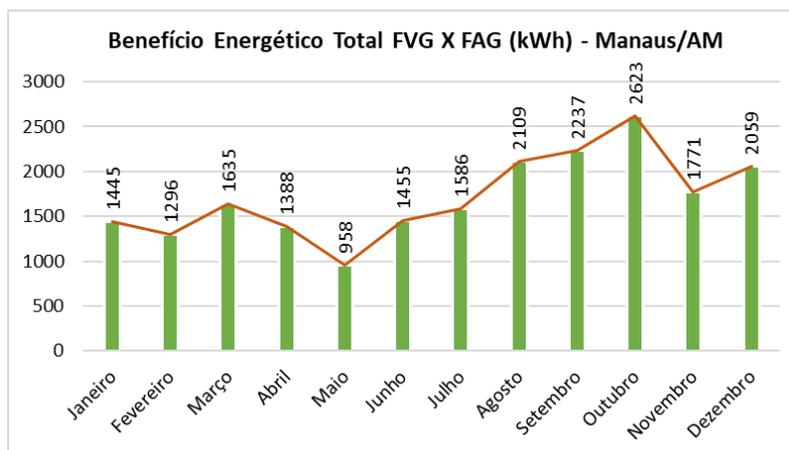


Figura 5.6 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Manaus/AM

Em relação aos custos, para Manaus as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 2.425,23 anualmente. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 111.173,56 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 50.523,35 para a instalação em sistema pontual. No quesito custo-benefício a implantação do sistema leva cerca de 46 anos para se pagar no sistema perfilado e 21 anos no sistema pontual. Apesar da diferença no benefício ser significativa entre Belém e Manaus, há também a diferença na instalação dos sistemas, que ocorre primordialmente pelos valores de frete dos materiais até a cidade de instalação, portanto pode-se concluir que o custo-benefício para Manaus e Belém, até que o sistema se pague, é igual.

5.1.3 Salvador/BA – Região climática Af

Salvador é a terceira e última cidade representante da região climática Af. Com base nos resultados estatísticos (Tabela 5.3), as médias de resfriamento são diferentes, portanto o tipo de fachada interfere no consumo energético. Não houve demanda pelo sistema de aquecimento devido às altas temperaturas constantes na cidade.

Tabela 5.3 - Teste de Tukey para Resfriamento, Salvador/BA

Parâmetros do teste de Tukey			
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	2,93
k	2	$s_{D_{mimo}}^2$	5688807,51
α	0,05	HSD	2017,38
Resfriamento	Diferença	Código	
FRaG	13879,50	a	
FVG	11815,25	2064,25 b	

Na Figura 5.7 apresenta-se o resumo do consumo energético para a cidade, onde é possível verificar que ela, assim como as outras duas, é muito quente, pois apresenta alta demanda pelo sistema artificial de resfriamento. O benefício gerado pelas Fachadas Ventiladas foi de 25.285 kWh anuais (valor intermediário entre Belém e Manaus), gerando economia de 15% de energia elétrica. Percentualmente, as três cidades da região climática Af geram economias iguais.

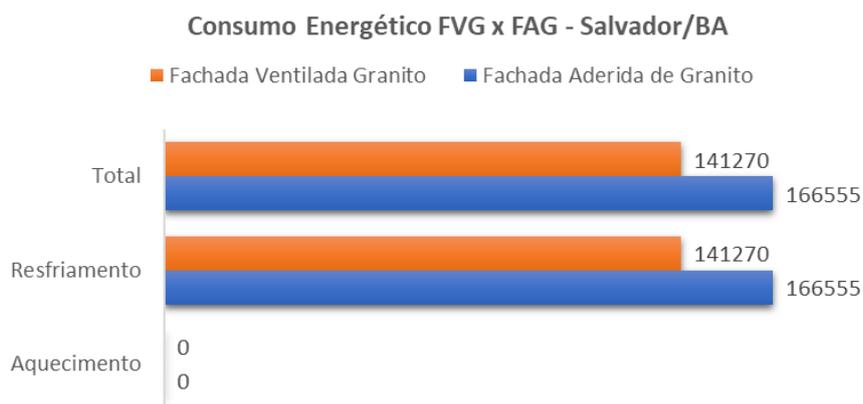


Figura 5.7 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Salvador/BA

Salvador apresentou temperaturas médias um pouco diferentes das outras duas cidades; a diferença entre as temperaturas mínimas e máximas é menor, as máximas são menores e as mínimas maiores do que nas demais cidades de mesmo clima, demonstrando que a cidade é sempre quente, no entanto os ventos mantêm o padrão de velocidades baixas. A precipitação também apresenta gráfico bem distinto das outras, com picos em épocas diferentes. Essas diferenças ocorrem, provavelmente, devido a Salvador ser uma cidade litorânea, diferentemente de Belém e Manaus.

Apesar das diferenças nas vertentes climáticas, Salvador seguiu o padrão de consumo energético por resfriamento, demonstrando que a região climática possui o mesmo comportamento, independente da localidade. O gráfico de consumo por resfriamento (Figura 5.8) de Salvador demonstra curva similar à das temperaturas máximas, mostrando pouca influência da precipitação. Os maiores consumos energéticos ocorrem nos meses de ventos mais baixos.

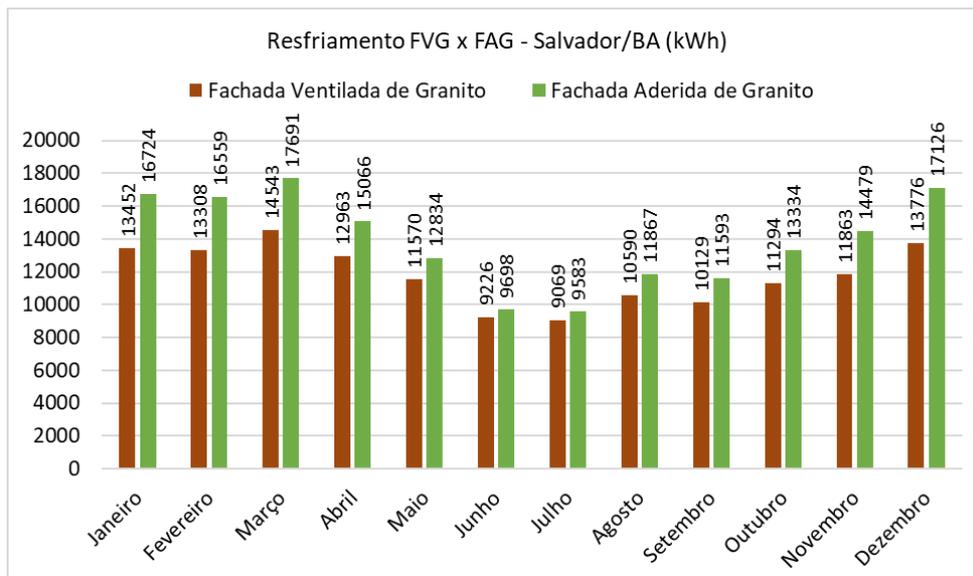


Figura 5.8 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Salvador/BA

O benefício energético produzido pelas fachadas ventiladas (Figura 5.9) acompanha parcialmente a curva de temperatura máxima, não demonstra influência pelos ventos, que são amenos e praticamente uniformes ao longo do ano, e possui curva parcialmente inversa à curva de precipitação. Salvador, sendo uma cidade litorânea, pode ter impacto maior de outros fatores como altitude, vegetação e topografia e uma pesquisa que leve em consideração esses fatores é desejável.

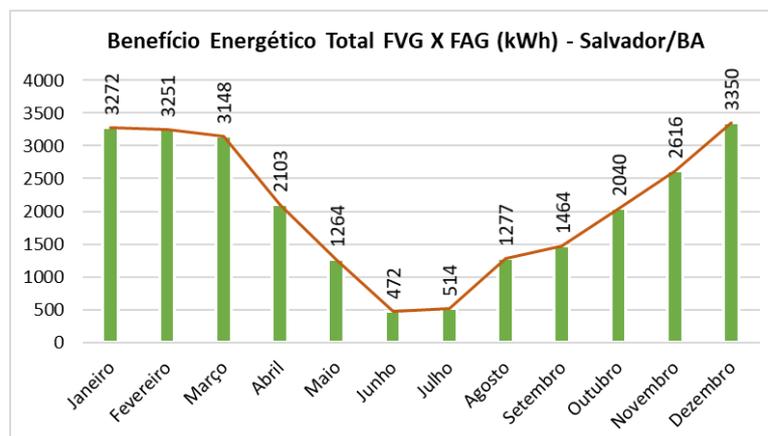


Figura 5.9 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Salvador/BA

Em relação aos custos, para Salvador as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 2.974,36 anualmente. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 149.482,81 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 63.433,01 para a instalação em sistema pontual. No quesito custo-benefício, a implantação do sistema leva cerca de 50 anos para se pagar no sistema perfilado e 21 anos no sistema pontual. No caso de regiões

litorâneas, há uma diferença significativa nos custos de implantação, referente ao tipo de material utilizado. É exigência da norma brasileira de fachadas não aderidas que todos os componentes aí utilizados sejam no Aço Inox 316, enquanto que, para regiões não litorâneas, permite-se a utilização do Inox 304, o que, em consequência, torna o sistema mais oneroso para regiões litorâneas. Em relação a Belém e Manaus, Salvador apresenta o maior tempo de retorno para instalação no sistema perfilado, pouco maior do que a vida útil considerada, mas se equivale a Manaus no sistema pontual.

5.1.4 Região Climática Af

Era esperada como resultado para essa região climática a pior situação térmica, e consequentes melhores resultados para as fachadas ventiladas, o que foi de fato verificado, confirmando os resultados de Astorqui e Porras-Amores (2017), que afirmou que, durante a estação quente, o ar que flui através da câmara ventilada reduz o ganho solar no interior da edificação, permitindo altas economias energéticas³⁶. Globalmente, as fachadas ventiladas fornecem os mais altos desempenhos quando as condições climáticas mais quentes surgem (alta radiação solar, altas temperaturas e velocidade do vento muito baixa).

Para o comparativo entre as cidades da região climática Af, foi realizado o teste de Tukey para as médias de resfriamento das fachadas ventiladas das três cidades: Belém, Manaus e Salvador. Nesse caso foram utilizados os 12 meses do ano. Através do teste (Tabela 5.4) e da Figura 5.10 é possível verificar que os resultados de resfriamento das fachadas ventiladas são diferentes somente entre as cidades de Belém e Manaus, porém entre Belém e Salvador, e entre Manaus e Salvador, os resultados são considerados iguais.

Tabela 5.4 - Teste de Tukey, Resfriamento, região climática Af, Fachada Ventilada

Parâmetros do teste de Tukey					
n	12	$q_{\alpha;g 1;g 2}$	3,77	α	0,050
k	3	s_{Dance}^2	1440007,038	HSD	1305,97
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG - Belém	13071,50	FVG - Belém	FVG - Manaus	FVG - Salvador	a
FVG - Manaus	10633,50	2438,00			b
FVG - Salvador	11815,25	1256,25	1181,75		ab

³⁶ Astorqui e Porras-Amores (2017) compararam fachadas ventiladas com fachadas cortinas, considerando a ação dos ventos no interior da câmara ventilada, através de módulo CFD.

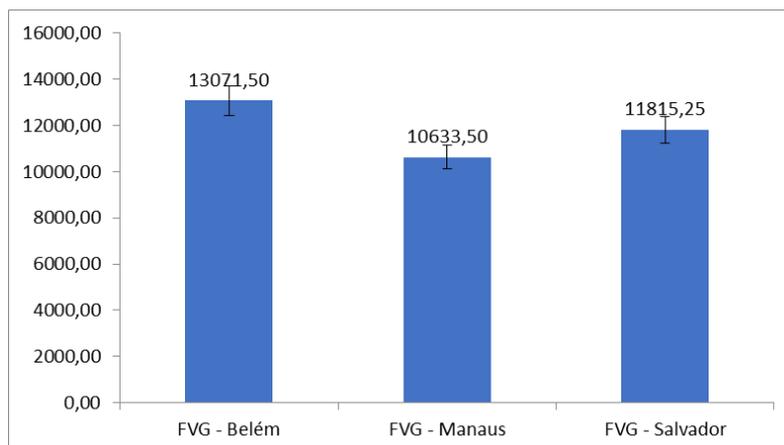


Figura 5.10 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir Tabela 5.4

O tratamento estatístico avalia a média anual para o quesito e não leva em consideração a distribuição ao longo dos meses. Avaliando a região climática Af ao longo do ano, ela demonstrou similaridades no consumo energético mensal (Figura 5.11), assim como no benefício energético mensal (Figura 5.12) para Belém e Manaus, com grande diferença para Salvador, explicada pelo fato de a última ser a única cidade litorânea dentre as três representantes, padrão seguido também pelas curvas de temperaturas médias (Figura 5.13).

A velocidade dos ventos não segue um padrão entre as cidades, encontram-se similaridades somente entre uma ou outra em partes do ano, sendo Manaus a cidade com as maiores velocidades de ventos e Salvador com as menores. Por fim, o comportamento ao longo dos meses traz análise diferente da análise estatística.

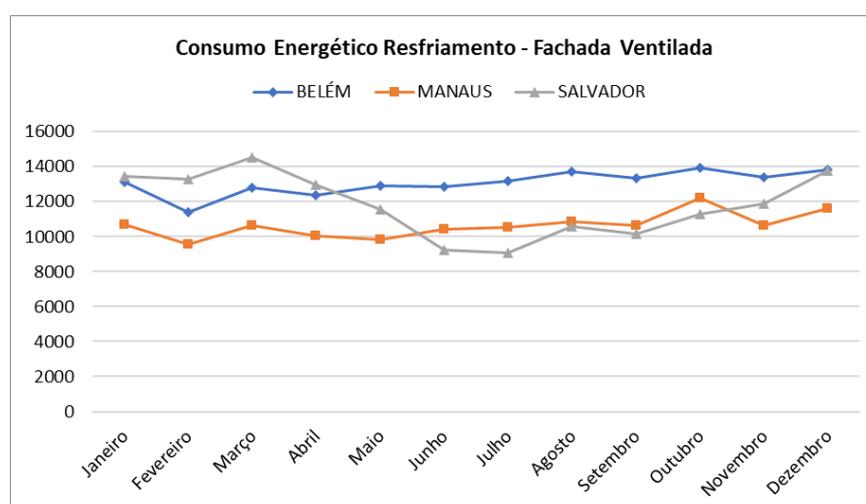


Figura 5.11 – Consumo Energético Resfriamento, FVG – Região climática Af

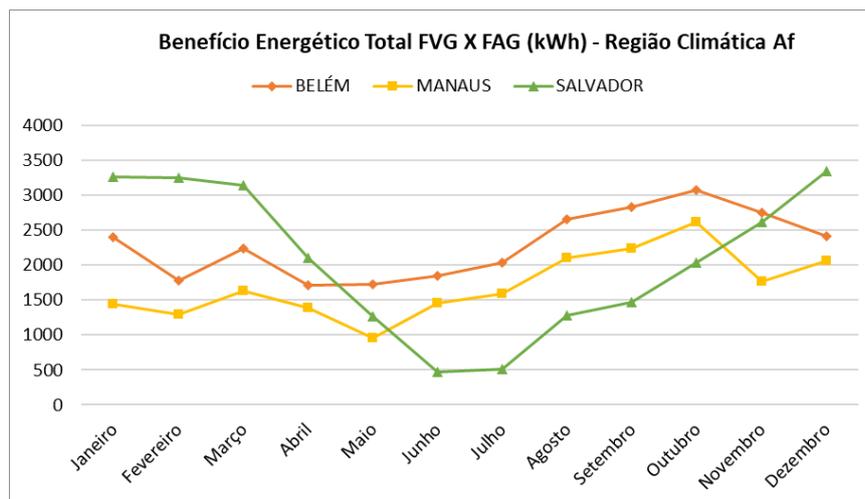


Figura 5.12 – Benefício Energético FVG X FAG – Região climática Af

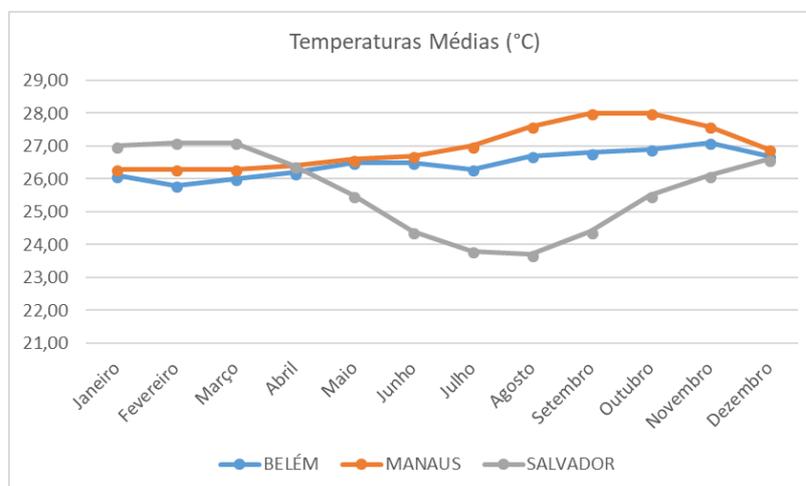


Figura 5.13 – Temperaturas Médias – Região climática Af

Apesar do grande benefício das fachadas ventiladas nessa região climática, ainda haverá impacto do calor e necessidade de sistemas de resfriamento, recomendando-se estudos específicos para ela, com outras técnicas de condicionamento passivo que possam, aliadas a essas fachadas, ter maior impacto em resultados de benefício energético, térmico e financeiro.

5.1.5 Maceió/AL – Região climática Am

A região climática Am - Clima Equatorial de monção, zona de menor amplitude no país - foi representada nesta pesquisa somente pela cidade de Maceió, capital de Alagoas. Com base nos resultados estatísticos (Tabela 5.5), as médias de resfriamento são diferentes,

portanto o tipo de fachada interfere no consumo energético. Não houve demanda pelo sistema de aquecimento.

Tabela 5.5 - Teste de Tukey para Resfriamento, Maceió/AL

Parâmetros do teste de Tukey			
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	2,93
k	2	s_{Dentro}^2	3646588,90
α	0,05	HSD	1615,18
Resfriamento	Diferença	Código	
FAG	13920,92	2099,50	a
FVG	11821,42		b

Na Figura 5.14 apresenta-se o resumo do consumo energético da cidade, sendo possível verificar que não existe demanda por aquecimento, mas a demanda por resfriamento é alta, assim como na região climática Af. O benefício gerado pelas Fachadas Ventiladas ficou em 25.194 kWh anuais, economia de 15% de energia elétrica, igual a Salvador, podendo-se concluir que as regiões climáticas Af e Am são muito similares quanto a consumo energético por sistemas de resfriamento artificial.

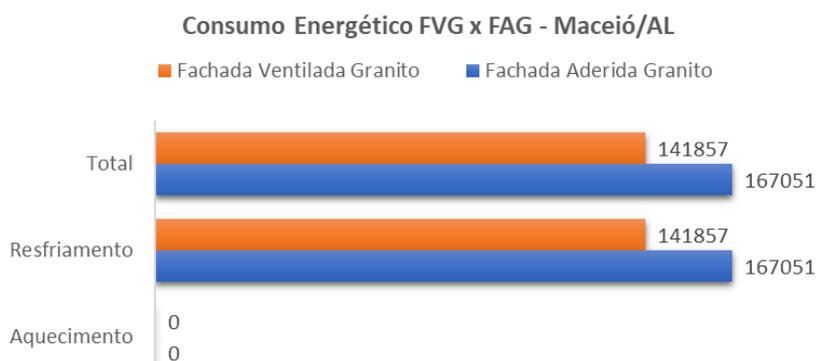


Figura 5.14 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Maceió/AL

Maceió possui pouca variação nas temperaturas mínimas e leve queda nas temperaturas máximas nos meses de maio a julho, coincidente com as altas de precipitação, porém mantém-se durante o ano com linearidade em temperaturas médias altas. Percebe-se similaridade das curvas de velocidade dos ventos com a curva de temperatura média máxima. Em relação à precipitação, a curva é inversa à de ventos, e conseqüentemente à da temperatura média máxima, demonstrando, para essa cidade, que, quanto menos chove, mais quente e quanto mais chove, menos quente.

O consumo energético por resfriamento (Figura 5.15) apresenta curva similar à de temperatura média máxima e aos ventos, demonstrando impacto de altas temperaturas e alta velocidade dos ventos no consumo energético, contrariando López e Santiago (2015) e Gagliano, Nocera e Aneli (2016), ou seja, depende do clima a premissa pode ser diferente e cidades litorâneas devem ter estudo próprio, pois podem apresentar diferenças significativas em relação às não litorâneas.

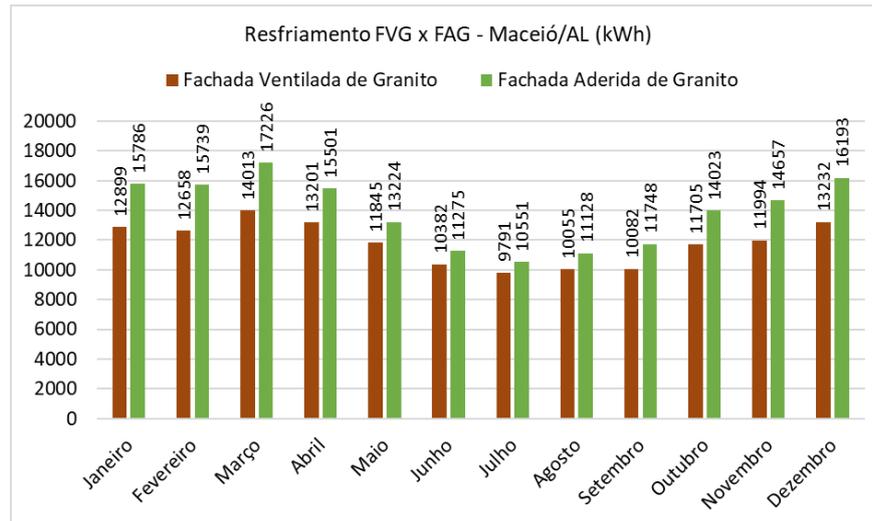


Figura 5.15 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Maceió/AL

O benefício energético produzido pelas fachadas ventiladas (Figura 5.16) acompanha a curva de temperatura máxima, parcialmente a curva de ventos e é inversa à curva de precipitação.

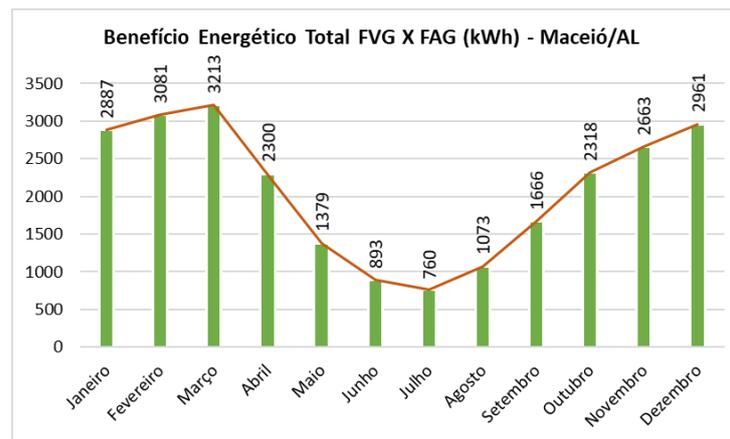


Figura 5.16 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Maceió/AL

Em relação aos custos, para Maceió as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 2.983,06 anualmente. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 153.368,41 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 67.318,61 para a instalação em

sistema pontual. No quesito custo-benefício a implantação do sistema leva cerca de 51 anos para se pagar no sistema perfilado e 23 anos no sistema pontual. Maceió apresentou os mesmos resultados de custo-benefício de Salvador, demonstrando semelhança entre cidades litorâneas.

5.1.6 Aracaju/SE – Região climática As

A região climática As - Clima Equatorial de verões secos - foi representada nesta pesquisa pelas cidades de Aracaju, capital de Sergipe, e São Luís, capital do Maranhão. Com base nos resultados estatísticos (Tabela 5.6), as médias de resfriamento para as fachadas aderida e ventilada são diferentes, ou seja, o tipo de fachada interfere no consumo energético. Não houve demanda por aquecimento.

Tabela 5.6 - Teste de Tukey para Resfriamento, Aracaju/SE

Parâmetros do teste de Tukey			
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	2,93
k	2	s_{Dentro}^2	4477128,66
α	0,05	HSD	1789,69
Resfriamento	Diferença	Código	
FAG	13427,58	a	
FVG	11530,83	b	

Na Figura 5.17 apresenta-se o resumo do consumo energético da cidade, sendo possível verificar que não existe demanda por aquecimento e a demanda por resfriamento é alta, assim como nas demais regiões climáticas analisadas anteriormente. O benefício gerado pelas Fachadas Ventiladas ficou em 22.761 kWh anuais, economia de 14% de energia elétrica.

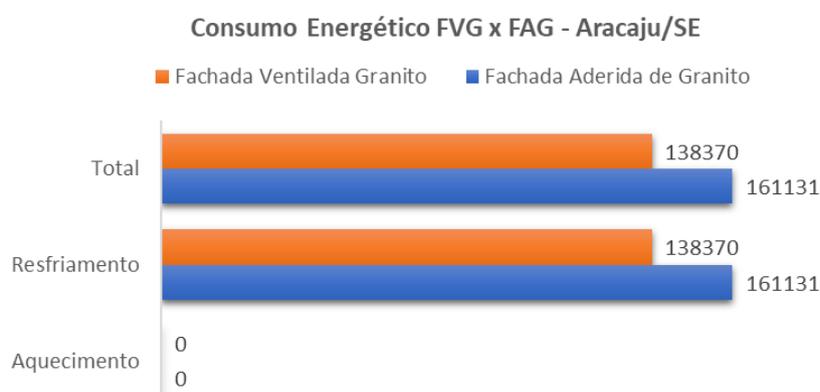


Figura 5.17 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Aracaju/SE

O consumo energético por resfriamento (Figura 5.18), assim como para Maceió, possui curva similar à de temperatura média e aos ventos, com precipitação inversamente proporcional.

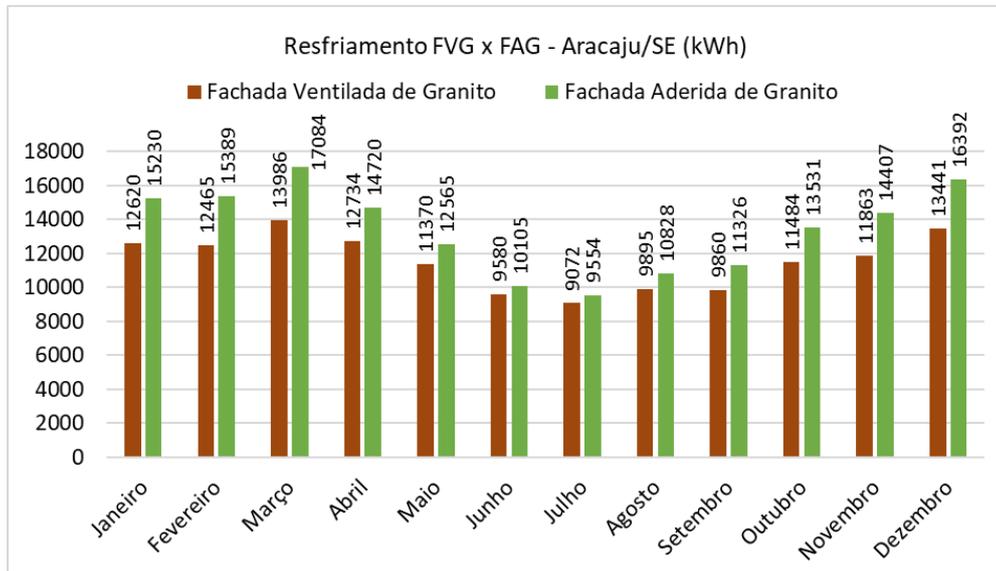


Figura 5.18 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Aracaju/SE

Aracaju possui as temperaturas médias mínimas e máximas muito similares às de Maceió, assim como a velocidade dos ventos e a precipitação, somente com o pico em meses diferentes (maio para Aracaju e junho para Maceió). As duas cidades são muito similares, porém Aracaju possui benefício energético (Figura 5.19) um pouco mais baixo, assim como as temperaturas médias são também levemente mais baixas. A curva do benefício energético de Aracaju é praticamente igual à de Maceió, e acompanha parcialmente as curvas de temperatura e de ventos.

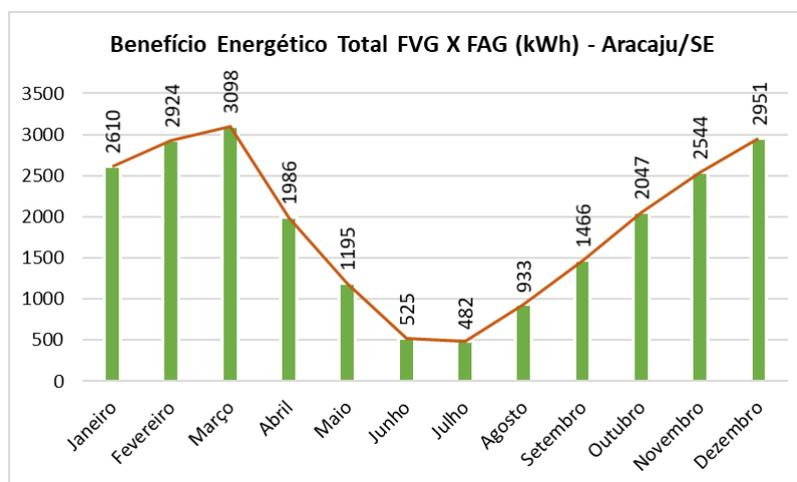


Figura 5.19 – Benefício Energético, comparativo mensal, Aracaju/SE

Em relação aos custos, para Aracaju as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 2.690,37 anualmente. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 152.081,83 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 66.032,02 em sistema pontual. No quesito custo-benefício, a implantação do sistema leva cerca de 57 anos para se pagar no sistema perfilado e 25 anos no sistema pontual.

5.1.7 São Luís/MA – Região climática As

São Luís é a segunda cidade representante da região climática As e, assim como Aracaju, é litorânea, então esperava-se haver semelhança entre ambas, o que não ocorreu. Com base nos resultados estatísticos (Tabela 5.7), as médias de resfriamento para as fachadas ventilada e aderida são diferentes, ou seja, o tipo de fachada interfere no consumo energético. Não houve demanda por aquecimento.

Tabela 5.7 - Teste de Tukey para Resfriamento, São Luís/MA

Parâmetros do teste de Tukey			
n	12	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	2,93
k	2	s_{Dentro}^2	1162694,75
α	0,05	HSD	912,03
Resfriamento	Diferença	Código	
FAG	15923,92	3130,75	a
FVG	12793,17		b

Na Figura 5.20, do consumo energético da cidade, é possível notar similaridade com as demais regiões climáticas analisadas anteriormente, porém São Luís, numericamente, superou Belém no benefício energético com as fachadas ventiladas (29.423 kWh anuais), embora, percentualmente, tenha se igualado (15%).

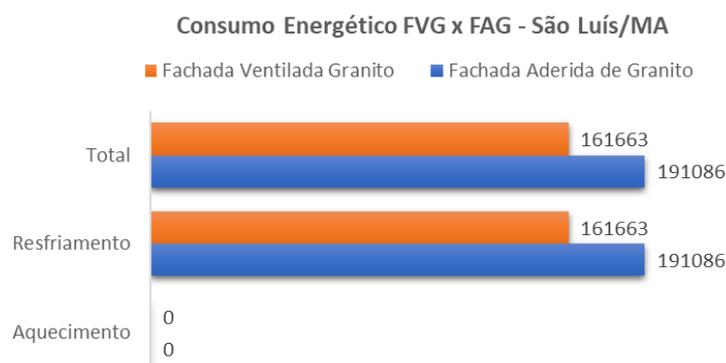


Figura 5.20 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, São Luís/MA

São Luís possui as curvas de temperaturas médias bem uniformes, mostrando linearidade em altas temperaturas. Os ventos são médios e possuem curva similar à das temperaturas médias máximas, já a precipitação é inversa à curva de temperatura média máxima, demonstrando, assim como para Maceió e Aracaju, que quanto menos chove mais alta será a temperatura.

O consumo energético por resfriamento (Figura 5.21) segue a linearidade dos dados de temperatura média e média mínima, pois a demanda é alta em todos os meses do ano, sem queda significativa.

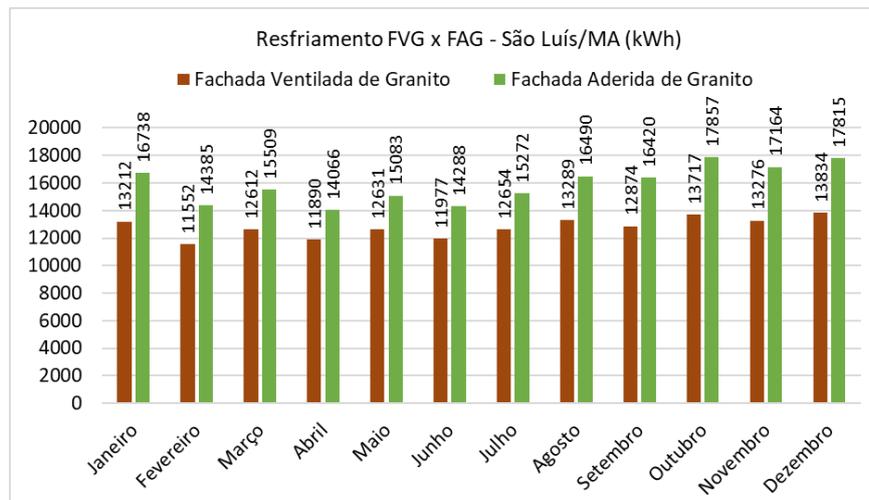


Figura 5.21 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, São Luís/MA

A curva do benefício energético produzido pelas fachadas ventiladas (Figura 5.22) é muito diferente da curva das cidades de Maceió e Aracaju, acompanhando parcialmente as curvas de temperaturas e de velocidade dos ventos e é inversa à curva de precipitação.

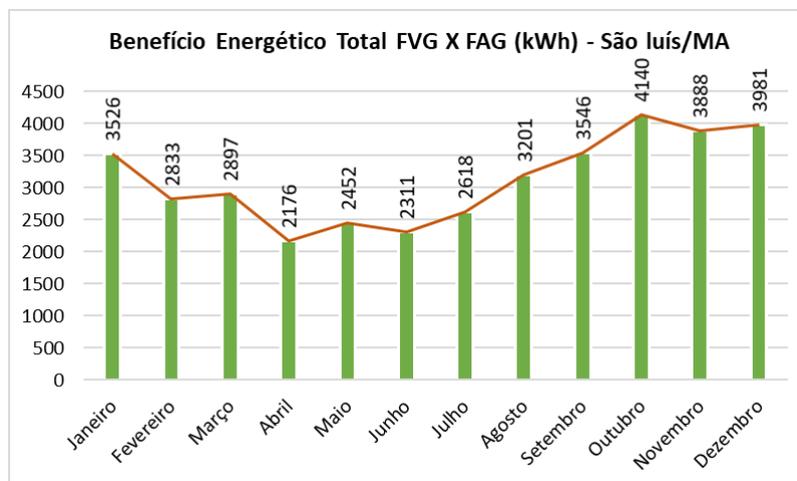


Figura 5.22 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Aracaju/SE

Em relação aos custos, para São Luís as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 3.470,87 anualmente, o maior benefício encontrado entre as 16 cidades analisadas nesta pesquisa. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 154.463,75 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 68.413,94 para a instalação em sistema pontual. No quesito custo-benefício, a implantação do sistema leva cerca de 45 anos para se pagar no sistema perfilado e 20 anos no sistema pontual, que foi o melhor custo-benefício encontrado, pelo alto benefício energético e financeiro gerado pelas fachadas ventiladas.

5.1.8 Regiões Climáticas Am e As

Era esperada, como resultado para a região climática As, similaridade entre as cidades representantes, porém o que pode ser percebido é uma grande similaridade entre Maceió (Am) e Aracaju (As), tendo São Luís (As) comportamento diferente das demais. Com isso, foi realizado tratamento estatístico com o teste de Tukey para as médias de resfriamento das fachadas ventiladas das três cidades, utilizando os 12 meses do ano. Através do teste (Tabela 5.8) e da Figura 5.23 é possível verificar que os resultados de resfriamento das fachadas ventiladas são considerados iguais, ou seja, estatisticamente as cidades possuem comportamento de consumo energético de resfriamento iguais.

Tabela 5.8 - Teste de Tukey, Resfriamento, regiões climáticas Am e As, Fachada Ventilada

Parâmetros do teste de Tukey					
n	12	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,77	α	0,050
k	3	s_{erro}^2	1735776,795	HSD	1433,83

Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG - Aracaju	11530,83	FVG - Aracaju	FVG - Maceió	FVG - São Luís	a
FVG - Maceió	11821,42	290,58			a
FVG - São Luís	12793,17	1262,33	971,75		a

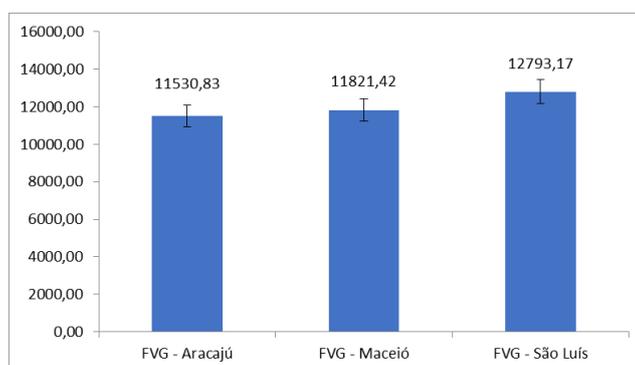


Figura 5.23 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir da Tabela 5.8

O tratamento estatístico avalia média anual para o quesito e não leva em consideração a distribuição ao longo dos meses. Avaliando as cidades ao longo do ano, por meio das curvas de consumo energético (Figura 5.24), do benefício energético (Figura 5.25) e temperaturas médias (Figura 5.26), é possível verificar que Maceió e Aracaju andam praticamente juntas, enquanto São Luís difere de ambas. Em relação a velocidade dos ventos (Figura 5.27), as três cidades possuem curvas similares, demonstrando que este item é comum às cidades litorâneas. A avaliação do comportamento anual ao longo dos meses demonstra resultados divergentes da análise estatística.

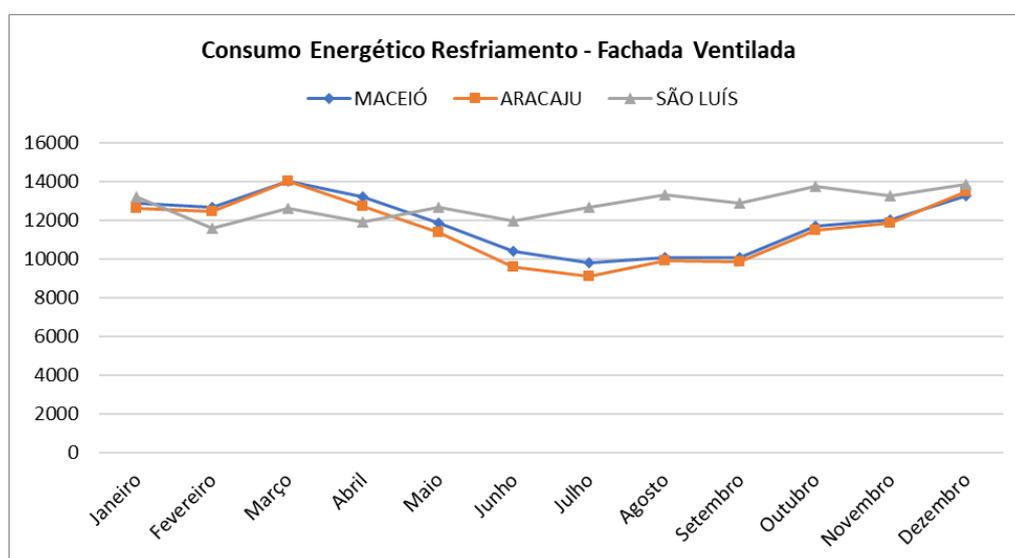


Figura 5.24 – Consumo Energético Resfriamento, FVG – regiões climáticas Am e As

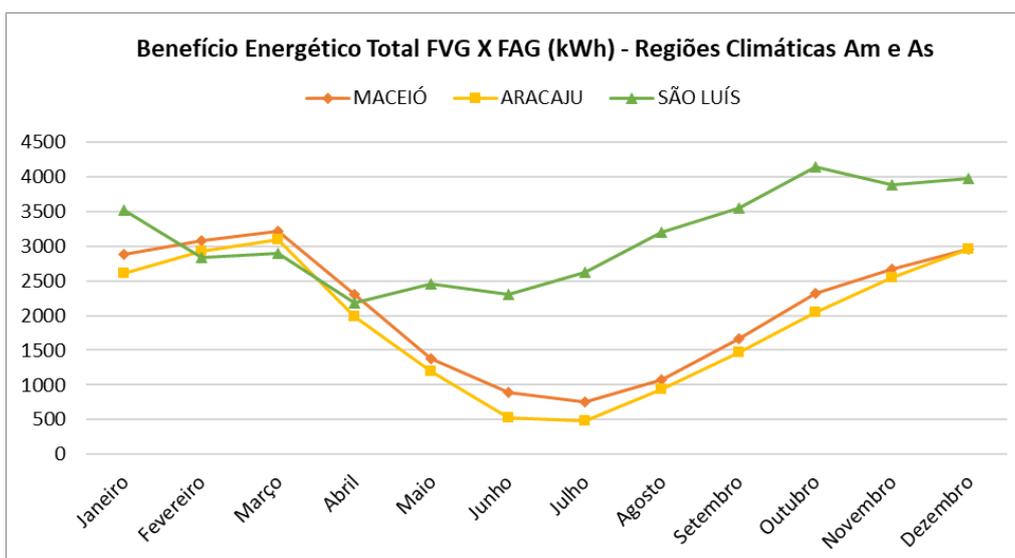


Figura 5.25 – Benefício Energético FVG X FAG – regiões climáticas Am e As

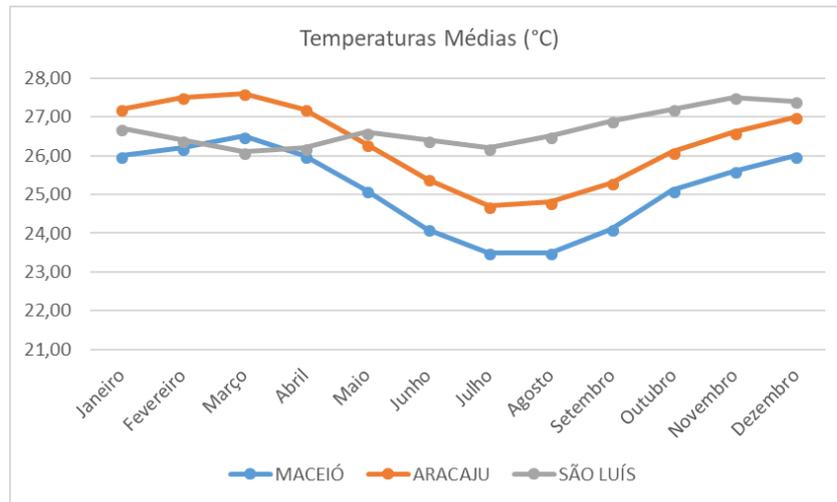


Figura 5.26 – Temperaturas Médias – regiões climáticas Am e As

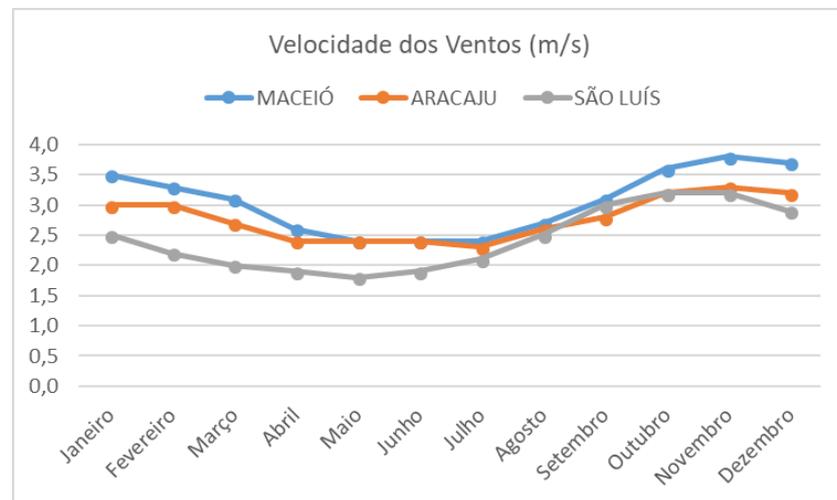


Figura 5.27 – Velocidade dos Ventos – regiões climáticas Am e As

A diferença encontrada entre cidades de mesma região climática pode estar relacionada com fatores que a classificação climática Köppen-Geiger não leva em consideração, como altitude e topografia do local, sendo interessante avaliar estes itens em conjunto com as demais variáveis desta pesquisa.

Geograficamente, Aracaju e Maceió são cidades litorâneas próximas, enquanto São Luís é uma cidade não litorânea distante delas. Ainda, visualiza-se no mapeamento da classificação climática (Figura 5.28), que Maceió, região climática Am, é uma pequena parcela dessa região envolta pela região climática As e, sendo assim, seria interessante a revisão da classificação dessa cidade.

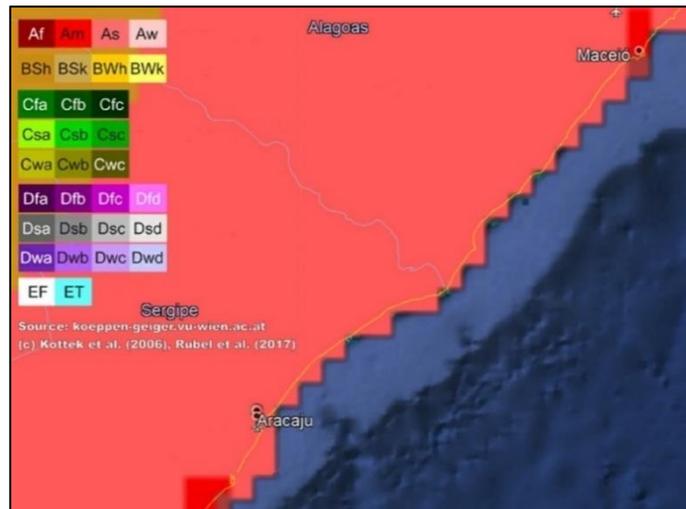


Figura 5.28 – Mapeamento da classificação climática Köppen-Geiger para Maceió e Aracaju (*print screen do software Google Earth, 2018*)

Das três cidades, São Luís possui o maior benefício energético, as maiores temperaturas e as menores velocidades de vento, o que corrobora os resultados de Gagliano, Nocera e Aneli (2016), de que, de forma geral, as fachadas ventiladas apresentam melhor desempenho quando as condições climáticas são mais quentes (dia quente e baixa velocidade de vento).

As regiões climáticas mais quentes do Brasil (Af, Am e As) tiveram resultados de alto consumo energético, corroborando a afirmação de Ibañez-Puy et al. (2017) de que os benefícios da instalação fachadas ventiladas são maiores para climas com verões quentes, nos quais as cargas de resfriamento são maiores. As vantagens das fachadas ventiladas durante o verão são relacionadas à redução do fluxo de calor térmico e ao efeito de sombreamento da camada externa.

Havendo nas regiões climáticas Af, Am e As cidades que, por serem muito quentes, têm grande consumo energético por resfriamento, é interessante avaliá-las com novos sistemas de fachadas ventiladas que aliem outras técnicas, como a proposta por Cianfrini et al. (2012) que avaliaram um novo tipo de fachada ventilada que inclui um dispositivo evaporativo de refrigeração e um dispositivo de troca de calor comparativamente a um modelo tradicional de envoltória, tendo os resultados demonstrado uma possível economia de energia na ordem de 40 a 50%.

5.1.9 Brasília/DF – Região climática Aw

A região climática Aw - Clima Equatorial de Inverno Seco - foi a com maior representatividade neste estudo, com quatro capitais: Brasília, no Distrito Federal, Cuiabá, em Mato Grosso, Campo Grande, no Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro, no Rio de Janeiro. Com base nos resultados estatísticos (Tabela 5.9), as médias de resfriamento são diferentes, ou seja, o tipo de fachada interfere no consumo energético; já as médias de aquecimento são iguais, ou seja, o tipo de fachada não interfere no consumo energético.

Tabela 5.9 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey				Parâmetros do teste de Tukey			
n	9	$Q_{\alpha;gl1;gl2}$	3	n	3	$Q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,93
k	2	S_{Dentro}^2	402066,69	k	2	S_{Dentro}^2	332958,83
α	0,05	HSD	634,09	α	0,05	HSD	1309,26
Resfriamento		Diferença	Código	Aquecimento		Diferença	Código
FAG	5032,11	2211,67	a	FAG	1474,33	156,00	a
FVG	2820,44		b	FVG	1318,33		a

No consumo energético para a cidade de Brasília (Figura 5.29), é possível visualizar diferenças mínimas no aquecimento (estatisticamente iguais), no entanto, no quesito resfriamento, as Fachadas Ventiladas apresentaram grande benefício (22.821 kWh, 46%), e em geral foram mais eficientes em 23.475 kWh anuais, economia de 43% de energia elétrica. Percebe-se que numericamente o benefício é muito similar ao das cidades analisadas anteriormente, porém, percentualmente, é muito maior, tendo em vista que em Brasília a necessidade por sistemas de resfriamento é significativamente menor.

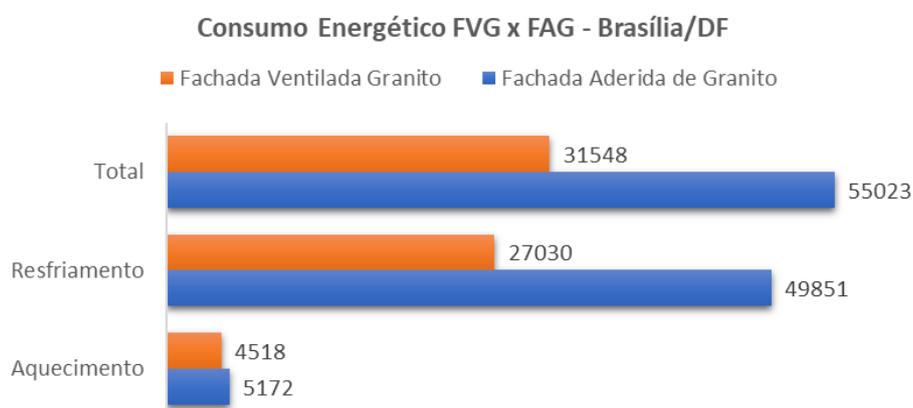


Figura 5.29 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Brasília/DF

Os resultados, mesmo que somente numéricos, de melhor desempenho energético em aquecimento e resfriamento corroboram os resultados de Marinosci et al. (2011) de que a fachada ventilada é capaz de reduzir a energia requerida para aquecimento em regiões de grande radiação solar e ventos com velocidade moderada, e, ainda, podem auxiliar a produzir condições internas saudáveis e confortáveis.

Ao se analisar a Figura 5.30, comparando com os dados climáticos, é possível verificar que o sistema de resfriamento possui demanda similar à precipitação da cidade e não às temperaturas, o que confirma a afirmação de López e Santiago (2015) de que as temperaturas não são as únicas a influenciar o desempenho de uma fachada, devendo ser considerada a radiação solar incidente e a velocidade do vento.

