

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Dissertação

**Possibilidades para o emprego do sistema
de fachada ventilada opaca em edifícios comerciais
nas oito zonas bioclimáticas do Brasil**

Carlos Leodário Monteiro Krebs

Pelotas, 2016

CARLOS LEODÁRIO MONTEIRO KREBS

**POSSIBILIDADES PARA O EMPREGO DO SISTEMA DE FACHADA VENTILADA
OPACA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS NAS OITO ZONAS BIOCLIMÁTICAS DO
BRASIL**

Dissertação parcial apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito para qualificação à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha

Pelotas, 2016

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

K92p Krebs, Carlos Leodário Monteiro

Possibilidades para o emprego do sistema de fachada ventilada opaca em edifícios comerciais nas oito zonas bioclimáticas do Brasil / Carlos Leodário Monteiro Krebs ; Eduardo Grala da Cunha, orientador. — Pelotas, 2016.

233 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Fachada ventilada opaca. 2. Desempenho termoenergético. 3. Simulação computacional. 4. Graus-hora. I. Cunha, Eduardo Grala da, orient. II. Título.

CDD : 697.92

CARLOS LEODÁRIO MONTEIRO KREBS

**POSSIBILIDADES PARA O EMPREGO DO SISTEMA DE FACHADA VENTILADA
OPACA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS NAS OITO ZONAS BIOCLIMÁTICAS DO
BRASIL**

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 12 de abril de 2016

Banca examinadora:

Prof. Paulo Otto Beyer

Doutor em Eng. Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Fernando Simon Westphal

Doutor em Eng. Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Antônio Cesar Silveira Baptista da Silva

Doutor em Eng. Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

Agradecimento

À Lis, que é muito mais a minha vida que ela própria...

Aos meus pais, de quem sempre ouvi: "Estuda guri, estuda, estuda!" Lamento que eu só tivesse um par de pais e de orelhas.

Ao meu orientador, Professor Eduardo Grala, por confiar intempestivamente em minha proposta e na minha capacidade de trabalho, conduzindo esta pesquisa em uma direção única, e principalmente, por seu exemplo pessoal e incentivo cotidiano.

A todos os colegas do Laboratório de Conforto e Eficiência Energética – LABCEE, que me acolheram ao longo dos últimos anos com carinho, amizade e paciência, mas principalmente por ajudarem-me a fazer as perguntas e encontrar as respostas.

Epígrafe

Aprendi através da experiência amarga a suprema lição: controlar minha ira e torná-la como o calor que é convertido em energia. Nossa ira controlada pode ser convertida numa força capaz de mover o mundo.

Mahatma Gandhi

Resumo

KREBS, Carlos Leodário Monteiro. **Possibilidades para o emprego do sistema de fachada ventilada opaca em edifícios comerciais nas oito zonas bioclimáticas do Brasil**. 2016. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, BRA.

Em um cenário de estabilidade econômica, o Brasil experimentou, desde a virada do milênio, um visível crescimento no setor da construção civil. Isto foi impulsionado pela grande oferta de crédito público, permitindo a renovação nos estoques imobiliários. Com um novo panorama político e financeiro surgindo no horizonte do país, o cuidado com um melhor desempenho e maior eficiência no consumo de energia em edificações poderão garantir um diferencial para os tomadores de decisão em um mercado que volte a ter que competir por recursos e clientes. A ideia de normalizar, tipificar e padronizar componentes, racionalizando meios e processos, em paralelo ao ajuste legal e a proposição de novas normativas para o setor, são bem vindas. Acredita-se que as existentes serão melhor exploradas e consolidadas ao longo dos próximos anos. Este trabalho apresenta os resultados de um estudo comparativo, com enfoque no desempenho térmico e energético, sobre a inserção para prédios comerciais de uma tecnologia localmente inovadora: a parede de dupla pele opaca, também conhecida por fachada ventilada opaca. Este sistema oferece maior rapidez de execução e menor geração de resíduos, se comparado aos sistemas de vedação externa tradicionalmente empregados na indústria da construção. Neste cenário, a importância deste estudo justifica-se pela exploração da viabilidade e correção no emprego de tecnologias ainda pouco exploradas em nosso contexto. O objetivo principal deste trabalho é apresentar em que medida a fachada ventilada opaca pode contribuir na redução do consumo de energia, na menor dependência de climatização artificial e na ampliação do conforto dos usuários em prédios comerciais do país. Considerando uma combinação de alta densidade de ocupação e intenso uso de equipamentos, avalia-se seu desempenho termoenergético a partir um modelo exploratório, adotado em todas as oito zonas bioclimáticas brasileiras. O prédio-base com o sistema proposto é avaliado e comparado a outro equivalente, com envoltório tradicional de blocos vazados de concreto e argamassa de revestimento. Foram observados o desempenho térmico e a eficiência energética dos modelos estudados, bem como os valores de implementação baseados no potencial de energia economizada em períodos de dez, trinta e cinquenta anos. Os resultados obtidos indicam que, apenas com uso de ventilação natural, o sistema proposto obtém maior grau de conforto em três das oito