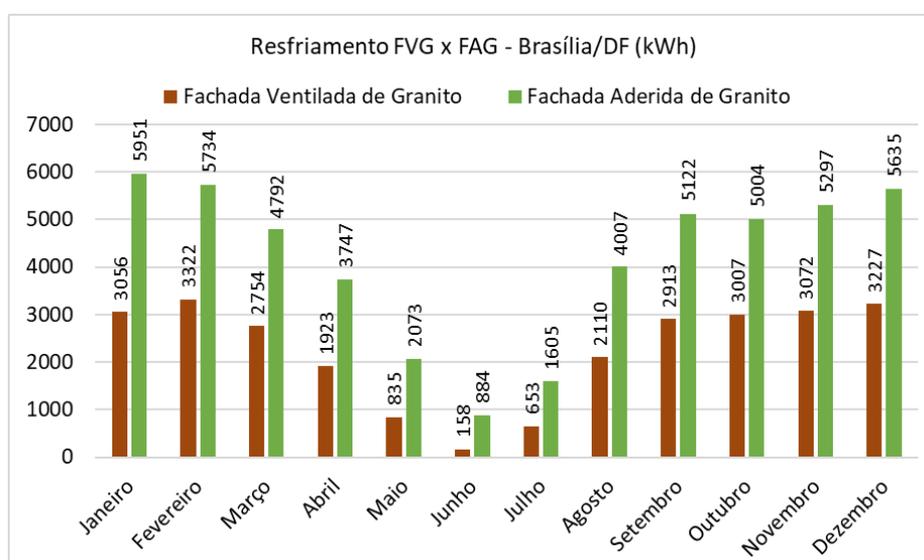


Figura 5.30 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Brasília/DF

Os ventos não podem ser considerados fracos, mas não são altos como nas regiões litorâneas, portanto Brasília fica posicionada em uma linha intermediária em benefício energético de acordo com a literatura, uma vez que não possui temperaturas altas ou baixas e tem velocidade dos ventos média.

Comparando as Figuras 5.30 e 5.31, é possível verificar que a demanda pelo sistema de resfriamento está presente em todo o ano, porém, nos meses de maio a julho, a demanda pelo sistema de aquecimento é maior, apesar de ainda existir demanda pelos sistemas de resfriamento. Na Figura 5.32 é possível verificar claramente a demanda pelos sistemas de

aquecimento, de maio a julho, limitando o inverno de Brasília a 3 meses no ano, temporada de seca.

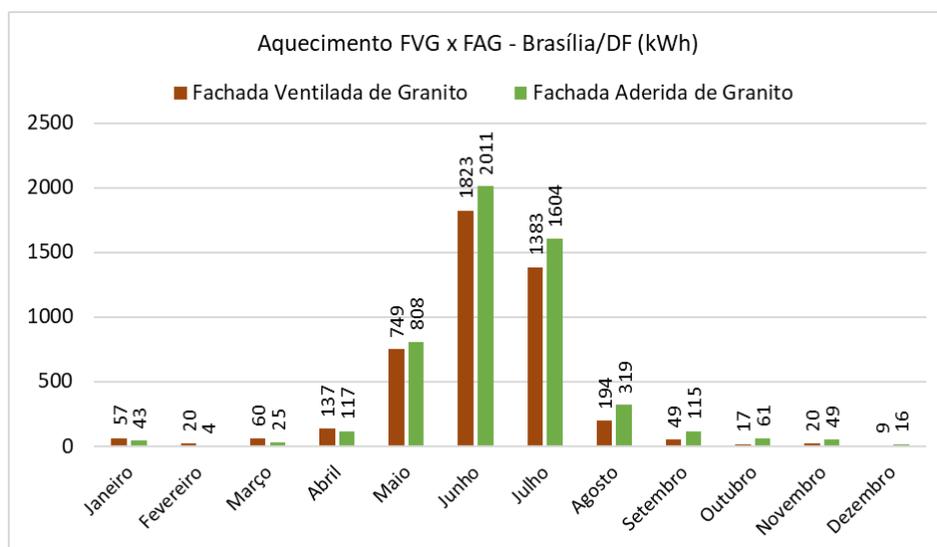


Figura 5.31 – Consumo Energético Aquecimento, comparativo mensal, Brasília/DF

O sistema de aquecimento é ativado abaixo de 20°C pelo *software* e as médias mensais mínimas ficam de 13 a 17°C (exceto junho e julho). De acordo com IPT (1998), temperaturas entre 12°C e 18°C são normalmente atingidas no período da madrugada, quando o ser humano pode ser aquecido por roupas mais quentes ou cobertores, sem a necessidade de aquecimento elétrico. Dessa forma, a demanda pelo sistema de aquecimento apresentada para Brasília, na maior parte do ano (83%), pode ser resolvida por meio de técnicas menos dispendiosas.

Comparando o benefício energético total (Figura 5.32) com os dados climáticos, verifica-se que sua curva acompanha a curva de temperaturas máximas da cidade, que é muito similar às curvas de ventos e precipitação. Os meses de seca de Brasília (de maio a setembro, com ênfase nos meses de junho a agosto) são coincidentes com os menores benefícios totais, demonstrando que baixos índices de precipitação influenciam nos benefícios desse sistema construtivo.

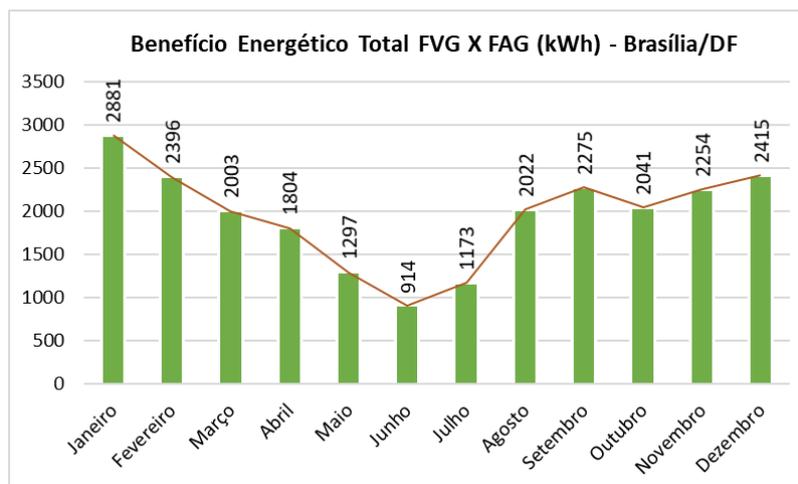


Figura 5.32 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Brasília/DF

Os resultados encontrados em Brasília, cidade com temperaturas máximas e mínimas moderadas, confirmam os resultados de Giancola et al. (2012) de que, em climas quentes com elevada radiação solar, as fachadas ventiladas podem ter um papel importante na redução de cargas térmicas por calor e frio, desde que as temperaturas externas não sejam elevadas.

Em relação aos custos, as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 1.881,10 anualmente. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 112.405,55 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 51.485,34 para a instalação em sistema pontual. A implantação do sistema leva cerca de 60 anos para se pagar no sistema perfilado e 27 anos no sistema pontual.

5.1.10 Campo Grande/MS – Região climática Aw

Campo Grande, capital do Mato Grosso do Sul, é a segunda representante da região climática Aw. No consumo energético (Figura 5.33) é possível visualizar necessidade praticamente nula de aquecimento, sendo que as diferenças numéricas encontradas são estatisticamente iguais (Tabela 5.10), porém, no quesito resfriamento (médias estatisticamente diferentes), o benefício energético produzido pelas fachadas ventiladas é alto. No geral as fachadas ventiladas geraram economia de 18.827 kWh anuais, 16%.

Tabela 5.10 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Campo Grande/MS

Parâmetros do teste de Tukey				Parâmetros do teste de Tukey			
n	6	$Q_{\alpha;g1;g2}$	3,15	n	4	$Q_{\alpha;g1;g2}$	3,46
k	2	S_{Dentro}^2	431954,67	k	2	S_{Dentro}^2	12604,63
α	0,05	HSD	845,19	α	0,05	HSD	194,23
Resfriamento	Diferença	Código		Aquecimento	Diferença	Código	
FAG	12240,67			FAG	313,50	a	
FVG	10035,33	2205,33	a	FVG	255,25	58,25	a
			b				

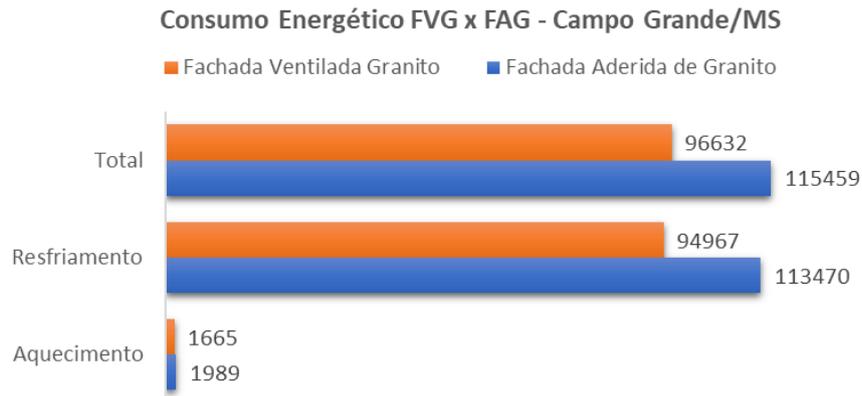


Figura 5.33 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Campo Grande/MS

Em Campo Grande as temperaturas médias seguem curva similar à de Brasília, com valores pouco superiores. Os ventos possuem velocidade média, assim como em Brasília, e a época de baixa precipitação da cidade limita-se a 3 meses (junho a agosto).

Durante todo o ano a cidade apresenta grande demanda pelos sistemas de resfriamento (Figura 5.34), que cai de maio a setembro, assim como as temperaturas médias e mínimas. Não há uma grande diferença na velocidade dos ventos que demonstre impacto nos resultados de resfriamento, porém o nível de precipitação começa a cair em abril, com menor pico de junho a agosto, começando a subir em setembro, demonstrando a importância das chuvas nas temperaturas internas dos ambientes e necessidade de sistemas artificiais de condicionamento do ambiente. As chuvas são responsáveis por maiores e menores índices de umidade relativa do ar, que possuem impacto na sensação térmica percebida.

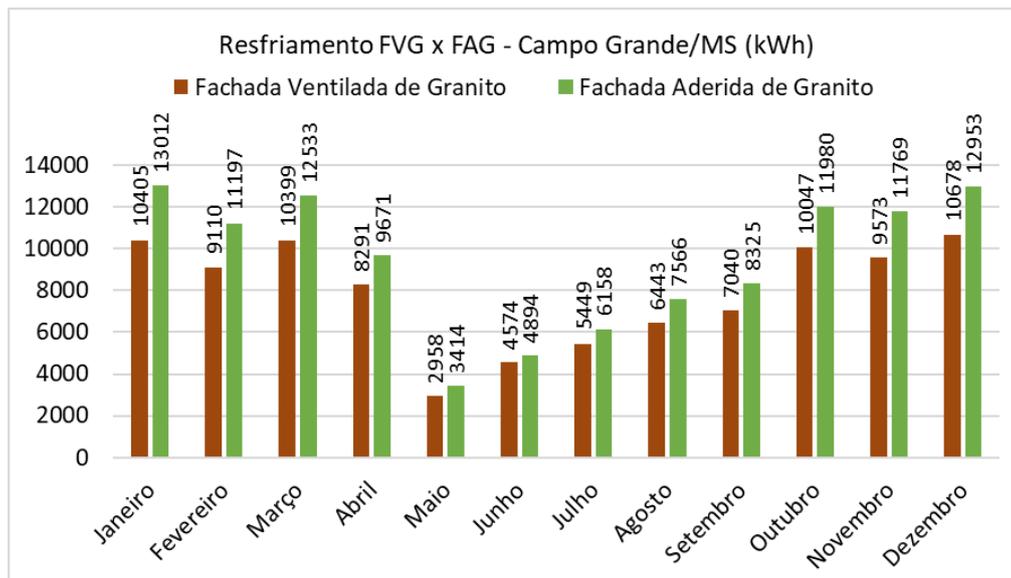


Figura 5.34 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Campo Grande/MS

Comparando o benefício energético (Figura 5.35) com os dados climáticos, verifica-se que sua curva acompanha parcialmente as curvas de temperatura, e o pico de seca (assim como em Brasília) é coincidente com a baixa no benefício, com os baixos índices de pluviosidade e as mais baixas temperaturas.

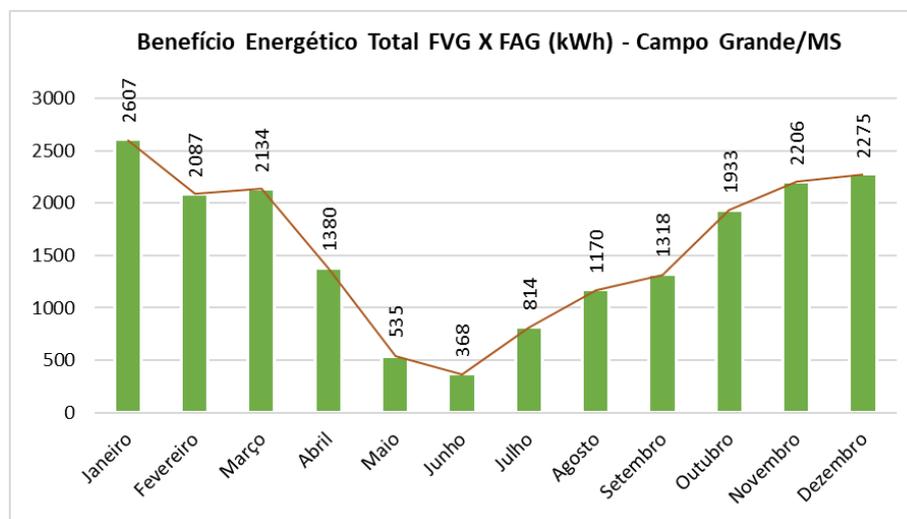


Figura 5.35 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Campo Grande/MS

Em relação aos custos, as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 2.210,54 anualmente. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 116.734,47 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 55.814,26 para a instalação em sistema pontual. A implantação do sistema leva cerca de 53 anos para se pagar no sistema perfilado e 25 anos no sistema pontual.

5.1.11 Cuiabá/MT – Região climática Aw

Cuiabá, capital do Mato Grosso, é a terceira representante da região climática Aw. No consumo energético (Figura 5.36), é possível visualizar necessidade praticamente nula de aquecimento, sendo que as diferenças numéricas encontradas são estatisticamente iguais (Tabela 5.11). O benefício gerado pelas Fachadas Ventiladas no quesito resfriamento (médias estatisticamente diferentes), é alto, sendo que no geral a economia foi de 21.912 kWh anuais, 15%. Apesar de numericamente ter benefício similar a Brasília, percentualmente a diferença é significativa.

Tabela 5.11 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Cuiabá/MT

Parâmetros do teste de Tukey				Parâmetros do teste de Tukey			
n	9	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3	n	3	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46
k	2	s_{Dentro}^2	2526390,22	k	2	s_{Dentro}^2	246,666667
α	0,05	HSD	1589,46	α	0,05	HSD	31,37
Resfriamento		Diferença	Código	Aquecimento		Diferença	Código
FAG	13729,00	2112,22	a	FAG	28,00	12,67	a
FVG	11616,78		b	FVG	15,33		a

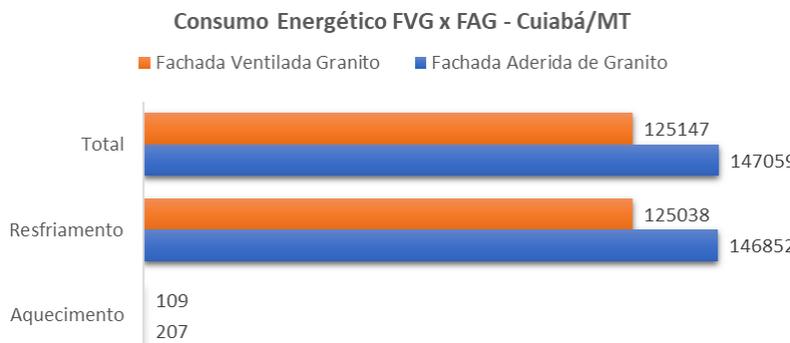


Figura 5.36 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Cuiabá/MT

A cidade de Cuiabá tem temperaturas médias altas, havendo queda nos meses de maio a agosto, quando ficam inferiores a 20°C, porém a cidade não possui nenhuma média mínima inferior a 12°C, podendo-se afirmar que não existe necessidade de sistema artificial de aquecimento, pois nesses poucos meses cobertores e blusas solucionam a questão. Cuiabá possui as temperaturas médias com curva similar à de Brasília, porém mais altas cerca de 5°C, e, como Brasília, apresenta ventos com velocidades médias para cidades não litorâneas. Cuiabá é marcada por período de seca de maio a setembro, e, apesar de o período de seca durar cinco meses, o primeiro e o último possuem índices acima de 50mm.

No consumo energético mensal (Figura 5.37) de Cuiabá, percebe-se constante demanda por sistemas de resfriamento, confirmando as altas temperaturas ao longo de todo o ano. Existe queda na demanda pelo sistema de resfriamento nos meses de maio a agosto, condizente com o período de seca da cidade, período também marcado pelas mais baixas temperaturas médias e médias mínimas, apesar de as temperaturas médias máximas continuarem altas e serem a provável razão pela contínua necessidade de sistemas de resfriamento.

Comparativamente a Brasília, a menor demanda por resfriamento em Cuiabá (mês maio) é maior do que a mais alta demanda em Brasília (mês Janeiro para Fachada Aderida e mês Fevereiro para Fachada Ventilada). Em relação a Campo Grande, a demanda por resfriamento é similar ao longo de todo o ano, porém com valores superiores, o que também ocorre nas temperaturas.

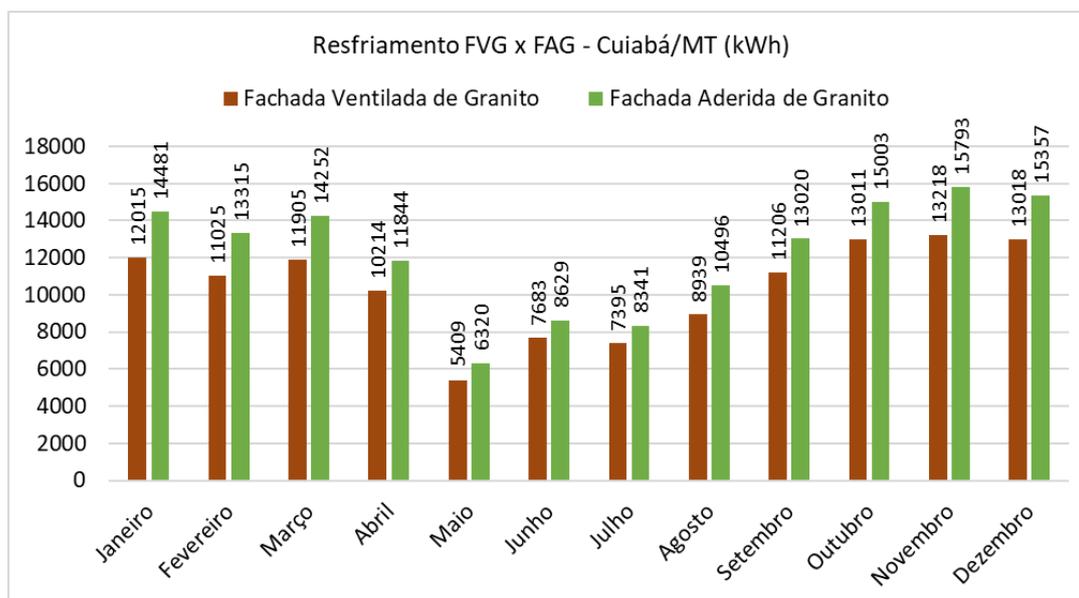


Figura 5.37 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Cuiabá/MT

No gráfico de benefício energético (Figura 5.38) percebe-se grande similaridade à de Campo Grande, confirmando os dados de consumo energético. Comparando o benefício energético com os dados climáticos, verifica-se que sua curva acompanha parcialmente as curvas de temperatura e precipitação, tendo o mesmo comportamento que Campo Grande no período de seca, sendo o pico deste período (assim como em Brasília) coincidente com o menor benefício, baixos índices de pluviosidade e as mais baixas temperaturas.

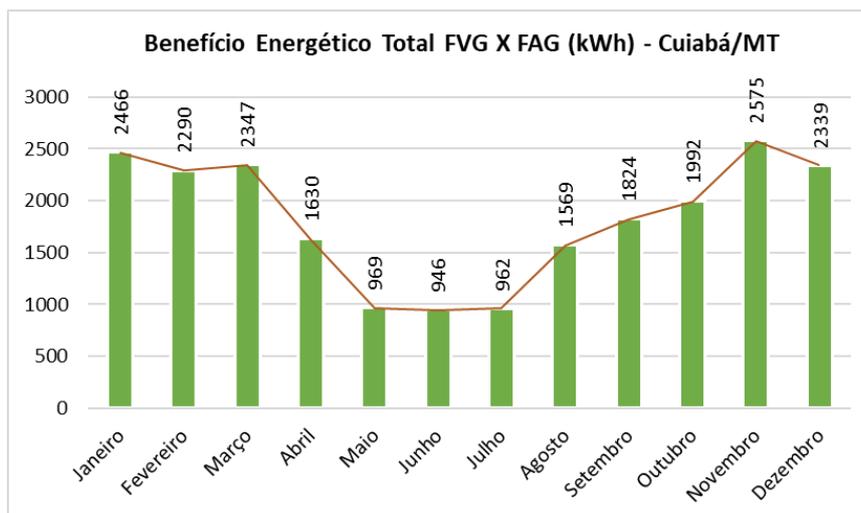


Figura 5.38 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Cuiabá/MT

Os resultados encontrados para Cuiabá corroboram os resultados obtidos por Suárez et al. (2012): quanto maior a radiação solar e a temperatura do ar circundante, maior a economia de energia com as fachadas ventiladas.

Em relação aos custos, as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 2.584,13 anualmente e, em 50 anos, um montante de US\$ 129.206,50, desconsiderando os aumentos no valor do kWh. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 114.685,20 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 53.764,98 para a instalação em sistema pontual. A implantação do sistema leva cerca de 44 anos para se pagar no sistema perfilado e 21 anos no sistema pontual. Apesar da diferença de custo de implantação ser a mesma de Brasília, o benefício financeiro anual em Cuiabá é maior, explicando assim o menor tempo de retorno do investimento.

5.1.12 Rio de Janeiro/RJ – Região climática Aw

Rio de Janeiro, capital do estado do Rio de Janeiro, é a última das cidades representantes da região climática Aw. Após análise estatística (Tabela 5.12), essa foi a única cidade dentre as 16 analisadas que teve o item Resfriamento (a cidade não teve dados de aquecimento) estatisticamente igual para os dois tipos de fachada: ventilada e aderida. Sendo assim, o tipo de fachada não tem impacto no quesito analisado. Nesse sentido, a análise climática comparativa dos resultados de consumo energético para a cidade se tornou irrelevante.

Tabela 5.12 - Teste de Tukey para Resfriamento, Rio de Janeiro/RJ

Parâmetros do teste de Tukey			
n	7	$q_{\alpha;g1;g2}$	3,08
k	2	s_{Dentro}^2	5591180,74
α	0,05	HSD	2752,67
Resfriamento	Diferença	Código	
FAG	13794,29	2160,57	a
FVG	11633,71		a

5.1.13 Região Climática Aw

Para o comparativo entre as cidades da região climática Aw, foi realizado o teste de Tukey para as médias de resfriamento das fachadas ventiladas das três cidades: Brasília, Campo Grande e Cuiabá. Nesse caso, foram utilizados os 12 meses do ano. Por meio do teste de Tukey (Tabela 5.13) e da Figura 5.39 é possível verificar que os resultados de resfriamento das fachadas ventiladas são diferentes entre as três cidades.

Tabela 5.13 - Teste de Tukey, Resfriamento, região climática Aw, Fachada Ventilada

Parâmetros do teste de Tukey					
n	9	$q_{\alpha;g1;g2}$	3,95	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	1550902,25	HSD	1639,71
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG - Brasília	2820,44	FVG - Brasília	FVG - C. Grande	FVG - Cuiabá	a
FVG - Campo Grande	9109,56	6289,11			b
FVG - Cuiabá	11616,78	8796,33 2507,22			c

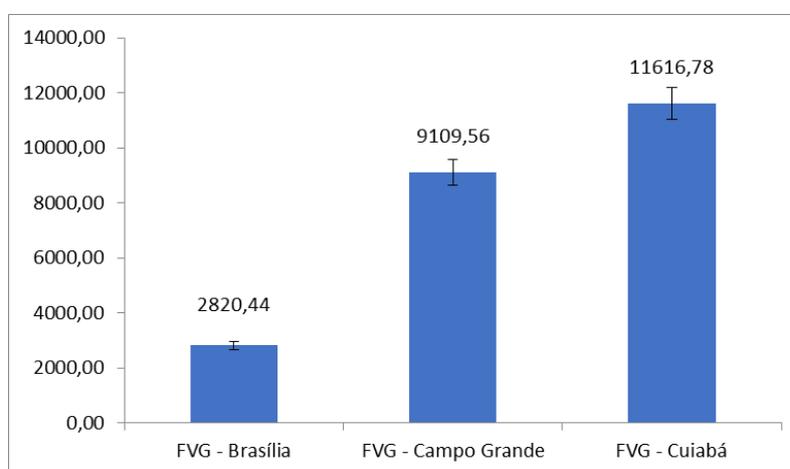


Figura 5.39 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir da Tabela 5.13

A classificação Köeppen-Geiger não leva em consideração continentalidade e altitude das cidades, o que pode justificar a diferença encontrada entre Brasília e as demais cidades, e Rio de Janeiro ter resultados estatisticamente iguais para resfriamento. Rio de Janeiro está localizada a 2m do nível do mar, enquanto Cuiabá está a 165m, Campo Grande a 592m e Brasília a 1.172m. Além da altitude, outros fatores contribuintes para as diferenças são a topografia e vegetação de cada local. Ainda, é necessário lembrar que o Rio de Janeiro é a única cidade litorânea entre as quatro.

O tratamento estatístico avalia a média anual para o quesito e não leva em consideração a distribuição ao longo dos meses. Avaliando a região climática Aw ao longo do ano, é possível perceber similaridades no consumo energético mensal (Figura 5.40) para Campo Grande e Cuiabá, com pequenas diferenças para Brasília, enfatizando menor consumo por resfriamento nos meses de seca (maio a setembro).

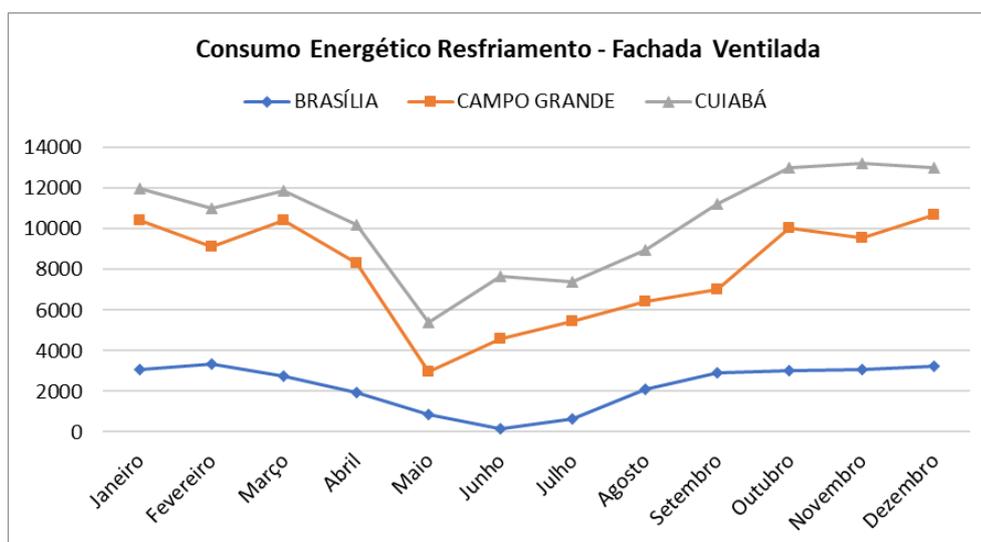


Figura 5.40 – Consumo Energético Resfriamento, FVG – Região Climática Aw

Já no quesito benefício energético (Figura 5.41) verifica-se a sobreposição das curvas de Campo Grande e Cuiabá, demonstrando que ambas apresentam o mesmo benefício energético por resfriamento pelas fachadas ventiladas, ao longo do ano, enquanto Brasília possui suas particularidades.

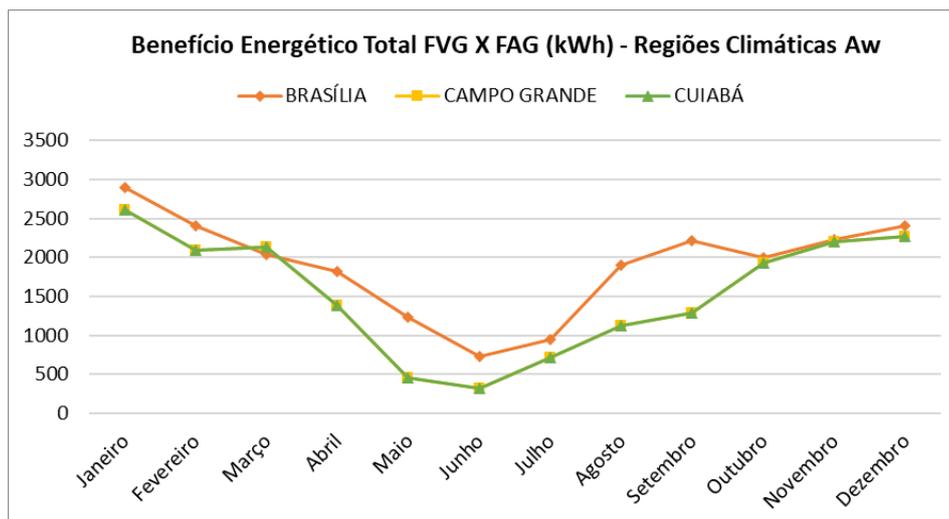


Figura 5.41 – Benefício Energético FVG X FAG – Região Climática Aw

Constatou-se também similaridade nas curvas de temperatura (Figura 5.42) e precipitação (Figura 5.43), sendo Brasília a mais seca. A velocidade dos ventos (Figura 5.44), no entanto, apresenta diferença, pois Brasília é a cidade com ventos mais amenos e as outras se assemelham nesse quesito. Essa mesma diferença é percebida no consumo e benefício energético, confirmando que os ventos possuem impacto nos resultados e corroborando os resultados de Sanjuan et al. (2011) de que as cidades com maior economia energética são aquelas com altas temperaturas e ventos amenos.

Apesar das similaridades encontradas entre as cidades avaliadas, o comportamento anual, ao longo dos meses, é diferente entre elas, seja por valores ou por variação, confirmando os resultados encontrados estatisticamente.

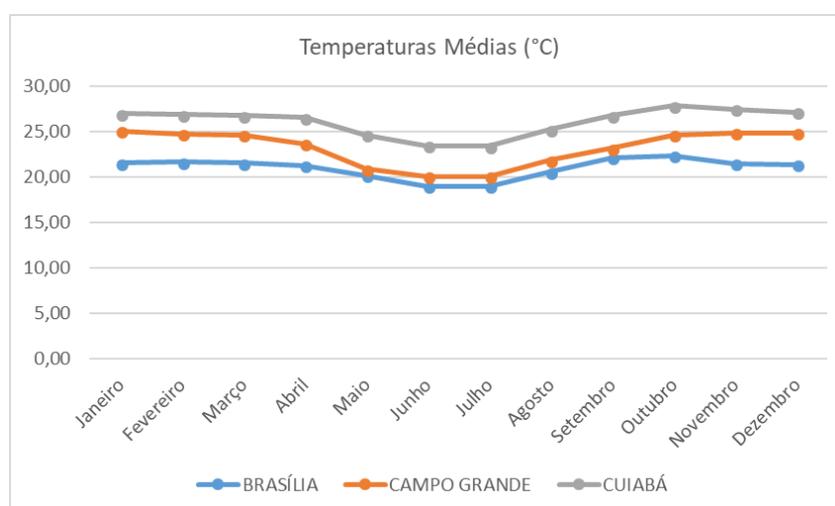


Figura 5.42 – Temperaturas Médias – Região climática Aw

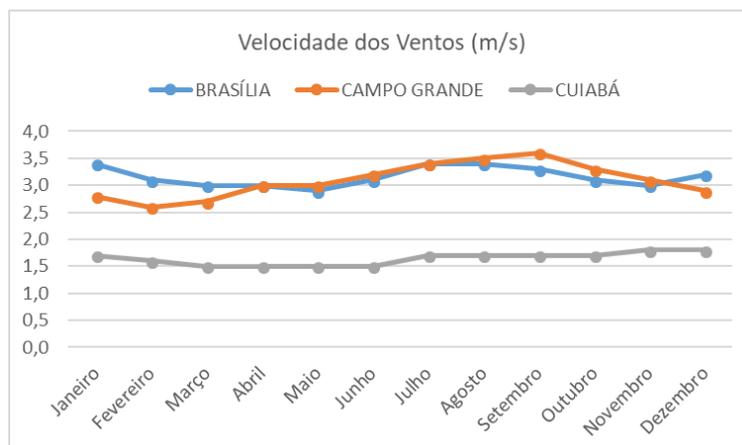


Figura 5.43 – Velocidade dos Ventos – Região climática Aw

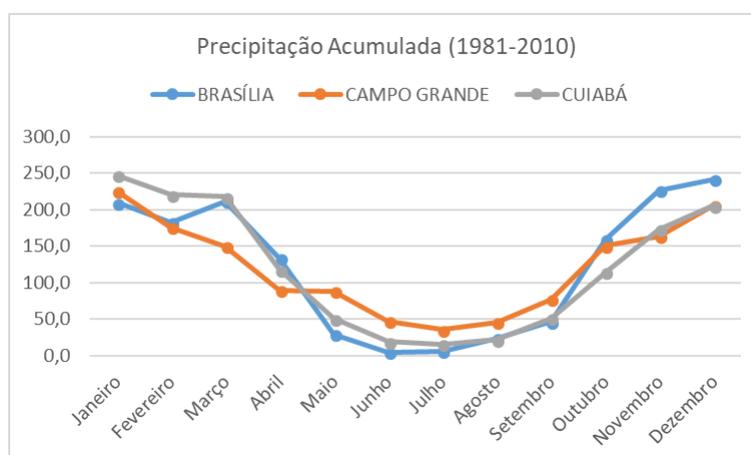


Figura 5.44 – Precipitação Acumulada – Região climática Aw

5.1.14 Água Branca/AL – Região climática BSh

A região climática BSh - Clima Árido Estepe quente, de baixíssima representatividade no Brasil - foi representada nesta pesquisa somente pela cidade de Água Branca, Alagoas. Com base nos resultados estatísticos (Tabela 5.14), constata-se que o tipo de fachada interfere no consumo energético por resfriamento, não tendo havido demanda por aquecimento.

Tabela 5.14 - Teste de Tukey para Resfriamento, Água Branca/AL

Parâmetros do teste de Tukey			
n	9	$q_{\alpha;g 1;g 2}$	3
k	2	s_{Dentro}^2	2949268,94
α	0,05	HSD	1717,34
Resfriamento	Diferença	Código	
FAG	11346,56	a	
FVG	9182,11	b	

Na Figura 5.45 apresenta-se o resumo do consumo energético da cidade, no qual é possível verificar que não existe demanda por aquecimento e a demanda por resfriamento é alta, assim como para as demais zonas já apresentadas. O benefício gerado pelas Fachadas Ventiladas foi de 20.945 kWh anuais, economia de 18% de energia elétrica.

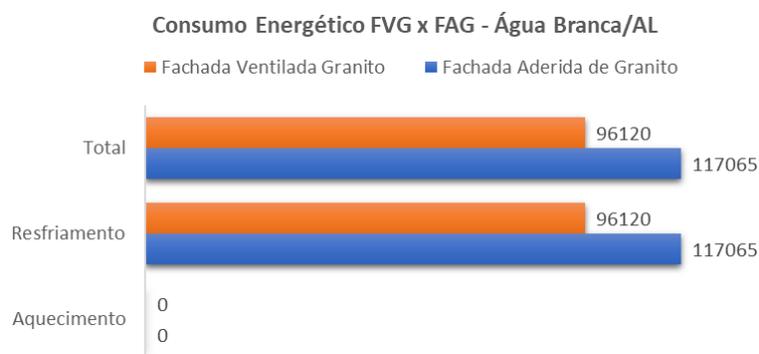


Figura 5.45 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Água Branca/AL

Água Branca, possui variação nas temperaturas, com os picos mais altos no verão (novembro a fevereiro) e os mais baixos no inverno (junho a agosto). Os ventos possuem picos mais baixos de março a julho e mais altos de setembro a novembro, porém a curva é similar à das temperaturas. Os meses de maiores precipitações coincidem com os meses de menores ventos (maio a julho) e parcialmente com as mais baixas temperaturas (junho a setembro).

Para Água Branca, quanto menores as temperaturas, maior é a precipitação e menores são os ventos, no entanto o nível de precipitação na cidade é constantemente baixo e os níveis mais baixos são encontrados nas épocas mais quentes do ano. Os ventos em Água Branca podem ser considerados fortes, com média de 4,0 m/s.

O consumo energético por resfriamento (Figura 5.46) e o benefício energético (Figura 5.47) apresentam curva similar à de temperatura média máxima, e coincidem inversamente com a precipitação somente nos meses mais frios (maio a agosto). Os ventos não acompanham parcialmente a curva de consumo energético, demonstrando baixo impacto nos resultados.

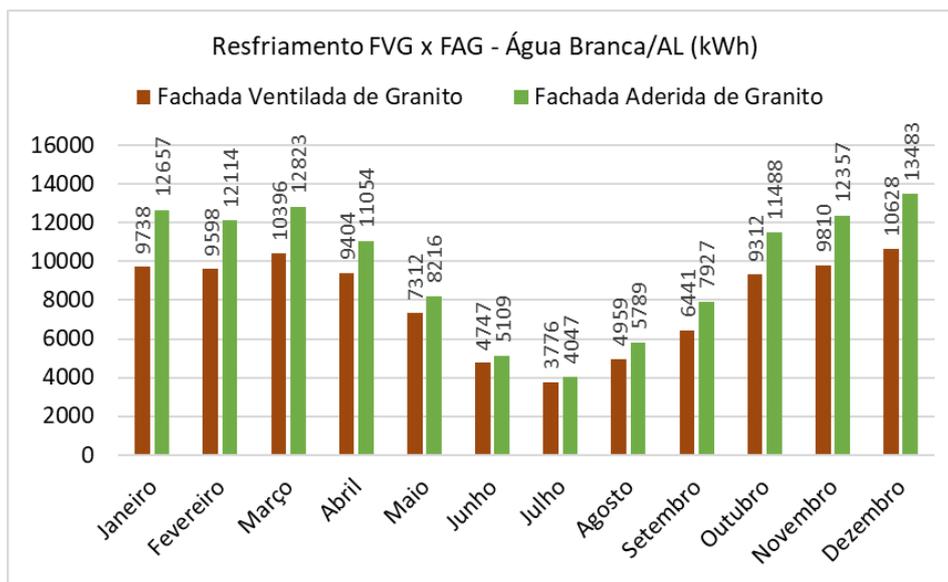


Figura 5.46 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Água Branca/AL

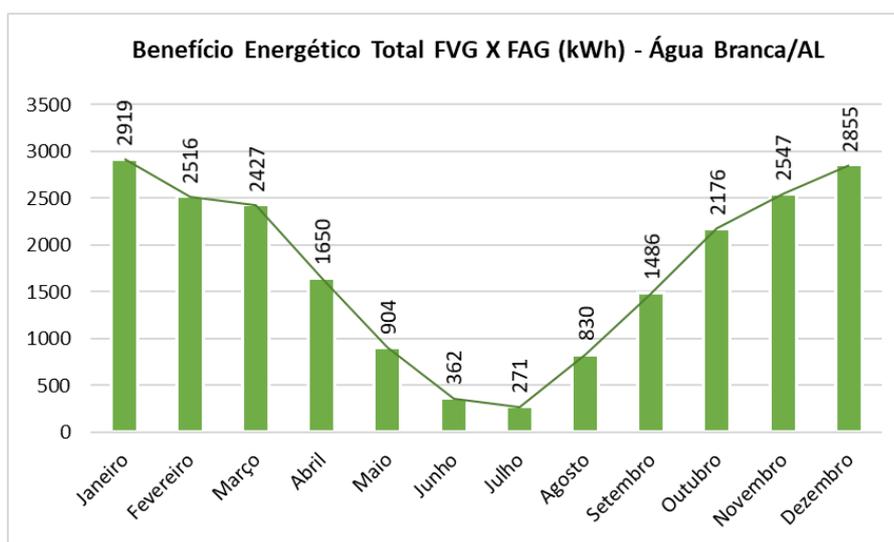


Figura 5.47 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Água Branca/AL

Em relação aos custos, para Água Branca, as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 2.453,50 anualmente. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 114.465,43 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 53.545,21 para a instalação em sistema pontual. No quesito custo-benefício a implantação do sistema leva cerca de 47 anos para se pagar no sistema perfilado e 22 anos no sistema pontual.

5.1.15 Comparativo Água Branca e cidades litorâneas

O clima de Água Branca possui muitas similaridades com o das cidades litorâneas: Salvador, Maceió e Aracaju, apesar de não ser uma, e por isso acredita-se ser interessante a comparação para verificar essa semelhança. Para tal, foi realizado o teste de Tukey para as médias de resfriamento das fachadas ventiladas das cidades, neste caso, para 9 meses: setembro a maio. Por meio do teste (Tabela 5.15) e da Figura 5.48, é possível verificar que, no quesito resfriamento das fachadas ventiladas, Água Branca é diferente das outras três, o que é explicado pela região climática. Água Branca é BSh e as demais, A (Salvador-Af, Maceió-Am e Aracaju-As).

Tabela 5.15 - Teste de Tukey, Resfriamento, região climática Aw, Fachada Ventilada

Parâmetros do teste de Tukey						
n	9	$q_{\alpha;g1;g2}$	4,42	α	0,050	
k	4	s_{Desvio}^2	1689205,007	HSD	1914,88	

Resfriamento	Média	Diferença				Código
FVG - Água Branca	9182,11	FVG - Á. Branca	FVG - Aracaju	FVG - Maceió	FVG - Salvador	a
FVG - Aracaju	12202,56	3020,44				b
FVG - Maceió	12403,22	3221,11	200,67			b
FVG - Salvador	12544,22	3362,11	341,67	141,00		b

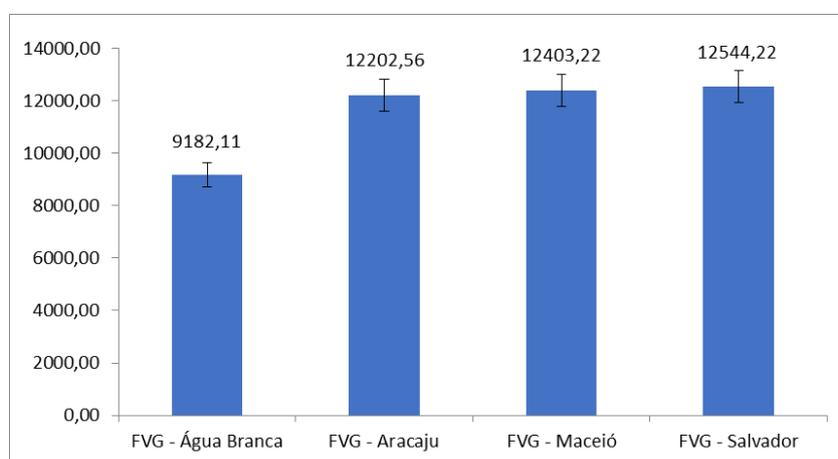


Figura 5.48 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir da Tabela 5.15

O tratamento estatístico avalia média anual para o quesito e não leva em consideração a distribuição ao longo dos meses. É possível verificar que a curva de consumo energético (Figura 5.49) para todas as cidades é muito similar, porém com valores menores para Água Branca.

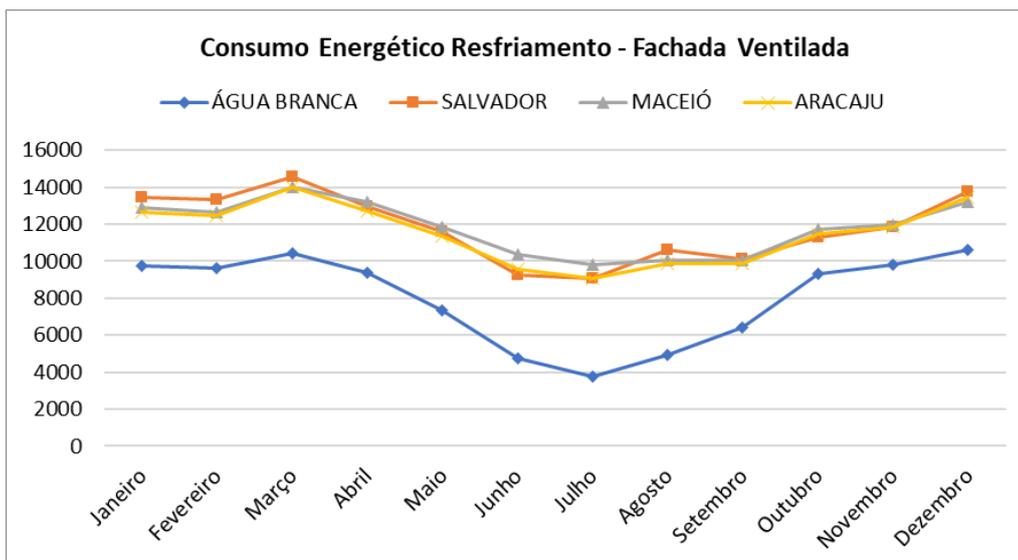


Figura 5.49 – Consumo Energético FVG - Água Branca e Cidades Litorâneas

No benefício energético (Figura 5.50), assim como nas temperaturas médias (Figura 5.51), as curvas das três cidades litorâneas se sobrepõem, enquanto a de Água Branca difere das demais no benefício energético e é similar nas temperaturas médias, com valores mais baixos de abril a setembro. No quesito velocidade dos ventos (Figura 5.52), as curvas sobrepostas são de Maceió e Aracaju, tendo Salvador comportamento diferente. Água Branca possui a curva similar às duas primeiras, porém com velocidades superiores, o que pode explicar o menor consumo energético da cidade. De forma geral, o comportamento anual confirma os resultados estatísticos encontrados.

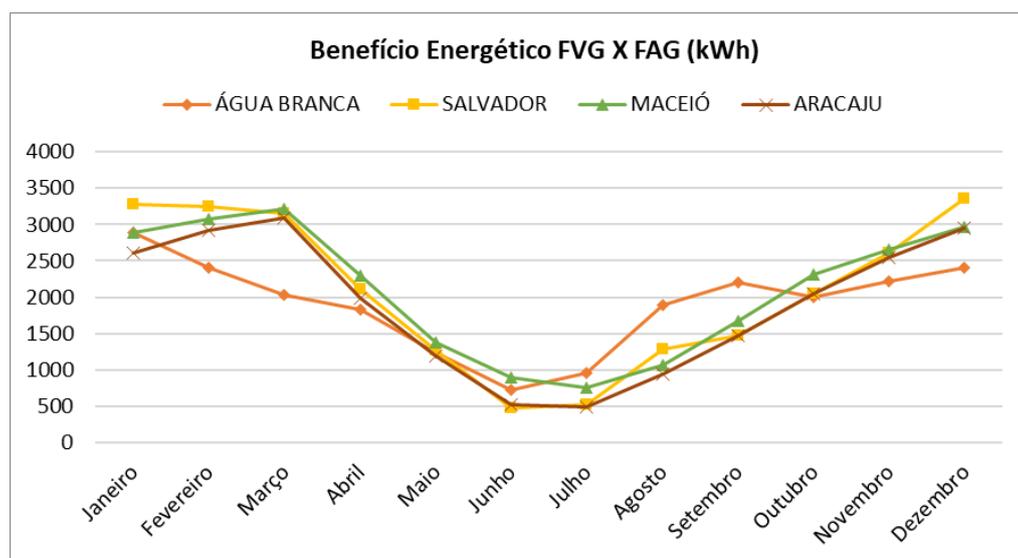


Figura 5.50 – Benefício Energético FVG X FAG – Água Branca e Cidades Litorâneas

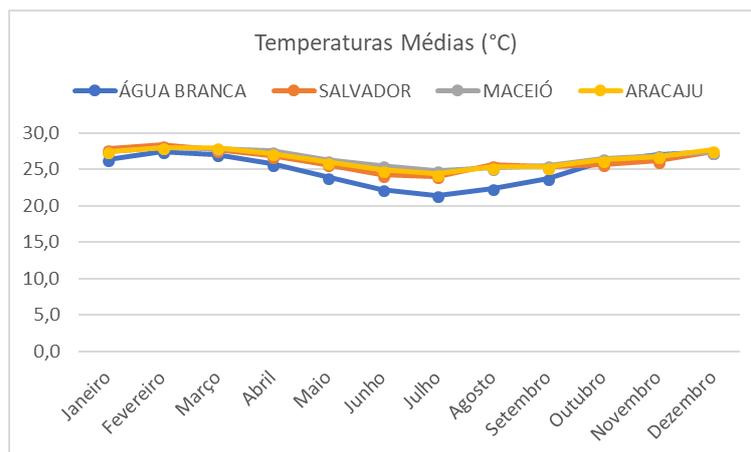


Figura 5.51 – Temperaturas Médias - Água Branca e Cidades Litorâneas

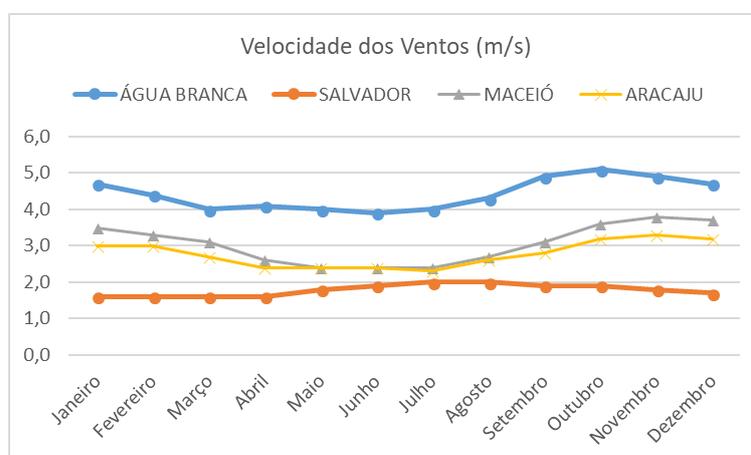


Figura 5.52 – Velocidade dos Ventos - Água Branca e Cidades Litorâneas

As similaridades encontradas no comportamento durante o ano, entre as cidades, podem ser explicadas por meio do mapa do Google Earth, da classificação Köppen-Geiger (Figura 5.53), onde se vê que Água Branca situa-se no limite entre as zonas climáticas BSh e As.

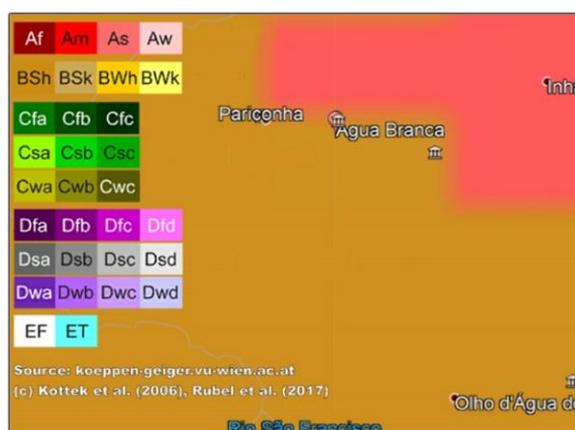


Figura 5.53 – Mapeamento da classificação climática Köppen-Geiger para Água Branca (print screen do software Google Earth, 2018)

5.1.16 Porto Alegre/RS – Região climática Cfa

A região climática Cfa, Clima Temperado, úmido o ano todo com verões quentes, foi representada nesta pesquisa pelas cidades de Porto Alegre e São Paulo. Os resultados estatísticos (Tabela 5.16) referentes a Porto Alegre demonstram que o tipo de fachada interfere somente no consumo energético do sistema de resfriamento.

Tabela 5.16 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Porto Alegre/RS

Parâmetros do teste de Tukey				Parâmetros do teste de Tukey			
n	4	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,46	n	3	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,93
k	2	s_{Dentro}^2	2282488,33	k	2	s_{Dentro}^2	134330,67
α	0,05	HSD	2613,67	α	0,05	HSD	831,61
Resfriamento		Diferença	Código	Aquecimento		Diferença	Código
FAG	12009,00	2760,00	a	FAG	2976,60	225,00	a
FVG	9249,00		b	FVG	2751,60		a

Na Figura 5.54 apresenta-se o resumo do consumo energético da cidade, pelo qual é possível verificar baixa demanda por aquecimento e média demanda por resfriamento, demonstrando que ela tem estações mais bem definidas. O benefício gerado pelas Fachadas Ventiladas no quesito aquecimento ficou em 1.049 kWh e no de resfriamento em 15.721 kWh anuais, com economia de 23% de energia elétrica. No geral, a economia foi de 16.770 kWh, representando 20% de economia de energia elétrica.

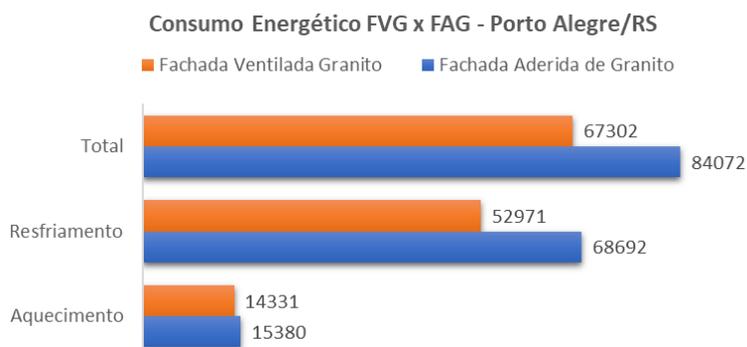


Figura 5.54 – Consumo energético comparativo FVG e FAG, Porto Alegre/RS

Porto Alegre possui grande variação nas temperaturas, com os picos mais altos de dezembro a março, coincidindo com as mais baixas taxas de precipitação, e os picos mais baixos de maio a setembro, porém nesse período a precipitação oscila. Os ventos oscilam de 1.8 m/s em junho a 2.7 m/s em Novembro, coincidindo as mais baixas taxas de velocidade dos ventos com as mais baixas temperaturas médias mínimas de maio a agosto.

O consumo energético por resfriamento (Figura 5.55) aparece durante todo o ano, porém de maio a setembro, meses das mais baixas temperaturas, é irrelevante. O pico ocorre de dezembro a março, coincidente com as baixas precipitações e altas temperaturas.

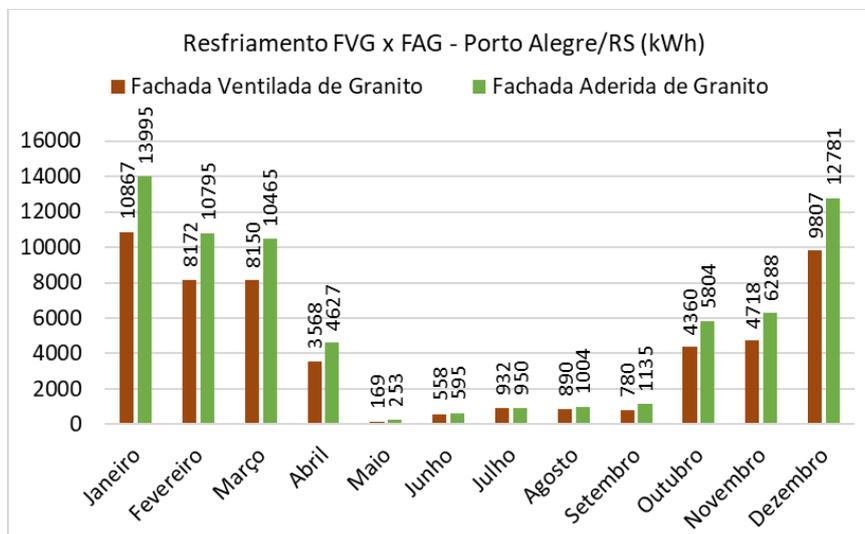


Figura 5.55 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Porto Alegre/RS

Apresenta-se o consumo energético por aquecimento na Figura 5.56, apesar de não haver impacto do tipo de fachada, para compreensão do clima no qual a cidade está inserida. Percebe-se demanda por aquecimento nos meses de baixa necessidade por resfriamento, de forma inversamente proporcional, sendo os meses de maior demanda de maio a setembro, estes com as menores temperaturas e baixas velocidades de vento. O benefício energético (Figura 5.57) apresenta curva similar somente à de temperaturas médias.

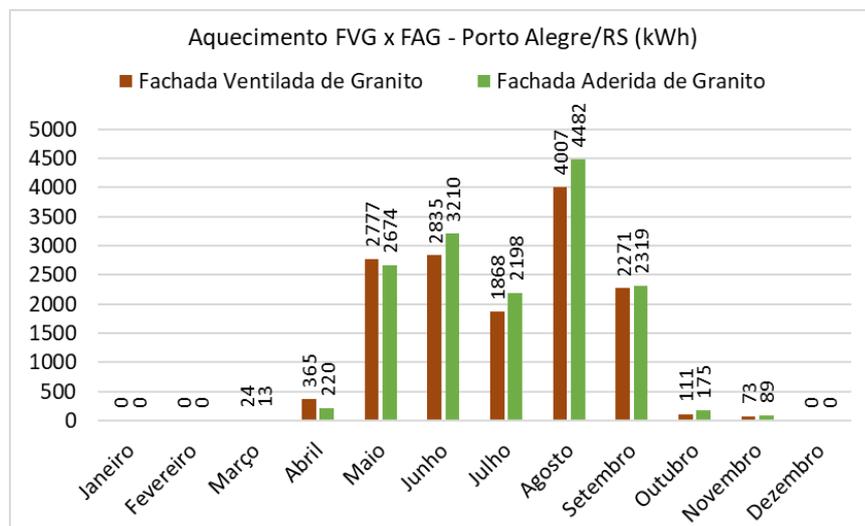


Figura 5.56 – Consumo Energético Aquecimento, comparativo mensal, Porto Alegre/RS

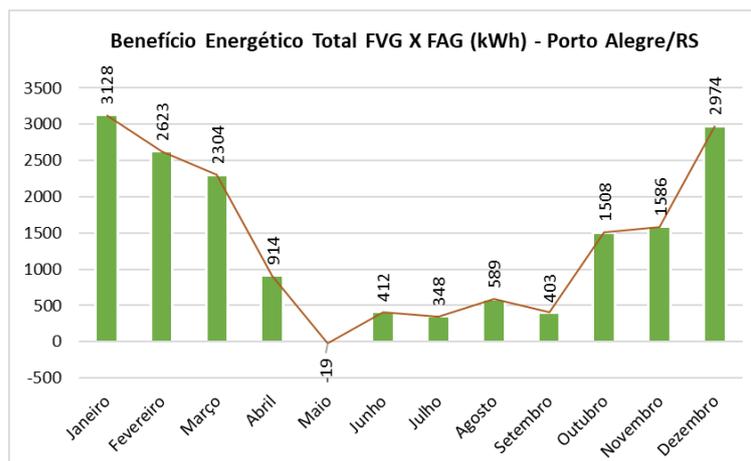


Figura 5.57 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Porto Alegre/RS

Para Porto Alegre, as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 1.962,20 anualmente, totalizando, em 50 anos, US\$ 98.110,00, desconsiderando os aumentos no valor do kWh. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 112.408,52 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 51.488,30 para a instalação em sistema pontual, e a implantação do sistema leva cerca de 57 anos para se pagar no sistema perfilado e 26 anos no sistema pontual.

5.1.17 São Paulo/SP – Região climática Cfa

São Paulo é a segunda e última cidade representante do clima Cfa neste estudo. Os resultados estatísticos (Tabela 5.17) demonstram que o tipo de fachada interfere somente no consumo energético por resfriamento.

Tabela 5.17 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, São Paulo/SP

Parâmetros do teste de Tukey				Parâmetros do teste de Tukey			
n	4	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46	n	5	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,26
k	2	$s_{D_{resc}}^2$	661649,25	k	2	$s_{D_{resc}}^2$	70356,65
α	0,05	HSD	1407,21	α	0,05	HSD	386,71
Resfriamento		Diferença	Código	Aquecimento		Diferença	Código
FAG	8974,75	2094,00	a	FAG	1250,00	49,40	a
FVG	6880,75		b	FVG	1200,60		a

É possível observar (Figura 5.59) que, como para Porto Alegre, a cidade apresenta baixa demanda por aquecimento e média demanda por resfriamento. O benefício gerado pelas Fachadas Ventiladas no quesito aquecimento ficou em 290 kWh, considerado irrelevante, e,

no de resfriamento, em 14.099 kWh anuais, economia de 23% de energia elétrica, resultados muito similares aos de Porto Alegre. No geral, a economia gerada pelas fachadas ventiladas foi de 14.389 kWh, 22%.

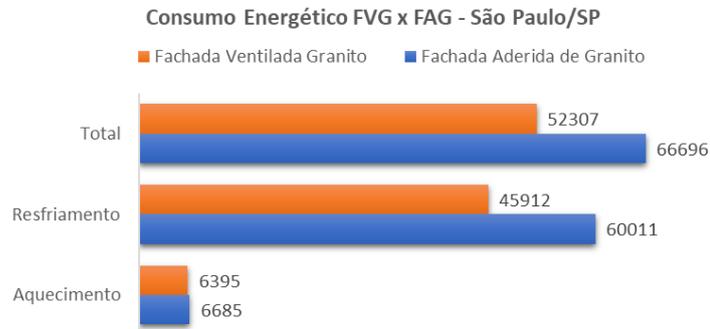


Figura 5.58 – Consumo energético comparativo FVG e FAG, São Paulo/SP

São Paulo possui curva de temperatura similar à de Porto Alegre, com os picos mais altos de dezembro a março, coincidindo com as mais altas taxas de precipitação, e os picos mais baixos de maio a setembro, como as mais baixas precipitações. Os ventos estão a maior parte do ano com médias entre 2.5m/s e 2.7 m/s, havendo um leve aumento de setembro a dezembro, porém podem ser considerados uniformes ao longo do ano.

O consumo energético por resfriamento (Figura 5.59) aparece durante todo o ano, porém de maio a setembro, meses das mais baixas temperaturas, é irrelevante, mesma época de baixa precipitação. Em outubro e novembro o consumo também é pequeno, porém intermediário entre as épocas de maior e menor demanda. A maior demanda ocorre de dezembro a março, coincidente com as altas precipitações e temperaturas da cidade.

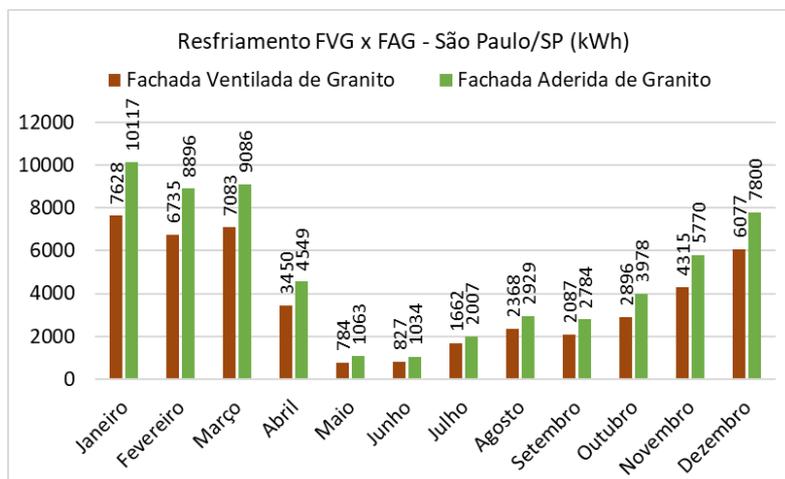


Figura 5.59 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, São Paulo/SP

No consumo energético por aquecimento (Figura 5.60) verifica-se o quadro oposto, com a maior demanda de maio a setembro e no pico de alta demanda por resfriamento, não se registra demanda por aquecimento. O benefício energético (Figura 5.61) tem curva similar ao consumo energético por resfriamento, às curvas de temperatura e precipitação da cidade.

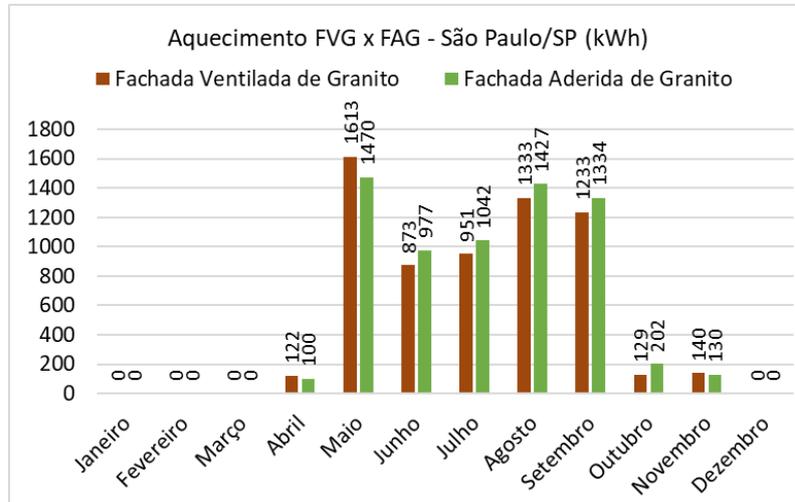


Figura 5.60 – Consumo Energético Aquecimento, comparativo mensal, São Paulo/SP

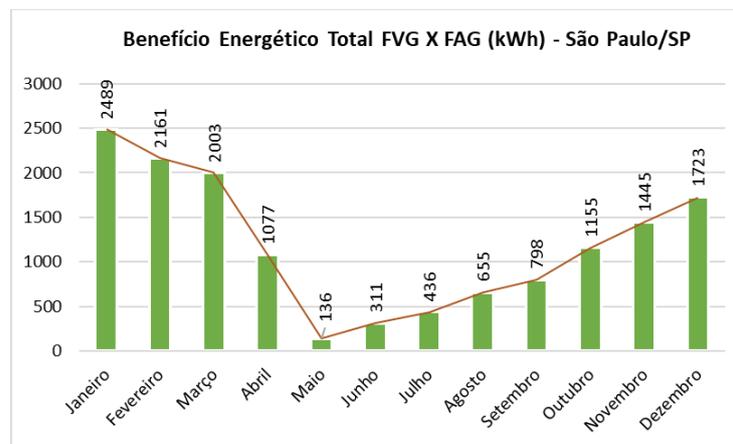


Figura 5.61 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, São Paulo/SP

Em São Paulo, as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 1.666,86 anualmente, resultando, em 50 anos, em US\$ 83.343,00 desconsiderando os aumentos no valor do kWh. A diferença no custo de implantação do sistema é de US\$ 109.962,57 para a instalação em sistema perfilado e US\$ 49.042,35 para a instalação em sistema pontual, e a implantação do sistema leva cerca de 66 anos para se pagar no sistema perfilado e 29 anos no sistema pontual. Apesar de a implantação em São Paulo ter custo menor do que em Porto Alegre, o benefício energético também é inferior, fazendo com que leve mais tempo para ser viabilizado economicamente.

5.1.18 Região Climática Cfa

Para o comparativo entre as cidades da região climática Cfa, foi realizado o teste de Tukey para as médias de resfriamento das fachadas ventiladas das cidades. Nesse caso foram utilizados quatro meses do ano, de dezembro a março. Por meio do teste (Tabela 5.18) e da Figura 5.62, é possível verificar que os resultados de resfriamento das fachadas ventiladas são diferentes entre as cidades.

Tabela 5.18 - Teste de Tukey, Resfriamento, região climática Aw, Fachada Ventilada

Parâmetros do teste de Tukey			
n	4	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46
k	2	s_{Dentro}^2	1093927
α	0,05	HSD	1809,42
Resfriamento		Diferença	Código
FVG - Porto Alegre	9249,00	2368,25	a
FVG - São Paulo	6880,75		b

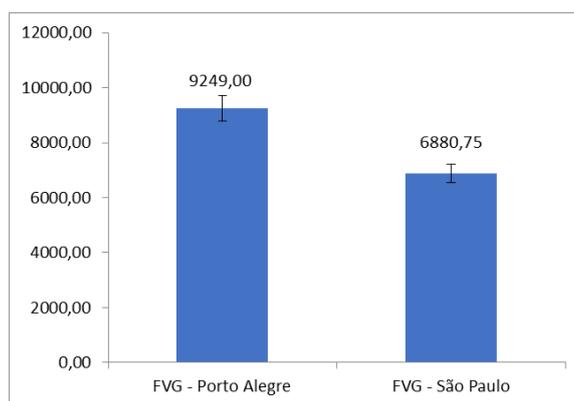


Figura 5.62 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir da Tabela 5.18

O fato de São Paulo estar localizada a 760m do nível do mar enquanto Porto Alegre a 10m pode explicar a diferença encontrada entre as cidades de mesma região climática.

O tratamento estatístico avalia média anual para o quesito e não leva em consideração a distribuição ao longo dos meses. Ao longo do ano, a região climática Cfa demonstrou similaridade nos resultados entre as cidades, quanto ao consumo energético (Figura 5.63), benefício energético (Figura 5.64), temperaturas médias (Figura 5.65) e velocidade dos ventos (Figura 5.66).

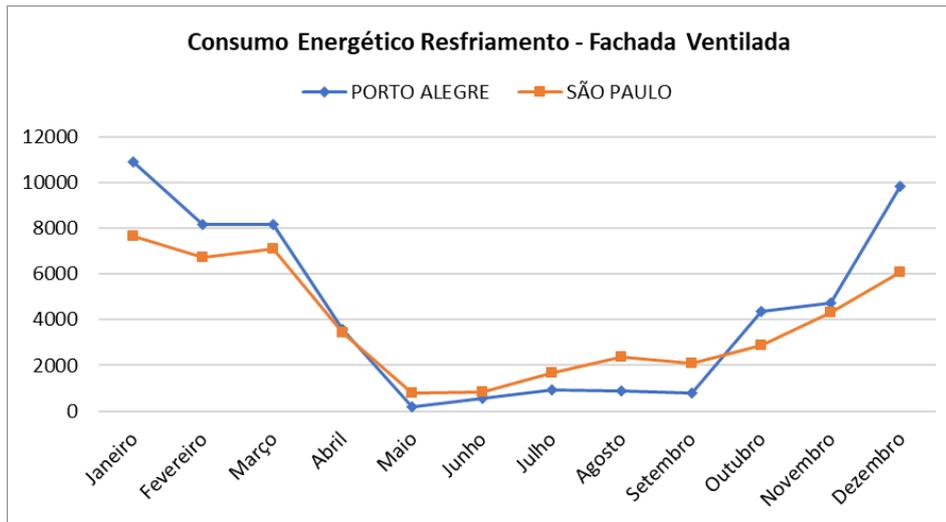


Figura 5.63 – Consumo Energético Resfriamento, FVG – Região climática Cfa

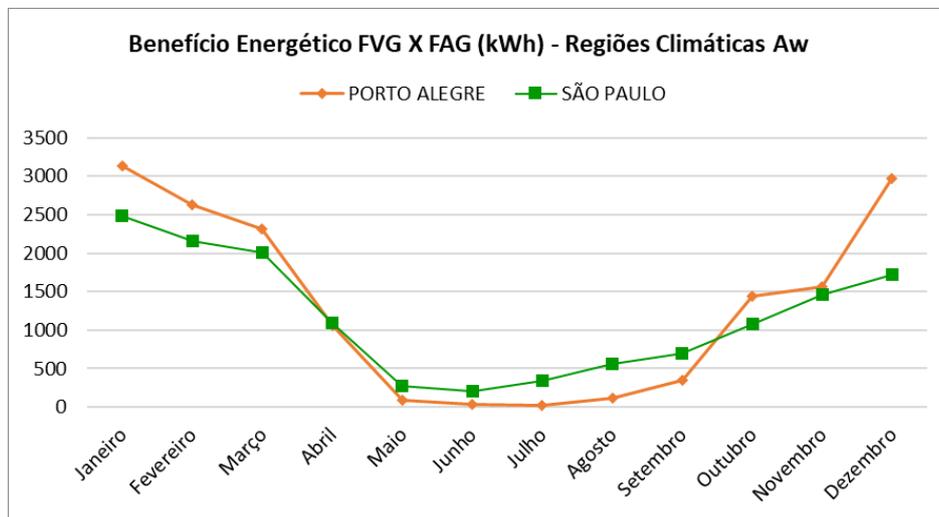


Figura 5.64 – Benefício Energético FVG X FAG – Região Climática Cfa

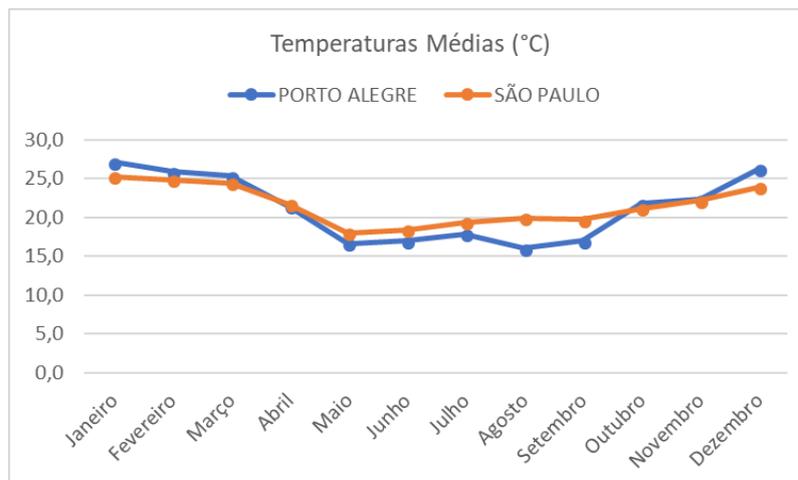


Figura 5.65 – Temperaturas Médias – Região climática Cfa

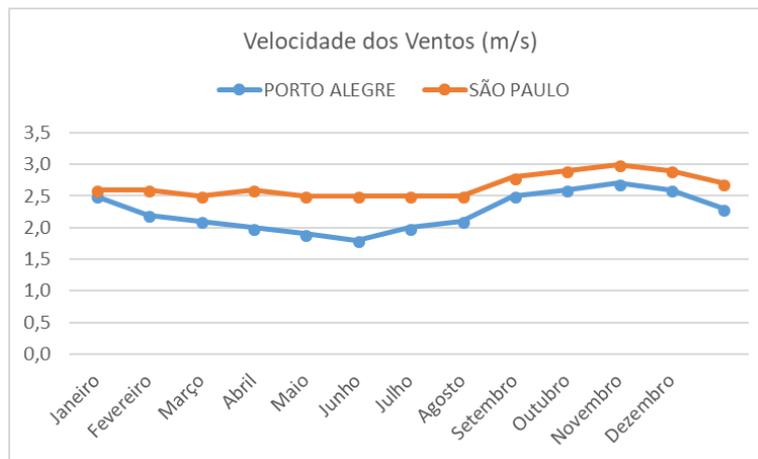


Figura 5.66 – Velocidade dos Ventos – Região climática Cfa

Porto Alegre, comparada a São Paulo, apresenta maior consumo energético, maiores temperaturas e menores ventos, confirmando conclusões de estudos internacionais: com maiores temperaturas e ventos amenos maior o benefício energético das fachadas ventiladas. Apesar das similaridades encontradas, as curvas não se sobrepõem, confirmando os resultados estatísticos de diferença entre o consumo energético por resfriamento nas cidades.

5.1.19 Curitiba/PR – Região climática Cfb

A região climática Cfb - Temperada, úmida o ano todo com verões moderadamente quentes - foi representada unicamente pela cidade de Curitiba/PR. Os resultados estatísticos (Tabela 5.19) demonstraram que o tipo de fachada interfere somente no consumo energético por resfriamento.

Tabela 5.19 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Curitiba/PR

Parâmetros do teste de Tukey				Parâmetros do teste de Tukey			
n	4	$Q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46	n	5	$Q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,26
k	2	s_{Dentro}^2	527877,13	k	2	s_{Dentro}^2	621319,00
α	0,05	HSD	1256,93	α	0,05	HSD	1149,18
Resfriamento		Diferença	Código	Aquecimento		Diferença	Código
FAG	5121,00	1718,25	a	FAG	4828,00	9,00	a
FVG	3402,75		b	FVG	4819,00		a

Essa foi a única cidade que apresentou desempenho inferior das Fachadas Ventiladas em relação às Fachadas Aderidas no sistema de aquecimento (Figura 5.67), de 2.435 kWh (7%). Apesar disso, as fachadas ventiladas apresentaram desempenho superior às aderidas, de

7.031 kWh (13%), devido ao benefício encontrado para os sistemas de resfriamento, de 9.466 kWh, economia anual de 35% de energia elétrica. A região climática Cfb apresenta inverno mais rigoroso do que as demais zonas analisadas, e o acréscimo encontrado confirma os resultados encontrados por Sanjuan et al. (2011), que verificaram aumento no consumo energético de 27% em um dia típico de inverno.

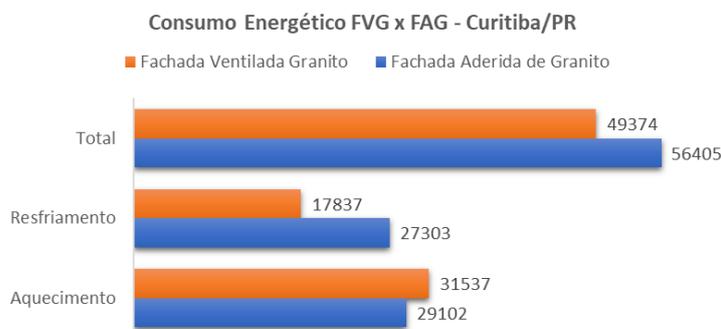


Figura 5.67 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Curitiba/PR

As temperaturas médias mais baixas concentram-se de maio a setembro e as mais altas, de dezembro a março. A velocidade dos ventos na cidade apresenta-se linear, com baixas temperaturas, não demonstrando impacto nos resultados, enquanto que a precipitação é coincidente com as temperaturas.

O consumo energético de resfriamento (Figura 5.68) tem seu pico de dezembro a março e o de aquecimento (Figura 5.69), de maio a setembro, coincidente com as temperaturas médias mais altas e mais baixas respectivamente. Abril, outubro e novembro são meses com demandas similares de resfriamento e aquecimento, assim como suas temperaturas.

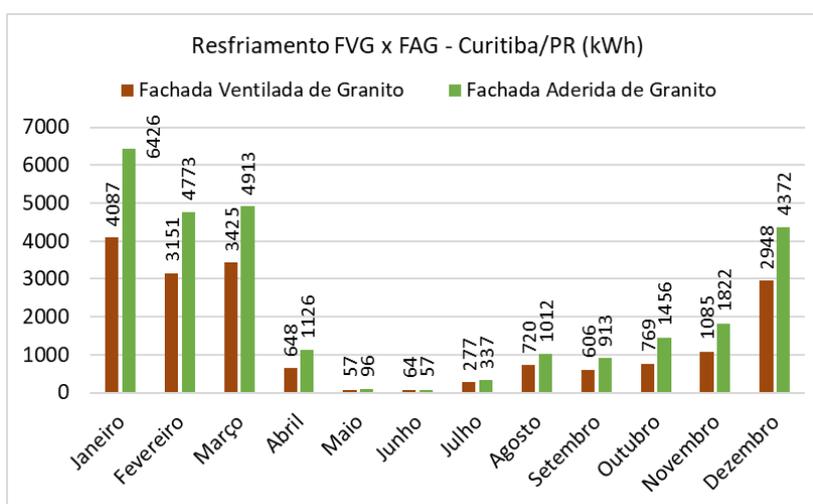


Figura 5.68 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Curitiba/PR

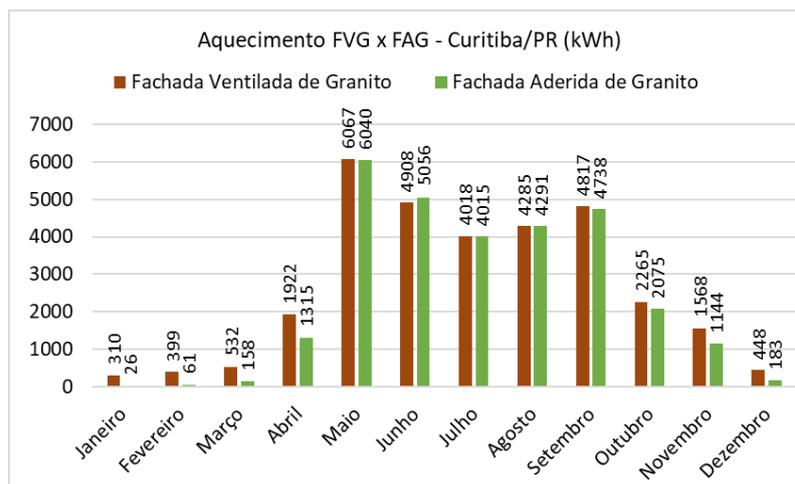


Figura 5.69 – Consumo Energético Aquecimento, comparativo mensal, Curitiba/PR

O benefício energético (Figura 5.70) tem curva similar à do consumo energético por resfriamento, as curvas de temperatura e parcialmente a precipitação da cidade. Em Curitiba as fachadas ventiladas apresentaram maiores benefícios nos meses mais quentes e os menores nos meses mais frios, onde as fachadas ventiladas mostraram-se ineficientes, confirmando os resultados de Giancola et al. (2012), que afirmaram que, para o inverno, com baixa radiação solar e baixas temperaturas, o balanço energético pode se tornar negativo.

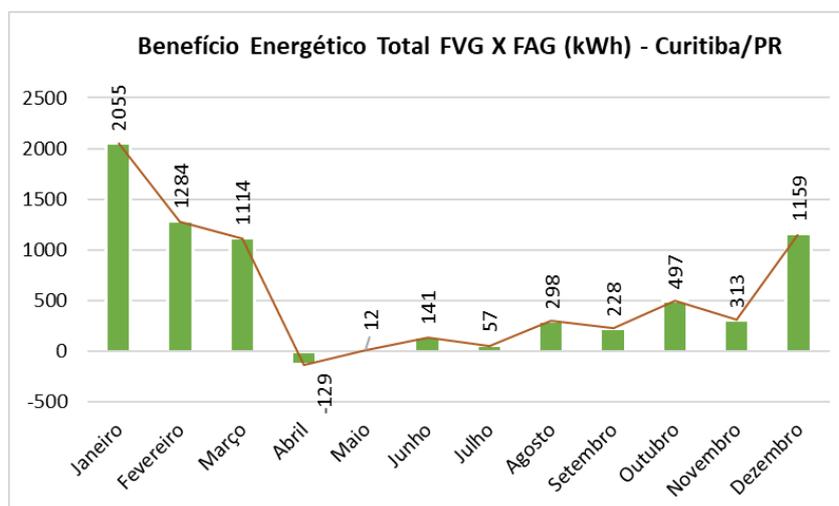


Figura 5.70 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Curitiba/PR

López e Santiago (2015) afirmam que, utilizando as fachadas ventiladas de maneira inversa (entrada do ar da câmara para dentro dos ambientes), é possível zerar a demanda por sistemas de aquecimento artificial em cidades com invernos pouco rigorosos. Nesse sentido, uma alternativa para Curitiba seria um sistema de fachada ventilada automatizado onde fosse possível alterar a saída da câmara de ar para dentro ou fora da edificação, conforme a estação,

sistema explicado por Ojeda (2012) e esquematizado na Figura 5.71, porém esse sistema automatizado não é, ainda, comercializado no país.

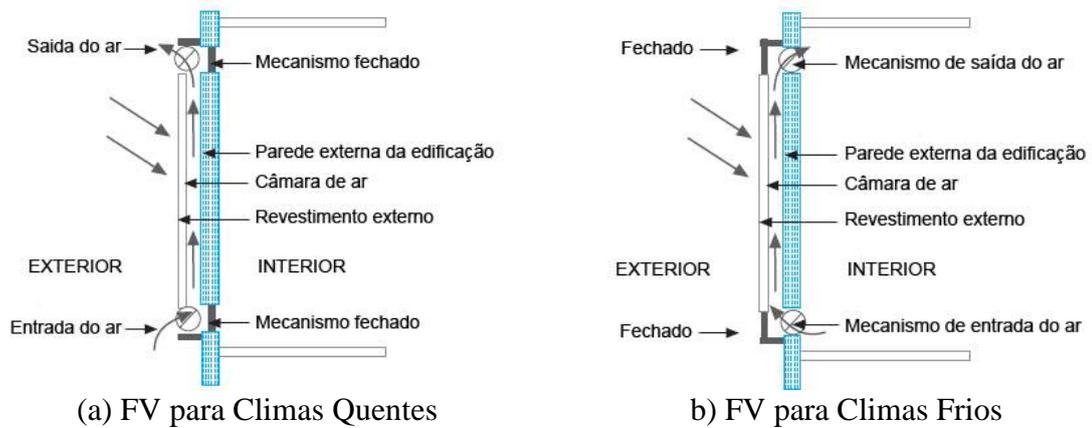


Figura 5.71 - Mecanismo de funcionamento da renovação de ar para sistemas de Fachadas ventiladas em climas quentes e climas frios (adaptado de OJEDA, 2012)

Outra alternativa para Curitiba seria uma fachada ventilada com duas câmaras, proposta avaliada por Astorqui e Porrás-Amores (2017), que produziu resultados de economia de energia de 38% no verão e 333% no inverno. A proposta dos autores é de que a câmara de ar dupla funcione para dissipar o calor durante o verão e, mantendo-a fechada, para elevar as temperaturas internas durante o inverno. É possível verificar o esquema dessas fachadas duplas na Figura 5.72.

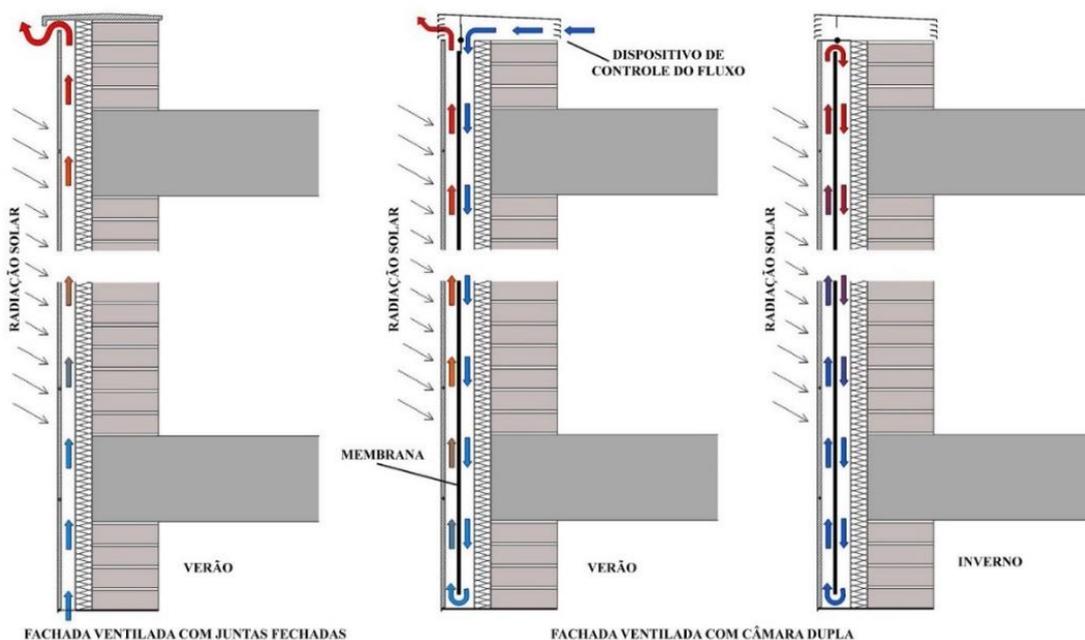


Figura 5.72 – Fachada com dupla câmara de ar (adaptado de ASTORQUI e PORRAS-AMORES, 2017)

Em relação aos custos, para Curitiba, as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 783,86 anualmente, com diferença no custo de implantação de US\$ 112.209,17 no sistema perfilado e US\$ 51.288,96 no sistema pontual. Optar pela fachada ventilada na cidade significa cerca de 143 anos para retorno do investimento no sistema perfilado e 65 anos para o sistema pontual. Em Curitiba, a opção pela fachada ventilada não pode ser somente econômica, sendo importante ressaltar que elas atingem um benefício energético de quase 8%, representando assim significativo aliado nas técnicas de condicionamento passivo, com representativo valor agregado na produção de edificações mais sustentáveis.

5.1.20 Belo Horizonte/MG – Região climática Cwa

Belo Horizonte é a capital representante da região climática Cwa, Clima Temperado, invernos secos e verões quentes. Os resultados estatísticos (Tabela 5.20) demonstraram que o tipo de fachada interfere somente no consumo energético por resfriamento.

Tabela 5.20 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Belo Horizonte/MG

Parâmetros do teste de Tukey				Parâmetros do teste de Tukey			
n	7	$Q_{\alpha;g1;g2}$	3,08	n	6	$Q_{\alpha;g1;g2}$	3,15
k	2	s_{Dentro}^2	1641472,69	k	2	s_{Dentro}^2	133111,43
α	0,05	HSD	1491,48	α	0,05	HSD	469,18
Resfriamento		Diferença	Código	Aquecimento		Diferença	Código
FAG	8388,14	1984,43	a	FAG	515,83	2,67	a
FVG	6403,71		b	FVG	518,50		a

A cidade apresentou consumo energético (Figura 5.73) similar em aquecimento nos dois sistemas de fachada, sendo o desempenho energético por resfriamento superior nas fachadas ventiladas, de 17.655 kWh anuais, significando 24% a menos no consumo de energia elétrica. De forma geral, as fachadas ventiladas foram mais eficientes em 17.673 kWh, 23% menos consumo de energia elétrica.

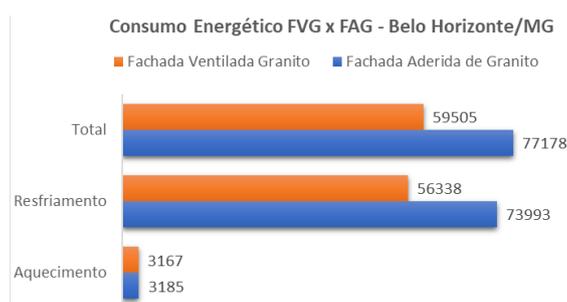


Figura 5.73 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Belo Horizonte/MG

Belo Horizonte é uma cidade que possui as temperaturas médias mensais com pouca variação, acompanhando as estações do ano. Seu pico mais alto ocorre em fevereiro e janeiro, e seu pico mais baixo em julho. A velocidade dos ventos muda muito pouco ao longo do ano (de 1.6 a 1.9 m/s), sendo considerada baixa, com pico em setembro e outubro. A precipitação acompanha a curva de temperatura.

Pela Figura 5.74, do consumo energético por resfriamento, percebe-se claramente as duas estações, inverno, pela baixa demanda de maio a julho, demandas médias em agosto e setembro e verões quentes, com alta demanda de outubro a abril. O benefício energético (Figura 5.75) tem curva similar ao consumo energético por resfriamento, à curva de temperatura média máxima e, parcialmente, à de precipitação.

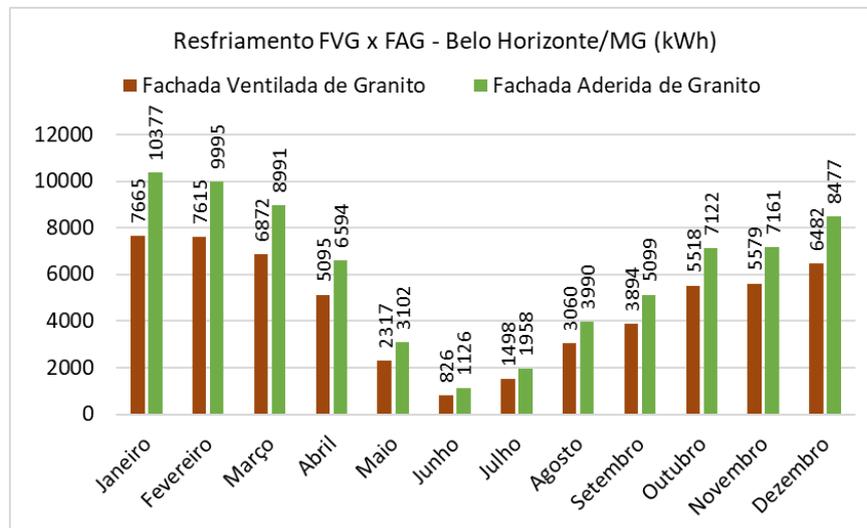


Figura 5.74 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Belo Horizonte/MG

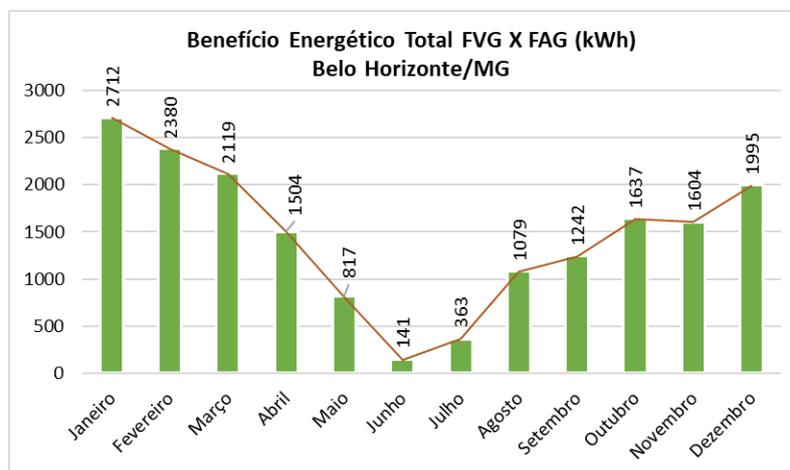


Figura 5.75 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Belo Horizonte/MG

Quanto menores as temperaturas, menor o benefício apresentado pelas fachadas ventiladas, quanto maiores as temperaturas, maior o benefício, ficando claro que elas são mais indicadas para estações quentes, assim como Sanjuan et al. (2011) concluíram em seu estudo afirmando que as fachadas ventiladas funcionam melhor em climas com verões quentes e invernos amenos.

Em relação aos custos, para Belo Horizonte, as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 2.060,90 anualmente, com diferença no custo de implantação de US\$ 114.719,23 no sistema perfilado e US\$ 53.799,02 no sistema pontual. A implantação do sistema leva cerca de 56 anos para se pagar no sistema perfilado e 26 anos no sistema pontual

5.1.21 Nova Friburgo/RJ – Região climática Cwb

Nova Friburgo é a representante da região climática Cwb, Clima Temperado, invernos secos e verões moderadamente quentes. Os resultados estatísticos (Tabela 5.21) demonstraram que o tipo de fachada interfere somente no consumo energético por resfriamento.

Tabela 5.21 - Teste de Tukey para Resfriamento e Aquecimento, Nova Friburgo/RJ

Parâmetros do teste de Tukey				Parâmetros do teste de Tukey			
n	4	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46	n	5	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,26
k	2	$s_{\text{Diferença}}^2$	478933,17	k	2	$s_{\text{Diferença}}^2$	665136,85
α	0,05	HSD	1197,25	α	0,05	HSD	1189,02
Resfriamento		Diferença	Código	Aquecimento		Diferença	Código
FAG	5622,50	1819,50	a	FAG	3262,20	109,80	a
FVG	3803,00		b	FVG	3372,00		a

Por ser um clima muito similar ao de Belo Horizonte, esperam-se resultados similares, porém com menor intensidade, o que ocorreu de fato no sistema de resfriamento, porém para o sistema de aquecimento as fachadas ventiladas mostraram-se ineficientes em relação às aderidas. A cidade apresenta desempenho energético (Figura 5.76) superior das fachadas ventiladas em relação às aderidas, no sistema de resfriamento de 10.552 kWh anuais (33%) e de forma geral de 8.265 kWh (16%).

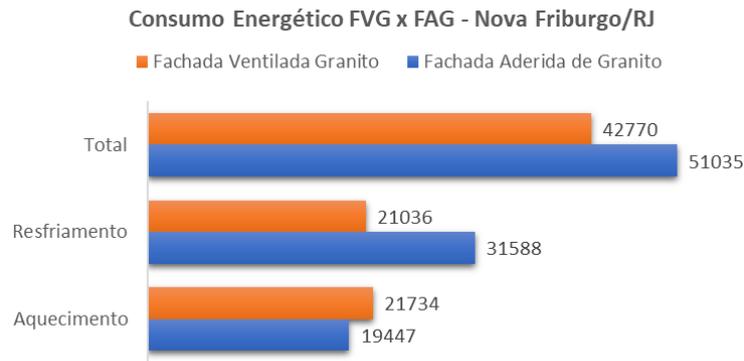


Figura 5.76 – Consumo Energético comparativo FVG e FAG, Nova Friburgo/RJ

Nova Friburgo, assim como Belo Horizonte, tem pouca variação nas temperaturas médias mensais ao longo do ano, acompanhando as estações. Seu pico mais alto ocorre em janeiro e fevereiro, e seu pico mais baixo em junho e julho. A velocidade dos ventos é muito baixa e praticamente estável ao longo do ano (de 0.3 a 0.5 m/s). A precipitação acompanha a curva de temperatura, quanto mais quente, mais chove.

Percebe-se a semelhança com Belo Horizonte, pois possui baixa demanda por sistemas de resfriamento (Figura 5.77) de maio a julho, demandas médias em abril e de agosto a outubro e verões moderadamente quentes, com maior demanda pelos sistemas de resfriamento de novembro a março. A demanda pelo sistema de aquecimento (Figura 5.78) ocorre inversamente ao sistema de resfriamento, com maior demanda de maio a julho. O benefício energético (Figura 5.79) tem curva similar ao consumo energético por resfriamento, às curvas de temperaturas, sendo que as quedas bruscas acompanham a curva de precipitação.

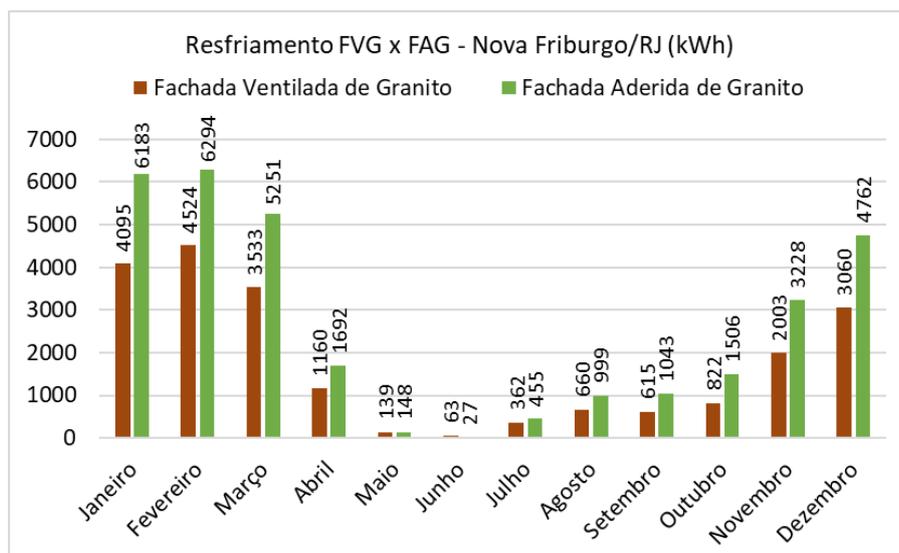


Figura 5.77 – Consumo Energético Resfriamento, comparativo mensal, Nova Friburgo/RJ

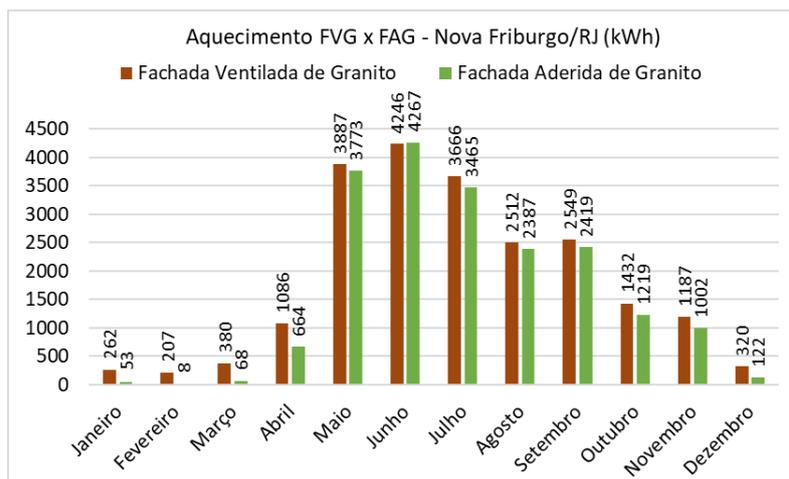


Figura 5.78 – Consumo Energético Aquecimento, comparativo mensal, Nova Friburgo/RJ

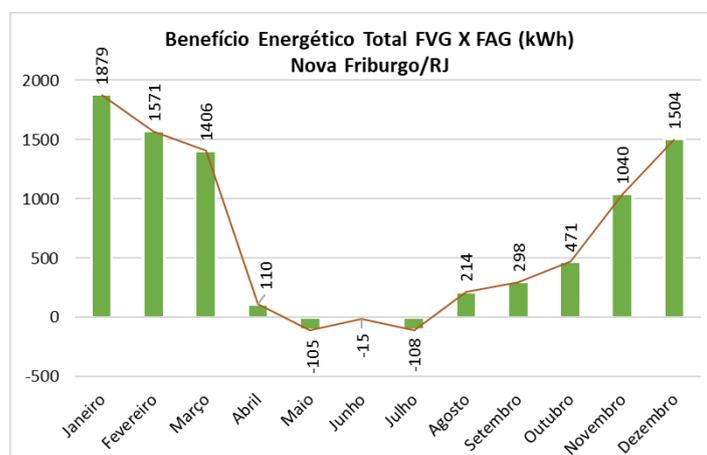


Figura 5.79 – Benefício Energético Total, comparativo mensal, Nova Friburgo/RJ

Assim como para Curitiba, para o quesito aquecimento, as fachadas ventiladas demonstraram-se ineficientes. Alonso et al. (2016) fizeram um estudo comparativo entre envoltórias convencionais ao pós-guerra em Madrid (M1), Fachada Ventilada de Cerâmica com isolante de EPS (M2) e envoltória convencional com isolante EPS (M3). Para Madrid, que possui inverno mais longo do que as demais estações, de forma geral as fachadas convencionais com isolante térmico foram mais eficientes para economizar energia de sistemas de aquecimento. Nesse sentido, seria interessante uma análise com comparação similar à realizada pelos autores, com fachadas aderidas e fachadas ventiladas com isolante térmico.