zonas bioclimáticas. A partir da expectativa de consumo de energia anual contabilizando-se a necessidade por climatização, o sistema proposto apresenta melhor desempenho em quatro zonas bioclimáticas. A avaliação econômica executada para estas quatro zonas com melhor desempenho apontaram que a instalação do sistema proposto não será possível apenas com o valor da energia economizada, embora possa refletir na otimização do sistema de climatização instalado.

Palavras-Chave: Fachada ventilada opaca; Desempenho termoenergético; Simulação computacional; Graus-Hora.

Abstract

KREBS, Carlos Leodário Monteiro. ***Possibilities Employment of Opaque Ventilated Facades System on Commercial Buildings in the Eight Brazil's Bioclimatic Zones.*** 2016. Master's Thesis for Post-Graduation Program in Architecture and Urban Planning. Federal University of Pelotas. Pelotas, BRA.

On a scenario of economical stability Brazil has seen, since the millennium turn over, significant growth on the construction sector. It has been driven by the large supply of public credit, allowing the renovation of property inventories on the country. With a new political and economic perspective on the horizon, the concern on the buildings performance and the aim for a greater energy efficiency will allow a competitive differential for stakeholders, at a market that returns the competition for clients and resources. The idea of regulate and standardize materials, rationalizing process, in parallel with legal adjustment and new propositions for the area are welcome, and it is believed that will be better deepened and consolidated on the next years. This study presents the results of a comparative study, focused on the thermic and energetic performance, regarding the insertion on commercial buildings of a technology that is innovative at a local level: the double skin wall, also knows as opaque ventilated façade. This system provides a faster work execution and a lowest waste production, if compared with the sealing systems normally used by the construction industry. Within this scenario, the importance of this study is justified by the expectancy of the viability on the insertion of new technologies yet unexplored in our context. This study main objective is to present in what extend the double skin wall can contribute for the reduction of energy consumption through a smaller dependency of artificial conditioning and the enlargement of the users comfort in the country commercial buildings in the country. Considering a combination of a high occupation density and intense use internal energy, the thermal and energetic performance are evaluated, made since an exploratory model, to be adopted in all eight Brazilian climatic zones. The base building with the proposed system is evaluated and compared to another analogous with traditional envelope of concrete two cores blocks and layer mortar coating. Both the thermal and the energetic performance of the models have been studied, as well as the implementation costs, based on the energy savings potential on periods of ten, thirty and fifty years. The results show that, only with the use of natural ventilation, the proposed system has a higher comfort in three of the eight Brazilian Climatic Zones. Through the expected of energy consumption by calculated accounting for the need of air conditioning, the proposed system provides and better performance in four of Brazilian Bioclimatic

Zones. The economic evaluation performed for these four areas with higher performance indicated that the installation of the proposed system is not possible only the value of the energy saved, although it may reflect the optimization of HVAC system installed.

Keywords: Ventilated opaque facade; Thermal and energy performance; Modelling and simulation; Degree-hour.