Em relação aos custos, para Nova Friburgo, as Fachadas Ventiladas de Granito geram economia de US\$ 940,36 anualmente, com diferença no custo de implantação de US\$ 112.413,63 no sistema perfilado e US\$ 51.493,42 no sistema pontual. A implantação do

sistema leva cerca de 120 anos para se pagar no sistema perfilado e 55 anos no sistema pontual.

Nova Friburgo e Curitiba foram as únicas cidades que apresentaram pior desempenho das fachadas ventiladas no quesito aquecimento. Ibañez-Puy et al. (2017) afirmam que para locais frio, durante o inverno, o acúmulo de calor é desejado, então uma solução com alta absorvidade (revestimentos de cor escura) e juntas fechadas é melhor, e ainda pode ser interessante evitar perdas de calor utilizando materiais reflexivos para a pele exterior. Os autores ainda afirmam que outra forma para obter esse resultado é manter a cavidade de ar fechada, ou seja, indicam o uso de fachadas cortinas ao invés das ventiladas. Nesse sentido, é interessante uma avaliação, nessas duas cidades, com alumínio composto (ACM), material reflexivo, de cor escura, e da fachada cortina, para verificar e comparar o benefício no período de inverno e o impacto delas, no período de verão.

5.1.22 Regiões Climáticas Cfb, Cwa e Cwb

A análise dos últimos três climas (Cfb, Cwa e Cwb) demonstrou similaridades e acredita-se interessante a comparação para verificar essa semelhança. Para isso, foi realizado o teste de Tukey para as médias de resfriamento das fachadas ventiladas das cidades. Nesse caso foram utilizados quatro meses do ano, de dezembro a março. Por meio do teste (Tabela 5.22) e da Figura 5.80 é possível verificar que os resultados de resfriamento das fachadas ventiladas são diferentes entre Curitiba e Belo Horizonte, e entre Nova Friburgo e Belo Horizonte, porém os resultados são considerados iguais entre Curitiba e Nova Friburgo.

Tabela 5.22 - Teste de Tukey, Resfriamento, Fachada Ventilada

Parâmetros do teste de Tukey					
n	4	$q_{\alpha; g1; g2}$	3,77	α	0,05
k	3	s_{Dentro}^2	330399,0833	HSD	1083,5
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG - Belo Horizonte	7158,50	FVG - B. Horizonte	FVG - Curitiba	FVG - N. Friburgo	a
FVG - Curitiba	3402,75	3755,75			b
FVG - Nova Friburgo	3803,00	3355,5	400,25		b

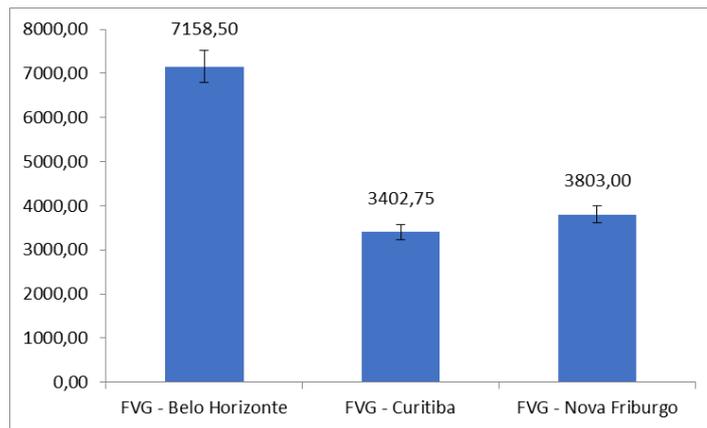


Figura 5.80 – Médias Mensais e Desvio Padrão - a partir Tabela 5.22

O teste de Tukey avalia médias e não o comportamento ao longo do ano, por isso foram analisadas comparativamente as cidades. Os resultados nas Figuras 5.81 e 5.82 (consumo por resfriamento X benefício energético) apresentam similaridades entre os dados demonstrando que o maior benefício das fachadas ventiladas é no quesito resfriamento.

Comparando as Figuras 5.81 e 5.83 (consumo X temperatura), percebeu-se que o consumo energético acompanha a curva de temperatura, no entanto a diferença de consumo para Belo Horizonte não condiz com a diferença de temperatura, o que pode ser explicado pela análise da Figura 5.84 – Velocidade dos ventos – na qual as curvas de Belo Horizonte e Curitiba se invertem, ou seja, com ventos mais amenos, maior consumo energético. As curvas nos quesitos consumo energético e temperatura confirmam os resultados estatísticos de similaridade entre as regiões climáticas Cfb e Cwb (Curitiba e Nova Friburgo).

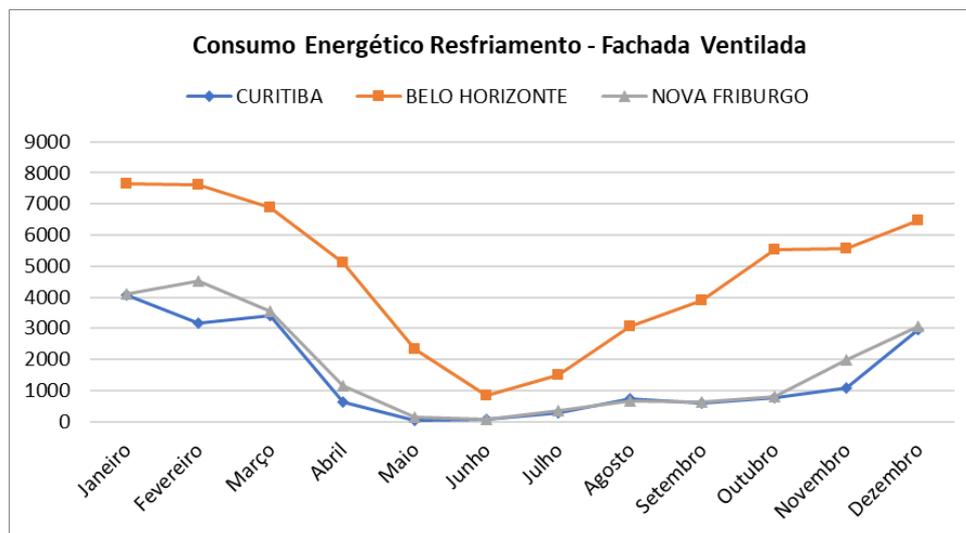


Figura 5.81 – Consumo Energético FVG - regiões climáticas Cfb, Cwa e Cwb

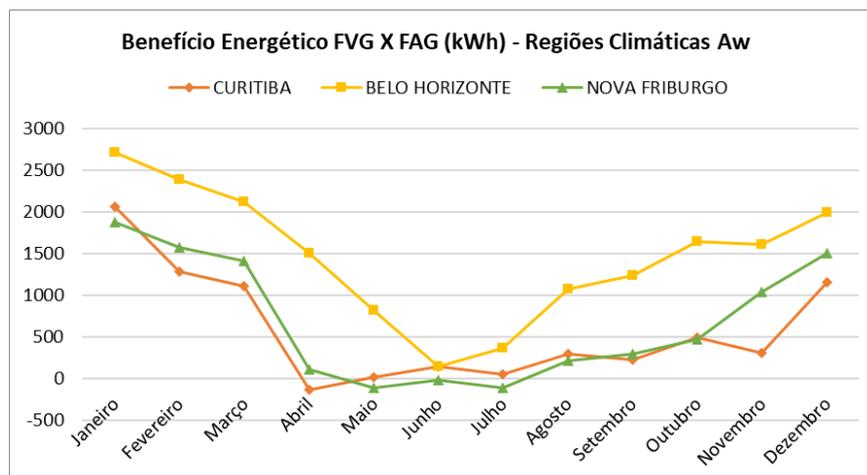


Figura 5.82 – Benefício Energético FVG X FAG – regiões climáticas Cfb, Cwa e Cwb

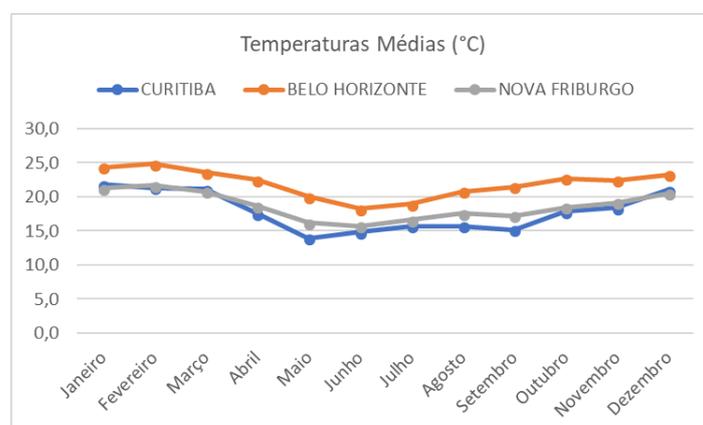


Figura 5.83 – Temperaturas Médias - regiões climáticas Cfb, Cwa e Cwb

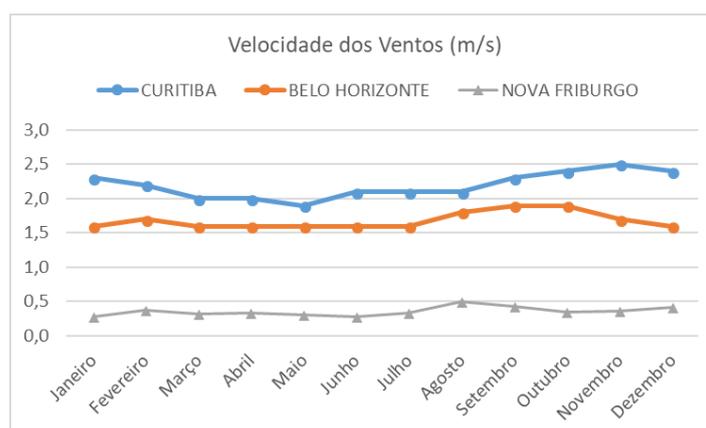


Figura 5.84 – Velocidade dos Ventos - regiões climáticas Cfb, Cwa e Cwb

A similaridade entre Curitiba e Nova Friburgo e a diferença entre ambas e Belo Horizonte podem ser explicadas pelo mapa climatológico da classificação Köeppen-Geiger (Figura 5.85), no qual se percebe que Nova Friburgo está classificada como Cwb, porém entre as regiões climáticas Cwa e Cfb, sendo assim, talvez a classificação deva ser revista para Cfb.



Figura 5.85 – Mapeamento da classificação climática Köppen-Geiger para Nova Friburgo/RJ (*print screen do software Google Earth, 2018*)

5.1.23 Comparativo entre Regiões climáticas

Para análise comparativa entre as regiões climáticas, a cidade do Rio de Janeiro foi eliminada, uma vez que os resultados estatísticos demonstraram não haver impacto do tipo de fachada nas diferenças numéricas. Na Figura 5.86, são apresentados os consumos energéticos anuais para as fachadas ventiladas e aderidas nas 15 cidades, e é possível verificar que todas apresentaram melhor desempenho energético com as Fachadas Ventiladas de Granito.

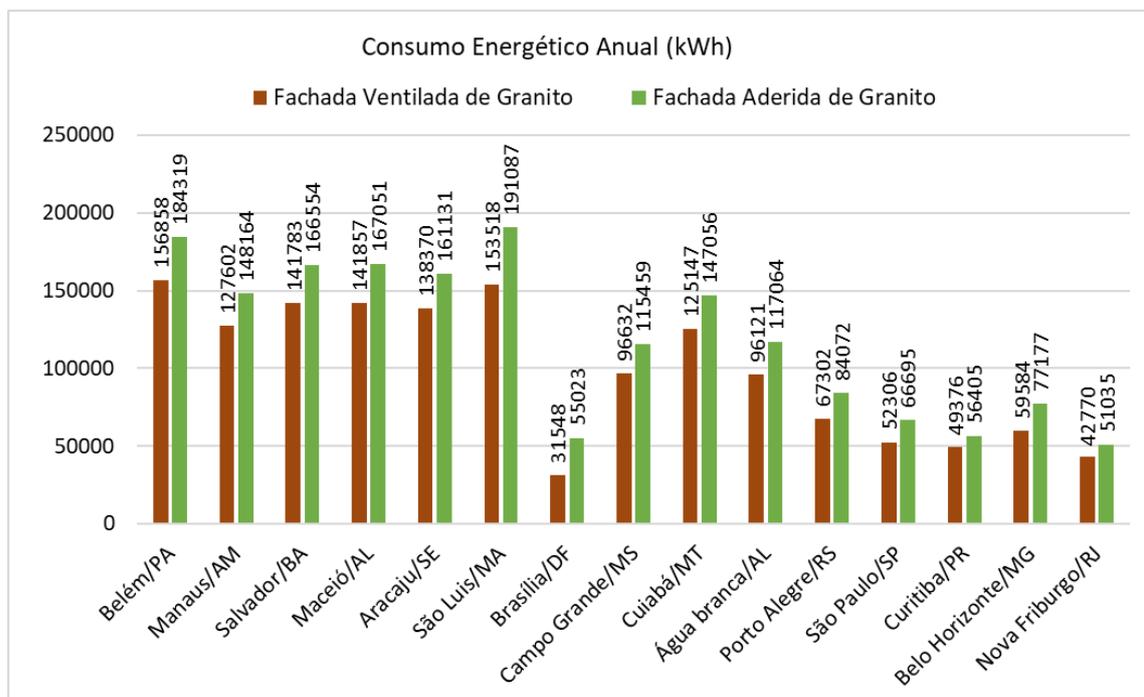


Figura 5.86 – Consumo Energético Anual

Analisando as Figuras 5.86, 5.87 e 5.88, verifica-se que as maiores semelhanças entre os resultados das cidades não foram encontradas na mesma região climática: Belém (Af) e São Luís (As); Salvador (Af), Maceió (Am) e Aracaju (As); Manaus (Af) e Cuiabá (Aw); Campo Grande (Aw) e Água Branca (BSh). De forma geral todas as regiões climáticas A e B (Af, Am, As, Aw e BSh) apresentaram resultados de alta demanda por consumo energético, quase que na totalidade pelo sistema de resfriamento. As cidades mais frias (com maior demanda por aquecimento) possuem comportamento muito diferente das situadas nas regiões climáticas mais quentes: Porto Alegre, São Paulo, Curitiba e Nova Friburgo. Brasília e Belo Horizonte foram cidades com comportamento distinto das demais, sendo a primeira a cidade com menor consumo energético total entre as analisadas.

No quesito resfriamento (Figura 5.87), todas as cidades obtiveram melhores resultados energéticos com as fachadas ventiladas. No quesito aquecimento (Figura 5.88) somente Curitiba e Nova Friburgo apresentaram desempenho inferior com as fachadas ventiladas, corroborando López e Santiago (2015), que concluíram em seu estudo que a maior economia de energia em termos absolutos se dá em locais com severidade média no inverno, sendo Curitiba e Nova Friburgo as cidades com inverno mais rigoroso entre as estudadas.

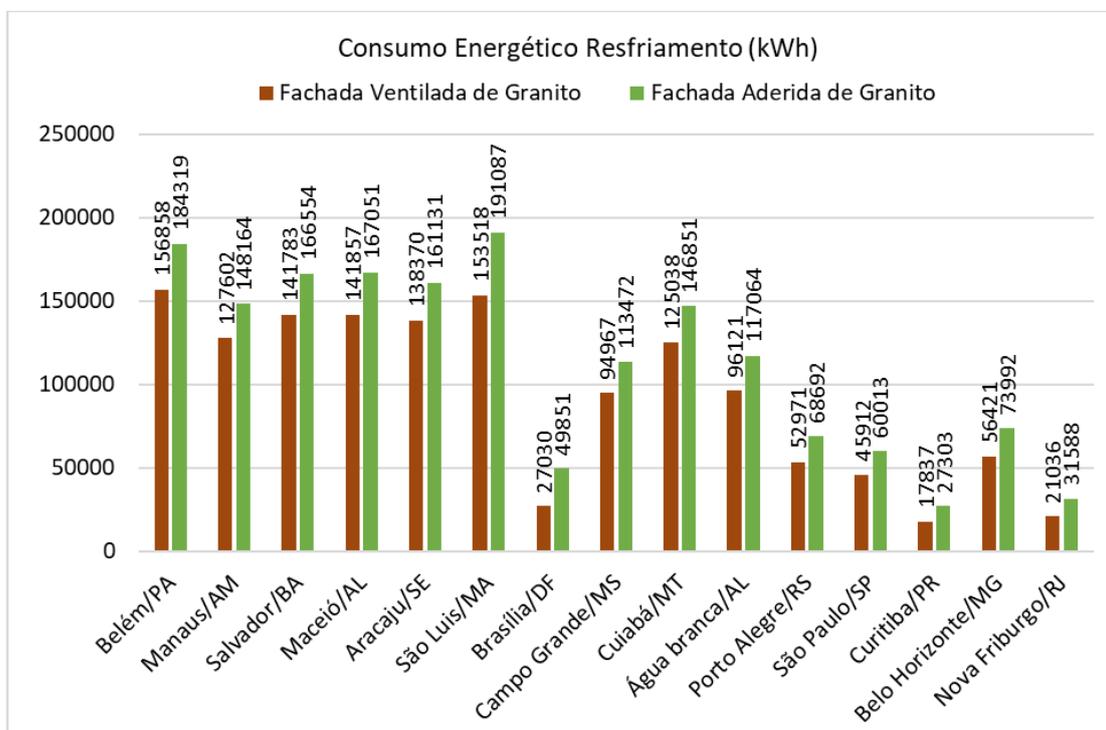


Figura 5.87 – Consumo Energético Resfriamento anual

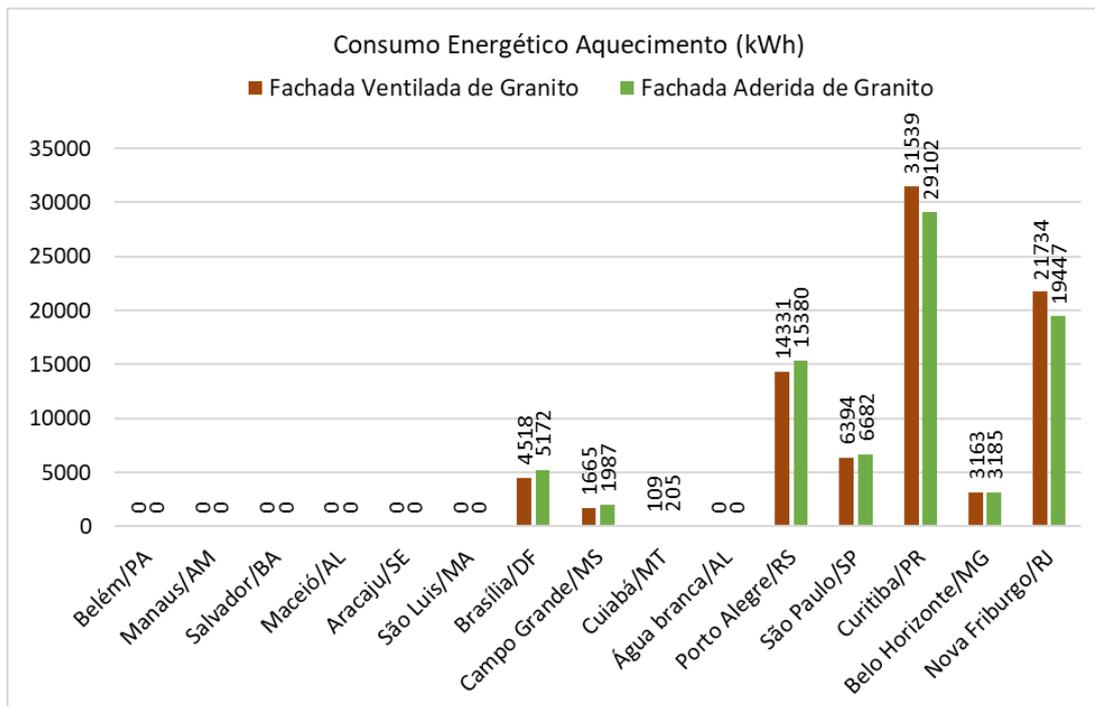


Figura 5.88 – Consumo Energético Aquecimento anual

Embora a literatura reconheça a economia de energia associada ao uso das fachadas ventiladas em comparação com soluções tradicionais, os estudos consideram um número limitado de locais. O número de estudos relacionados ao impacto das fachadas ventiladas durante o inverno é pequeno; isso pode ser devido ao fato de que os benefícios são questionáveis (López e Santiago, 2015; Marinosci et al., 2011), o que este estudo confirma, uma vez que os resultados encontrados da diferença entre fachadas ventiladas e fachadas aderidas, pelo sistema de aquecimento, são estatisticamente iguais.

Um estudo mais aprofundado com diferentes técnicas de condicionamento passivo é interessante para avaliar o desempenho energético das regiões climáticas mais frias, e assim obter maior economia com o sistema avaliado.

Os resultados encontrados de maior benefício das fachadas ventiladas (Figura 5.89) se referem às cidades localizadas nos locais de climas mais quentes do país, corroborado assim os resultados Patania et al. (2010), que investigaram o comportamento térmico de três tipos de fachadas ventiladas e concluíram ser possível afirmar que as fachadas ventiladas, durante o verão, resultam em maior economia de energia, acima de 40%, em comparação com fachada cortina, sendo os valores menores quando a fachada é exposta a baixa radiação solar.

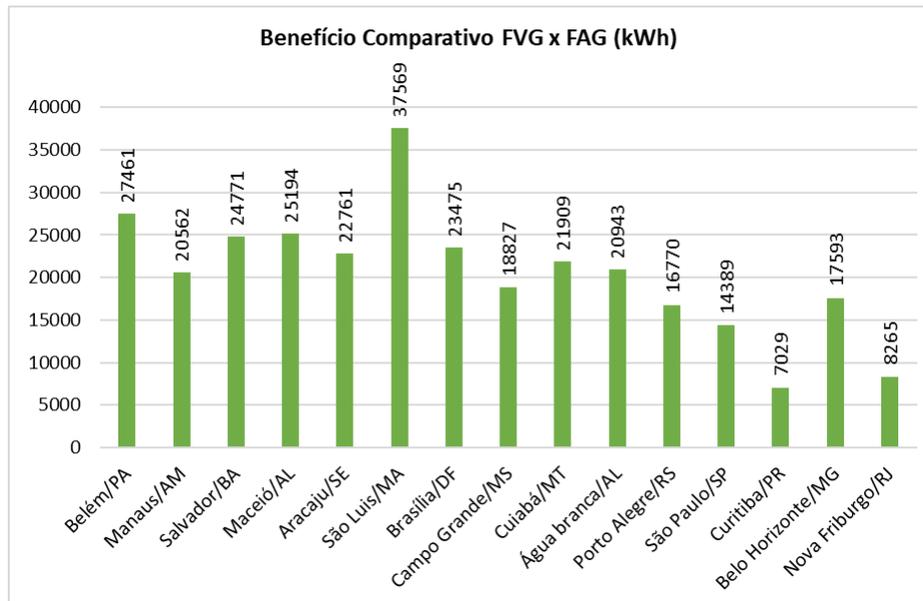


Figura 5.89 – Benefício Energético Anual (kWh) FVG x FAG

Na análise da Figura 5.90 da economia energética obtida com as fachadas ventiladas em relação às fachadas aderidas, ao longo da vida útil em Energia de Uso Final e em Energia Primária, percebe-se o quanto se perde no processo de transformação e transmissão de energia e ainda que, ao se levar em consideração na conta energética essa perda, o benefício das fachadas ventiladas se torna maior.

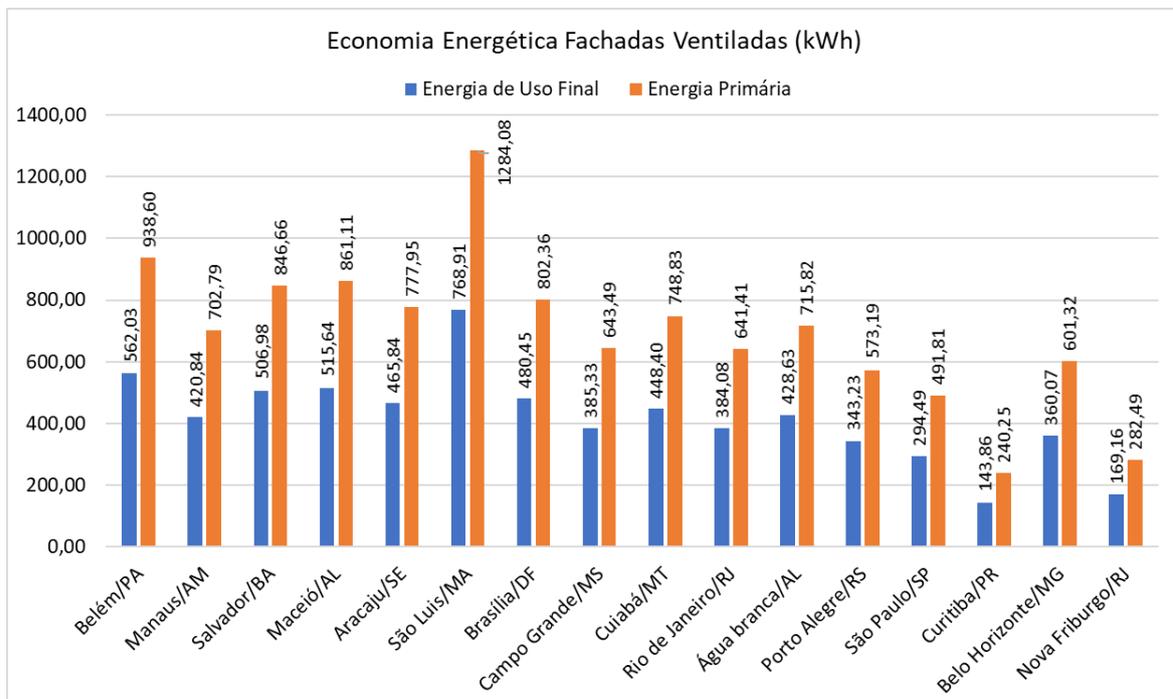


Figura 5.90 – Comparativo, Economia Energética, FV, Energia Uso Final e Primária

A Figura 5.91 é apresentada para verificar comparativamente, nas cidades estudadas, os resultados do benefício financeiro gerado pelas fachadas ventiladas em relação às aderidas. São Luís, seguida de Belém são as cidades com maiores volumes de economia financeira. Salvador e Maceió tiveram benefícios similares, seguidos de Aracaju, Cuiabá, Água Branca, Manaus e Campo Grande. Curitiba e Nova Friburgo são as cidades mais frias e com menor benefício energético e financeiro. Belo Horizonte, Porto Alegre, Brasília e São Paulo tiveram retornos similares.

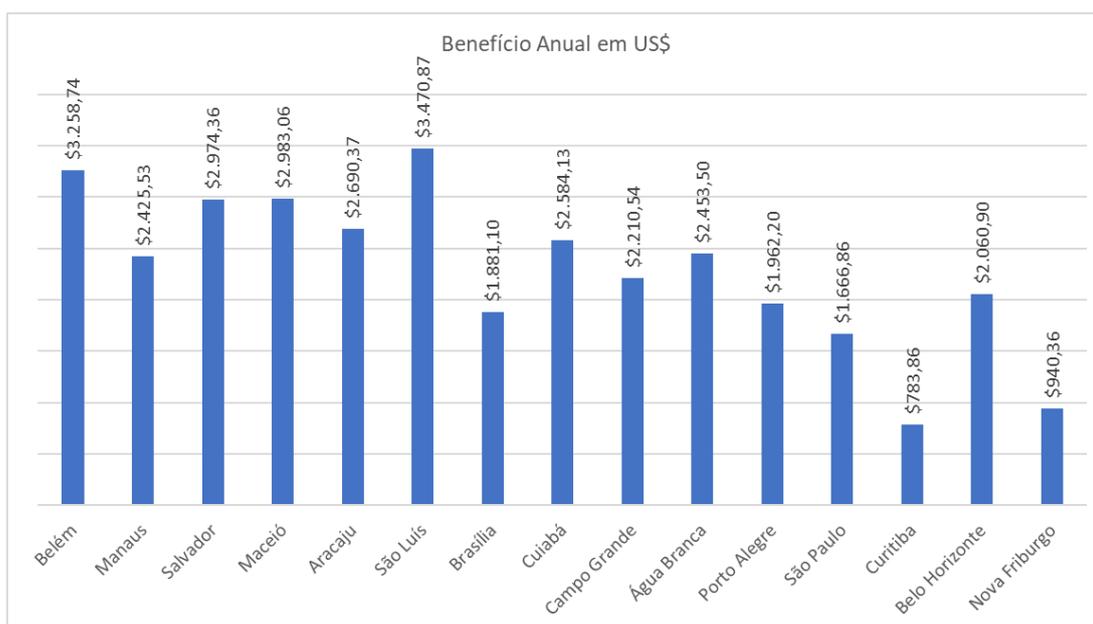


Figura 5.91 – Benefício Financeiro Anual das FVG em relação às FAG

É importante ressaltar que, na aquisição de um sistema de fachada ventilada, o consumidor precisa compreender, além dos benefícios energéticos, térmicos e financeiros, o custo-benefício do sistema, ou seja, em quanto tempo a implantação do sistema se pagará com a economia gerada anualmente.

Na Figura 5.92 verifica-se o tempo de retorno do investimento, levando em consideração a diferença de custo e o benefício financeiro gerado anualmente, em dólares (US\$). Curitiba, seguida de Nova Friburgo são as cidades com maior tempo de retorno do investimento, 143 e 120 anos para o sistema perfilado e 65 e 55 anos para o sistema pontual. Considerando que a vida útil das fachadas, de acordo com a NBR 15575-4:2013 é de 40 a 60 anos, para Curitiba o sistema não é financeiramente interessante. Para Nova Friburgo somente se torna interessante financeiramente no sistema pontual de instalação.

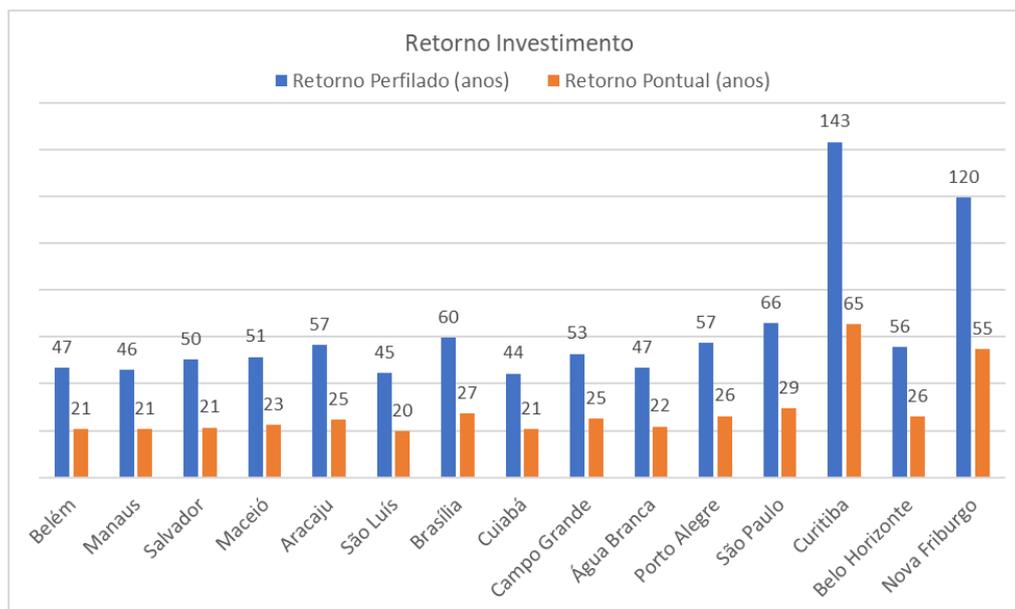


Figura 5.92 – Tempo de Retorno do Investimento nas FVG

Para as demais cidades o sistema é financeiramente viável em qualquer tipo de estrutura, porém é mais interessante para Cuiabá (44/21 anos), São Luís (45/20 anos), Manaus (46/21 anos), Belém (47/21 anos) e Água Branca (47/22 anos). O sistema pontual é mais interessante financeiramente e, no Brasil, é o mais comum para revestimentos de granito, porém limita a estética da edificação, pois não permite tanta maleabilidade de paginação de fachada quanto o perfilado. É importante frisar que, na escolha de um sistema de fachada, não deve ser avaliado somente o aspecto financeiro, mas o quanto o sistema é sustentável e quais outros benefícios gera. As fachadas ventiladas são melhores do que as aderidas no quesito térmico, energético, são facilmente desmontáveis na desconstrução da edificação, e ainda causam menos problemas no substrato.

5.2 ANÁLISE PARAMÉTRICA 01: Diferentes Revestimentos

Após as simulações realizadas para os três revestimentos (Granito, Porcelanato e Cerâmica), os resultados foram obtidos mensal e anualmente (Item 4.4) e submetidos a análise estatística.

Após tratamento estatístico, foi verificado que para o quesito Aquecimento não há influência de diferentes revestimentos nos resultados. Como pode ser observado na Tabela 5.23, as

diferenças entre as médias dos três revestimentos ficaram menores que HSD, portanto, são consideradas iguais.

Tabela 5.23 - Teste de Tukey para Aquecimento, Brasília/DF³⁷

Parâmetros do teste de Tukey					
n	3	$q_{\alpha;g1,g2}$	5,91	α	0,050
k	3	$s_{D_{mno}}^2$	298294,22	HSD	1863,585

Aquecimento	Média	Diferença		Código	
FVG	1318,33	FVG	FVP	FVC	a
FVP	1318,00	0,33			a
FVC	1403,67	85,33	85,67		a

Analisando a Figura 5.93, é possível verificar que as diferenças numéricas mais significativas, no quesito aquecimento, ocorreram em Curitiba, do revestimento cerâmico para os demais, e, em Belo Horizonte do revestimento porcelanato para os demais, demonstrando assim que o clima pode influenciar em diferentes resultados para o aquecimento em diferentes tipos de revestimento de fachadas.

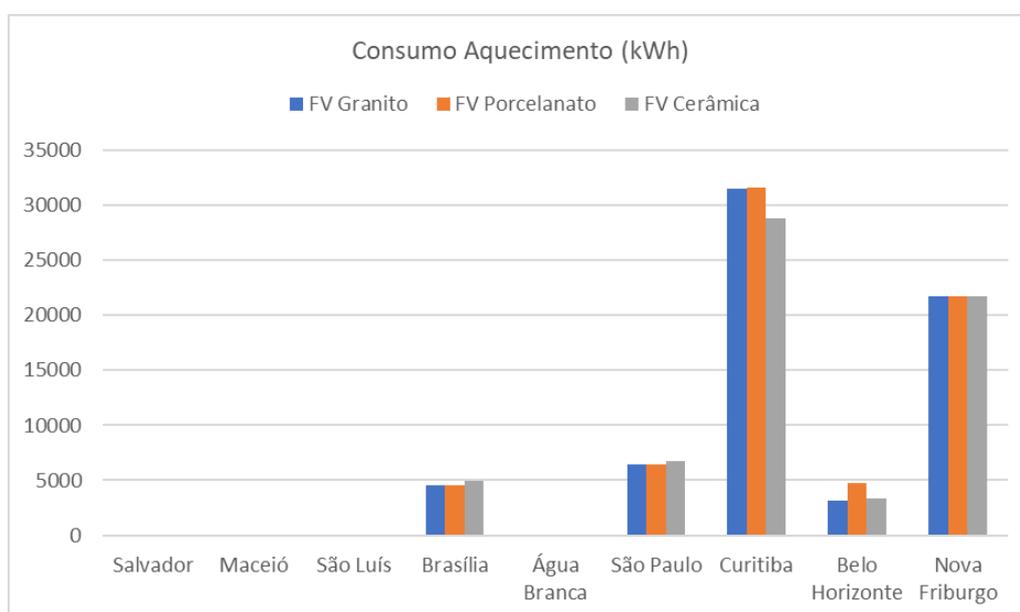


Figura 5.93 – Consumo Aquecimento para diferentes revestimentos externos

Para o quesito aquecimento, em Curitiba, comparando o revestimento da Análise Principal, que foi o Granito, com o revestimento Cerâmica, com o qual se teve o melhor desempenho

³⁷ O Teste de Tukey foi realizado para todas as cidades, no entanto, como todas obtiveram resultados iguais, foi apresentada somente uma cidade. Os demais testes podem ser vistos no Apêndice D.

na cidade, verifica-se uma queda durante o ano, em todos os meses (Figura 5.94), significando melhora de 8% no desempenho da cerâmica em relação ao granito, principalmente nos meses mais frios (maio a setembro).

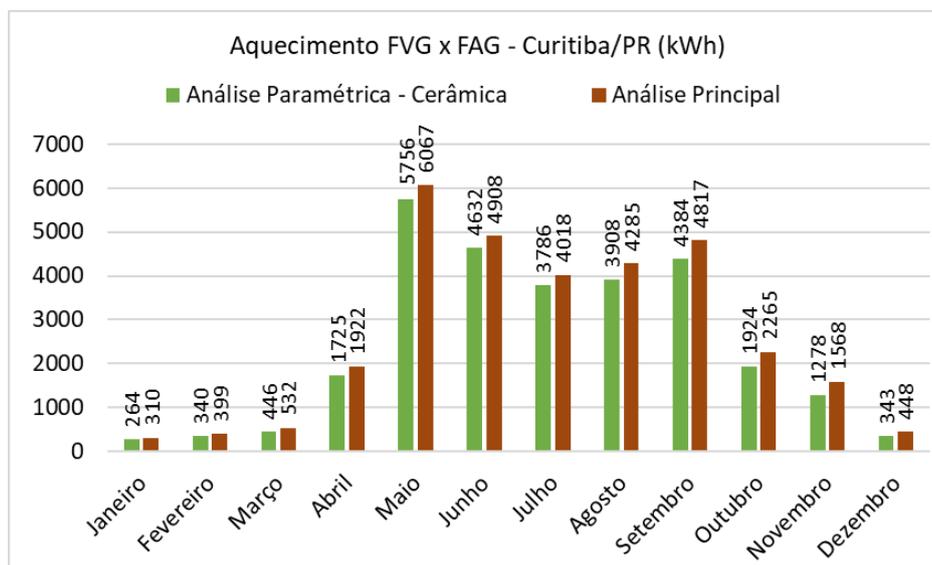


Figura 5.94 – Comparativo Aquecimento, Análise Principal X Paramétrica, Curitiba/PR

O tratamento estatístico (Tabela 5.24) verificou que o tipo de revestimento influencia os resultados de consumo energético de resfriamento somente na cidade de Água Branca. Graficamente os resultados numéricos diferem dos estatísticos, uma vez que pode ser verificada, na Figura 5.95, diferenças entre o revestimento cerâmico e os outros, em todas as cidades, em maior ou menor proporção. Para o porcelanato, a diferença também pode ser vista em pior desempenho para as cidades de São Luís e Água Branca, e melhor desempenho para Belo Horizonte. Com isso, pode-se afirmar que a região climática tem influência nos resultados de consumo energético por resfriamento em diferentes revestimentos.

Tabela 5.24 - Teste de Tukey para Resfriamento

Parâmetros do teste de Tukey					
n	7	$Q_{\alpha;gl1;gl2}$	4,17	α	0,050
k	3	$S_{D_{max}}$	266387,92	HSD	813,48
Resfriamento	Média	Diferença		Código	
FVG	9840,86	FVG	FVP	FVC	a
FVP	10842,00	1001,14			b
FVC	9709,43	131,43	1132,57		a

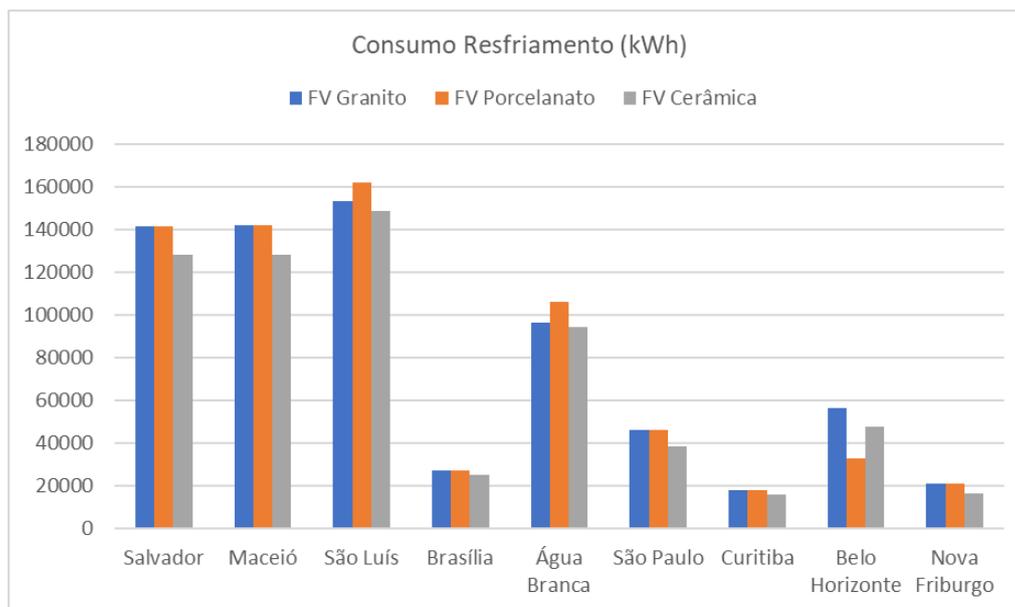


Figura 5.95 – Consumo Resfriamento para diferentes revestimentos externos

Analisando o consumo energético total comparativo (Figura 5.96), verifica-se que, de maneira geral, o Granito não é a melhor escolha em nenhuma das cidades analisadas. A cerâmica mostrou-se a melhor opção para todas elas, exceto Belo Horizonte, onde a melhor opção é o porcelanato.

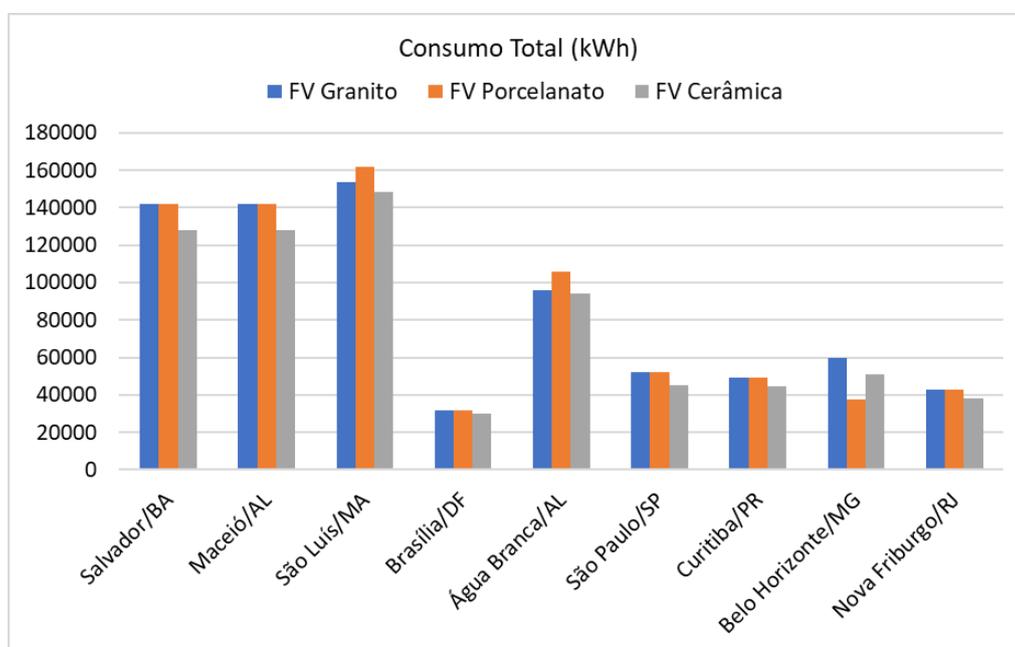


Figura 5.96 – Consumo Energético Total, para diferentes revestimentos externos

Comparando o benefício energético (Figura 5.97) da cerâmica em relação ao granito, da análise principal, pode-se verificar que em Belo Horizonte e São Paulo houve a melhora

mais significativa, com 15 e 14% respectivamente, enquanto Água Branca teve a menos significativa, 2%. Comparando porcelanato com granito, Belo Horizonte teve melhor desempenho em 38%.

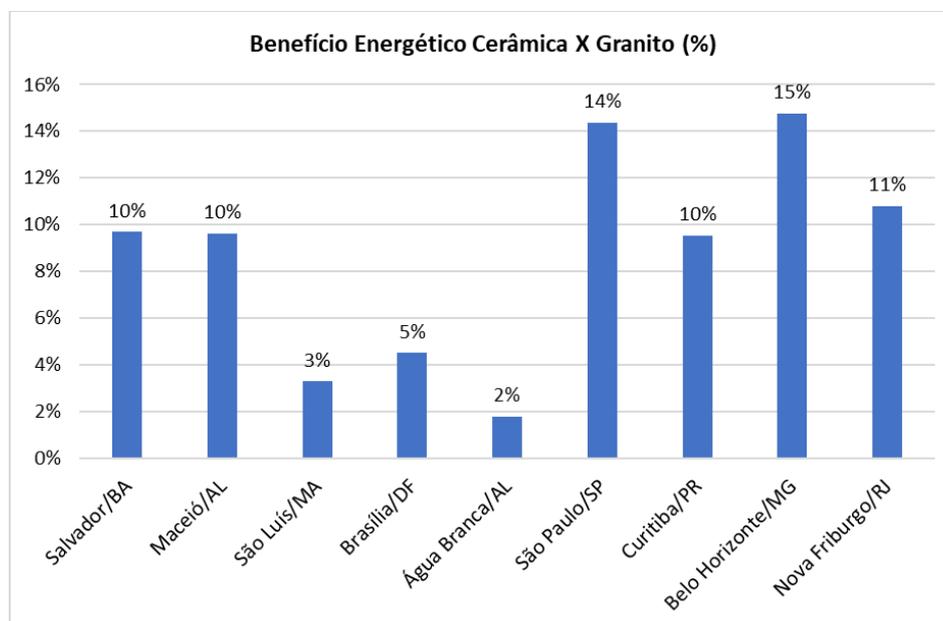


Figura 5.97 – Benefício Energético, Cerâmica em relação ao Granito

Patania et al. (2010)³⁸ observaram que o desempenho energético das fachadas ventiladas melhora quando seu revestimento externo apresenta baixos valores de condutividade térmica, altos valores de densidade e altos valores de calor específico. Comparando os materiais granito, porcelanato e cerâmica (Tabela 5.25) utilizados nesta pesquisa, a cerâmica tem a menor condutividade térmica, a menor densidade e o maior calor específico dos três, granito é o oposto e porcelanato é o meio termo nesses quesitos.

Tabela 5.25 – Propriedades térmicas dos revestimentos externos

Material	Granito	Porcelanato	Cerâmica
Condutividade Térmica	3,49 W/(m.K)	1,60 W/(m.K)	1,20 W/(m.K)
Densidade	2.880 kg/m ³	2.400 kg/m ³	2.000 kg/m ³
Calor Específico	790 J (kg.°C)	770 J (kg.°C)	850 J (kg.°C)
Absortividade	0,20	0,20	0,20
Emissividade	0,90	0,90	0,90

³⁸ Estudo somente para o verão, sem localidade especificada.

Trazendo para esta pesquisa a afirmação dos autores, era esperado da cerâmica o melhor desempenho energético e do granito o pior, dentre os três. Em Água Branca, única cidade com resultados válidos estatisticamente, confirma os autores parcialmente, pois a cerâmica teve o melhor desempenho, e o porcelanato o pior. Levando em consideração também os resultados numéricos, eles confirmam os autores nas cidades de Salvador, Maceió, Brasília, São Paulo, Curitiba e Nova Friburgo. São Luís teve resultados como o de Água Branca e Belo Horizonte confirmou o resultado de granito, porém o porcelanato teve melhor desempenho do que a cerâmica. Sendo assim, é possível afirmar que a região climática tem grande impacto nos resultados, que podem ser muito diferentes.

5.3 ANÁLISE PARAMÉTRICA 02: Diferentes Espessuras de Câmara de Ar

Após as simulações realizadas para as três espessuras de câmara de ar (5, 10 e 15cm), os resultados foram obtidos mensal e anualmente (Item 4.5) e submetidos a análise estatística. No quesito aquecimento, existente somente para as cidades de Brasília, São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte e Nova Friburgo, o tratamento estatístico³⁹ aponta que somente há influência da espessura da câmara de ar para a cidade de Nova Friburgo (Tabela 5.26), onde foi verificado que existe diferença nas três espessuras.

Tabela 5.26 – Teste de Tukey para Aquecimento - Nova Friburgo/RJ

Parâmetros do teste de Tukey					
n	8	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,77	α	0,050
k	3	s_{DMS}	4,04	HSD	2,68

Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG - 5 cm	2576,50	FVG - 5 cm	FVG - 10 cm	FVG - 15 cm	a
FVG - 10 cm	2570,63	5,88			b
FVG - 15 cm	2507,00	69,50	63,63		c

Numericamente se pode dizer que existe diferença na espessura da câmara de ar (Figura 5.98) nas cinco cidades que possuem resultados de aquecimento, sendo que: para Brasília, São Paulo e Nova Friburgo, a diferença é pequena, somente entre 5 e 15cm, e entre 10 e 15cm; nessas cidades as espessuras de 5 e 10cm têm resultados iguais. Para Curitiba e Belo

³⁹ O Teste de Tukey, para Nova Friburgo, foi realizado considerando as médias dos meses mais representativos desse quesito, de abril a novembro.

Horizonte, a diferença é pequena e existe entre as diferentes espessuras de câmara. De forma geral, percebe-se que, em câmaras de ar de 15cm, o consumo energético é menor do que nas demais espessuras, ou seja, melhor desempenho energético por aquecimento em maiores espessuras de câmara de ar, e há diferença de desempenho energético em diferentes regiões climáticas, sendo necessária a avaliação individual.

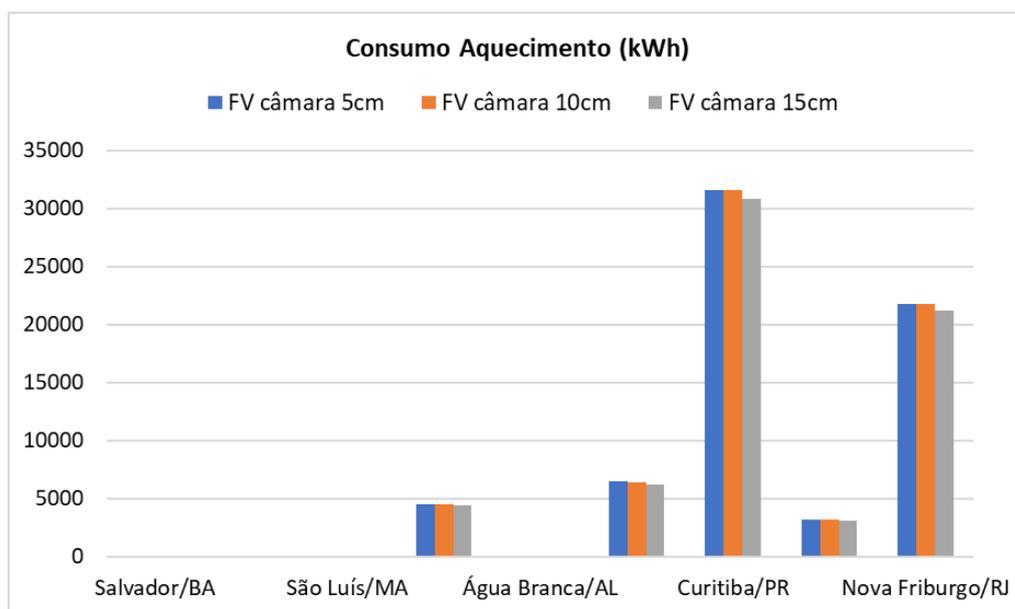


Figura 5.98 – Consumo Aquecimento para diferentes espessuras de câmara

No quesito resfriamento, o tratamento estatístico (Tabela 5.27⁴⁰) aponta que somente há influência da espessura da câmara de ar para as cidades de Água Branca, com diferença somente entre 10 e 5cm.

Tabela 5.27 – Teste de Tukey para Resfriamento – Água Branca/AL

Parâmetros do teste de Tukey - Água Branca/AL					
n	7	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	4,17	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	276662,8571	HSD	829,02
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG - 5 cm	10841,14	FVG - 5 cm	FVG - 10 cm	FVG - 15 cm	a
FVG - 10 cm	9840,86	1000,29			b
FVG - 15 cm	10496,43	344,71	655,57		ab

Numericamente, analisando a Figura 5.99, é possível verificar que, para as cidades de Brasília, São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte e Nova Friburgo, só existe diferença de 15 cm

⁴⁰ Para Salvador e Maceió foram consideradas as médias de todos os meses do ano, porém, para Água Branca, foram considerados somente os meses de maior relevância para o resfriamento: de outubro a abril.

para as demais. Para Salvador e Maceió a diferença também só ocorre de 15cm para as demais, em maior proporção. Para São Luís e Água Branca, há diferença entre as três espessuras de câmara, no entanto para São Luís a diferença é maior entre 10cm e 5cm, e entre 15 e 5cm, sendo a diferença entre 15 e 10cm muito pequena; para Água Branca a diferença é maior entre 10cm e 5cm, e entre 15 e 10cm, sendo a diferença entre 15 e 5cm muito pequena.

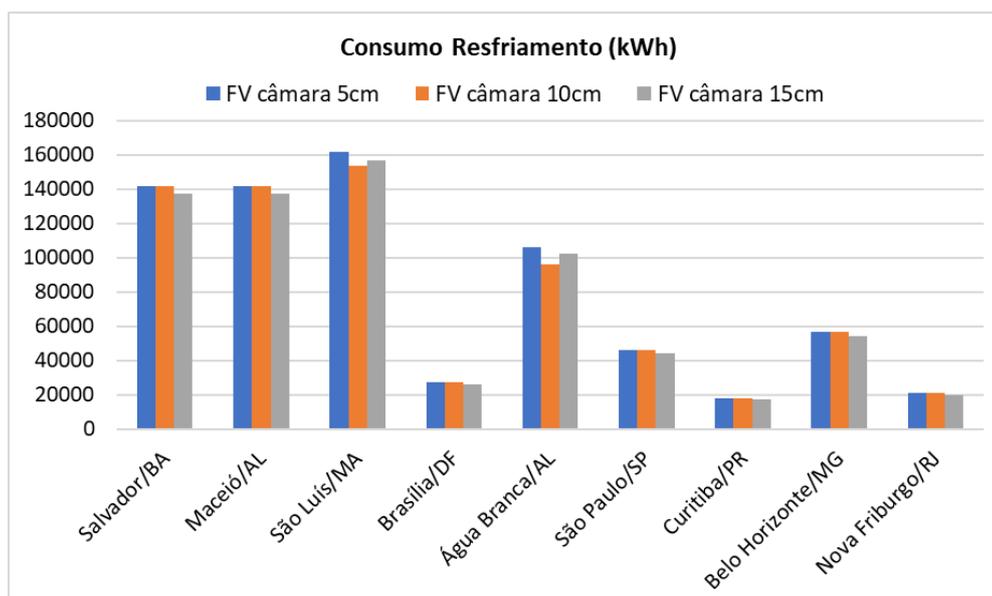


Figura 5.99 – Consumo Resfriamento para diferentes espessuras de câmara

Com os resultados de resfriamento confirmam-se os de aquecimento; há influência da cidade e/ou região climática nos resultados de consumo energético com diferentes espessuras de câmara. A similaridade apontada na Análise Principal (Item 4.1) entre as cidades de Salvador e Maceió é percebida nesta análise paramétrica, assim como entre Curitiba e Nova Friburgo.

Analisando o consumo energético total comparativo (Figura 5.100), verifica-se que, de maneira geral, a câmara de ar de 15cm é a melhor opção, exceto para as cidades de São Luís e Água Branca, em que a câmara de ar de 10cm obteve melhor desempenho energético.

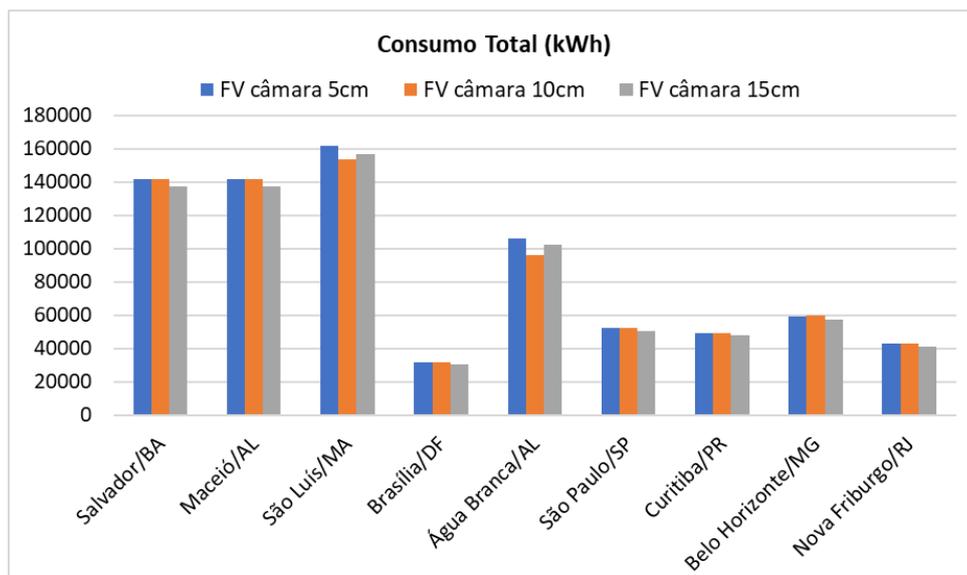


Figura 5.100 – Consumo Energético Total, para diferentes revestimentos externos

Comparando as câmaras de ar de 15cm em relação à de 10cm (Figura 5.101), da análise principal, pode-se verificar que o benefício foi pequeno, na ordem de 3 e 4% para todas as cidades, exceto São Luís e Água Branca, que tiveram melhor desempenho com a câmara de ar de 10cm, com 2 e 7% respectivamente.

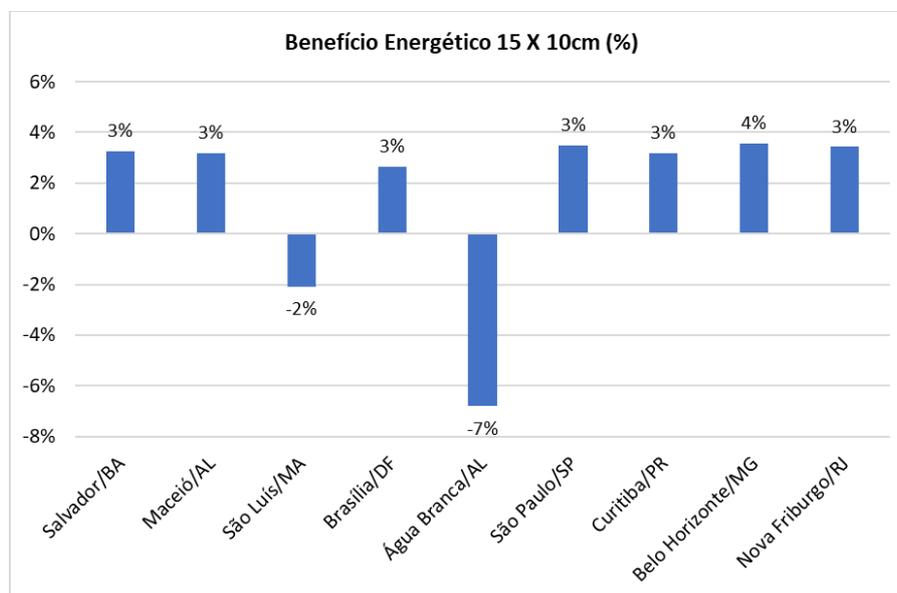


Figura 5.101 – Benefício Energético, Câmara de ar de 15cm, em relação à de 10cm

De forma geral, foi percebido que, com a câmara de ar de 15cm, houve menor consumo energético pelas fachadas ventiladas em relação às demais espessuras, o que corrobora os resultados de Marisnoci et al. (2014) de que cavidades mais estreitas aumentam a perda de pressão no interior da câmara, significando pior desempenho do efeito de resfriamento da

câmara. A quase nula diferença entre 5 e 10cm de espessura da cavidade corrobora os resultados de Balocco (2002) de que o efeito de resfriamento só começa a ser notado para cavidades maiores de 7cm.

Não foram encontrados estudos que analisassem o inverno ou o impacto de aquecimento para diferentes espessuras de câmara de ar. Os estudos encontrados tratam de uma única cidade na Itália, durante o verão, com análise do efeito de resfriamento de câmaras de ar com diferentes espessuras. Balocco (2002) realizou seu estudo em Florence (Itália) para cavidades de 7 a 35cm, enquanto Marisnoci et al. (2014) realizaram o seu em São Mauro (Itália) para cavidades de 10 ou 24cm. Os autores afirmam que o aumento da espessura da cavidade gerará aumento da complexidade da construção, resultando em notável incremento do custo de execução, o que deve ser levado em consideração no momento de escolha do sistema.

5.4 ANÁLISE PARAMÉTRICA 03: Diferentes Aberturas Inferior e Superior

Após as simulações realizadas para as três diferentes aberturas para entrada e saída de ar (inferior e superior) (2, 4 e 6cm), os resultados foram obtidos mensal e anualmente Item 4.6) e submetidos a análise estatística.

Após tratamento estatístico, foi verificado que para o quesito Aquecimento não há influência de diferentes aberturas de entrada e saída de ar nos resultados. Como pode ser observado na Tabela 5.28, as médias das três aberturas ficaram menores que HSD, portanto, são consideradas iguais.

Tabela 5.28 – Teste de Tukey para Aquecimento – Exemplo de Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey					
n	3	$q_{\alpha;g11;g12}$	5,91	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	297576,22	HSD	1861,34

Aquecimento	Média	Diferença			Código
		FVG - 2 cm	FVG - 4 cm	FVG - 6 cm	
FVG - 2 cm	1279,67				a
FVG - 4 cm	1424,00	144,33			a
FVG - 6 cm	1318,33	38,67	105,67		a

Numericamente se poderia dizer que existe diferença nos resultados para diferentes aberturas de entrada e saída de ar (Figura 5.102) nas cinco cidades que possuem resultados de aquecimento, sendo que: para Brasília e São Paulo a diferença é irrelevante, entre 2 e 6cm, sendo maior entre 2 e 4cm, e entre 4 e 6cm; para Curitiba, Belo Horizonte e Nova Friburgo não existe diferença entre 4 e 6cm, somente entre 2 e 4/6cm. De forma geral pode ser visto que, em aberturas para entrada e saída de ar de 2cm, o consumo energético é menor do que nas demais aberturas, ou seja, melhor desempenho energético por aquecimento pode ser encontrado em menores espessuras de câmara de ar, e pode haver diferença de desempenho em diferentes cidades e regiões climáticas.

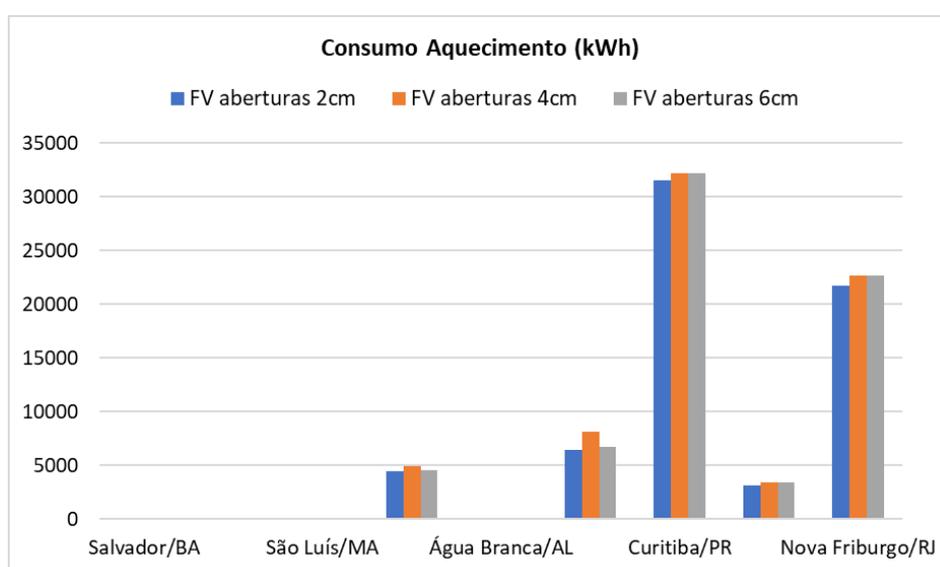


Figura 5.102 – Consumo Aquecimento para diferentes aberturas de entrada e saída de ar

No quesito resfriamento, o tratamento estatístico (Tabela 5.29 e 5.30⁴¹) aponta que somente há influência da abertura para entrada e saída de ar para as cidades de Brasília e Água Branca. Para Brasília a diferença é significativa somente de 6 para 2cm, enquanto que para Água Branca existe diferença de 4 e 6 para 2cm, mas não de 6 para 4cm.

⁴¹ Para Brasília foram consideradas as médias de agosto a abril, e para Água Branca foram considerados os meses de outubro a abril.

Tabela 5.29 – Teste de Tukey para Resfriamento – Exemplo de Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey - Brasília/DF					
n	9	$q_{\alpha;g1;g2}$	3,95	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	232266,19	HSD	634,554

Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG - 2 cm	3470,56	FVG - 2 cm	FVG - 4 cm	FVG - 6 cm	a
FVG - 4 cm	2977,00	493,56			ab
FVG - 6 cm	2820,44	650,11	156,56		b

Tabela 5.30 – Teste de Tukey para Resfriamento – Água Branca/AL

Parâmetros do teste de Tukey					
n	8	$q_{\alpha;g1;g2}$	4,04	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	417649,88	HSD	923,09

Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG - 2 cm	9840,86	FVG - 2 cm	FVG - 4 cm	FVG - 6 cm	a
FVG - 4 cm	8594,14	1246,71			b
FVG - 6 cm	8309,25	1531,61	284,89		b

Numericamente, analisando a Figura 4.103 é possível verificar que somente para Brasília há diferença entre as três aberturas, de forma menos intensa entre 4 e 6cm. Para as demais cidades só existe entre 2 e 4/6cm. Pode-se verificar que há impacto com diferentes aberturas para entrada e saída de ar, principalmente de 2 para 6cm, e existe diferença entre as regiões climáticas. Assim como para a Análise Paramétrica 2, a similaridade entre as cidades de Salvador e Maceió, e entre Curitiba e Nova Friburgo são percebidas nesta.

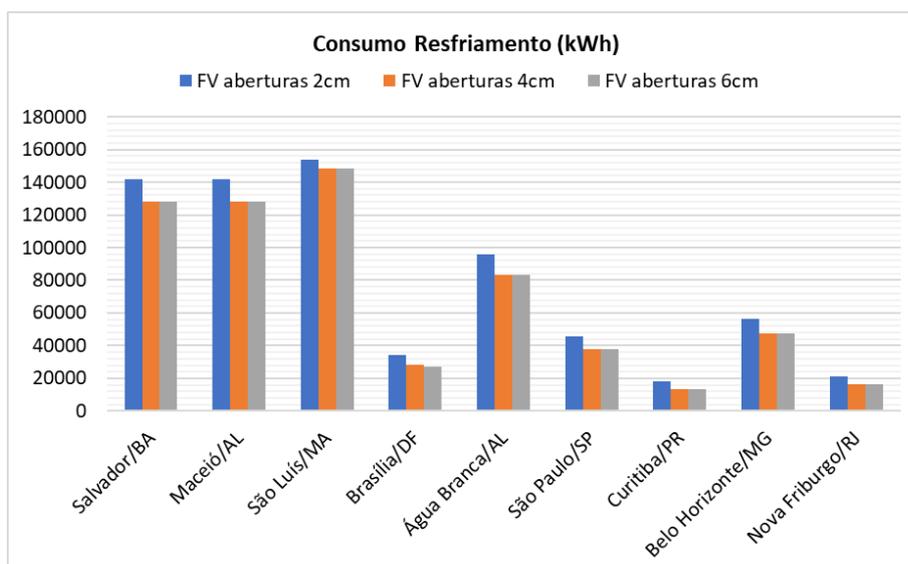


Figura 5.103 – Consumo Resfriamento para diferentes aberturas de entrada e saída de ar

Analisando o consumo energético total comparativo (Figura 5.104), verifica-se que as aberturas de entrada e saída de ar têm melhor desempenho no maior valor, 6cm, e pior desempenho no menor valor, 2cm. As aberturas de 6 e 4cm tiveram desempenho igual ou similar em quase todas as cidades, exceto Brasília e São Paulo.

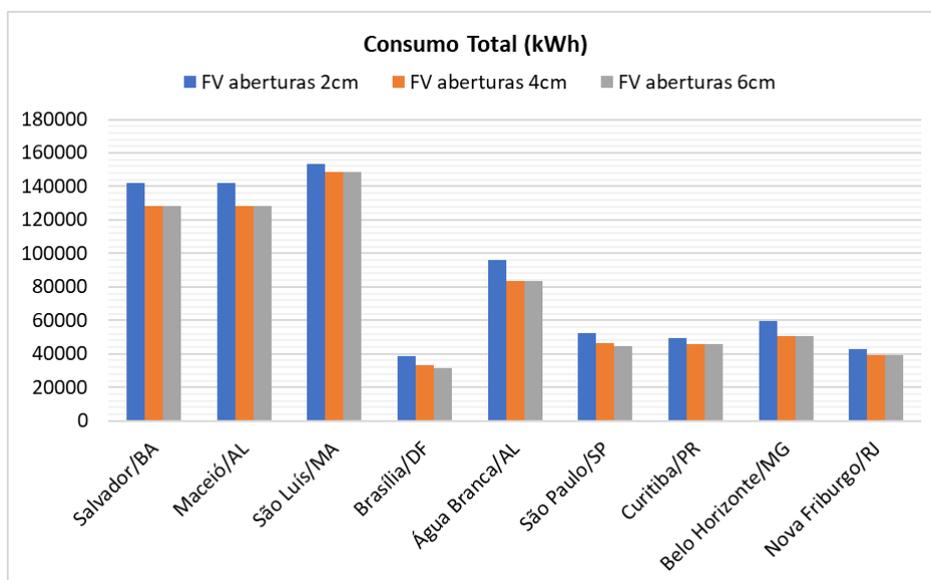


Figura 5.104 – Consumo Energético Total, p/ diferentes aberturas para entrada/saída de ar

Comparando as aberturas de entrada de ar de 6cm em relação à de 2cm (Figura 5.105), da análise principal, pode-se verificar que o maior benefício ocorreu em Brasília, com 19%, e o menor em São Luís, com 3%.

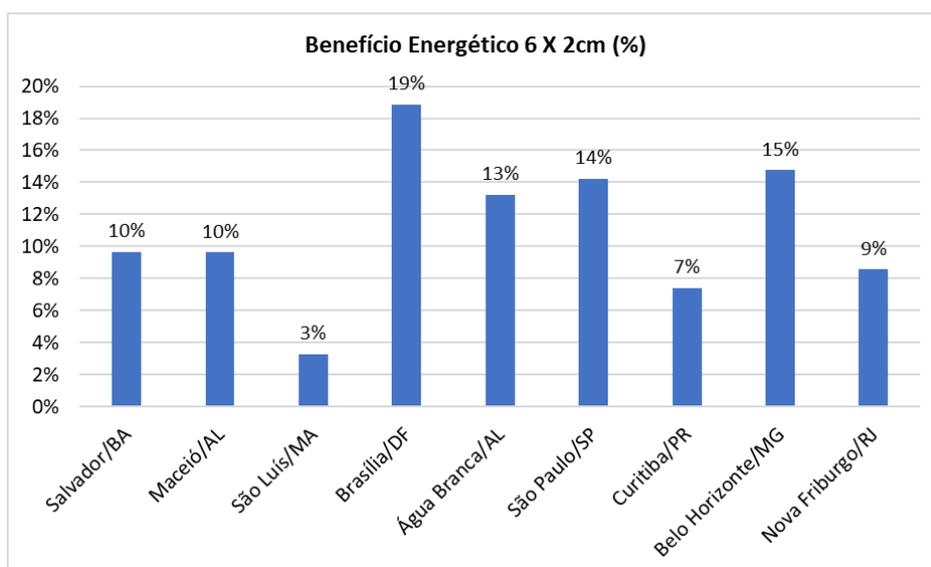


Figura 5.105 – Benefício Energético, Abertura de entrada/saída de ar de 6cm X 2cm

5.5 ANÁLISES PARAMÉTRICAS – Comparativo entre Regiões Climáticas

Após as análises paramétricas é possível fazer um comparativo de qual seria a melhor combinação para cada cidade, apresentado, de forma resumida na Tabela 5.31. Verifica-se que, para a grande maioria das cidades, a melhor combinação é a de revestimento cerâmico, câmara de ar de 15cm e abertura de entrada e saída de ar de 6cm.

Tabela 5.31 – Resumo da combinação das análises paramétricas para cada cidade

Cidade	Revestimento	Espessura da câmara de ar	Abertura de entrada e saída de ar
Salvador/BA	Cerâmica	15 cm	6 cm
Maceió/AL	Cerâmica	15 cm	6 cm
São Luís/MA	Cerâmica	10 cm	6 cm
Brasília/DF	Cerâmica	15 cm	6 cm
Água Branca/AL	Cerâmica	10 cm	6 cm
São Paulo/SP	Cerâmica	15 cm	6 cm
Curitiba/PR	Cerâmica	15 cm	6 cm
Belo Horizonte/MG	Porcelanato	15 cm	6 cm
Nova Friburgo/RJ	Cerâmica	15 cm	6 cm

É interessante, em estudo futuro, que se comparem essas combinações com as fachadas aderidas para o Brasil, levando em consideração as semelhanças encontradas entre cidades de regiões climáticas distintas encontradas na análise principal.

6. CONCLUSÕES

O objetivo geral desta pesquisa foi comparar os benefícios inerentes ao consumo energético de fachadas ventiladas opacas comparativamente a fachadas de revestimento aderido em diferentes regiões climáticas, para edificações habitacionais, no panorama Brasileiro.

Para alcançar os objetivos deste estudo foi realizado embasamento teórico a respeito de eficiência energética de edificações, trazendo o panorama da energia no Brasil, apresentaram-se noções de Energia Operacional para melhor compreensão do tema e da metodologia adotada, e foi realizado o embasamento teórico sobre fachadas ventiladas para compreender o objeto de pesquisa. Também se abordou a utilização de *BIM* em análises de energia para compreensão da metodologia adotada e, por fim, demonstrou-se, por meio do Mapeamento Sistemático da Literatura, a importância e relevância da temática, tendo em vista a escassa literatura existente internacional e nacionalmente.

Foi desenvolvido um projeto de Edificação Habitacional Modelo (EHM) com base nas diretrizes do CUB nacional. Com base nesse projeto, foram modeladas duas tipologias de edificações, sendo um modelo com fachada ventilada de granito e outra de revestimento aderido de granito.

Os modelos foram criados e configurados no *software BIM Autodesk Revit 2018* e as simulações energéticas foram realizadas com o *Green Building Studio*, plataforma nas nuvens interligada com o *Revit*. As primeiras 32 simulações foram para quantificar o consumo e custo energético proveniente dos sistemas de aquecimento e resfriamento para 16 cidades brasileiras, representando as nove regiões climáticas brasileiras, pela classificação Köeppen-Geiger. Os resultados dessas simulações foram utilizados para comparar fachada ventilada de granito com fachada aderida de granito nas diferentes regiões climáticas de forma a avaliar os benefícios inerentes à primeira no panorama brasileiro e assim atingir o objetivo principal da pesquisa.

Os resultados das simulações geram, além do consumo energético também seu custo energético, com isso, o que viabilizou realizar o levantamento dos custos de implantação das fachadas ventiladas e aderidas para cada cidade analisada e assim atingir o objetivo

específico de avaliar o custo-benefício das fachadas ventiladas opacas em diferentes regiões climáticas brasileiras.

Posteriormente foram realizadas mais 54 simulações, de diferentes configurações, para avaliação das análises paramétricas, alvo de três objetivos específicos para avaliar o impacto energético de: diferentes revestimentos externos; diferentes espessuras de câmaras de ar e diferentes espessuras para entrada e saída de ar principais das fachadas ventiladas opacas.

O último objetivo específico foi o de avaliar a utilização do sistema de informação *BIM/BES* para avaliações termo-energéticas. Para atingir esse objetivo é necessária a avaliação da metodologia adotada comparativamente aos resultados encontrados.

A análise de resultados foi dividida em três partes, sendo análise principal e análises paramétricas. Iniciou-se a análise principal pela apresentação dos resultados individuais de cada cidade para posterior apresentação de análise comparativa entre cidades e regiões climáticas. Nas análises individuais, somente as cidades de Curitiba (região climática Cfb) e Nova Friburgo (região climática Cwb) apresentaram-se ineficientes quanto ao sistema de aquecimento, no entanto, no panorama geral, para essas zonas, o sistema de fachada ventilada mostrou-se mais eficiente que o revestimento aderido.

Explica-se a similaridade entre Curitiba e Nova Friburgo pela localização da segunda no mapa climatológico da classificação Köppen-Geiger, pois Nova Friburgo está próxima da região climática Cfb, classificação de Curitiba. Propõe-se que essas cidades sejam avaliadas com diferentes alternativas, como revestimento metálico escuro e fachada cortina (IBAÑEZ-PUY et al., 2017) ou dupla câmara de ar com sistema abre fecha (OJEDA, 2012; ASTORQUI e PORRAS-AMORES, 2017).

As maiores semelhanças encontradas nos resultados foram nas cidades: Belém (Af) e São Luís (As); Salvador (Af), Maceió (Am) e Aracaju (As); Manaus (Af) e Cuiabá (Aw); Campo Grande (Aw) e Água Branca (BSh). Todas as regiões climáticas A e B (Af, Am, As, Aw e BSh) apresentaram resultados de alta demanda por consumo energético, quase que na totalidade pelo sistema de resfriamento. Conclui-se que quanto mais quente for o clima, maior o benefício das fachadas ventiladas.

Esse resultado corrobora os resultados encontrados por outros autores, como Sanjuan et al. (2011), Suárez et al. (2012), Sun (2013) e López e Santiago (2015). Sanjuan et al. (2011) explicam que o fluxo de ar na câmara de ar das fachadas ventiladas é ascendente em toda a largura e não forma um círculo convectivo como nas fachadas cortina, e que a velocidade do ar dentro da câmara de ar mostra-se muito superior nas fachadas ventiladas comparativamente às fachadas cortinas, e sendo essas duas características que favorecem a remoção de calor das paredes da cavidade e produzem vantagem significativa das fachadas ventiladas sob condições de radiação solar.

Nesta pesquisa a comparativa foi em relação a fachadas de revestimento aderido, porém a principal vantagem da fachada ventilada é bem clara nos climas mais quentes e que recebem maior radiação solar. Os autores ainda apontam que superfícies com maior radiação solar possuem os maiores benefícios das fachadas ventiladas, sendo essas as fachadas oeste e norte para o Brasil.

Nas cidades mais quentes, torna-se interessante avaliar o sistema com *setpoint* para o sistema de resfriamento mais alto, por exemplo, 28°C, devido à adaptabilidade do ser humano ao meio em que se encontra e, sendo assim, nessas localidades o consumo pode ser menor e o benefício ainda maior do que o encontrado nesta pesquisa.

Verificou-se, no geral, similaridades entre as cidades de mesma região climática, porém, quando a cidade é litorânea o comportamento muda um pouco, razão pela qual foi realizado comparativo entre as cidades litorâneas e verificada a similaridade entre elas. Verificou-se que para essas cidades a velocidades dos ventos apresenta curvas similares, o que, junto às altas temperaturas, pode explicar as semelhanças. Conclui-se que, em pesquisas posteriores, as cidades litorâneas e não litorâneas devem ser analisadas separadamente.

Foram encontradas semelhanças entre algumas cidades de regiões climáticas diferentes e diferenças entre algumas cidades de mesma região climática, o que pode ser explicado pelo fato de a classificação Köppen-Geiger não levar em consideração altitude, topografia e continentalidade.

Dentro de uma região climática a cidade que apresentou maiores diferenças foi Brasília, avaliada junto a Cuiabá e Campo Grande, acredita-se que pela seca em demasia encontrada

na cidade, levando à conclusão de que a precipitação e a umidade relativa do ar devem ser levadas em consideração em análises de desempenho energético e climática.

López e Santiago (2015) afirmam que a maioria dos locais com alta economia de energia correspondeu a locais com alto nível de radiação. Em relação à temperatura, em geral os locais com temperaturas mais elevadas corresponderam àqueles com maior economia de energia, exatamente o encontrado neste estudo.

As cidades mais frias (com maior demanda por aquecimento) possuem comportamento muito diferente das regiões climáticas mais quentes: Porto Alegre, São Paulo, Curitiba e Nova Friburgo. Brasília e Belo Horizonte foram cidades com comportamento distinto das demais, sendo a primeira a cidade com menor consumo energético total dentre as analisadas.

Sanjuan et al. (2011) afirmaram que, de modo geral, as fachadas ventiladas são sistemas melhores que as fachadas cortinas, mas comportam-se mal em invernos rigorosos, especialmente no lado norte, o que foi confirmado neste estudo.

Verificou-se que a baixa demanda por aquecimento em algumas cidades (Brasília, São Paulo e Belo Horizonte) pode estar relacionada a baixas temperaturas nas madrugadas. Soluções simples como a utilização de agasalhos e cobertores pode resolver a questão, sem a necessidade de sistemas artificiais de aquecimento (IPT,1998).

Em relação a energia primária, percebe-se que o impacto das perdas por transmissão e transformação no país é de grande representatividade, sendo importante o investimento em pesquisas de fontes energéticas alternativas, como placas fotovoltaicas para geração própria de energia para consumo da edificação.

Em relação aos custos, os maiores benefícios financeiros foram encontrados nas cidades mais quentes (São Luís e Belém) enquanto que os menores nas cidades mais frias (Curitiba e Nova Friburgo). Levando em consideração o custo de implantação, analisou-se o tempo de retorno do investimento, sendo que, para Curitiba, o sistema não é financeiramente interessante e para Nova Friburgo somente se torna interessante financeiramente no sistema pontual de instalação. Para as demais cidades o sistema é financeiramente viável em

qualquer tipo de estrutura, porém é mais interessante para Cuiabá (44/21 anos), São Luís (45/20 anos), Manaus (46/21 anos), Belém (47/21 anos) e Água Branca (47/22 anos).

Para o revestimento de granito, o sistema pontual é mais interessante financeiramente. Concordando com Ibañez-Puy et al. (2017), a relação custo/benefício das fachadas ventiladas precisa ser estudada, individualmente, para cada edificação e cada clima. Por fim, a escolha de um sistema de fachada não deve ser avaliada somente pelo aspecto financeiro, mas também em relação aos demais benefícios gerados: as fachadas ventiladas são melhores do que as aderidas em desempenho térmico e energético, são facilmente desmontáveis na desconstrução e causam menos problemas no substrato.

Conclui-se que, para o Brasil, é um sistema de impacto significativo, pois a maior parte do território nacional encontra-se nas zonas mais quentes, onde o investimento é vantajoso, em termos de desempenho energético, térmico e financeiro, colaborando para menores impactos ambientais ao longo da vida útil das edificações que o utilizam.

Conclui-se nesta pesquisa que o comportamento da fachada ventilada é uma melhoria em termos de resfriamento passivo da construção em comparação com as fachadas aderidas, uma vez que oferece economia de energia elétrica de 8% a 43% anuais.

Todos os autores estudados concluíram que optar pelas fachadas ventiladas significa, sempre, ter economia de energia em comparação aos sistemas convencionais, afirmação que pode ser confirmada por esta pesquisa.

Para a Análise Paramétrica 01, que comparou diferentes revestimentos externos (todos com cor clara), conclui-se que a região climática pode influenciar em diferentes resultados para aquecimento e resfriamento em diferentes tipos de revestimento de fachadas. Verificou-se ainda que, para a maioria das regiões climáticas analisadas, o revestimento cerâmico é mais eficiente.

Para a Análise Paramétrica 02, pode-se afirmar que há influência da cidade e/ou região climática nos resultados de consumo energético com diferentes espessuras de câmara. De forma geral, foi percebido que, com a câmara de ar de 15cm, houve menor consumo energético pelas fachadas ventiladas em relação às demais espessuras.

Para a Análise Paramétrica 03, que comparou diferentes aberturas de entrada e saída de ar, conclui-se que melhor desempenho energético por aquecimento pode ser encontrado em menores aberturas. Melhor desempenho energético por resfriamento ocorre em maiores aberturas. Ainda se pode afirmar que há diferença de resultado entre as regiões climáticas.

Para a avaliação da utilização do sistema de informação *BIM/BES* para avaliações termo-energéticas, conclui-se que o binômio *BIM + BES* é eficiente e menos dispendioso de tempo. Nesta pesquisa foi possível verificar que, com o *Autodesk Revit®*, é possível criar e configurar todo o modelo e utilizar o *BES* de mesma empresa, *Green Building Studio®*, sendo esse um serviço nas nuvens que se conecta automaticamente ao *BIM*. Com um clique se atualiza o modelo e novos resultados são gerados, não havendo, portanto, perda de dados na exportação/importação de arquivos.

A facilidade encontrada na alteração de dados e no modelo resultou em economia de tempo, confirmando as informações dos estudos de Lu et al. (2017), Kota et al. (2016) e Kim et al (2015). Como grande vantagem, tem-se que, nos resultados, o *GBS* apresenta dados de consumo e custo energético na edificação em estudo e em diversas propostas diferentes, provendo ideias, para que o usuário analise onde podem ser realizadas melhorias no processo de projeto para uma edificação de menor consumo energético. Como maior desvantagem, o *GBS* não apresenta resultados de temperatura interna do ambiente, não sendo possível realizar análise comparativa do consumo energético com o desempenho térmico interno. A interface gráfica mostrou-se muito amigável, assim como a análise dos resultados.

6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando pesquisas de Energia Incorporada e ACVE sobre diferentes materiais e sistemas construtivos, na investigação da redução do consumo energético, impactos ambientais e melhoria da habitabilidade das edificações, são realizadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- ACVE de fachadas ventiladas comparativamente a fachadas aderidas que considere a fase de construção e desconstrução, tendo em vista se tratar de fases que oferecem

benefícios no uso das tipologias estudadas, principalmente para edificações eficientes energeticamente;

- Análise de outros impactos ambientais das tipologias estudadas, como emissão de CO₂;
- Análise comparativa de fachadas ventiladas com fachadas ventiladas de revestimentos reflexivos, como ACM;
- Análise de Fachadas Ventiladas mescladas com placas fotovoltaicas para verificar a alternativa de geração de energia para a edificação pela própria fachada;
- Estudo com diferentes técnicas de condicionamento passivo aliadas às fachadas ventiladas para avaliar o desempenho energético das regiões climáticas mais frias;
- Avaliação, das cidades de Curitiba e Nova Friburgo, de climas mais frios no país, com alumínio composto (ACM) - material reflexivo - de cor escura, e em fachada cortina, para verificar e comparar o benefício no período de inverno e o seu impacto, no período de verão;
- Avaliação de fachadas ventiladas opacas nas diferentes regiões climáticas considerando somente cidades litorâneas;
- Avaliação das fachadas ventiladas opacas, no Brasil, com diferentes isolantes térmicos para comparar o desempenho energético desses;
- Avaliação das diferentes combinações de revestimentos externos, espessuras de câmara de ar e aberturas para entrada/saída de ar para as diferentes regiões climáticas estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, Henrique Leite; ARGÔLO, Ellen Cristina Dias. Mapeamento Sistemático de Literatura sobre Parceria Público Privada. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

AGOSTINHO, Henrique Leite e GRANJA, Ariovaldo Denis. **Civil: Um Mapeamento Sistemático De Literatura 1**. p. 3476–3488, 2016.

ALONSO, C.; OTEIZA, I.; GARCÍA-NAVARRO, J.; MARTÍN-CONSUEGRA, F. Energy consumption to cool and heat experimental modules for the energy refurbishment of façades. Three case studies in Madrid. **Energy & Buildings 126**, p. 252-262. Elsevier Science Ltd, 2016.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ASHRAE STANDARD 90-1**: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, 2013.

ARANTES, Beatriz; LABAKI, Lucila Chebel. Fachadas sazonalmente adaptáveis: mapeamento sistemático da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

AYOADE, J. O. 1996. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil.

AZHAR, Salman; CARLTON, Wade A.; OLSEN, Darren; AHMAD, Irtishad. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. **Automation in Construction 20**, p. 217-224. Elsevier B. V. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 1: Definições, símbolos e Unidades. ABNT, 2005. 07 p.

_____. **NBR 15220-3**. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. ABNT, 2005. 23 p.

_____. **NBR 15575-1**. Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. ABNT, 2013. 83 p.

_____. **NBR 15575-4**. Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Esquadrias Internas e Externas - Terminologia. ABNT, 2013. 75 p.

_____. **NBR 10821-1**. Esquadrias para Edificações – Parte 1: Requisitos para Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas - SVVIE. ABNT, 2017. 15 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNACIONAL. **ASTM E631-06**. Standard Terminology of Building Constructions. International Standard Worldwide. Philadelphia, 2006.

ASTORQUI, Jaime Santa Cruz; PORRAS-AMORES, César. Ventilated façade with double chambre and flow control device. **Energy and Buildings** **149**, p. 471-482. 2017

BALOCCO, Carla. A simple model to study ventilated facades energy performance. **Energy and Buildings** **34**, p. 469–475. Elsevier Science Ltd. 2002.

BARBOSA, Vanessa. COP23 — o que avançou (ou não) na reunião de clima da ONU. Revista Exame Online, Editora Abril: 18 nov 2017. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/mundo/cop23-principais-resultados-da-reuniao-de-clima-da-onu-em-bonn>>. Acesso em 07 Agosto 2018.

BERALDO, J. C. **Eficiência energética em edifícios: avaliação de uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. (Dissertação de Mestrado).

BRASIL. **Decreto nº 9.377/18**. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. Brasília-DF. 17/05/2018.

BSI – British Standard Institution. **PAS 1192-3:2014 Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling (BIM)**. BSI Standards Limited 2014.

CALDAS, L. R. **Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO₂ de uma edificação habitacional unifamiliar de Light Steel Framing para diferentes dados de inventário**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 174p. 2016.

CALDEIRA, Débora Mara. **Avaliação do Ciclo de Vida Energético na Fase de Pré-Uso e Uso de Telhas Termoacústicas com Poliestireno Expandido para Edificação Habitacional no DF**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 165p. 2016.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. **Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações**. Florianópolis: UFSC/ LabEEE, 2005. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf>. Acesso em: 23 abril 2018.

CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **CUB/m²: Custo Unitário Básico**. Indicador dos custos do setor da Construção Civil. Disponível em: <<http://www.cub.org.br/cub-m2-brasil>>. Acesso em 05 de julho de 2017.

CIANFRINI, C.; CORCIONE, M.; HABIB, E.; QUINTINI, A. Energy performance of a lightweight opaque ventilated facade integrated with the HVAC system using saturated exhaust indoor air. **Energy & Buildings** **50**, p. 26-34. Elsevier Science Ltd, 2012.

CUNHA, Márcio Manuel Ferreira. **Desenvolvimento de um sistema construtivo para fachadas ventiladas**. Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2006.

ELEFTHERIADIS, Stathis; MUMOVIC, Dejan; GREENING, Paul. Life cycle energy efficiency in building structures :A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **67**, p. 811–825. Elsevier Ltda, 2017.

GAGLIANO, A.; NOCERA, F; ANELI, S. Thermodynamic analysis of ventilated façades under different wind conditions in summer period. **Energy & Buildings** **122**, p. 131-139. Elsevier Science Ltd, 2016.

GIANCOLA, E. et al. Experimental assessment and modelling of the performance of an open joint ventilated façade during actual operating conditions in Mediterranean climate. **Energy and Buildings** **54**, p. 363–375. Elsevier Science Ltd. 2012.

GHIAUS, C.; INARD, C. **Energy and environmental issues of smart buildings**. In: A Handbook for Intelligent Building, 2004, p. 26–51.

GUILLÉN, I.; GÓMEZ-LOZANO, V.; FRAN, J.M.; LÓPEZ-JIMÉNEZ, A. Thermal behavior analysis of different multilayer façade: Numerical model versus experimental prototype. **Energy & Buildings** **79**, p. 184-190. Elsevier Science Ltd, 2014.

HALAWA, Edward; GHAFFARIANHOSEINI, Amirhosein; GHAFFARIANHOSEINI, Ali; TROMBLEY, Jeremy; HASSAN, Norhaslina; BAIG, Mirza; YUSOFF, Safiah Yusmah; ISMAIL, Muhammd Azzam. A review on energy conscious designs of building façades in hot and humid climates: Lessons for (and from) Kuala Lumpur and Darwin. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **82**, p. 2147-2161. Elsevier Science Ltd, 2018.

IEA, International Energy Agency. **Energy technology perspectives 2012. Pathways to a clean energy system**; 2012.

IEA, International Energy Agency. **Energy Technology Perspectives 2017. Catalysing Energy Technology Transformations**. 2017.

ILBAÑEZ-PUY, M.; VIDAURRE-ARBIZU, M.; SACRISTÁN-FERNÁNDEZ, J.A.; MARTÍN-GÓMEZ, C. Opaque Ventilated Fçades: Thermal and energy performance review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **79**, p. 180-191. Elsevier Science Ltd, 2017.

INMET – Instituto Nacional de Metereologia. **Normais Climatológicas**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 20 de Abril de 2018.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 17772-1**. Energy performance of buildings – Indoor environmental quality – Part 1: Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings. ISO copyright office. Geneva, Switzerland, 2017.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Avaliação do desempenho térmico e energético de edificações e projetos.** Disponível em: < http://www.ipt.br/solucoes/190-avaliacao_do_desempenho_termico_e_energetico_de_edificacoes_e_projetos.htm>. Acesso em 14 Outubro 2013.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis.** Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

KASSEM, M.; AMORIM, S. R.L. **BIM Building Information Modeling no Brasil e na União Européia.** Diálogos Setoriais – Brasil e União Européia: Brasília, 2015.

KISS, Paulo. Pulmões Prediais. **Revista Techne**, edição 39, março 1999.

KIM, Jong Bum; JEONG, WoonSeong; CLAYTON, Mark J.; HARBEL, Jeff S.; YAN, Wei. Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation. **Automation in Construction** **50**, p. 16-28. Elsevier B.V. 2015.

KOTA, Sandeep; HABERL, Jeff S.; CLAYTON, Mark J.; YAN, Wei. Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. **Energy and Buildings** **81**, p. 391-403. Elsevier B.V. 2014.

KOTA, Sandeep Kota; STIPO, Francisco J. Farias; JEONG, WoonSeong; KIM, Jong Bum; ALCOCER, Jose Luis Bermudez; CLAYTON, Mark J.; YAN, Wei; HABERL, Jeff S. **Development of a Reference Building Information Model for Thermal Model Compliance Testing—Part I: Guidelines for Generating Thermal Model Input Files.** ASHRAE Transactions, Volume 122, Part 1. 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3ª Edição, revisada. São Paulo: Pro Livros, 2014.

LEVIN, Jack; FOX, James Alan; FORDE, David R.. **Estatística para ciências humanas.** 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

LIUA, Sha; MENG, Xianhai; TAM, Chiming. Building information modeling based building design optimization for sustainability. **Energy and Buildings** **105**, p. 139-153. Elsevier B.V. 2015.

LÓPEZ, F. P.; SANTIAGO, R. de A. Sensitivity study of an opaque ventilated façade in the winter season in different climate zones in Spain. **Renewable Energy** **75**, p. 524-533. Elsevier Ltd.: 2015.

LU, Yujie; WU, Zhilei; CHANG, Ruidong; LI, Yongkui. Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. **Automation in Construction** **83**, p. 134-148. Elsevier B.V. 2017

MACIEL, A.C.F. **Energia Incorporada de Fachadas Ventiladas nas Fases de Pré-uso, Uso e Manutenção. Estudo de Caso para Edificação Habitacional Modelo Típica do Plano Piloto de Brasília-DF.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 198p. 2013.

MARINOSCI, C.; SEMPRINI, G.; MORINI, G.L. Experimental analysis of the summer thermal performances of a naturally ventilated rainscreen façade building. **Energy & Buildings** **72**, p. 280-287. Elsevier Science Ltd, 2014.

MARINOSCI, C.; STRACHAN, P.A.; SEMPRINI, G.; MORINI, G.L. Empirical validation and modelling of a naturally ventilated rainscreen façade building. **Energy & Buildings** **43**, p. 853-863. Elsevier Science Ltd, 2011.

MEDEIROS, Jonas Silvestre. SABBATINI, Fernando Henrique. Tecnologia e Projeto de **Revestimentos Cerâmicos de Fachadas de Edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo: EPUSP, 1999. 28 p.

MILLER, Dane; DOH, Jeung-Hwan. Incorporating sustainable development principles into building design: a review from a structural perspective including case study. **The Structural Design Tall and Special Buildings** **24**, p. 421-439. John Wiley & Sons, Ltd. 2014.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em 03/08/2018.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional 2017: Ano base 2016**. Brasília-DF. 2017.

NBK, Hunter Douglas. Soluções Técnicas em Cerâmica: KerArt. Catálogo Técnico. Sd.

OJEDA, Javier del Río. **Guia Basica para Fachadas Ventiladas Y Proteccion Solar: envolventes inteligentes**. Santiago, 2012.

PAN, Wei; QIN, Hao; ZHAO, Yisong. Challenges for energy and carbon modeling of high-rise buildings: The case of public housing in Hong Kong. **Resources, Conservation and Recycling** **123**, p. 208-218. Elsevier Science Ltd, 2017.

PATANIA, F.; GAGLIANO, A.; NOCERA, F.; FERLITO, A.; GALES, A. Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades. **Energy & Buildings** **42**, p. 1148-1155. Elsevier Science Ltd, 2010.

PROCEL INFO, Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Disponível em: <<https://goo.gl/VpCYLd>>. Acesso em 10/12/2017.

ROCHA, Ana Paula. **Fachada Ventilada**. Revista Techne, edição 176, novembro 2011.

RYU, Han-Soo; PARK, Kyuyng-Soon. A Study on the LEED Energy Simulation Process using BIM. **Sustainability** **08**, p. 138, 2016.

SANHUDO, Luís; RAMOS, Nuno M. M.; MARTINS, João Poças; ALMEIDA, Ricardo M.S.F.; BARREIRA, Eva; SIMÕES, M. Lurdes; CARDOSO, Vítor. Building information

modeling for energy retrofitting – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **89**, p. 249-260. Elsevier Science Ltda, 2018.

SANJUAN, C. et al. Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade. **Solar Energy** **85**, p. 1851-1863. Elsevier Science Ltd. 2011.

SARTORI, I.; HESTNES, A.G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. **Energy and Buildings** **39**, p. 249-257. Elsevier Science Ltd. 2007.

SIQUEIRA JUNIOR, Amaury Antunes de. **Tecnologia de Fachada-Cortina com Placas de Grês Porcelanato**. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil e Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.

SOARES, N.; SANTOS, P.; GERVÁSIO, H.; COSTA, J.J.; SIMÕES DA SILVA, L. Energy efficiency and thermal performance of lightweight steel-framed (LSF) construction: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **78**, p. 194-209, Elsevier Ltd, 2017.

SUÁREZ, Maria José; SANJUAN, Cristina; GUTIÉRREZ, Antonio José; PISTONO, Jorge; BLANCO, Eduardo. Energy Evaluation of an horizontal open joint ventilated façade. **Applied Thermal Engineering** **37**, p. 302-313. Elsevier Ltd, 2012.

SUN, Feifei. Achieving suitable thermal performance in residential buildings in different climatic regions of China. **Energy and Buildings** **67**, p. 11-21. Elsevier B.V. 2013.

UTIFIRVE - a. Projeto Viladecavalls (Barcelona) Espanha: Detalhe Janela, Jama 166. 19/02/2010. Projetista Carles, Prancha D-V1, 166.

UTIFIRVE - b. Projeto Viladecavalls (Barcelona) Espanha: Detalhe A – Rufo Superior. 18/02/2010. Projetista Carles, Prancha D-A1, 166.

UTIFIRVE. **JAMA 166: Ventilated Facade System**. Documentación técnica. Barcelona-Espanha. 2012.

WANG, Haidong; ZHAI, Zhiqiang (Jhon). Advances in building simulation and computational techniques: A review between 1987 and 2014. **Energy and Buildings** **128**, p. 319-335. Elsevier B.V. 2016.

WEIBENBERGER, Markus; JENSCH, Wener; LANG, Werner. The convergence of life cycle assessment and nearly zero-energy buildings: The case of Germany. **Energy & Buildings** **76**, p. 551-557. Elsevier Science Ltd, 2014.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6023**. Informação e Documentação – Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

_____. **NBR 10520**. Informação e documentação – Citações em documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2002. 07p.

BRASIL-a. **Lei nº 10.295/01**. Lei da Eficiência Energética. Edição Federal. Brasília-DF. 17/10/2001.

BRASIL-b. **Decreto nº 4.059/01**. Regulamenta a Lei nº 10.295/01, de 17 de Outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília-DF. 10/12/2001.

CALDAS, L. R.; Sposto, R. M.; Lopes, A. M. S.; TAVARES, W. Avaliação do Ciclo de Vida Energético (Acve) e do Desempenho Térmico de uma Habitação de *Light Steel Framing* com o uso de diferentes tipos de Isolantes Térmicos. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 11, p. 1-14, 2016-a.

CALDAS, L. R.; SPOSTO, R. M.; PIRES, A. C.; PAULSEN, J. S. Sustentabilidade na Construção Civil: Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO₂ de Fachadas para Habitações Sociais. **Sustentabilidade em Debate**, v. 7, p. 238-256, 2016-b.

CALDAS, L. R.; LIRA, J. S. de M. M.; MELO, P. C. de; SPOSTO, R. M. Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasilia: proposal of design guidelines for low-carbon social housing. **AMBIENTE CONSTRUÍDO (ONLINE)**, v. 17, p. 71-85, 2017.

CALDAS, L. R.; LIRA, J. S. de M. M.; SPOSTO, R. M. Avaliação do Ciclo de Vida de Habitações de Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos e Painéis Pré-moldados de Concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. *Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, v. 1, n. 1, 2017.

CAMPOS, Nadine Lessa F. C.; NOGUEIRA, Marta Cristina de J. A.; LAMBERTS, José Antonio; DURANTE, Luciane Cleonice. Avaliação de Desempenho Térmico de Edificação Pública em Cuiabá, MT: Um estudo de caso. **Monografias Ambientais**, volume 07, nº 07, p. 1670-1688. RemoA/UFSM, 2012.

GOUVEIA, Graziela M. M. Martins. **Análise Energético-Ambiental de Fachadas com Foco na Reciclagem. Estudo de caso com Painéis de Alumínio Composto “ACM” em Brasília-DF**. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil. UnB – Universidade de Brasília. Brasília-DF. 2012.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 52000-1**. Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment - Part 1: General framework and procedures. ISO copyright office. Geneva, Switzerland, 2017.

KYOTO, Protocolo. Site governamental. Disponível em: <<http://protocolo-de-kyoto.info>>. Acesso em 26 de dezembro de 2017.

NABUT NETO, Abdala Carim. **Energia Incorporada e Emissões de CO₂ de Fachadas. Estudo de Caso do Steel Frame para Utilização em Brasília.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. UnB – Universidade de Brasília. 2011.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. **Energy and Buildings** **57**, p. 95-102. Elsevier Science Ltd. 2013.

PEDROSO, G. M.; SPOSTO, R. M. Análise do ciclo de vida energético (ACVE) de habitações de interesse social (HIS) de paredes de concreto. In: III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, VI Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, 24-26 julho, 2013, Campinas. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.

PEDROSO, G. M.; CAMPOS, D. P.; PAIVA, L. A.; SPOSTO, R. M. Energia Incorporada na fase de pré-uso de paredes de concreto armado moldadas in loco – Estudo de caso no DF. 3º Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social. Porto Alegre, RS, 28 a 30 de abril de 2014, **Anais.** EDIPUCRS, 2014

PEDROSO, Gilson Marafiga. **Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações.** Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil. UnB – Universidade de Brasília. 2015.

SANTOS FILHO, Vamberto Machado dos. **Análise de desempenho térmico e acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho. Estudo de caso em Brasília-DF.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. UnB – Universidade de Brasília. 2015.

URIBE, P. C. D. **Análise Térmica e Energia Incorporada de Vedações para Habitações de Interesse Social. Estudo de Caso com Utilização do Steel Frame no Entorno do DF.** Dissertação de Mestrado em Construção Civil, UnB - Universidade de Brasília. Brasília- DF. 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Fachadas com Revestimento Aderido

De acordo com Medeiros e Sabbatini (1999), o revestimento de fachada aderido é o conjunto monolítico de camadas (inclusive o emboço de substrato), aderidas à base suportante da fachada do edifício, cuja capa exterior é formada pelo revestimento externo, assentado e rejuntado com argamassa ou outro material adesivo. De acordo com Junginger (2003), pode-se ressaltar três camadas básicas de revestimento aderido após a base ou substrato e o preparo da base (chapisco): camada de regularização, camada de fixação e camada de acabamento (Figura A.1).

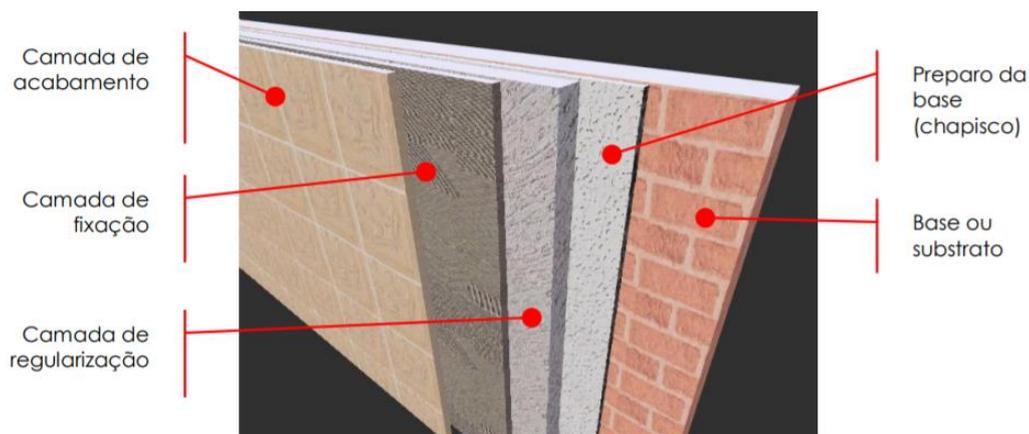


Figura A.1- Partes constituintes do revestimento aderido (JUNGINGER, 2003)

Os revestimentos aderidos são constituídos de substrato, em geral constituído de camada de argamassa denominada de emboço, adesivo ou argamassa adesiva (ou colante) e rejuntamento formado pelas juntas de colocação entre as placas preenchidas por adesivo ou argamassa adesiva. As camadas que formam os revestimentos tradicionais aderidos são constituídas dos materiais apresentados na Tabela A.1 (MEDEIROS e SABBATINI, 1999).

Tabela A.2 - Camadas e materiais constituintes de Fachadas com Revestimento Aderido (Medeiros e Sabbatini, 1999)

Denominação da Camada	Materiais Constituintes
Base ou Suporte	Concreto Armado Alvenaria de blocos cerâmicos Alvenaria de blocos de concreto Alvenaria de blocos de concreto celular Alvenaria de blocos sílico-calcários
Preparação da base	Argamassa de cimento e areia, podendo ou não conter adesivos (chapisco)

Tabela A.3 - Camadas e materiais constituintes de Fachadas com Revestimento Aderido
(Medeiros e Sabbatini, 1999) (continuação)

Substrato	Armagassa de cimento, areia e/ou outro agregado fino, com adição ou não de cal e aditivos químicos
Assentamento ou Fixação	Argamassa adesiva à base de cimento, areia e/ou outros agregados finos, com adição de um ou mais aditivos químicos
Revestimento	Placa de revestimento (cerâmica, porcelanato, granito, entre outros) e argamassa de rejunte à base de cimento, areia e/ou outros agregados finos, com adição de um ou mais aditivos químicos

APÊNDICE B - Configuração Localizações

Neste apêndice apresenta-se a localização e estação metereológica, fornecidos pelo *software*, para cada cidade.

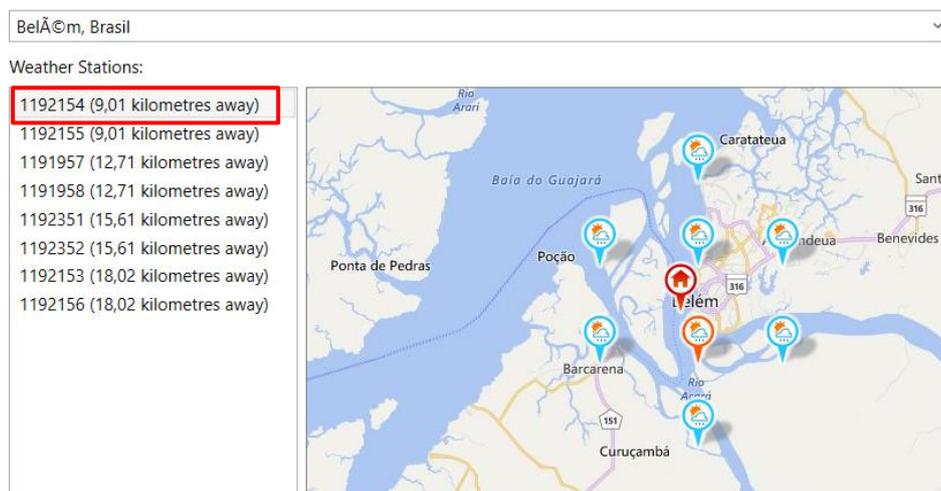


Figura B.1 – Localização e Estação Metereológica de Belém/PA – 1192154

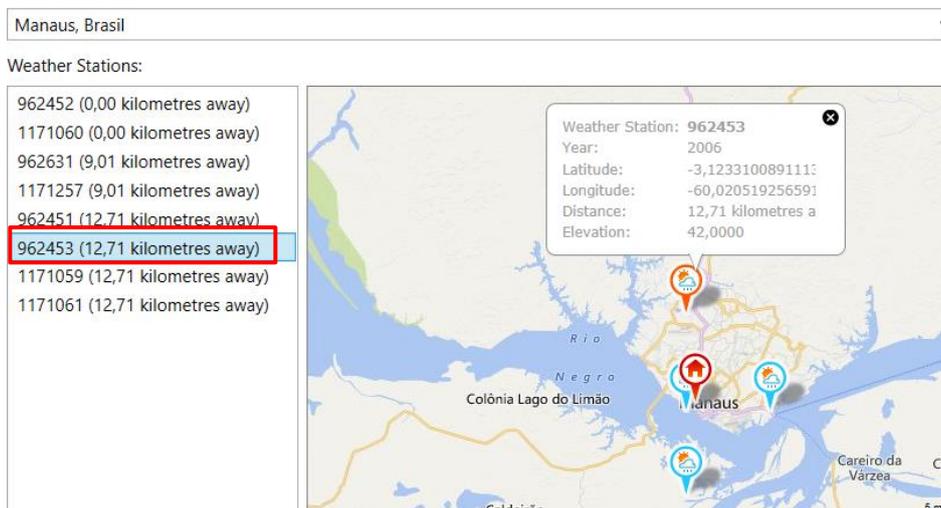


Figura B.2 – Localização e Estação Metereológica de Manaus/AM – 962453

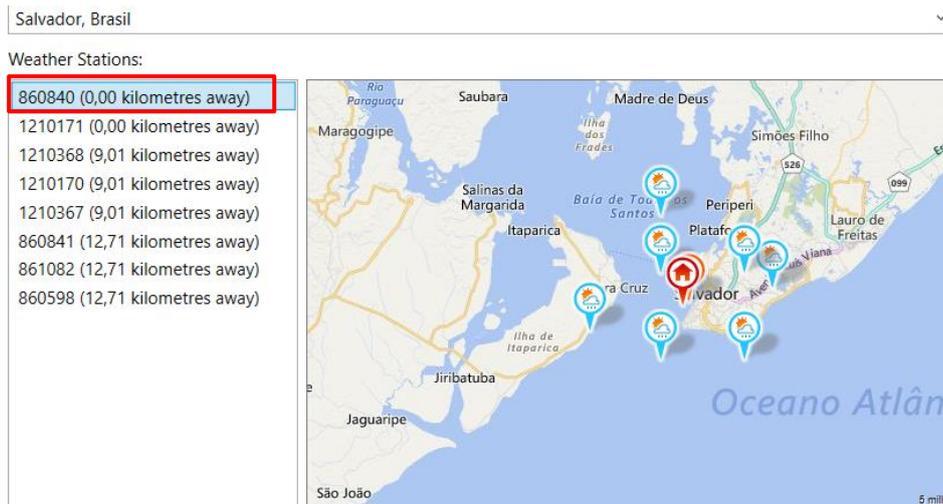


Figura B.3 – Localização e Estação Metereológica de Salvador/BA - 860840

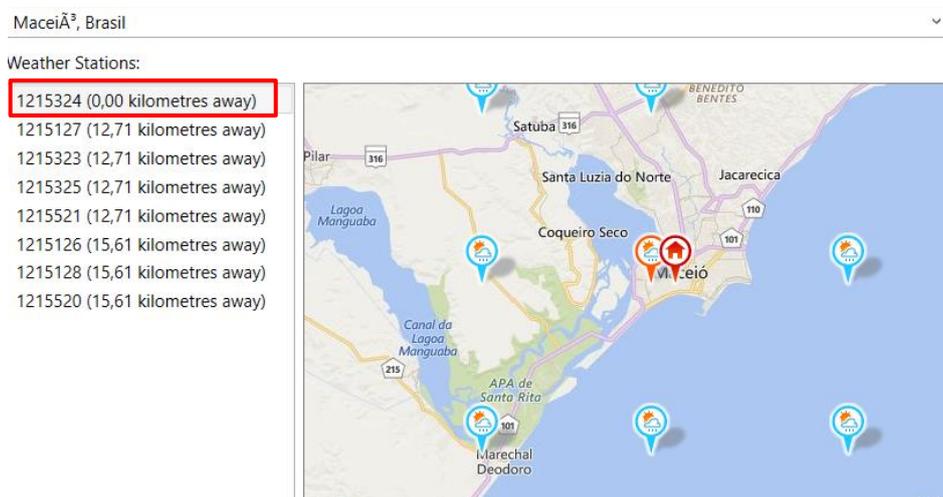


Figura B.4 – Localização e Estação Metereológica de Maceió/AL - 1215324

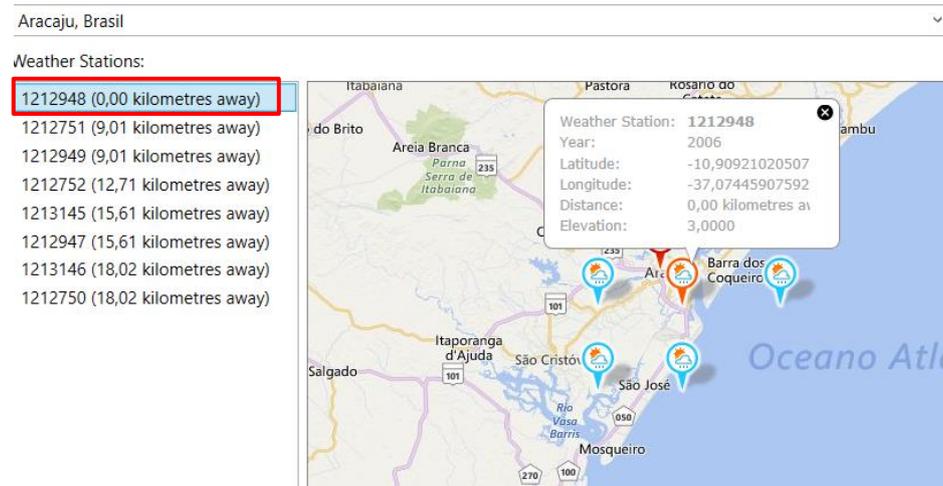


Figura B.5 – Localização e Estação Metereológica de Aracaju/SE - 1212948

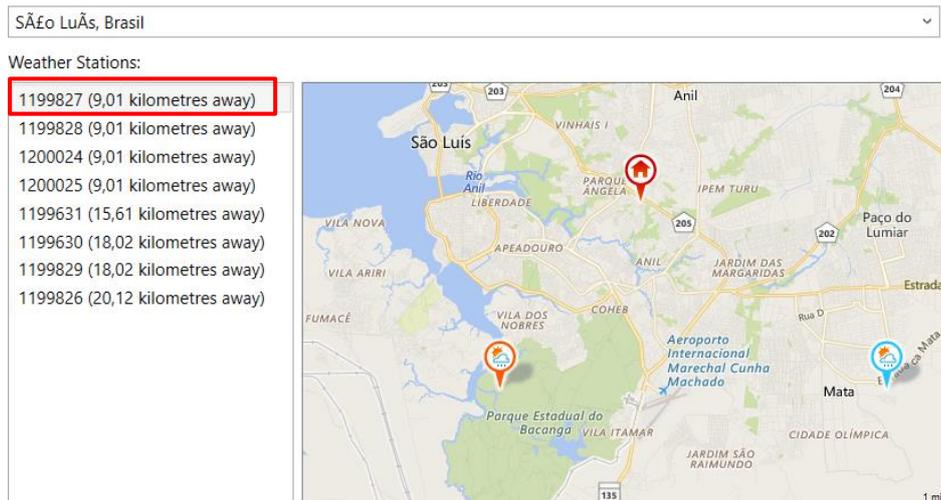


Figura B.6 – Localização e Estação Meteorológica de São Luís/MA - 1199827

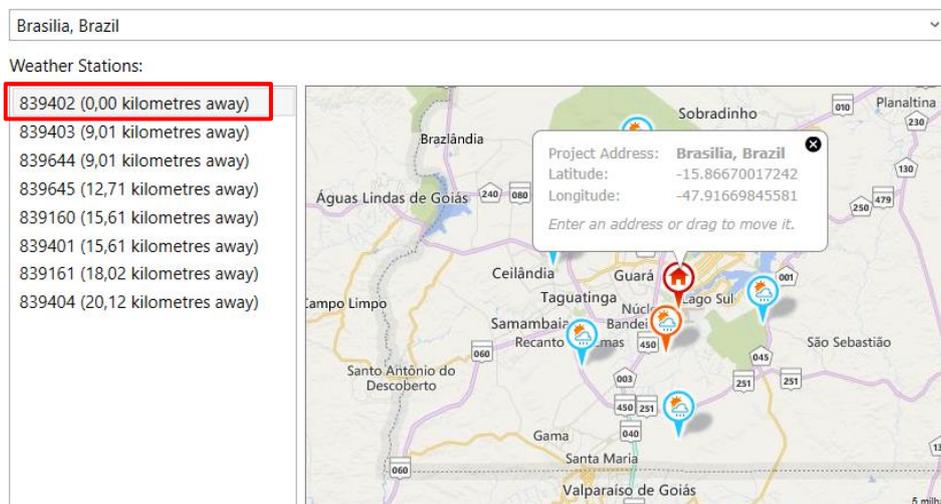


Figura B.7 – Localização e Estação Meteorológica de Brasília/DF – 839402

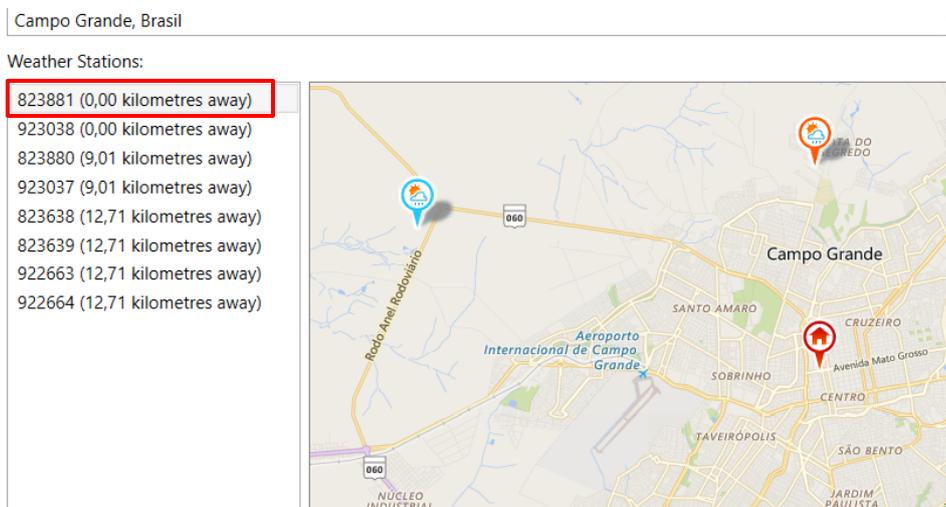


Figura B.8 – Localização e Estação Meteorológica de Campo Grande/MS - 823881

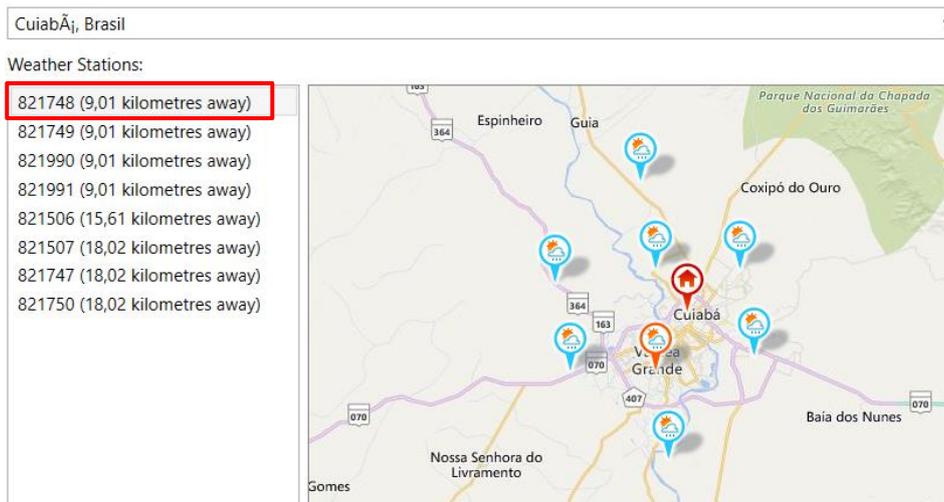


Figura B.9 – Localização e Estação Metereológica de Cuiabá/MT - 821748

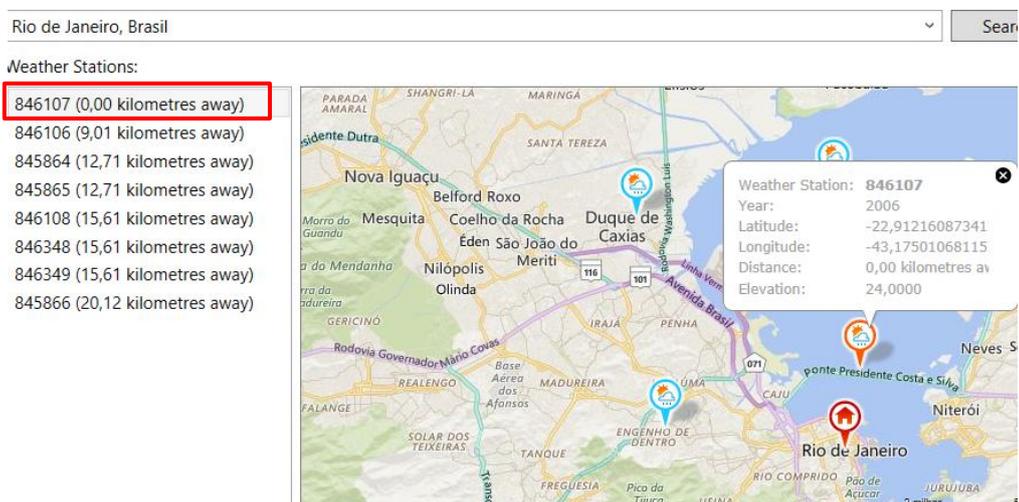


Figura B.10 – Localização e Estação Metereológica de Rio de Janeiro - 846107

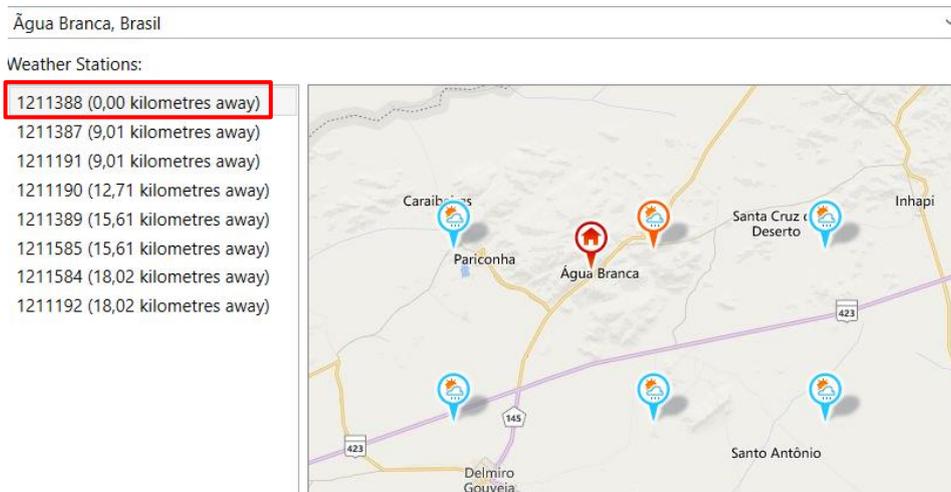


Figura B.11 – Localização e Estação Metereológica de Água Branca/AL – 1211388

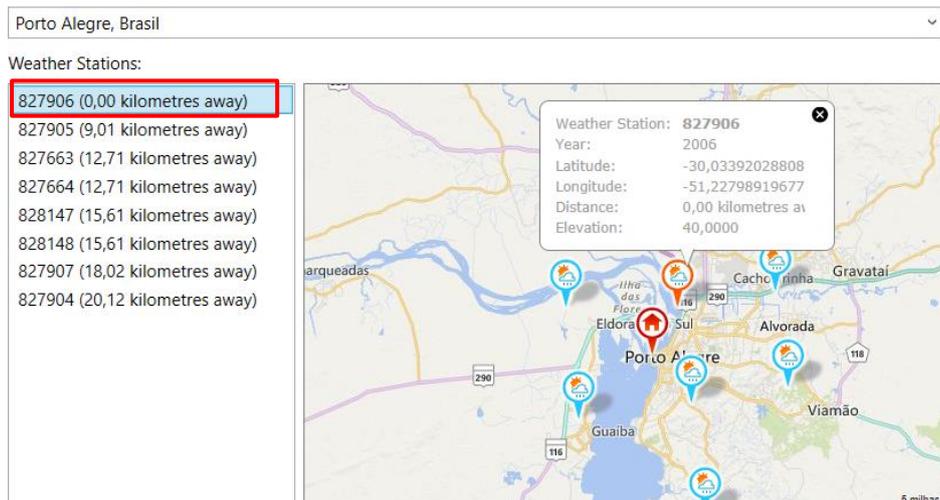


Figura B.12 – Localização e Estação Metereológica de Porto Alegre/RS – 827906

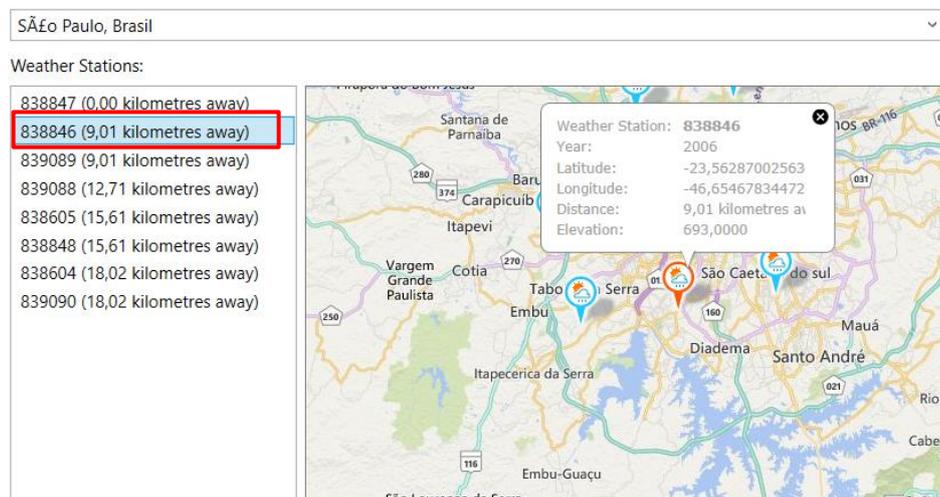


Figura B.13 – Localização e Estação Metereológica de São Paulo/SP – 838846

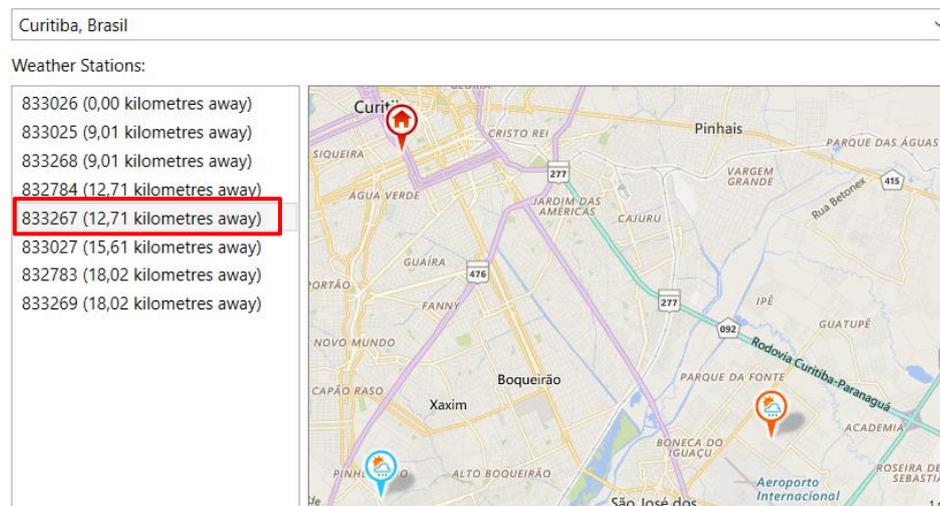


Figura B.14 – Localização e Estação Metereológica de Curitiba/PR – 833267

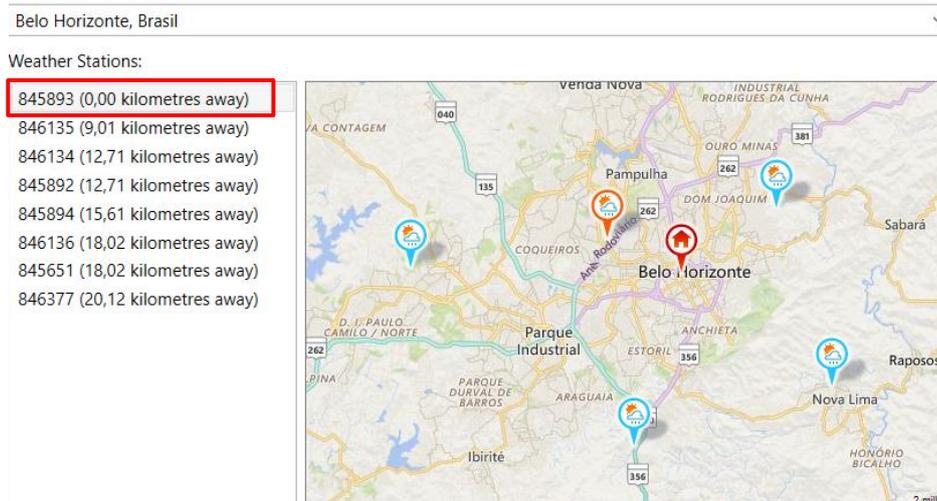


Figura B.15 – Localização e Estação Metereológica de Belo Horizonte/MG – 845893

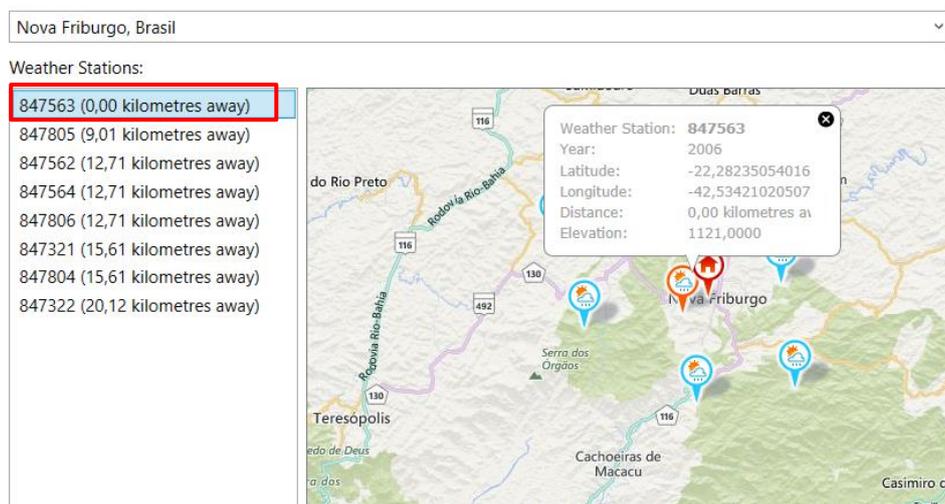


Figura B.16 – Localização e Estação Metereológica de Nova Friburgo/RJ – 847563

APÊNDICE C - Configuração Sistemas Construtivos

Neste apêndice apresenta-se a composição de cada sistema construtivo e suas propriedades analíticas, cujos cálculos são feitos automaticamente pelo *software GBS*, a partir da composição do sistema e das propriedades térmicas dos materiais aplicados. Essas propriedades foram resumidas no Item 3.4.4.

Tabela C. 1 - Vedações Externas Fachadas com Revestimento Aderido

Composição		Propriedades Analíticas
Material	T	Transmitância (U): 0,2452 W/(m ² .K)
Granito	3,00	
Emboço	1,50	Resistência Térmica (R): 4,0775 (m ² .K)/W
Layers Above Wrap	0,00	
Concrete, Cast-in-PI	2,00	Massa Térmica: 14,64 kJ/K
Air	10,00	
Concrete, Cast-in-PI	2,00	
Layers Below Wrap	0,00	
.GessoCola	0,50	Absortância: 0,20

Tabela C. 2 - Vedações Externas Fachadas Ventiladas

Composição		Propriedades Analíticas
Material	Thic	Transmitância (U): 0,2476 W/(m ² .K)
Layers Above Wrap	0,00	
Concrete, Cast-in-Place	2,00	Resistência Térmica (R): 4,0382 (m ² .K)/W
Air	10,00	
Concrete, Cast-in-Place	2,00	Massa Térmica: 5,63 kJ/K
		Absortância: 0,20

Tabela C. 3 – Alvenarias Internas 14cm

Composição		Propriedades Analíticas
Material	T	Transmitância (U): 0,2464 W/(m ² .K)
.GessoCola	0,50	
Layers Above Wrap	0,00	Resistência Térmica (R): 4,0578 (m ² .K)/W
Concrete, Cast-in-Place gray	2,00	
Air	10,00	Massa Térmica: 6,63 kJ/K
Concrete, Cast-in-Place gray	2,00	
Layers Below Wrap	0,00	
.GessoCola	0,50	
		Absortância: 0,20

Tabela C. 4 – Alvenarias Internas 9cm

Composição		Propriedades Analíticas
Material		Transmitância (U): 0,4859 W/(m ² .K)
.GessoCola	0,50	
Layers Above Wrap	0,00	Resistência Térmica (R): 2,0578 (m ² .K)/W
Concrete, Cast-in-Place gr	2,00	
Air	5,00	Massa Térmica: 6,62 kJ/K
Concrete, Cast-in-Place gr	2,00	
Layers Below Wrap	0,00	Absortância: 0,20
.GessoCola	0,50	

Tabela C. 5 – Esquadrias de Vidro

Composição		Propriedades Analíticas
		Transmitância (U): 6,7018 W/(m ² .K)
		Resistência Térmica (R): 0,1492 (m ² .K)/W
Materials and Finishes		
Moldura	Aluminum	Transmitância: 0,76 (76%)
Painel_Vidro	Glass	
		Coeficiente de ganho solar: 0,6 (60%)

Tabela C. 6 – Pisos Internos

Composição		Propriedades Analíticas
Material	Thic	Transmitância (U): 3,9795 W/(m ² .K)
.Porcelanato	1,00	Resistência Térmica (R): 0,2513 (m ² .K)/W
Emboço	0,50	Massa Térmica: 4,71 kJ/K
Layers Above	0,00	Absortância: 0,30
.Contrapiso	5,00	

Tabela C. 7 – Forro de Gesso

Composição		Propriedades Analíticas
Material		Transmitância (U): 24,89 W/(m ² .K)
Layers Above Wrap	0,00	Resistência Térmica (R): 0,0402 (m ² .K)/W
Gypsum Wall Board	1,20	Massa Térmica: 1,12 kJ/K
Layers Below Wrap	0,00	Absortância: 0,20
.GessoCola	0,30	

Tabela C. 8 – Laje

Composição		Propriedades Analíticas
		Transmitância (U): 6,9733 W/(m ² .K)
Material	Thick	Resistência Térmica (R): 0,1434 (m ² .K)/W
Layers Above Wrap	0,000	
Concrete, Cast-in-Place gray	15,000	
		Massa Térmica: 21,06 kJ/K
		Absortância: 0,10

Tabela C. 9 – Revestimento Aderido pilares e face externa lajes entrepisos

Composição		Propriedades Analíticas
		Transmitância (U): 33,97 W/(m ² .K)
Material	Th	Resistência Térmica (R): 0,0294 (m ² .K)/W
Layers Above W	0,00	
Emboço	1,50	Massa Térmica: 8,52 kJ/K
Layers Below Wr	0,00	
.Granito	3,00	Absortância: 0,20

APÊNDICE D - Tratamento Estatístico

Este apêndice complementa o Item 3.7, e nele são apresentados os cálculos estatísticos completos realizados para o desenvolvimento desta pesquisa. Inicia-se com a apresentação dos cálculos da Análise Principal, que compara as médias para Fachada Aderida de Granito e Fachada Ventilada de Granito.

Foram analisados dois quesitos: Aquecimento e Resfriamento. Para Aquecimento, somente as cidades de Brasília, Campo Grande, Cuiabá, Porto Alegre, São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte e Nova Friburgo possuem a variável, cujos resultados são apresentados nas Tabelas D.1 a D.8. Para todas as cidades as médias são menores do que HSD, portanto são iguais ao nível de significância de 5%.

Tabela D.1 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	3	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,93	Maio
k	2	s_{Dentro}^2	332958,83	Junho
α	0,05	HSD	1309,26	Julho
Aquecimento	Diferença	Código		
FAG	1474,33	156,00	a	
FVG	1318,33		a	

Tabela D.2 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Campo Grande/MS

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	4	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46	Maio
k	2	s_{Dentro}^2	12604,63	Julho
α	0,05	HSD	194,23	Agosto
Aquecimento	Diferença	Código		Setembro
FAG	313,50	58,25	a	
FVG	255,25		a	

Tabela D.3 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Cuiabá/MT

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	3	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46	Julho
k	2	s_{Dentro}^2	246,666667	Agosto
α	0,05	HSD	31,37	Setembro
Aquecimento	Diferença	Código		
FAG	28,00	12,67	a	
FVG	15,33		a	

Tabela D.4 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Porto Alegre/RS

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	3	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,93	Maio
k	2	s_{Dentro}^2	134330,67	Julho
α	0,05	HSD	831,61	Setembro
Aquecimento	Diferença	Código		
FAG	2976,60	225,00	a	
FVG	2751,60		a	

Tabela D.5 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, São Paulo/SP

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	5	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,26	Maio
k	2	s_{Dentro}^2	70356,65	Junho
α	0,05	HSD	386,71	Julho
Aquecimento	Diferença	Código		Agosto
FAG	1250,00	49,40	a	Setembro
FVG	1200,60		a	

Tabela D.6 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Curitiba/PR

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	5	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,26	Maio
k	2	s_{Dentro}^2	621319,00	Junho
α	0,05	HSD	1149,18	Julho
Aquecimento	Diferença	Código		Agosto
FAG	4828,00	9,00	a	Setembro
FVG	4819,00		a	

Tabela D.7 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Belo Horizonte/MG

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	6	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,15	Maio
k	2	s_{Dentro}^2	133111,43	Junho
α	0,05	HSD	469,18	Julho
Aquecimento	Diferença	Código		Agosto
FAG	515,83	2,67	a	Setembro
FVG	518,50		a	Novembro

Tabela D.8 - Teste de Tukey, Aquecimento, FAG X FVG, Nova Friburgo/RJ

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	5	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,26	Maio
k	2	s_{Dentro}^2	665136,85	Junho
α	0,05	HSD	1189,02	Julho
Aquecimento	Diferença	Código		Agosto
FAG	3262,20	109,80	a	Setembro
FVG	3372,00		a	

Para o quesito Resfriamento, a única cidade cuja média foi inferior a HSD e, portanto, igual ao nível de significância de 5%, foi o Rio de Janeiro (Tabela E.10). As demais cidades tiveram as médias maiores que HSD e, portanto, diferentes ao nível de significância de 5%, ou seja, o tipo de fachada interfere no quesito Resfriamento para 15 das 16 cidades analisadas (Tabelas D.9 a D.24).

Tabela D.9 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Rio de Janeiro/RJ

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	7	$q_{\alpha;g1;g2}$	3,08	De outubro a abril
k	2	s_{Dentro}^2	5591180,74	
α	0,05	HSD	2752,67	
Resfriamento	Diferença	Código		
FAG	13794,29	2160,57	a	
FVG	11633,71		a	

Tabela D.10 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Belém/PA

Parâmetros do teste de Tukey - Belém/PA				Meses Considerados
n	12	$q_{\alpha;g1;g2}$	2,93	Todos os meses
k	2	s_{Dentro}^2	863873,09	
α	0,05	HSD	786,14	
Resfriamento	Diferença	Código		
FAG	15359,92	2288,42	a	
FVG	13071,50		b	

Tabela D.11 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Manaus/AM

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	12	$q_{\alpha;g1;g2}$	2,93	Todos os meses
k	2	s_{Dentro}^2	902116,68	
α	0,05	HSD	803,36	
Resfriamento	Diferença	Código		
FAG	12347,00	1713,50	a	
FVG	10633,50		b	

Tabela D.12 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Salvador/BA

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	12	$q_{\alpha;g1;g2}$	2,93	Todos os meses
k	2	s_{Dentro}^2	5688807,51	
α	0,05	HSD	2017,38	
Resfriamento	Diferença	Código		
FRaG	13879,50	2064,25	a	
FVG	11815,25		b	

Tabela D.13 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Maceió/AL

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	2,93	Todos os meses
k	2	s_{Dentro}^2	3646588,90	
α	0,05	HSD	1615,18	
Resfriamento	Diferença	Código		
FAG	13920,92	2099,50	a	
FVG	11821,42		b	

Tabela D.14 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Aracaju/SE

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	2,93	Todos os meses
k	2	s_{Dentro}^2	4477128,66	
α	0,05	HSD	1789,69	
Resfriamento	Diferença	Código		
FAG	13427,58	1896,75	a	
FVG	11530,83		b	

Tabela D.15 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, São Luís/MA

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	2,93	Todos os meses
k	2	s_{Dentro}^2	1162694,75	
α	0,05	HSD	912,03	
Resfriamento	Diferença	Código		
FAG	15923,92	3130,75	a	
FVG	12793,17		b	

Tabela D.16 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	9	$q_{\alpha;g11;g12}$	3	De agosto a abril
k	2	s_{Dentro}^2	402066,69	
α	0,05	HSD	634,09	
Resfriamento	Diferença	Código		
FAG	5032,11	2211,67	a	
FVG	2820,44		b	

Tabela D.17 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Campo Grande/MS

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	6	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,15	Janeiro
k	2	s_{Dentro}^2	431954,67	Fevereiro
α	0,05	HSD	845,19	Março
Resfriamento	Diferença	Código		Outubro
FAG	12240,67	2205,33	a	Novembro
FVG	10035,33		b	Dezembro

Tabela D.18 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Cuiabá/MT

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	9	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3	De agosto a abril
k	2	s_{Dentro}^2	2526390,22	
α	0,05	HSD	1589,46	
Resfriamento	Diferença	Código		
FAG	13729,00	2112,22	a	
FVG	11616,78		b	

Tabela D.19 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Água Branca/AL

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	9	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3	De setembro a maio
k	2	s_{Dentro}^2	2949268,94	
α	0,05	HSD	1717,34	
Resfriamento	Diferença	Código		
FAG	11346,56	2164,44	a	
FVG	9182,11		b	

Tabela D.20 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Porto Alegre/RS

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	4	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46	Janeiro
k	2	s_{Dentro}^2	2282488,33	Fevereiro
α	0,05	HSD	2613,67	Março
Resfriamento	Diferença	Código		Dezembro
FAG	12009,00	2760,00	a	
FVG	9249,00		b	

Tabela D.21 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, São Paulo/SP

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	4	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46	Janeiro
k	2	s_{Dentro}^2	661649,25	Fevereiro
α	0,05	HSD	1407,21	Março
Resfriamento	Diferença	Código		Dezembro
FAG	8974,75	2094,00	a	
FVG	6880,75		b	

Tabela D.22 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Curitiba/PR

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	4	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46	Janeiro
k	2	s_{Dentro}^2	527877,13	Fevereiro
α	0,05	HSD	1256,93	Março
Resfriamento	Diferença	Código		Dezembro
FAG	5121,00	1718,25	a	
FVG	3402,75		b	

Tabela D.23 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Belo Horizonte/MG

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	7	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,08	De outubro a abril
k	2	s_{Dentro}^2	1641472,69	
α	0,05	HSD	1491,48	
Resfriamento	Diferença	Código		
FAG	8388,14	1984,43	a	
FVG	6403,71		b	

Tabela D.24 - Teste de Tukey, Resfriamento, FAG X FVG, Nova Friburgo/RJ

Parâmetros do teste de Tukey				Meses Considerados
n	4	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,46	Janeiro
k	2	s_{Dentro}^2	478933,17	Fevereiro
α	0,05	HSD	1197,25	Março
Resfriamento	Diferença	Código		Dezembro
FAG	5622,50	1819,50	a	
FVG	3803,00		b	

Após a análise individual das cidades, foi realizado tratamento estatístico para o item Resfriamento das Fachadas Ventiladas para cidades semelhantes, cujos resultados foram apresentados ao longo do Item 5.1, Análise Principal. Em seguida realizou-se o tratamento estatístico da Análise Paramétrica 01 (diferentes revestimentos), que compara as médias para Fachada Ventilada de Granito, Fachada Ventilada de Porcelanato e Fachada Ventilada de Cerâmica.

Foram analisados dois quesitos: Aquecimento e Resfriamento. Para Aquecimento, somente as cidades de Brasília, São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte e Nova Friburgo possuem a variável e, para todas as cidades, as médias são menores do que HSD, portanto são iguais ao nível de significância de 5% (Tabelas D.25 a D.39).

Tabela D.25 - Teste de Tukey, Aquecimento, FVG x FVP x FVC, Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados	
n	3	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	5,91	α	0,050	
k	3	s_{Dentro}^2	298294,2	HSD	1863,585	
Aquecimento	Média	Diferença		Código	Maio, junho e julho	
FVG	1318,33	FVG	FVP	FVC		a
FVP	1318,00	0,33				a
FVC	1403,67	85,33	85,67			a

Tabela D.26 - Teste de Tukey, Aquecimento, FVG x FVP x FVC, São Paulo/SP

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	3	$q_{\alpha;g11;g12}$	5,91	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	52907,66667	HSD	784,8491
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG	1394,33	FVG	FVP	FVC	a
FVP	1394,33	0,00			a
FVC	1442,33	48,00	48,00		a

Maio, agosto e setembro

Tabela D.27 - Teste de Tukey, Aquecimento, FVG x FVP x FVC, Curitiba/PR

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	5	$q_{\alpha;g11;g12}$	4,6	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	621291,4667	HSD	1621,513
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG	4819,00	FVG	FVP	FVC	a
FVP	4823,20	4,20			a
FVC	4493,20	325,80	330,00		a

De maio a setembro

Tabela D.28 - Teste de Tukey, Aquecimento, FVG x FVP x FVC, Belo Horizonte/MG

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	2	$q_{\alpha;g11;g12}$	8,33	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	36772,5	HSD	1129,514
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG	1035,50	FVG	FVP	FVC	a
FVP	1633,50	598,00			a
FVC	1142,50	107,00	491,00		a

Junho e julho

Tabela D.29 - Teste de Tukey, Aquecimento, FVG x FVP x FVC, Nova Friburgo/RJ

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	8	$q_{\alpha;g11;g12}$	4,04	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	1693675,1	HSD	1858,88
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG	2570,63	FVG	FVP	FVC	a
FVP	2570,38	0,25			a
FVC	2676,88	106,25	106,50		a

De abril a novembro

Para o quesito Resfriamento, as cidades de Salvador, São Luís, Brasília, São Paulo, Curitiba e Nova Friburgo tiveram as médias inferiores a HSD, portanto iguais ao nível de significância de 5%. Nesses casos, o revestimento não tem influência nos resultados de resfriamento (Tabela D.30 a D.35).

Tabela D.30 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Salvador/BA

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,77	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	3208393	HSD	1949,37
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG	11815,25	FVG	FVP	FVC	a
FVP	11814,58	0,67			a
FVC	10671,50	1143,75	1143,08		a

Todos os meses

Tabela D.31 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, São Luís/MA

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,77	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	548585,9	HSD	806,07
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG	12793,17	FVG	FVP	FVC	a
FVP	13485,25	692,08			a
FVC	12373,08	420,08	1112,17		a

Todos os meses

Tabela D.32 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	9	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,95	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	224115,5	HSD	623,32
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG	2820,44	FVG	FVP	FVC	a
FVP	2820,44	0,00			a
FVC	2627,00	193,44	193,44		a

De agosto a abril

Tabela D.33 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, São Paulo/SP

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	4	$q_{\alpha;g11;g12}$	5,04	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	384250,1667	HSD	1562,10
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG	6890,25	FVG	FVP	FVC	a
FVP	6890,25	0,00			a
FVC	5998,00	892,25	892,25		a

De dezembro a março

Tabela D.34 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Curitiba/PR

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	4	$q_{\alpha;g11;g12}$	5,04	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	228404,25	HSD	1204,35
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG	3402,75	FVG	FVP	FVC	a
FVP	3407,25	4,50			a
FVC	3142,25	260,50	265,00		a

De dezembro a março

Tabela D.35 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Nova Friburgo/RJ

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	5	$q_{\alpha;g11;g12}$	4,6	α	0,050
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	893894,9	HSD	1944,98
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG	3443,00	FVG	FVP	FVC	a
FVP	3443,00	0,00			a
FVC	2902,20	540,80	540,80		a

De novembro a março

Ainda no quesito Resfriamento, para a cidade de Maceió (Tabela D.36), as fachadas de granito e porcelanato são iguais, ao nível de significância de 5%, e a fachada de cerâmica é diferente das fachadas de granito e porcelanato, ao nível de significância de 5%. Para as cidades de Água Branca (Tabela D.37) e Belo Horizonte (Tabela D.38), as fachadas de granito e cerâmica são iguais, ao nível de significância de 5%, e a fachada de porcelanato é diferente das fachadas de granito e cerâmica, ao nível de significância de 5%. Ou seja, para as cidades de Maceió, Água Branca e Belo Horizonte, o revestimento interfere no quesito Resfriamento.

Tabela D.36 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Maceió/AL

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,77	α	0,050
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	2011400	HSD	1543,48
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG	11821,42	FVG	FVP	FVC	a
FVP	11820,50	0,92			a
FVC	10683,50	1137,92	1137,00		b

Todos os meses

Tabela D.37 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Água Branca/AL

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	7	$q_{\alpha;g11;g12}$	4,17	α	0,050
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	266387,9	HSD	813,48
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG	9840,86	FVG	FVP	FVC	a
FVP	10842,00	1001,14			b
FVC	9709,43	131,43	1132,57		a

De Outubro a Abril

Tabela D.38 - Teste de Tukey, Resfriamento, FVG x FVP x FVC, Belo Horizonte/MG

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	7	$q_{\alpha;g11;g12}$	4,17	α	0,050
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	731189,7	HSD	1347,73
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG	6403,71	FVG	FVP	FVC	a
FVP	3315,14	3088,57			b
FVC	5599,29	804,43	2284,14		a

De outubro a abril

Depois realizou-se o tratamento estatístico da Análise Paramétrica 02 (diferentes espessuras de câmara de ar), que compara as médias para 5, 10 e 15cm. Foram analisados dois quesitos: Aquecimento e Resfriamento. Para Aquecimento, somente as cidades de Brasília, São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte e Nova Friburgo possuem a variável. Somente para Nova Friburgo (Tabela D.42) as médias das três espessuras são diferentes entre si, ao nível de significância de 5%, ou seja, a espessura da câmara de ar tem influência nos resultados de Aquecimento. Para as demais cidades (Tabelas D.39 a D.43) as médias das três espessuras são iguais, ao nível de significância de 5%, ou seja, a espessura da câmara de ar não influencia os resultados de aquecimento.

Tabela D.39 - Teste de Tukey, Aquecimento, 5 x 10 x 15cm, Nova Friburgo/RJ

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	8	$q_{\alpha;g1;g2}$	3,77	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	4,04	HSD	2,679088
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG - 5cm	2576,50	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a
FVG - 10cm	2570,63	5,88			b
FVG - 15cm	2507,00	69,50	63,63		c

De abril a novembro

Tabela D.40 - Teste de Tukey, Aquecimento, 5 x 10 x 15cm, Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	3	$q_{\alpha;g1;g2}$	5,91	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	286749,667	HSD	1827,167
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG - 5cm	1323,33	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a
FVG - 10cm	1318,33	5,00			a
FVG - 15cm	1282,67	40,67	35,67		a

De maio a julho

Tabela D.41 - Teste de Tukey, Aquecimento, 5 x 10 x 15cm, São Paulo/SP

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	5	$q_{\alpha;g1;g2}$	4,602	α	0,050
k	3	s_{Dentro}^2	88039,7	HSD	610,662
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG - 5cm	1207,60	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a
FVG - 10cm	1200,60	7,00			a
FVG - 15cm	1166,00	41,60	34,60		a

De maio a setembro

Tabela D.42 - Teste de Tukey, Aquecimento, 5 x 10 x 15cm, Curitiba/PR

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	5	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	4,6	α	0,050
k	3	$s_{D_{teste}}^2$	615994,033	HSD	1614,586
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG - 5cm	4833,00	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a
FVG - 10cm	4823,40	9,60			a
FVG - 15cm	4703,60	129,40	119,80		a

De maio a setembro

Tabela D.43 - Teste de Tukey, Aquecimento, 5 x 10 x 15cm, Belo Horizonte/MG

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	3	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	5,91	α	0,050
k	3	$s_{D_{teste}}^2$	628,333333	HSD	85,53068
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG - 5cm	326,67	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a
FVG - 10cm	324,33	2,33			a
FVG - 15cm	310,67	16,00	13,67		a

Maio, setembro e novembro

Para o quesito Resfriamento, somente a cidade de Água Branca (Tabela D.44) teve as médias diferentes, sendo a diferença encontrada somente entre 5 e 10cm de espessura e, sendo assim, para esta cidade, a espessura da câmara de ar tem influência nos resultados de resfriamento. Para as demais cidades as médias foram inferiores a HSD, portanto, iguais ao nível de significância de 5%. Nesses casos, a espessura da câmara de ar não tem influência nos resultados de resfriamento (Tabela D.45 a D.52).

Tabela D.44 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Água Branca/AL

Parâmetros do teste de Tukey - Água Branca/AL					Meses considerados
n	7	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	4,17	α	0,050
k	3	$s_{D_{teste}}^2$	276662,857	HSD	829,0151
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG - 5cm	10841,14	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a
FVG - 10cm	9840,86	1000,29			b
FVG - 15cm	10496,43	344,71	655,57		ab

De outubro a abril

Tabela D.45 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Salvador/BA

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	12	$q_{\alpha;gl1;gl2}$	3,77	α	0,050
k	3	$s_{D_{teste}}^2$	3242024,27	HSD	1959,56
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG - 5cm	11812,33	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a
FVG - 10cm	11815,25	2,92			a
FVG - 15cm	11432,00	380,33	383,25		a

Todos os meses

Tabela D.46 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Maceió/AL

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,77	α	0,050	
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	2039010,92	HSD	1554,03	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	Todos os meses
FVG - 5cm	11817,42	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a	
FVG - 10cm	11821,42	4,00			a	
FVG - 15cm	11445,33	372,08	376,08		a	

Tabela D.47 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, São Luís/MA

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,77	α	0,050	
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	576047,624	HSD	826,00	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	Todos os meses
FVG - 5cm	13483,58	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a	
FVG - 10cm	12793,17	690,42			a	
FVG - 15cm	13060,50	423,08	267,33		a	

Tabela D.48 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	9	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,95	α	0,050	
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	1229434,63	HSD	1459,918	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	De agosto a abril
FVG - 5cm	2818,00	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a	
FVG - 10cm	2820,44	2,44			a	
FVG - 15cm	2745,44	72,56	75,00		a	

Tabela D.49 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, São Paulo/SP

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	4	$q_{\alpha;g11;g12}$	5,04	α	0,050	
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	413715,611	HSD	1620,882	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	De dezembro a março
FVG - 5cm	6888,25	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a	
FVG - 10cm	6880,75	7,50			a	
FVG - 15cm	6658,50	229,75	222,25		a	

Tabela D.50 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Curitiba/PR

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	4	$q_{\alpha;g11;g12}$	5,04	α	0,050	
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	239514,694	HSD	1233,294	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	De dezembro a março
FVG - 5cm	3405,75	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a	
FVG - 10cm	3407,25	1,50			a	
FVG - 15cm	3275,25	130,50	132,00		a	

Tabela D.51 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Belo Horizonte/MG

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	7	$q_{\alpha;g1;g2}$	4,17	α	0,050	
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	1053954,32	HSD	1618,072	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	De outubro a abril
FVG - 5cm	6400,29	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a	
FVG - 10cm	6403,71	3,43			a	
FVG - 15cm	6192,14	208,14	211,57		a	

Tabela D.52 - Teste de Tukey, Resfriamento, 5 x 10 x 15cm, Nova Friburgo/RJ

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	5	$q_{\alpha;g1;g2}$	4,6	α	0,050	
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	934938,5	HSD	1989,135	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	De novembro a março
FVG - 5cm	3439,20	FVG - 5cm	FVG - 10cm	FVG - 15cm	a	
FVG - 10cm	3443,00	3,80			a	
FVG - 15cm	3318,60	120,60	124,40		a	

Por fim, foi realizado o tratamento estatístico da Análise Paramétrica 03 (diferentes entradas e saídas de ar), que compara as médias para 2, 4 e 6cm. Foram analisados dois quesitos: Aquecimento e Resfriamento. Para Aquecimento, somente as cidades de Brasília, São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte e Nova Friburgo possuem a variável. Para todas as cidades (Tabelas D.53 a D.61), as médias de aberturas para entrada e saída de ar são iguais, ao nível de significância de 5%, ou seja, diferentes aberturas para entrada e saída de ar não influenciam os resultados de aquecimento.

Tabela D.53 - Teste de Tukey, Aquecimento, 2 x 4 x 6cm, Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	3	$q_{\alpha;g1;g2}$	5,91	α	0,050	
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	297576,22	HSD	1861,341	
Aquecimento	Média	Diferença			Código	Maio, Junho e Julho
FVG - 2cm	1279,67	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a	
FVG - 4cm	1424,00	144,33			a	
FVG - 6cm	1318,33	38,67	105,67		a	

Tabela D.54 - Teste de Tukey, Aquecimento, 2 x 4 x 6cm, São Paulo/SP

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	3	$q_{\alpha;g1;g2}$	5,91	α	0,050	
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	66721,5556	HSD	881,3734	
Aquecimento	Média	Diferença			Código	Maio, agosto e setembro
FVG - 2cm	1393,00	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a	
FVG - 4cm	1442,33	49,33			a	
FVG - 6cm	1442,33	49,33	0,00		a	

Tabela D.55 - Teste de Tukey, Aquecimento, 2 x 4 x 6cm, Curitiba/PR

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	8	$q_{\alpha;g1;g2}$	4,04	α	0,050
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	2708767,4	HSD	2350,835
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG - 2cm	3734,00	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a
FVG - 4cm	3801,00	67,00			a
FVG - 6cm	3801,00	67,00	0,00		a

De abril a novembro

Tabela D.56 - Teste de Tukey, Aquecimento, 2 x 4 x 6cm, Belo Horizonte/MG

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	3	$q_{\alpha;g1;g2}$	5,91	α	0,050
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	1771	HSD	143,5939
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG - 2cm	324,33	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a
FVG - 4cm	322,33	2,00			a
FVG - 6cm	322,33	2,00	0,00		a

Maio, setembro e novembro

Tabela D.57 - Teste de Tukey, Aquecimento, 2 x 4 x 6cm, Nova Friburgo/RJ

Parâmetros do teste de Tukey					Meses considerados
n	8	$q_{\alpha;g1;g2}$	4,04	α	0,050
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	1793842,7	HSD	1913,06
Aquecimento	Média	Diferença			Código
FVG - 2cm	2570,63	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a
FVG - 4cm	2677,13	106,50			a
FVG - 6cm	2677,13	106,50	0,00		a

Maio, setembro e novembro

Para o quesito Resfriamento, somente as cidades de Brasília e Água Branca (Tabelas D.58 e D.59) tiveram as médias diferentes. Para Brasília, a diferença existe somente entre aberturas de 2 e 6cm; já para Água Branca, a diferença existe entre 2 e 4cm, e entre 2 e 6cm, portanto, para estas cidades existe influência da abertura da entrada e saída de ar nos resultados de resfriamento. Para as demais cidades as médias foram inferiores a HSD, portanto, iguais ao nível de significância de 5%. Nesses casos, as aberturas para entrada e saída de ar não têm influência nos resultados de resfriamento (Tabela D.60 a D.66).

Tabela D.58 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Brasília/DF

Parâmetros do teste de Tukey - Brasília/DF					Meses considerados
n	9	$q_{\alpha;g1;g2}$	3,95	α	0,050
k	3	$s_{D_{meses}}^2$	232266,19	HSD	634,5544
Resfriamento	Média	Diferença			Código
FVG - 2cm	3470,56	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a
FVG - 4cm	2977,00	493,56			ab
FVG - 6cm	2820,44	650,11	156,56		b

De agosto a abril

Tabela D.59 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Água Branca/AL

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	8	$q_{\alpha;g11;g12}$	4,04	α	0,050	
k	3	s_{Dentro}^2	417649,88	HSD	923,0868	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	De outubro a abril
FVG - 2cm	9840,86	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a	
FVG - 4cm	8594,14	1246,71			b	
FVG - 6cm	8309,25	1531,61	284,89		b	

Tabela D.60 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Salvador/BA

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,08	α	0,050	
k	2	s_{Dentro}^2	3105814,9	HSD	1566,924	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	Todos os meses
FVG - 2cm	11815,25	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a	
FVG - 4cm	10671,92	1143,33			a	
FVG - 6cm	10671,92	1143,33	0,00		a	

Tabela D.61 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Maceió/AL

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,77	α	0,050	
k	3	s_{Dentro}^2	1938585,1	HSD	1515,281	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	Todos os meses
FVG - 2cm	11821,42	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a	
FVG - 4cm	10684,00	1137,42			a	
FVG - 6cm	10684,00	1137,42	0,00		a	

Tabela D.62 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, São Luís/MA

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	12	$q_{\alpha;g11;g12}$	3,77	α	0,050	
k	3	s_{Dentro}^2	506247,2	HSD	774,3406	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	Todos os meses
FVG - 2cm	12793,17	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a	
FVG - 4cm	12373,42	419,75			a	
FVG - 6cm	12373,42	419,75	0,00		a	

Tabela D.63 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, São Paulo/SP

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	4	$q_{\alpha;g11;g12}$	5,04	α	0,050	
k	3	s_{Dentro}^2	341426,306	HSD	1472,479	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	De dezembro a março
FVG - 2cm	6880,75	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a	
FVG - 4cm	5998,00	882,75			a	
FVG - 6cm	5998,00	882,75	0,00		a	

Tabela D.64 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Curitiba/PR

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	4	$q_{\alpha;g11;g12}$	5,04	α	0,050	
k	3	s_{Dentro}^2	187409,86	HSD	1090,93	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	
FVG - 2cm	3407,25	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a	De dezembro a março
FVG - 4cm	2774,50	632,75			a	
FVG - 6cm	2774,50	632,75	0,00		a	

Tabela D.65 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Belo Horizonte/MG

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	7	$q_{\alpha;g11;g12}$	4,17	α	0,050	
k	3	s_{Dentro}^2	983037,24	HSD	1562,687	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	
FVG - 2cm	6403,71	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a	De outubro a abril
FVG - 4cm	5599,71	804,00			a	
FVG - 6cm	5599,71	804,00	0,00		a	

Tabela D.66 - Teste de Tukey, Resfriamento, 2 x 4 x 6cm, Nova Friburgo/RJ

Parâmetros do teste de Tukey						Meses considerados
n	4	$q_{\alpha;g11;g12}$	5,04	α	0,050	
k	3	s_{Dentro}^2	387535,06	HSD	1568,758	
Resfriamento	Média	Diferença			Código	
FVG - 2cm	3803,00	FVG - 2cm	FVG - 4cm	FVG - 6cm	a	De outubro a abril
FVG - 4cm	3214,75	588,25			a	
FVG - 6cm	3214,75	588,25	0,00		a	

APÊNDICE E - Custos de Implantação de Fachadas

Conforme foi exposto no Item 3.8 (Custos de Implantação das Fachadas), para a fachada aderida de granito foi realizado o levantamento das quantidades requeridas para cada insumo e mão de obra, e da mão de obra para aplicação dos insumos, assim como os custos de cada item, e aplicado BDI de 30%. A seguir serão apresentados os custos detalhados dos insumos e mão de obra para cada cidade e o resumo deles.

Tabela E.1 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Belém/PA

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,68	130%+30%	R\$ 139,93
AREIA	1,22	M³	R\$ 60,00	30%	R\$ 95,16
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,54	30%	R\$ 341,17
TOTAL:					R\$ 576,26

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,68	130%+30%	R\$ 139,93
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 60,00	30%	R\$ 95,16
CAL	122	KG	R\$ 0,65	30%	R\$ 103,09
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,54	30%	R\$ 170,59
TOTAL:					R\$ 508,77

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 6,47	130%+30%	R\$ 1,93
SERVENTE	0,1	H	R\$ 4,68	130%+30%	R\$ 1,40
TOTAL:					R\$ 3,33

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 6,47	130%+30%	R\$ 15,28
SERVENTE	0,47	H	R\$ 4,68	130%+30%	R\$ 6,58
TOTAL:					R\$ 21,86

Tabela E.2 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Belém/PA

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 576,26	R\$ 8.309,06
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 508,77	R\$ 44.015,58
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,33	R\$ 9.603,02
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 21,86	R\$ 63.039,65
TOTAL:				R\$ 124.967,31

Tabela E.3 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Manaus/AM

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,80	130%+30%	R\$ 143,52
AREIA	1,22	M³	R\$ 41,30	30%	R\$ 65,50
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,57	30%	R\$ 360,13
TOTAL:					R\$ 569,15

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,80	130%+30%	R\$ 143,52
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 41,30	30%	R\$ 65,50
CAL	122	KG	R\$ 1,60	30%	R\$ 253,76
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,57	30%	R\$ 180,06
TOTAL:					R\$ 642,84

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 6,70	130%+30%	R\$ 2,00
SERVENTE	0,1	H	R\$ 4,80	130%+30%	R\$ 1,44
TOTAL:					R\$ 3,44

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 6,70	130%+30%	R\$ 15,83
SERVENTE	0,47	H	R\$ 4,80	130%+30%	R\$ 6,75
TOTAL:					R\$ 22,57

Tabela E.4 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Manaus/AM

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 569,15	R\$ 8.206,55
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 642,84	R\$ 55.614,47
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,44	R\$ 9.920,24
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 22,57	R\$ 65.087,14
TOTAL:				R\$ 138.828,39

Tabela E.5 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Salvador/BA

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,50	130%+30%	R\$ 134,55
AREIA	1,22	M³	R\$ 65,00	30%	R\$ 103,09
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,54	30%	R\$ 341,17
TOTAL:					R\$ 578,81

Tabela E.5 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Salvador/BA (continuação)

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,50	130%+30%	R\$ 134,55
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 65,00	30%	R\$ 103,09
CAL	122	KG	R\$ 1,00	30%	R\$ 158,60
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,54	30%	R\$ 170,59
TOTAL:					R\$ 566,83

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 7,62	130%+30%	R\$ 2,28
SERVENTE	0,1	H	R\$ 4,50	130%+30%	R\$ 1,35
TOTAL:					R\$ 3,62

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 7,62	130%+30%	R\$ 18,00
SERVENTE	0,47	H	R\$ 4,50	130%+30%	R\$ 6,32
TOTAL:					R\$ 24,32

Tabela E.6 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Salvador/BA

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 578,81	R\$ 8.345,83
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 566,83	R\$ 49.038,56
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,62	R\$ 10.439,32
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 24,32	R\$ 70.133,77
TOTAL:				R\$ 137.957,49

Tabela E.7 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Maceió/AL

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,36	130%+30%	R\$ 130,36
AREIA	1,22	M³	R\$ 63,28	30%	R\$ 100,36
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,48	30%	R\$ 303,26
TOTAL:					R\$ 533,99

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,36	130%+30%	R\$ 130,36
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 63,28	30%	R\$ 100,36
CAL	122	KG	R\$ 1,05	30%	R\$ 166,53
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,48	30%	R\$ 151,63
TOTAL:					R\$ 548,89

Tabela E.7 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Maceió/AL (continuação)

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 6,11	130%+30%	R\$ 1,83
SERVENTE	0,1	H	R\$ 4,36	130%+30%	R\$ 1,30
TOTAL:					R\$ 3,13

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 6,11	130%+30%	R\$ 14,43
SERVENTE	0,47	H	R\$ 4,36	130%+30%	R\$ 6,13
TOTAL:					R\$ 20,56

Tabela E.8 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Maceió/AL

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 533,99	R\$ 7.699,58
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 548,89	R\$ 47.486,50
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,13	R\$ 9.026,26
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 20,56	R\$ 59.290,72
TOTAL:				R\$ 123.503,07

Tabela E.9 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Aracaju/SE

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,60	130%+30%	R\$ 137,54
AREIA	1,22	M³	R\$ 80,00	30%	R\$ 126,88
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,52	30%	R\$ 328,54
TOTAL:					R\$ 592,96

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,60	130%+30%	R\$ 137,54
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 80,00	30%	R\$ 126,88
CAL	122	KG	R\$ 0,74	30%	R\$ 117,36
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,52	30%	R\$ 164,27
TOTAL:					R\$ 546,05

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 6,50	130%+30%	R\$ 1,94
SERVENTE	0,1	H	R\$ 4,60	130%+30%	R\$ 1,38
TOTAL:					R\$ 3,32

Tabela E.9 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Aracaju/SE (continuação)

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 6,50	130%+30%	R\$ 15,35
SERVENTE	0,47	H	R\$ 4,60	130%+30%	R\$ 6,46
TOTAL:					R\$ 21,82

Tabela E.10 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Aracaju/SE

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 592,96	R\$ 8.549,86
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 546,05	R\$ 47.240,81
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,32	R\$ 9.574,18
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 21,82	R\$ 62.924,30
TOTAL:				R\$ 128.289,15

Tabela E.11 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, São Luís/MA

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,68	130%+30%	R\$ 139,93
AREIA	1,22	M³	R\$ 25,00	30%	R\$ 39,65
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,50	30%	R\$ 315,90
TOTAL:					R\$ 495,48

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,68	130%+30%	R\$ 139,93
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 25,00	30%	R\$ 39,65
CAL	122	KG	R\$ 0,66	30%	R\$ 104,68
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,50	30%	R\$ 157,95
TOTAL:					R\$ 442,21

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 6,65	130%+30%	R\$ 1,99
SERVENTE	0,1	H	R\$ 4,68	130%+30%	R\$ 1,40
TOTAL:					R\$ 3,39

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 6,65	130%+30%	R\$ 15,71
SERVENTE	0,47	H	R\$ 4,68	130%+30%	R\$ 6,58
TOTAL:					R\$ 22,28

Tabela E.12 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, São Luís/MA

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 495,48	R\$ 7.144,30
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 442,21	R\$ 38.257,22
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,39	R\$ 9.776,05
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 22,28	R\$ 64.250,84
TOTAL:				R\$ 119.428,41

Tabela E.13 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Brasília/DF

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,67	130%+30%	R\$ 139,63
AREIA	1,22	M³	R\$ 115,00	30%	R\$ 182,39
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,42	30%	R\$ 265,36
TOTAL:					R\$ 587,38

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,67	130%+30%	R\$ 139,63
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 115,00	30%	R\$ 182,39
CAL	122	KG	R\$ 0,60	30%	R\$ 95,16
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,42	30%	R\$ 132,68
TOTAL:					R\$ 549,86

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 7,20	130%+30%	R\$ 2,15
SERVENTE	0,1	H	R\$ 4,67	130%+30%	R\$ 1,40
TOTAL:					R\$ 3,55

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 7,20	130%+30%	R\$ 17,01
SERVENTE	0,47	H	R\$ 4,67	130%+30%	R\$ 6,56
TOTAL:					R\$ 23,57

Tabela E.14 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Brasília/DF

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 587,38	R\$ 8.469,39
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 549,86	R\$ 47.570,51
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,55	R\$ 10.234,95
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 23,57	R\$ 67.970,56
TOTAL:				R\$ 134.245,40

Tabela E.15 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Campo Grande/MS

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,52	130%+30%	R\$ 135,15
AREIA	1,22	M³	R\$ 46,00	30%	R\$ 72,96
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,48	30%	R\$ 303,26
TOTAL:					R\$ 511,37

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,52	130%+30%	R\$ 135,15
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 46,00	30%	R\$ 72,96
CAL	122	KG	R\$ 0,75	30%	R\$ 118,95
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,48	30%	R\$ 151,63
TOTAL:					R\$ 478,69

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 6,14	130%+30%	R\$ 1,84
SERVENTE	0,1	H	R\$ 4,52	130%+30%	R\$ 1,35
TOTAL:					R\$ 3,19

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 6,14	130%+30%	R\$ 14,50
SERVENTE	0,47	H	R\$ 4,52	130%+30%	R\$ 6,35
TOTAL:					R\$ 20,86

Tabela E.16 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Campo Grande/MS

Descrição	Unid	Quantidade	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 511,37	R\$ 7.373,42
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 478,69	R\$ 41.413,24
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,19	R\$ 9.199,29
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 20,86	R\$ 60.155,86
TOTAL:				R\$ 118.141,81

Tabela E.17 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Cuiabá/MT

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 5,00	130%+30%	R\$ 149,50
AREIA	1,22	M³	R\$ 56,25	30%	R\$ 89,21
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,49	30%	R\$ 309,58
TOTAL:					R\$ 548,29

Tabela E.17 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Cuiabá/MT (continuação)

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 5,00	130%+30%	R\$ 149,50
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 56,25	30%	R\$ 89,21
CAL	122	KG	R\$ 0,56	30%	R\$ 88,82
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,49	30%	R\$ 154,79
TOTAL:					R\$ 482,32

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 6,72	130%+30%	R\$ 2,01
SERVENTE	0,1	H	R\$ 5,00	130%+30%	R\$ 1,49
TOTAL:					R\$ 3,50

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 6,72	130%+30%	R\$ 15,87
SERVENTE	0,47	H	R\$ 5,00	130%+30%	R\$ 7,03
TOTAL:					R\$ 22,90

Tabela E.18 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Cuiabá/MT

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 548,29	R\$ 7.905,77
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 482,32	R\$ 41.727,29
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,50	R\$ 10.093,27
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 22,90	R\$ 66.038,79
TOTAL:				R\$ 125.765,11

Tabela E.19 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Rio de Janeiro/RJ

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 6,46	130%+30%	R\$ 193,15
AREIA	1,22	M³	R\$ 54,29	30%	R\$ 86,10
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,41	30%	R\$ 259,04
TOTAL:					R\$ 538,30

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 6,46	130%+30%	R\$ 193,15
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 54,29	30%	R\$ 86,10
CAL	122	KG	R\$ 0,66	30%	R\$ 104,68
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,41	30%	R\$ 129,52
TOTAL:					R\$ 513,45

Tabela E.19 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Rio de Janeiro/RJ (continuação)

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 9,60	130%+30%	R\$ 2,87
SERVENTE	0,1	H	R\$ 6,46	130%+30%	R\$ 1,93
TOTAL:					R\$ 4,80

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 9,60	130%+30%	R\$ 22,68
SERVENTE	0,47	H	R\$ 6,46	130%+30%	R\$ 9,08
TOTAL:					R\$ 31,75

Tabela E.20 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Rio de Janeiro/RJ

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m ³	14,42	R\$ 538,30	R\$ 7.761,72
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m ³	86,51	R\$ 513,45	R\$ 44.420,46
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m ²	2.883,79	R\$ 4,80	R\$ 13.842,19
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m ²	2.883,79	R\$ 31,75	R\$ 91.560,33
TOTAL:				R\$ 157.584,70

Tabela E.21 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Água Branca/AL

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,40	130%+30%	R\$ 131,56
AREIA	1,22	M ³	R\$ 65,00	30%	R\$ 103,09
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,50	30%	R\$ 315,90
TOTAL:					R\$ 550,55

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,40	130%+30%	R\$ 131,56
AREIA MÉDIA	1,22	M ³	R\$ 65,00	30%	R\$ 103,09
CAL	122	KG	R\$ 1,10	30%	R\$ 174,46
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,50	30%	R\$ 157,95
TOTAL:					R\$ 567,06

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 6,25	130%+30%	R\$ 1,87
SERVENTE	0,1	H	R\$ 4,40	130%+30%	R\$ 1,32
TOTAL:					R\$ 3,18

Tabela E.21 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Água Branca/AL (continuação)

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 6,25	130%+30%	R\$ 14,76
SERVENTE	0,47	H	R\$ 4,40	130%+30%	R\$ 6,18
TOTAL:					R\$ 20,95

Tabela E.22 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Água Branca/AL

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 550,55	R\$ 7.938,35
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 567,06	R\$ 49.058,46
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,18	R\$ 9.170,45
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 20,95	R\$ 60.415,40
TOTAL:				R\$ 126.582,66

Tabela E.23 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Porto Alegre/RS

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 5,41	130%+30%	R\$ 161,76
AREIA	1,22	M³	R\$ 62,00	30%	R\$ 98,33
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,55	30%	R\$ 347,49
TOTAL:					R\$ 607,58

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 5,41	130%+30%	R\$ 161,76
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 62,00	30%	R\$ 98,33
CAL	122	KG	R\$ 0,60	30%	R\$ 95,16
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,55	30%	R\$ 173,75
TOTAL:					R\$ 529,00

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 6,92	130%+30%	R\$ 2,07
SERVENTE	0,1	H	R\$ 5,41	130%+30%	R\$ 1,62
TOTAL:					R\$ 3,69

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 6,92	130%+30%	R\$ 16,35
SERVENTE	0,47	H	R\$ 5,41	130%+30%	R\$ 7,60
TOTAL:					R\$ 23,95

Tabela E.24 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Porto Alegre/RS

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 607,58	R\$ 8.760,67
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 529,00	R\$ 45.765,75
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,69	R\$ 10.641,19
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 23,95	R\$ 69.066,77
TOTAL:				R\$ 134.234,37

Tabela E.25 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, São Paulo/SP

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 6,55	130%+30%	R\$ 195,84
AREIA	1,22	M³	R\$ 60,00	30%	R\$ 95,16
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,40	30%	R\$ 252,72
TOTAL:					R\$ 543,72

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 6,55	130%+30%	R\$ 195,84
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 60,00	30%	R\$ 95,16
CAL	122	KG	R\$ 0,44	30%	R\$ 69,78
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,40	30%	R\$ 126,36
TOTAL:					R\$ 487,15

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 7,97	130%+30%	R\$ 2,38
SERVENTE	0,1	H	R\$ 6,55	130%+30%	R\$ 1,96
TOTAL:					R\$ 4,34

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 7,97	130%+30%	R\$ 18,83
SERVENTE	0,47	H	R\$ 6,55	130%+30%	R\$ 9,20
TOTAL:					R\$ 28,03

Tabela E.26 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, São Paulo/SP

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 543,72	R\$ 7.839,87
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 487,15	R\$ 42.145,15
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 4,34	R\$ 12.515,65
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 28,03	R\$ 80.832,63
TOTAL:				R\$ 143.333,30

Tabela E.27 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Curitiba/PR

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 5,64	130%+30%	R\$ 168,64
AREIA	1,22	M³	R\$ 55,00	30%	R\$ 87,23
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,46	30%	R\$ 290,63
TOTAL:					R\$ 546,49

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 5,64	130%+30%	R\$ 168,64
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 55,00	30%	R\$ 87,23
CAL	122	KG	R\$ 0,26	30%	R\$ 41,24
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,46	30%	R\$ 145,31
TOTAL:					R\$ 442,42

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 7,96	130%+30%	R\$ 2,38
SERVENTE	0,1	H	R\$ 5,64	130%+30%	R\$ 1,69
TOTAL:					R\$ 4,07

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 7,96	130%+30%	R\$ 18,80
SERVENTE	0,47	H	R\$ 5,64	130%+30%	R\$ 7,93
TOTAL:					R\$ 26,73

Tabela E.28 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Curitiba/PR

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 546,49	R\$ 7.879,81
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 442,42	R\$ 38.275,39
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 4,07	R\$ 11.737,03
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 26,73	R\$ 77.083,71
TOTAL:				R\$ 134.975,94

Tabela E.29 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Belo Horizonte/MG

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,85	130%+30%	R\$ 145,01
AREIA	1,22	M³	R\$ 60,00	30%	R\$ 95,16
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,34	30%	R\$ 214,81
TOTAL:					R\$ 454,99

Tabela E.29 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Belo Horizonte/MG (contin.)

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 4,85	130%+30%	R\$ 145,01
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 60,00	30%	R\$ 95,16
CAL	122	KG	R\$ 0,60	30%	R\$ 95,16
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,34	30%	R\$ 107,41
TOTAL:					R\$ 442,74

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 7,42	130%+30%	R\$ 2,22
SERVENTE	0,1	H	R\$ 4,85	130%+30%	R\$ 1,45
TOTAL:					R\$ 3,67

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 7,42	130%+30%	R\$ 17,53
SERVENTE	0,47	H	R\$ 4,85	130%+30%	R\$ 6,82
TOTAL:					R\$ 24,34

Tabela E.30 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Belo Horizonte/MG

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 454,99	R\$ 6.560,48
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 442,74	R\$ 38.303,08
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,67	R\$ 10.583,51
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 24,34	R\$ 70.191,45
TOTAL:				R\$ 125.638,51

Tabela E.31 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Nova Friburgo/RJ

CHAPISCO - TRAÇO 1:3 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 5,54	130%+30%	R\$ 165,65
AREIA	1,22	M³	R\$ 52,00	30%	R\$ 82,47
CIMENTO	486	KG	R\$ 0,40	30%	R\$ 252,72
TOTAL:					R\$ 500,84

EMBOÇO - TRAÇO 1:1:6 (m³)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
SERVENTE	10	H	R\$ 5,54	130%+30%	R\$ 165,65
AREIA MÉDIA	1,22	M³	R\$ 52,00	30%	R\$ 82,47
CAL	122	KG	R\$ 0,65	30%	R\$ 103,09
CIMENTO	243	KG	R\$ 0,40	30%	R\$ 126,36
TOTAL:					R\$ 477,57

Tabela E.31 - Custos detalhados, Insumos e Mão de Obra, Nova Friburgo/RJ (contin.)

APLICAÇÃO DE CHAPISCO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,1	H	R\$ 7,62	130%+30%	R\$ 2,28
SERVENTE	0,1	H	R\$ 5,54	130%+30%	R\$ 1,66
TOTAL:					R\$ 3,93

APLICAÇÃO DE EMBOÇO, PAREDES EXTERNAS, ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA SEM PENEIRAR (m²)					
	QUANT.	UNID	VALOR UNIT.	ACRÉSC. (TAXAS)	SUBTOTAL
PEDREIRO	0,79	H	R\$ 7,62	130%+30%	R\$ 18,00
SERVENTE	0,47	H	R\$ 5,54	130%+30%	R\$ 7,79
TOTAL:					R\$ 25,78

Tabela E.32 – Resumo Custo, Insumos e Mão de Obra, Nova Friburgo/RJ

Descrição	Unid	Quant.	Valor Unitário	Subtotal
CHAPISCO: argamassa de cimento e areia sem peneirar	m³	14,42	R\$ 500,84	R\$ 7.221,59
EMBOÇO: argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar	m³	86,51	R\$ 477,57	R\$ 41.316,35
CHAPISCO: mão de obra para aplicação em paredes externas (e=5mm)	m²	2.883,79	R\$ 3,93	R\$ 11.333,29
EMBOÇO: mão de obra para paredes externas (e=30mm)	m²	2.883,79	R\$ 25,78	R\$ 74.344,11
TOTAL:				R\$ 134.215,34

APÊNDICE F - Dados Climáticos das Cidades

Neste apêndice apresentam-se os dados climáticos das 16 cidades analisadas na tese, sempre na ordem: Temperaturas Médias, Velocidade dos Ventos e Precipitação Acumulada. Todos os gráficos de Temperaturas Médias foram produzidos a partir de dados do *Green Building Studio*, e os gráficos de Velocidade dos Ventos e Precipitação Acumulada foram produzidos a partir de dados de Inmet (2018).

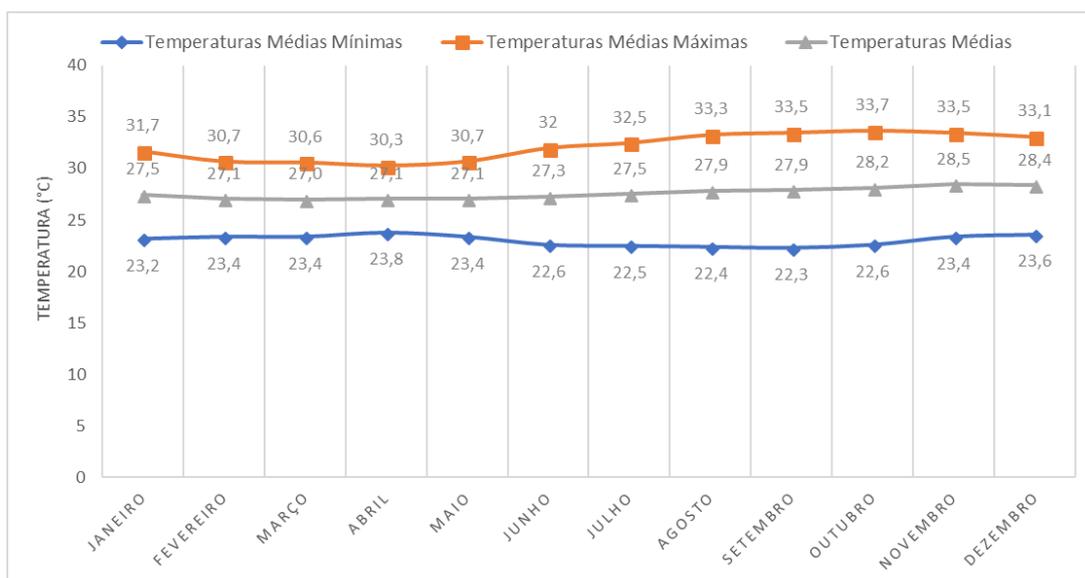


Figura F.1 – Temperaturas Médias, Belém/PA (a partir de dados GBS)

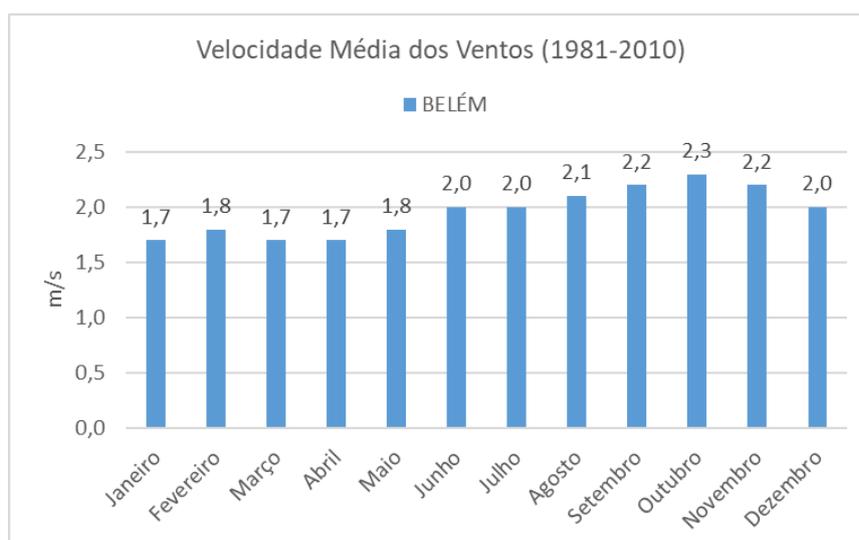


Figura F.2 – Velocidade Ventos, Belém/PA (a partir de dados INMET, 2018)

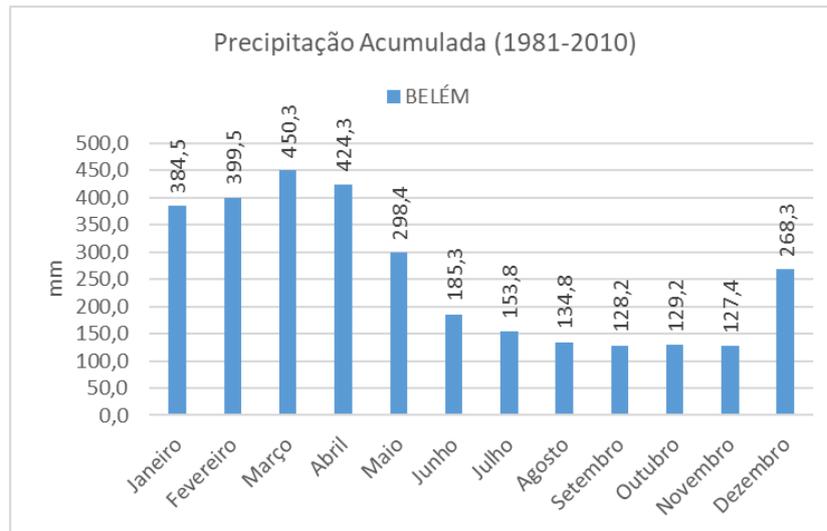


Figura F.3 – Precipitação Acumulada, Belém/PA (a partir de dados INMET, 2018)

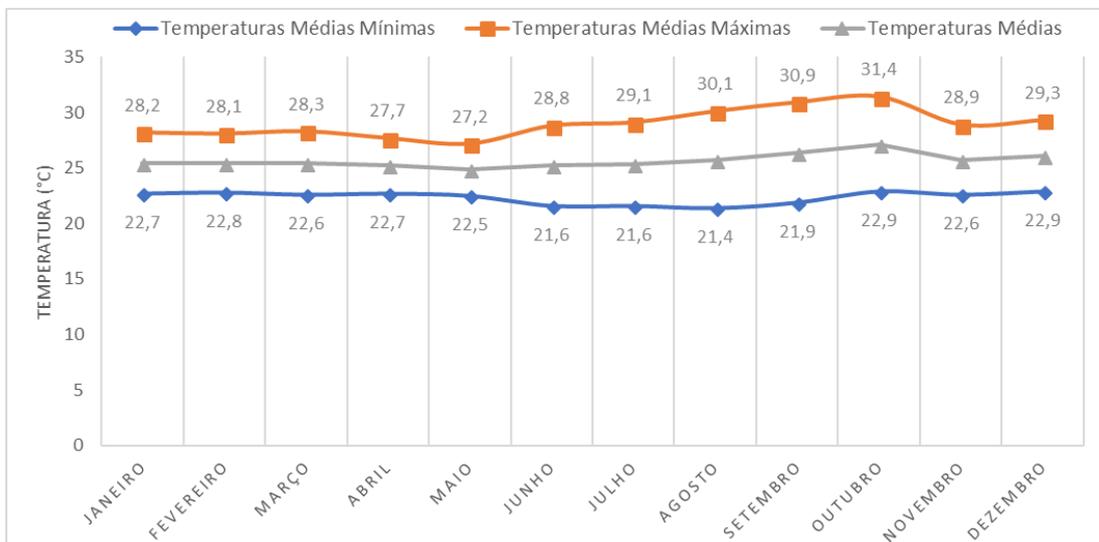


Figura F.4 – Temperaturas Médias, Manaus/AM (a partir de dados GBS)

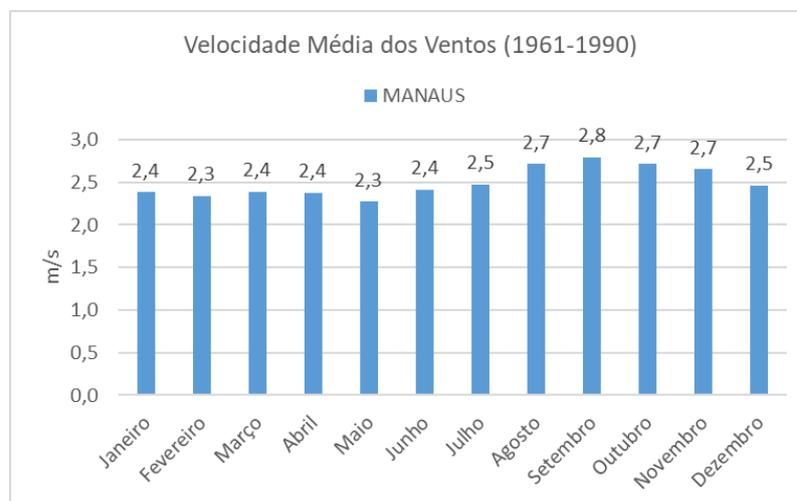


Figura F.5 – Velocidade Ventos, Manaus/AM (a partir de dados INMET, 2018)

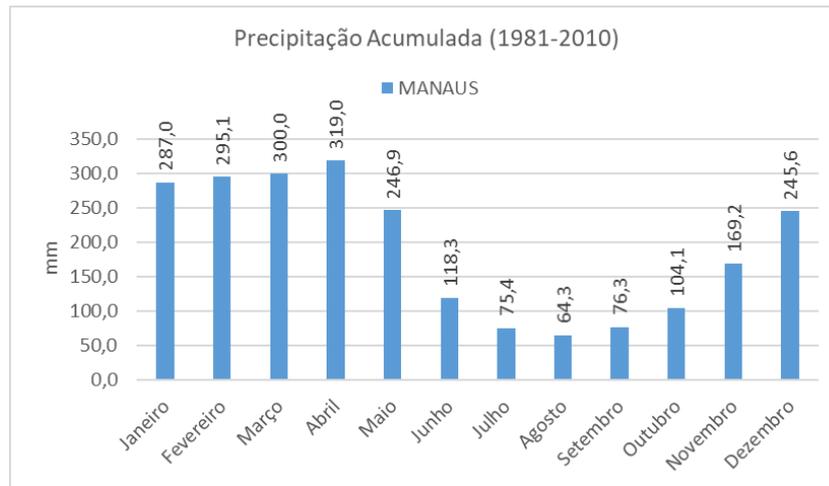


Figura F.6 – Precipitação Acumulada, Manaus/AM (a partir de dados INMET, 2018)

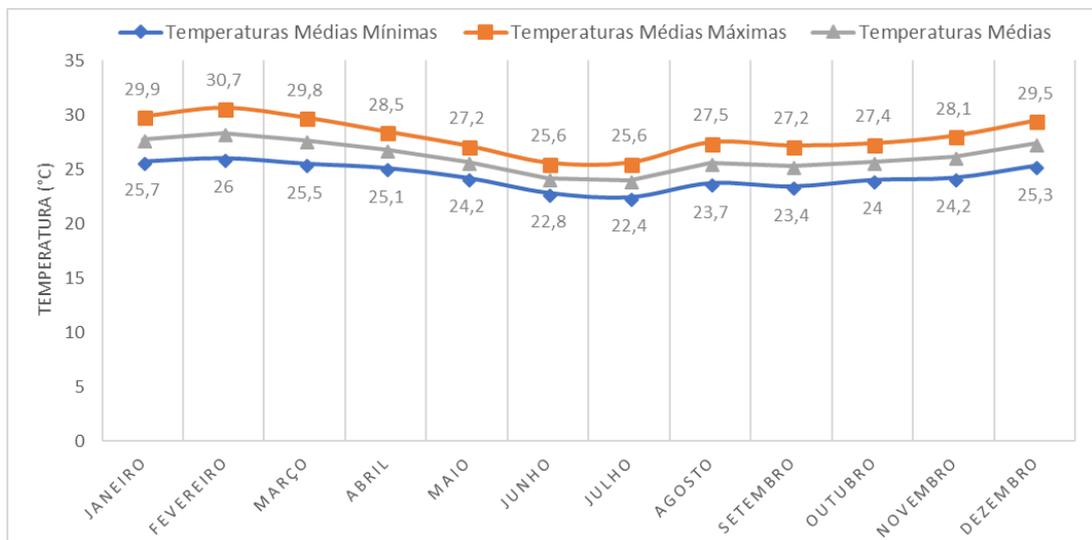


Figura F.7 – Temperaturas Médias, Salvador/BA (a partir de dados GBS)

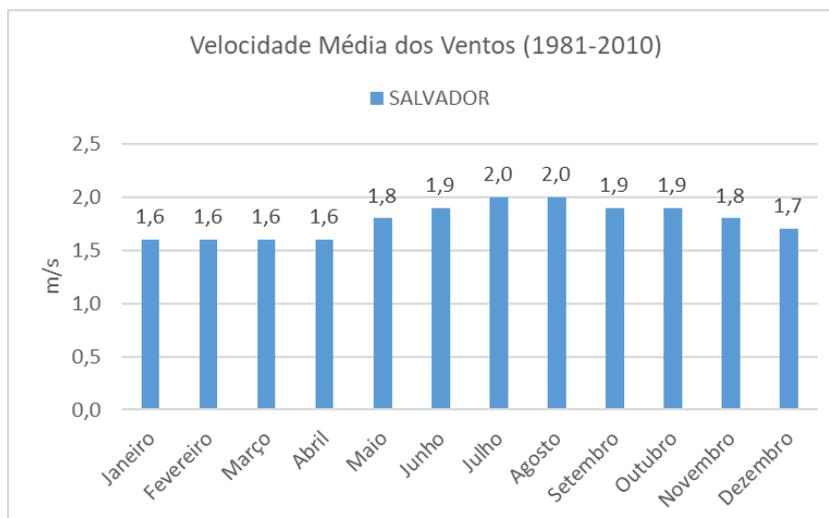


Figura F.8 – Velocidade Ventos, Salvador/BA (a partir de dados INMET, 2018)

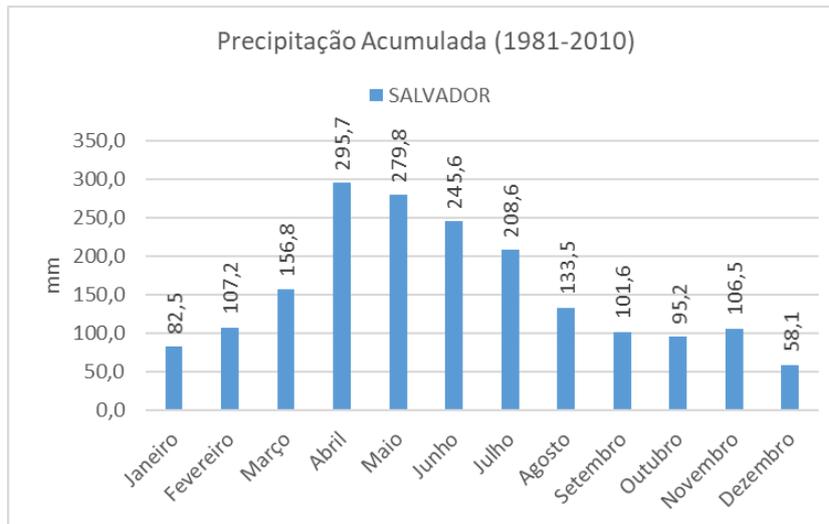


Figura F.9 – Precipitação Acumulada, Salvador/BA (a partir de dados INMET, 2018)

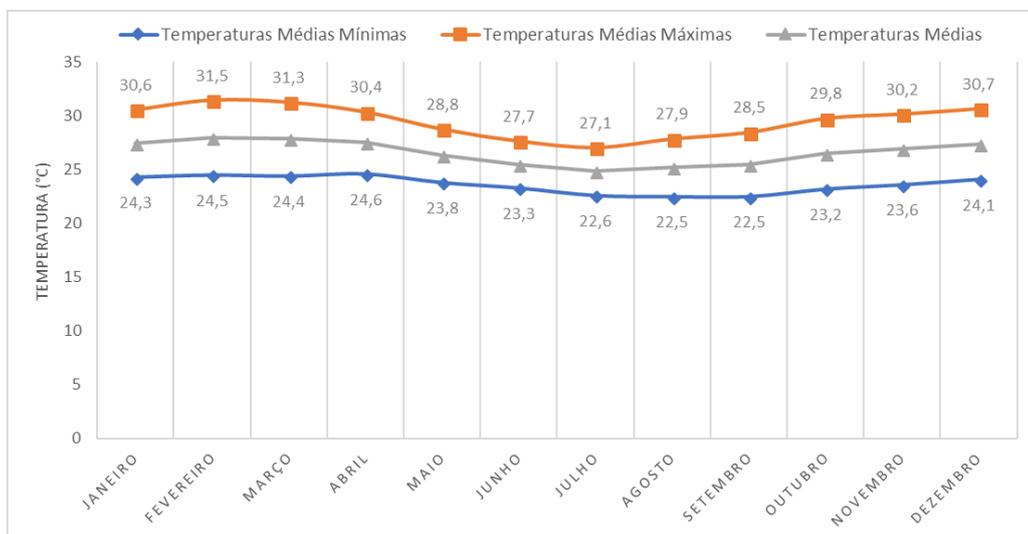


Figura F.10 – Temperaturas Médias, Maceió/AL (a partir de dados GBS)

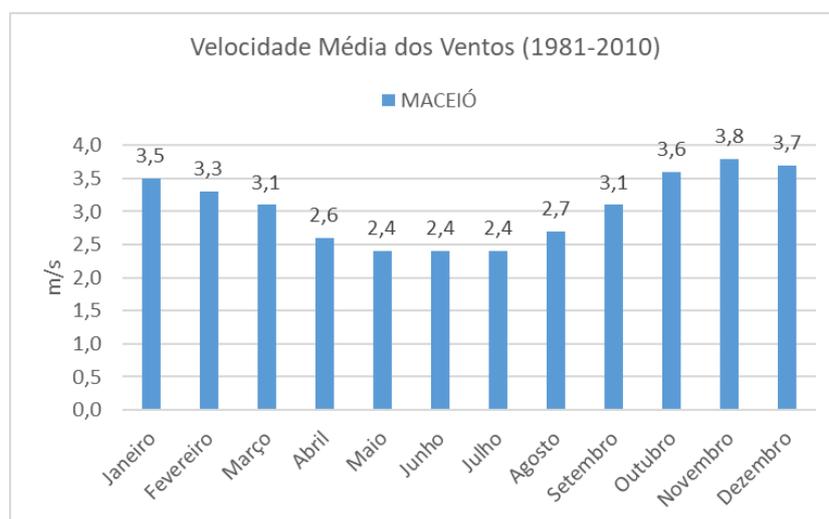


Figura F.11 – Velocidade Ventos, Maceió/AL (a partir de dados INMET, 2018)

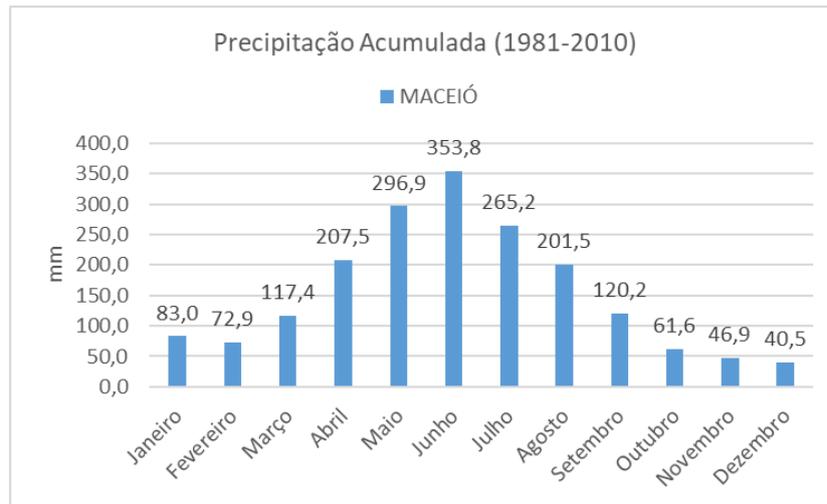


Figura F.12 – Precipitação Acumulada, Maceió/AL (a partir de dados INMET, 2018)

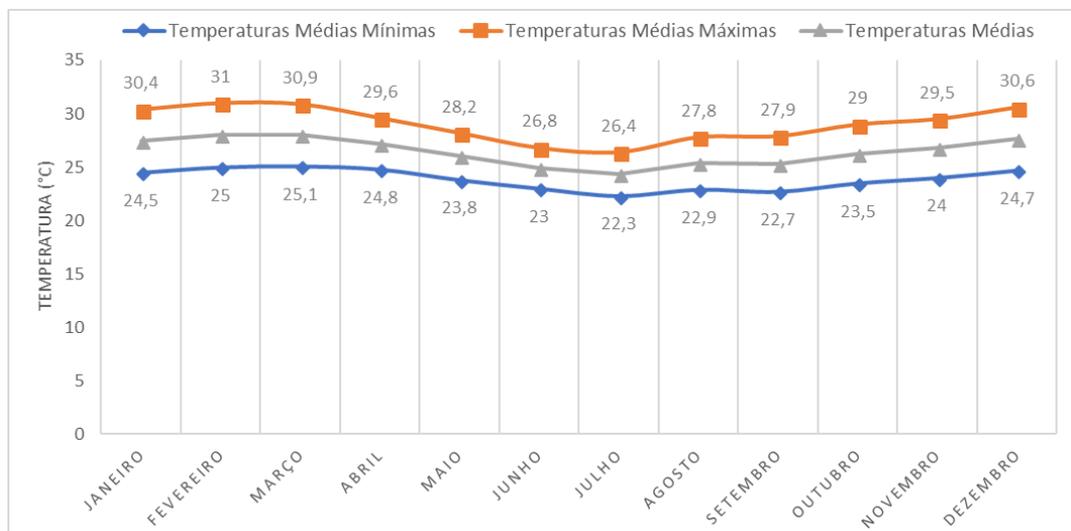


Figura F.13 – Temperaturas Médias, Aracaju/SE (a partir de dados GBS)

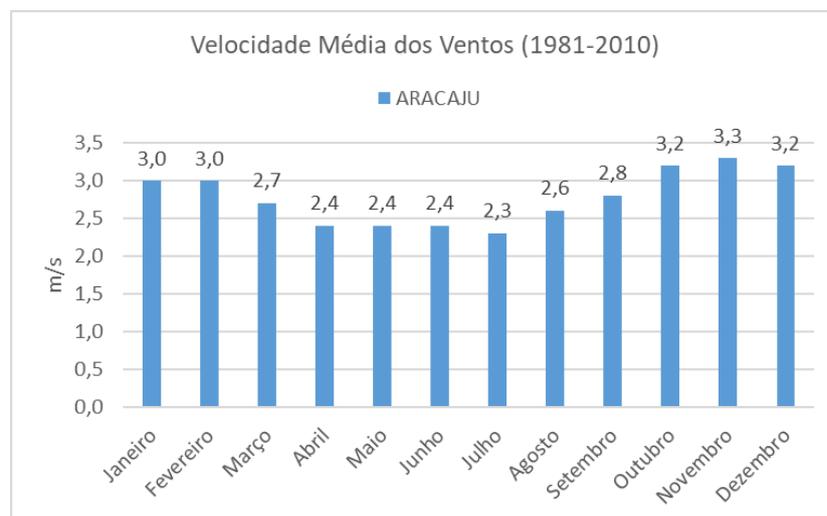


Figura F.14 – Velocidade Ventos, Aracaju/SE (a partir de dados INMET, 2018)

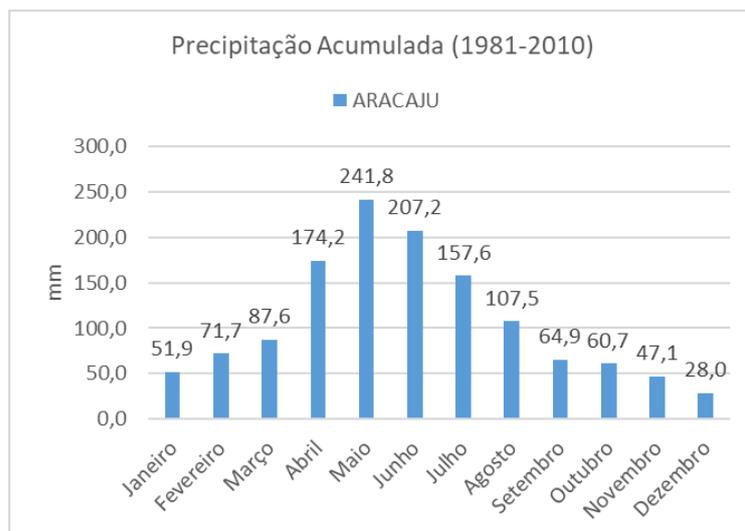


Figura F.15 – Precipitação Acumulada, Aracaju/SE (a partir de dados INMET, 2018)

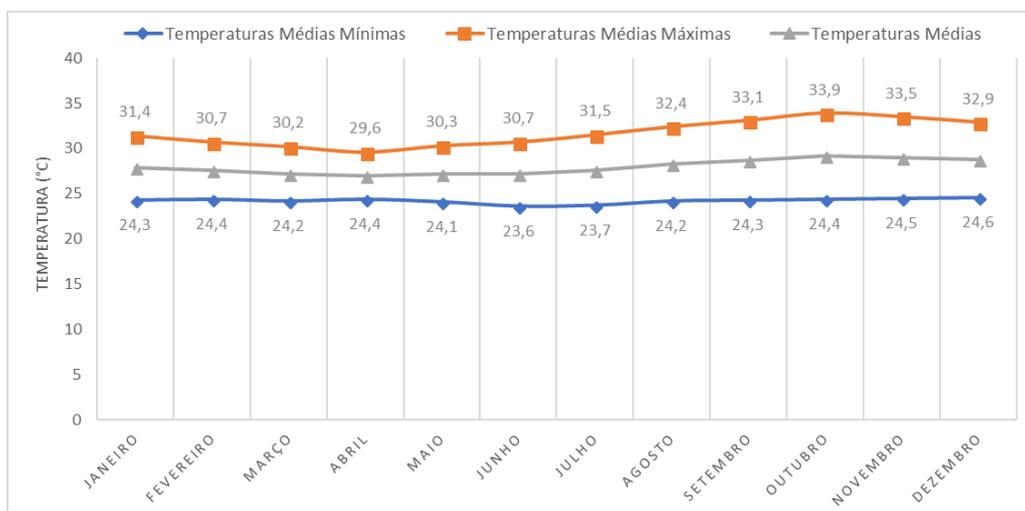


Figura F.16 – Temperaturas Médias, São Luís/MA (a partir de dados GBS)

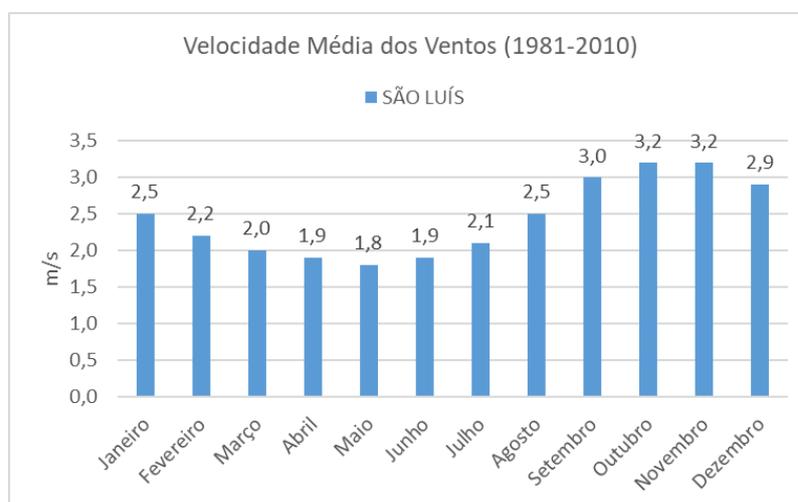


Figura F.17 – Velocidade Ventos, São Luís/MA (a partir de dados INMET, 2018)

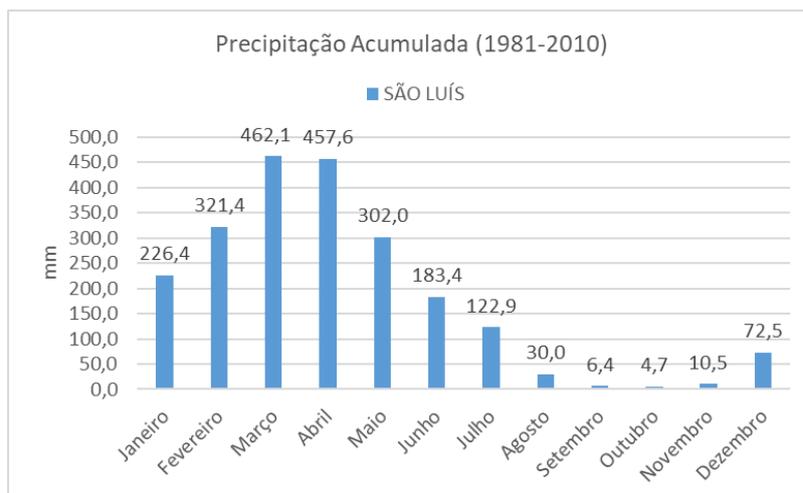


Figura F.18 – Precipitação Acumulada, São Luís/MA (a partir de dados INMET, 2018)

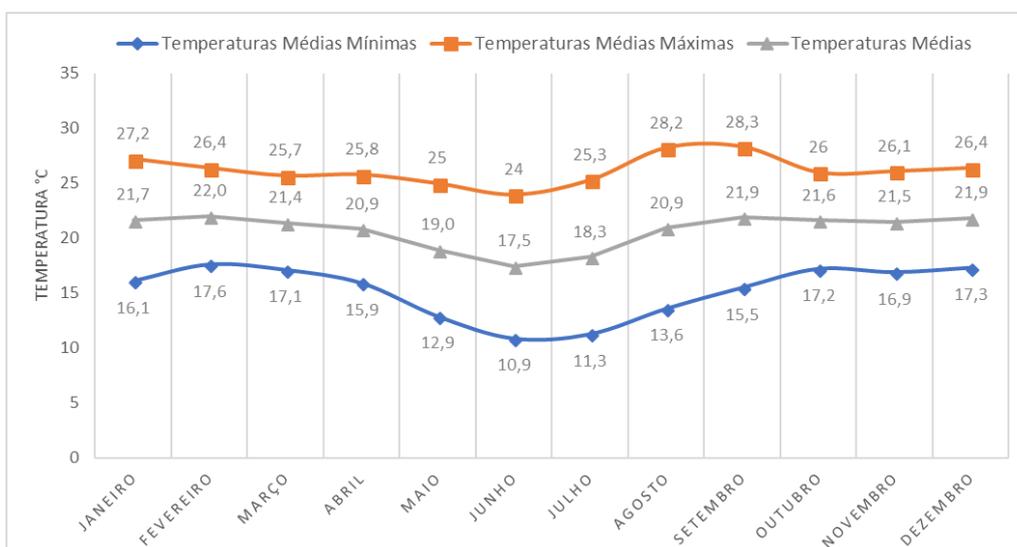


Figura F.19 – Temperaturas Médias, Brasília/DF (a partir de dados GBS)

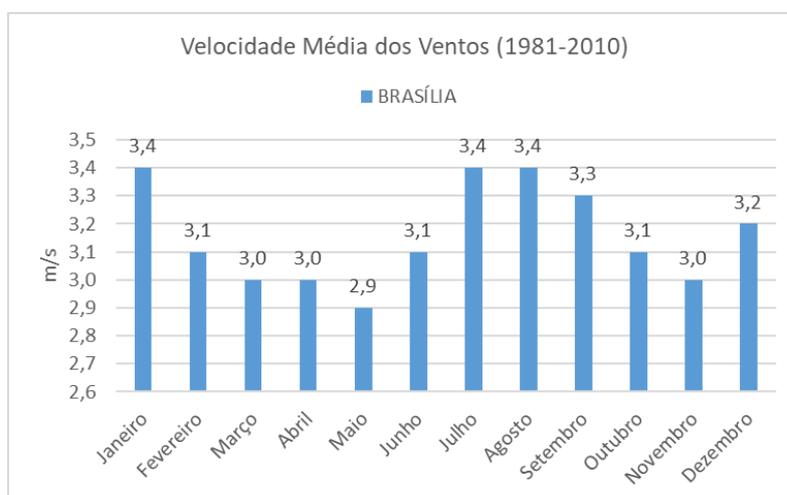


Figura F.20 – Velocidade Ventos, Brasília/DF (a partir de dados INMET, 2018)

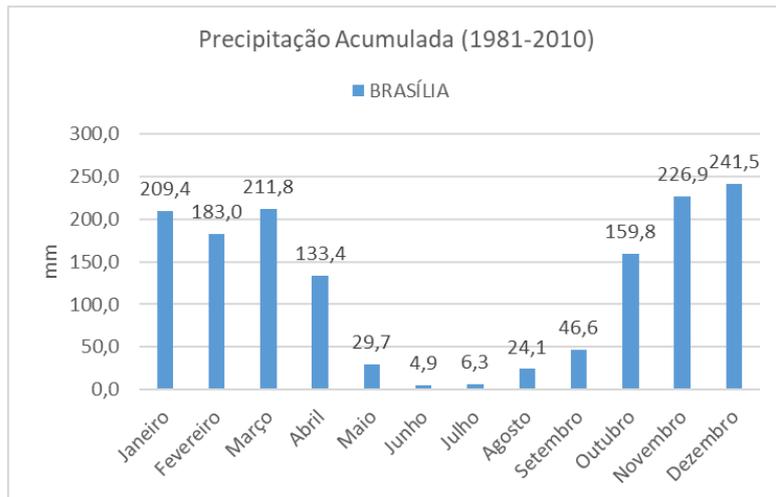


Figura F.21 – Precipitação Acumulada, Brasília/DF (a partir de dados INMET, 2018)

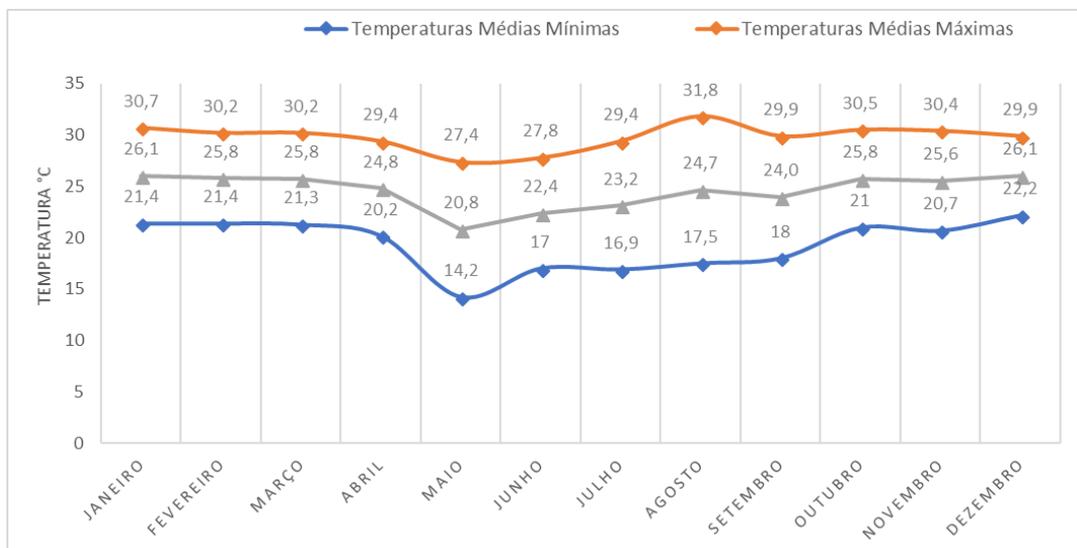


Figura F.22 – Temperaturas Médias, Campo Grande/MS (a partir de dados GBS)

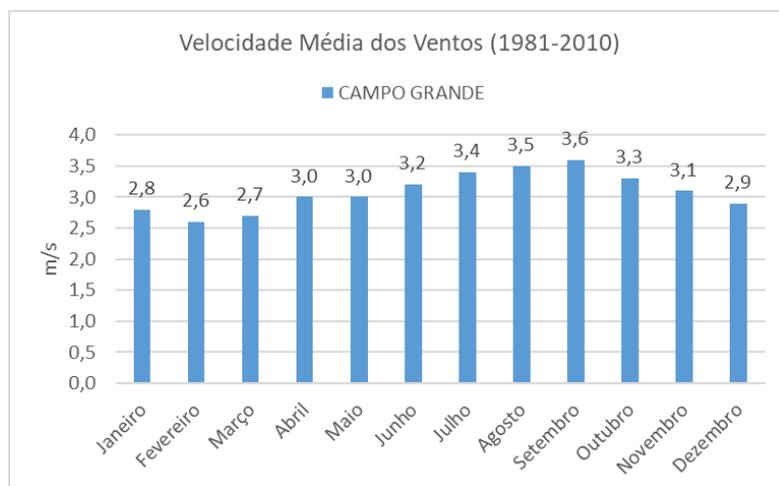


Figura F.23 – Velocidade Ventos, Campo Grande/MS (a partir de dados INMET, 2018)

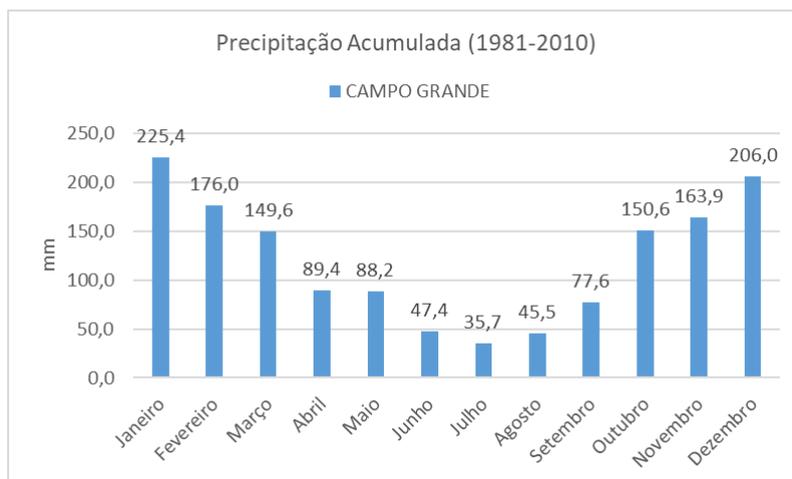


Figura F.24 – Precipitação Acumulada, Campo Grande/MS (a partir dados INMET, 2018)

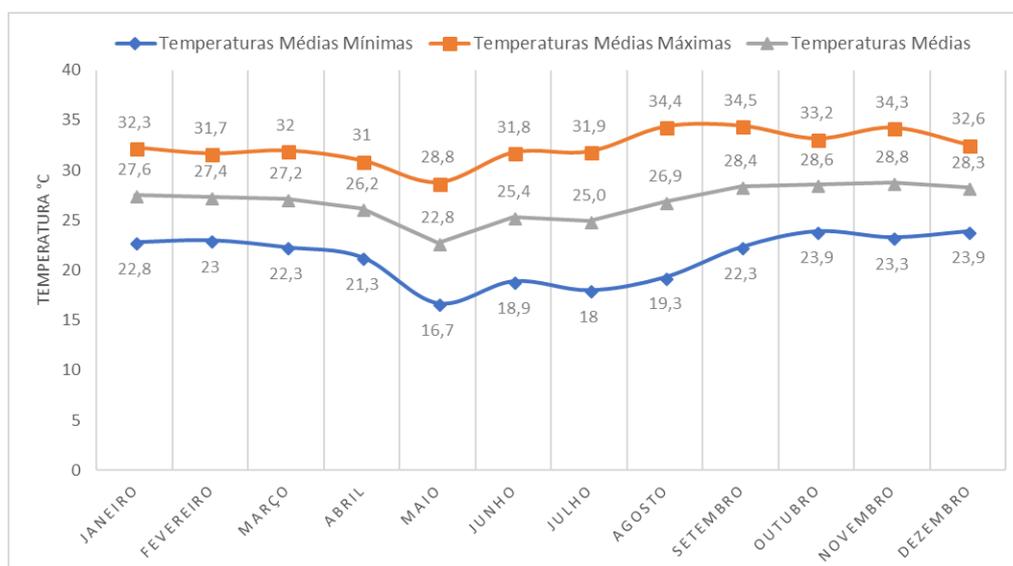


Figura F.25 – Temperaturas Médias, Cuiabá/MT (a partir de dados GBS)

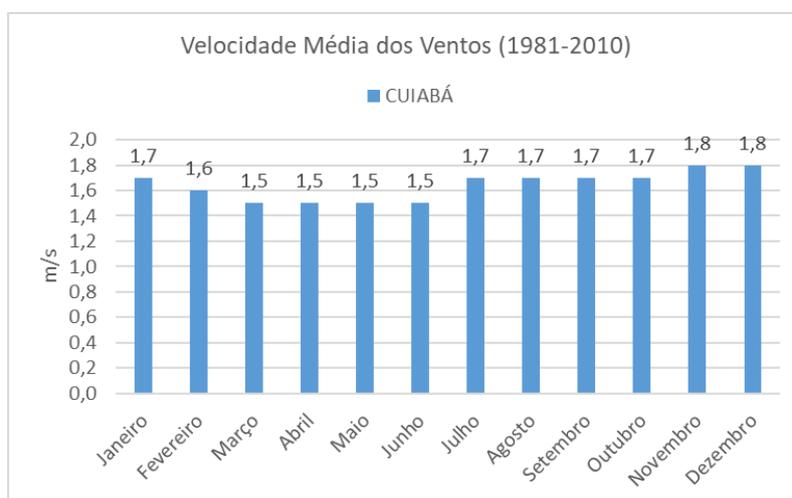


Figura F.26 – Velocidade Ventos, Cuiabá/MT (a partir de dados INMET, 2018)

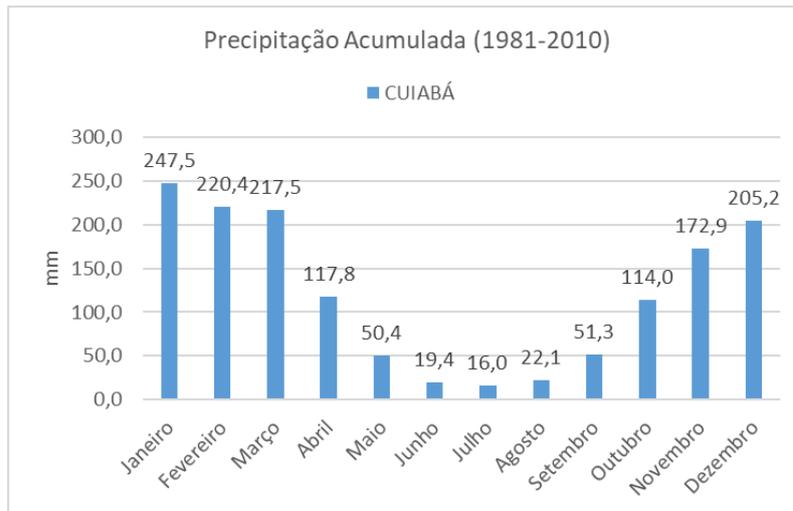


Figura F.27 – Precipitação Acumulada para Cuiabá/MT (a partir de dados INMET, 2018)

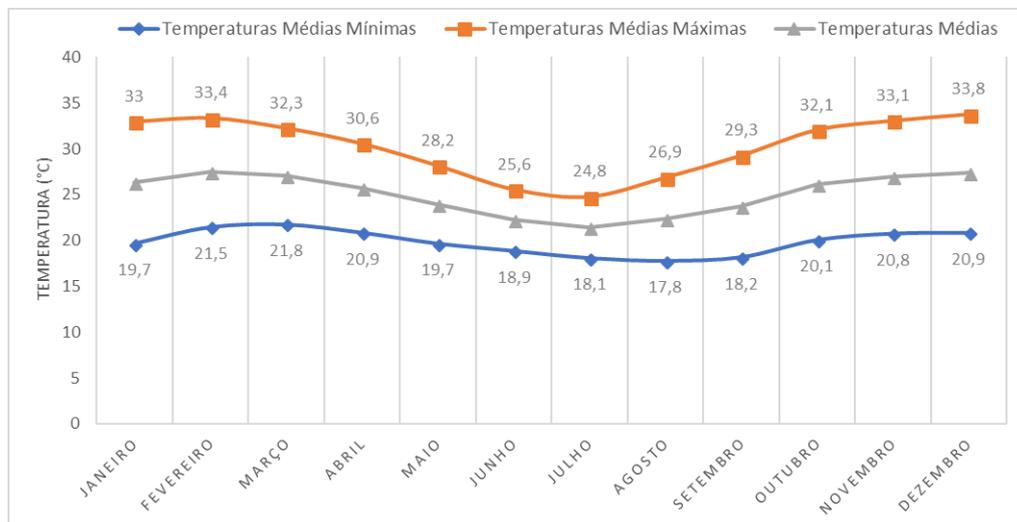


Figura F.28 – Temperaturas Médias, Água Branca/AL (a partir de dados GBS)

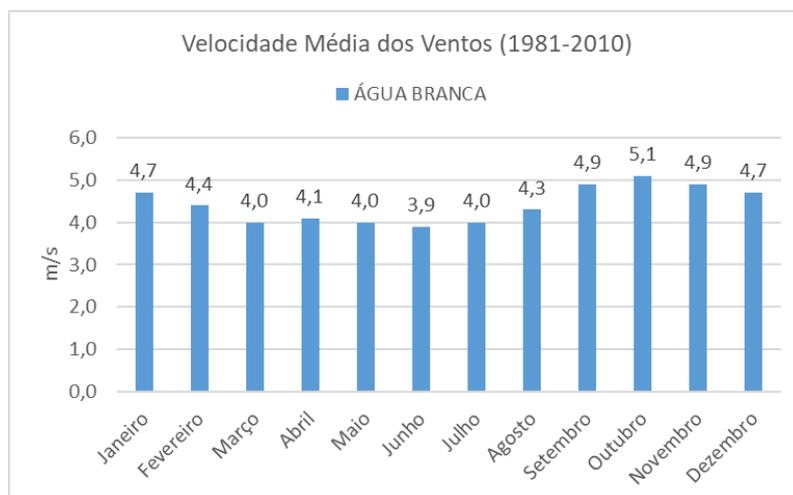


Figura F.29 – Velocidade Ventos, Água Branca/AL (a partir de dados INMET, 2018)

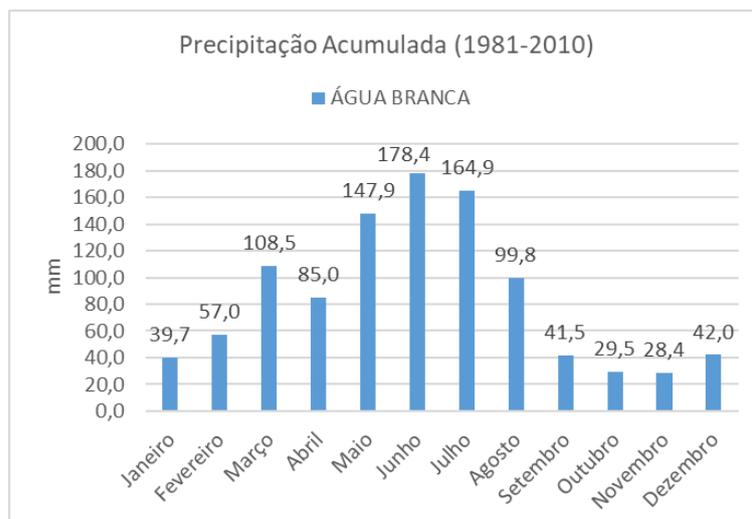


Figura F.30 – Precipitação Acumulada, Água Branca/AL (a partir de dados INMET, 2018)

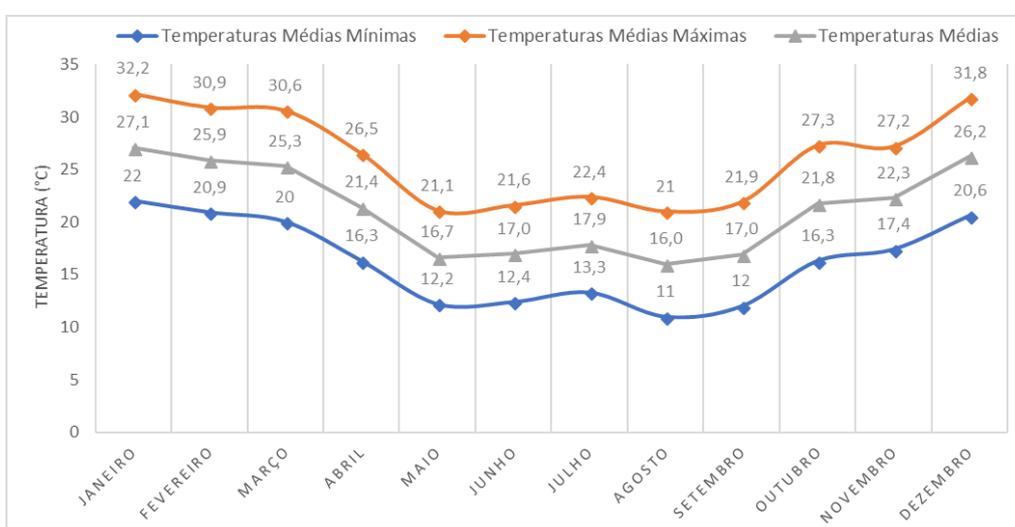


Figura F.31 – Temperaturas Médias, Porto Alegre/RS (a partir de dados GBS)

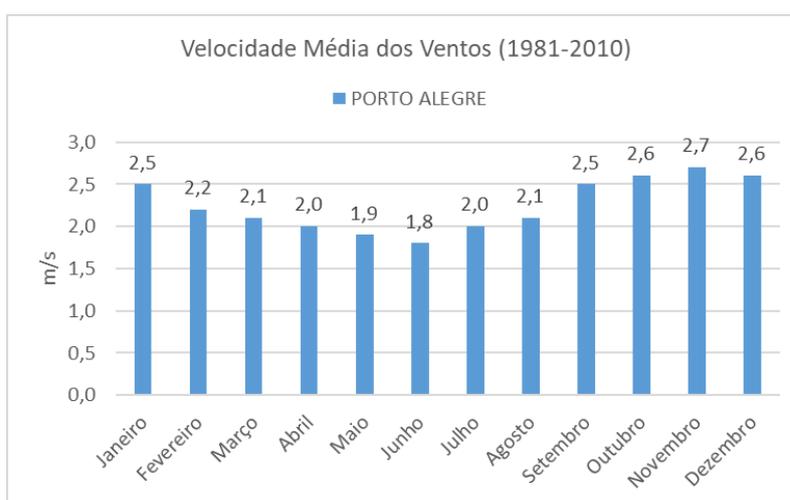


Figura F.32 – Velocidade Ventos, Porto Alegre/RS (a partir de dados INMET, 2018)

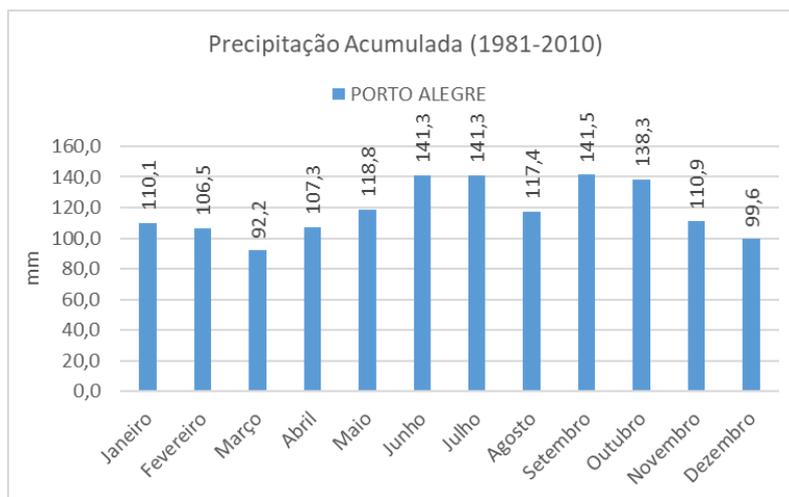


Figura F.33 – Precipitação Acumulada, Porto Alegre/RS (a partir de dados INMET, 2018)

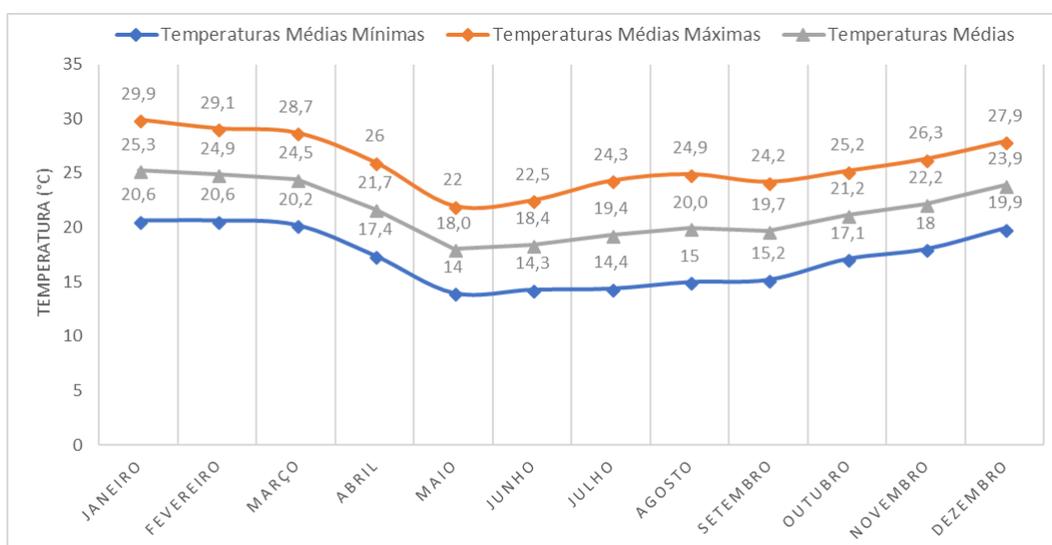


Figura F.34 – Temperaturas Médias, São Paulo/SP (a partir de dados GBS)

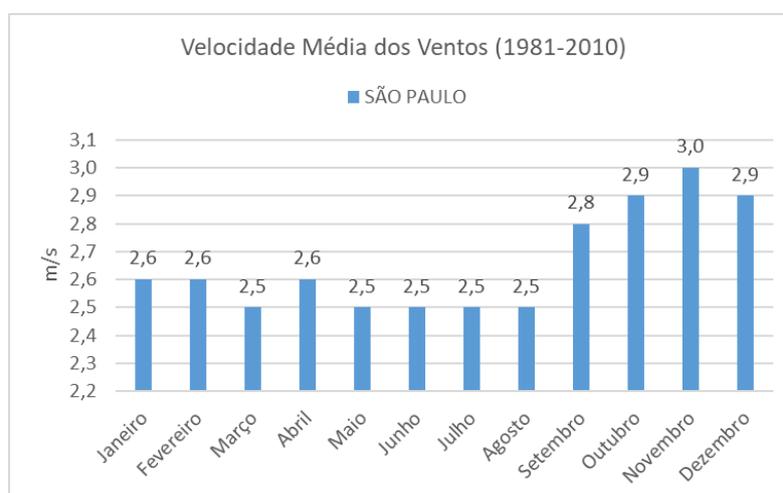


Figura F.35 – Velocidade Ventos, São Paulo/SP (a partir de dados INMET, 2018)

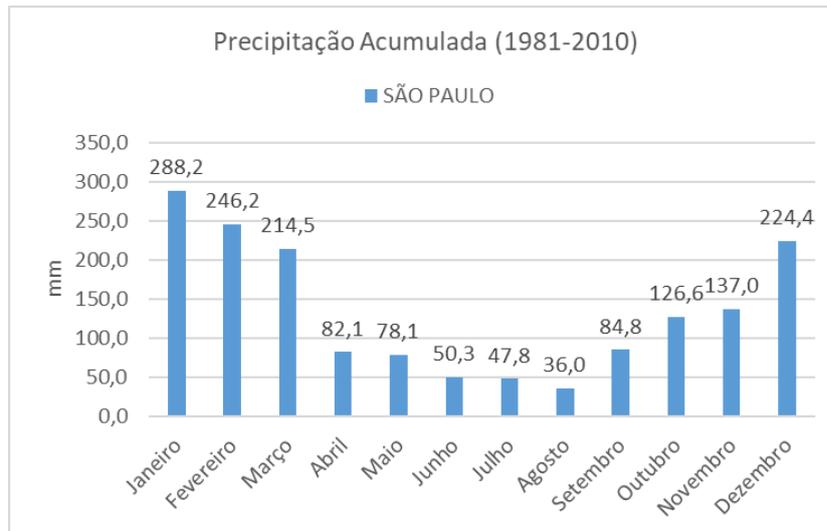


Figura F.36 – Precipitação Acumulada, São Paulo/SP (a partir de dados INMET, 2018)

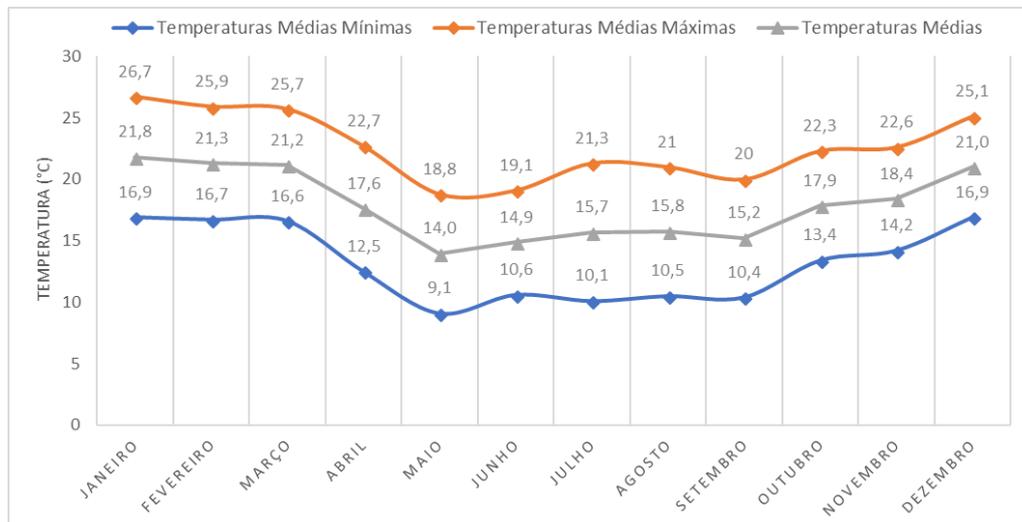


Figura F.37 – Temperaturas Médias, Curitiba/PR (a partir de dados GBS)

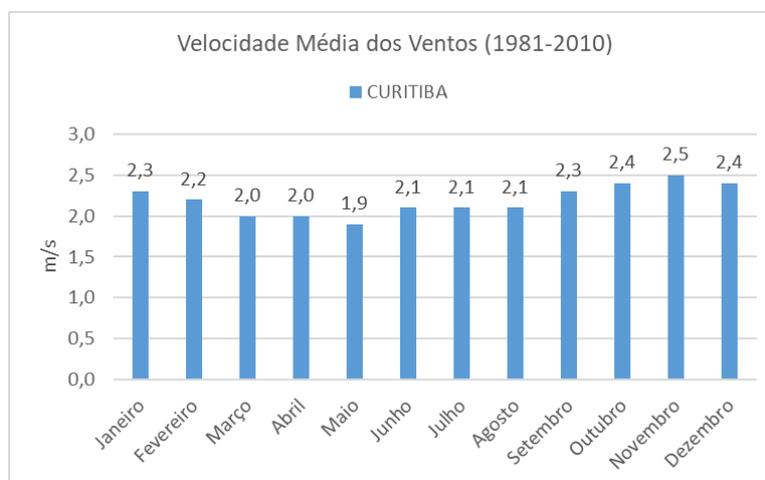


Figura F.38 – Velocidade Ventos, Curitiba/PR (a partir de dados INMET, 2018)

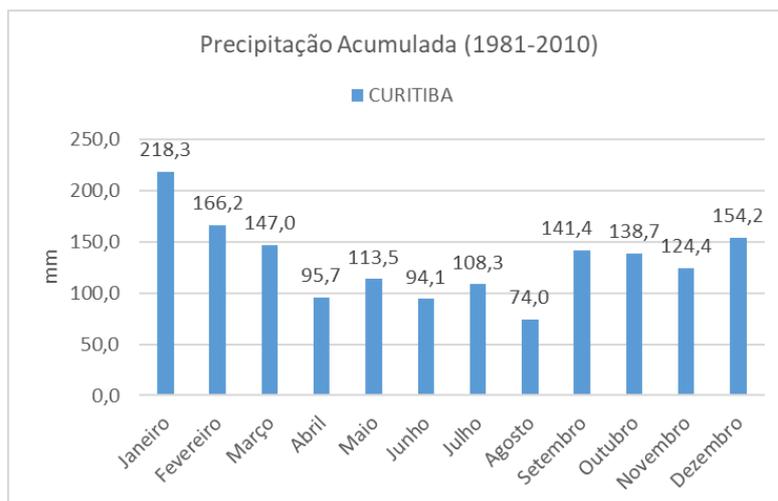


Figura F.39 – Precipitação Acumulada, Curitiba/PR (a partir de dados INMET, 2018)

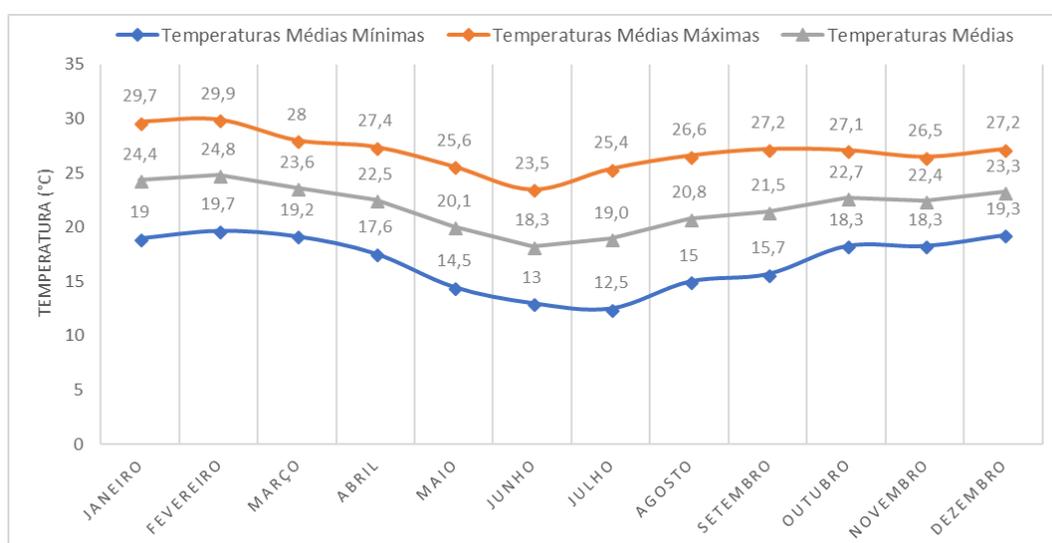


Figura F.40 – Temperaturas Médias, Belo Horizonte/MG (a partir de dados GBS)

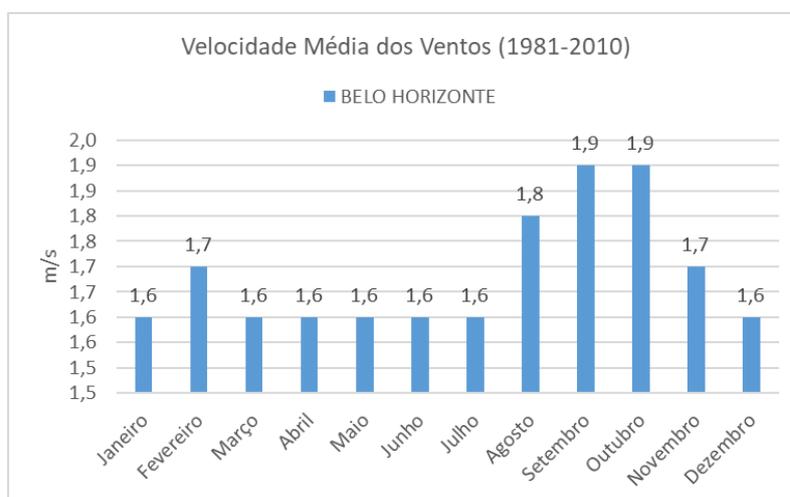


Figura F.41 – Velocidade Ventos, Belo Horizonte/MG (a partir de dados INMET, 2018)

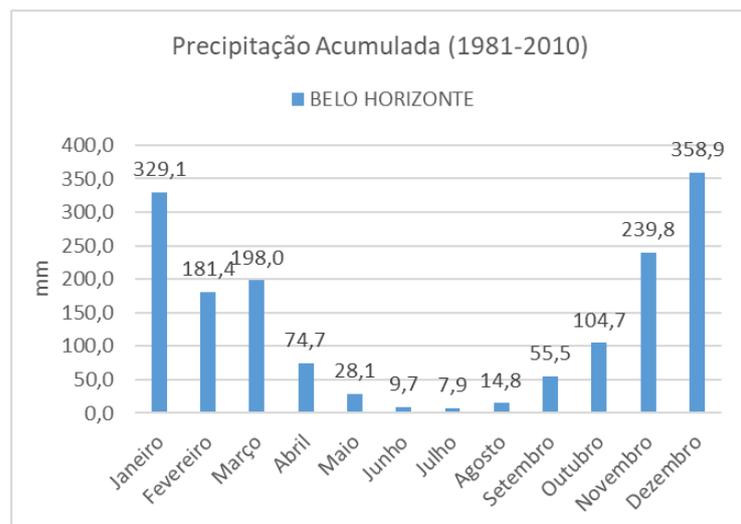


Figura F.42 – Precipitação Acumulada, Belo Horizonte /MG (a partir dados INMET, 2018)

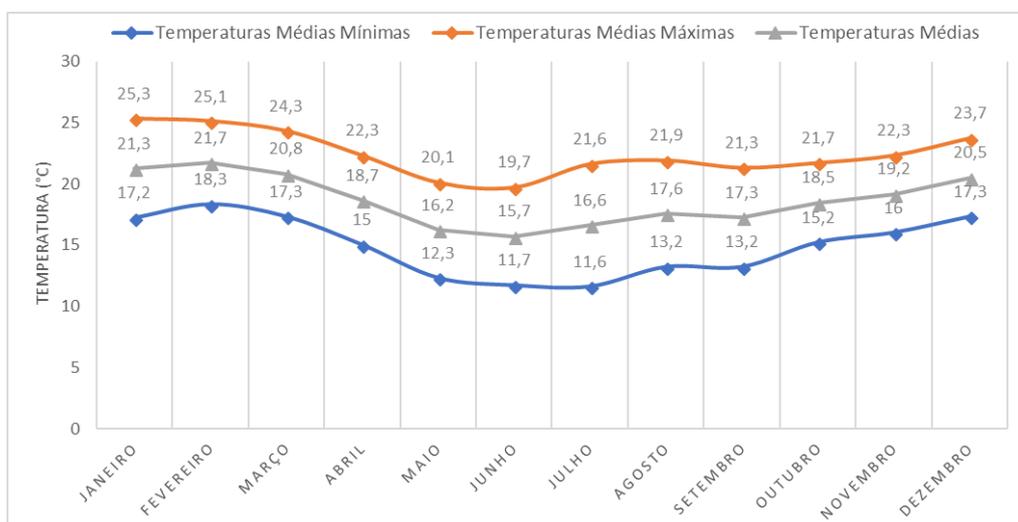


Figura F.43 – Temperaturas Médias, Nova Friburgo/RJ (a partir de dados GBS)

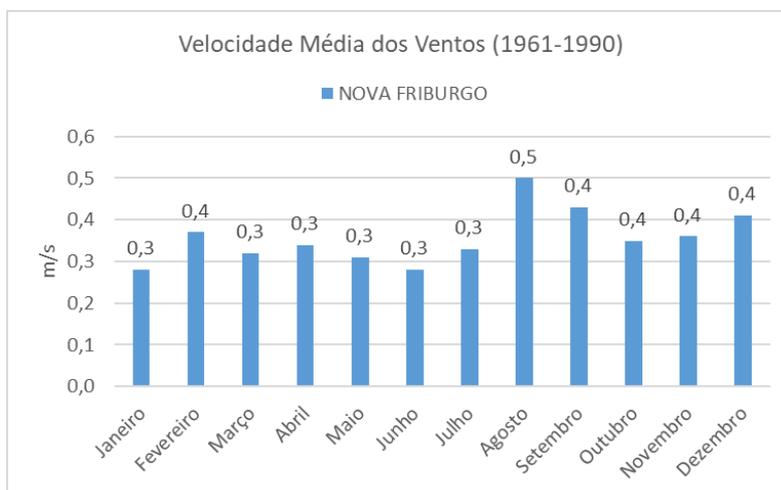


Figura F.44 – Velocidade Ventos, Nova Friburgo/RJ (a partir de dados INMET, 2018)

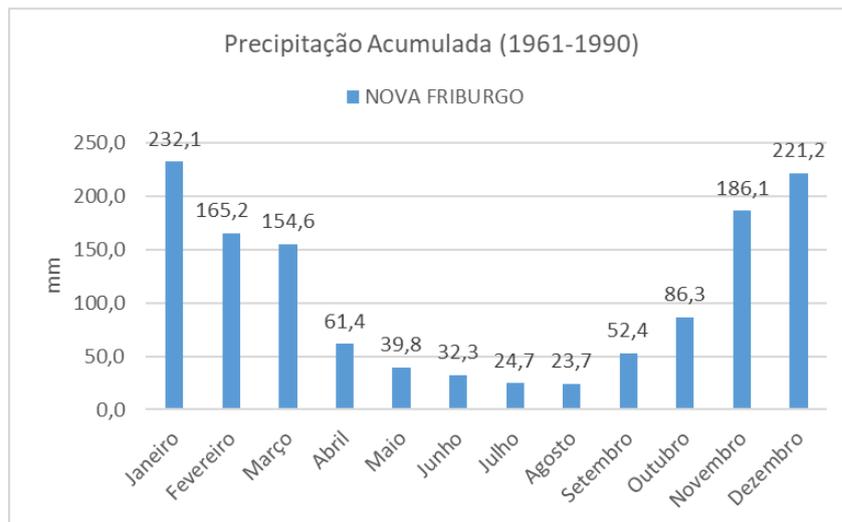


Figura F.45 – Precipitação Acumulada, Nova Frib./RJ (a partir de dados INMET, 2018)