Lista de Figuras

Figura 1 – Envolvimentos legendados	26
Figura 2 – Consumo de energia elétrica no Brasil, período de 1970 a 2013	29
Figura 3 – <i>Steiff Factory</i> – 1903, no início desta segunda década (imagem A) e Detalhe da seção vertical da fachada de dupla pele (imagem B) com respectiva legenda.....	34
Figura 4 – <i>Majolikahaus</i> de Otto Wagner (imagem A), Detalhe da capa do álbum <i>Indelibly Stamped</i> do Supertramp – 1971 (imagem B), <i>Garage Ponthieu Automobiles</i> de August Perret – 1906 (imagem C) e <i>Iglesia San Juan de Ávila</i> de Eládio Dieste – 1996 (imagem D).....	34
Figura 5 – Le Corbusier e o modelo estrutural Dom Ino	35
Figura 6 – Os cinco pontos da arquitetura moderna	36
Figura 7 – <i>Lever House</i> , de SOM e Gordon Bunshaft – 1952 (imagem A) e <i>Seagram Building</i> , de Ludwig Mies van der Rohe e Philip Johnson – 1958 (imagem B).....	36
Figura 8 – <i>Follie de La Villette</i> , de Bernard Tschumi – 1987 (imagem A), <i>Centre George Pompidou</i> , de Renzo Piano e Richard Rodgers – 1977 (imagem B), e <i>Puente del Alamillo</i> , de Santiago Calatrava – 1992 (imagem C).....	37
Figura 9 – Museu de Arte Contemporânea, de Oscar Niemeyer – 1996 (imagem A), <i>Allianz Arena</i> , de Herzog & Meuron – 2005 (imagem B), e <i>Cubo D'Água</i> , de PTW Architects para a ARUP – 2008 (imagem C).....	38
Figura 10 – <i>Bank of America</i> , visão geral (imagem A), Comparativo de altura deste com outros dois ícones da arquitetura de <i>New York</i> – o <i>Chrysler Building</i> e <i>Empire State Building</i> (imagem B), e detalhe típico (imagem C)	39
Figura 11 – <i>One Angel Square</i> (imagem A) e Vista aproximada da fachada (imagem B).....	39
Figura 12 – <i>Australia – Siège Social d'ETDE</i> (imagem A) e Vista aproximada da fachada (imagem B).....	40
Figura 13 – Soluções tecnológicas para fachadas, com <i>Petronas Tower</i> (imagens A1 a D2)	41
Figura 14 – Comportamento de fachadas ventiladas segundo Mikael Kragh	43
Figura 15 – Apresentação esquemática de uma fachada ventilada ativa	44
Figura 16 – Prédio do IRCAM projetado por Renzo Piano – 1989 em Paris, França (imagem A), e aproximações do revestimento exterior (imagens B, C e D)	46
Figura 17 – Protótipo com fachada ventilada opaca desenvolvido pela empresa Aderma, em Como, Itália – 2007, com as faces orientadas para o Leste (imagem A) e o Oeste com leve inclinação na parte posterior, enquanto as faces com orientações para o Sul (imagem B) e Norte são planas	49
Figura 18 – Quadro resumo das tipologias de fachada ventilada	50

Figura 19 – Quadro resumo de configurações de fachada ventilada	51
Figura 20 – Sequência de fluxo de ar	52
Figura 21 – Fluxo de calor para os três tipos nós: em pontos internalizados em camadas de materiais homogêneos (nó pontilhado), em pontos superficiais (nó preenchido), e em pontos aéreos (nó vazio).....	60
Figura 22 – Mapa geopolítico brasileiro com a classificação climática de Köppen-Gigger, adaptado pela geógrafa Lysia Maria Cavalcante Bernardes.....	62
Figura 23 – Fluxo de calor em uma fachada com câmara de ar internalizada.....	63
Figura 24 – Apresentação da sequência lógica deste estudo.....	70
Figura 25 – Fluxograma do método aplicado	71
Figura 26 – Geometria das zonas térmicas na situação padrão (PAD)	73
Figura 27 – Geometria das zonas térmicas na situação proposta (FVO)	73
Figura 28 – Interface da montagem das esquadrias através do programa WINDOW, versão 7.3.....	76
Figura 29 – Temperatura superficial nas faces externa e interna da fachada Oeste – verão	81
Figura 30 – Temperatura superficial nas faces externa e interna da fachada Oeste – inverno.....	81
Figura 31 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas em todas as horas do ano na situação proposta PAD em Curitiba.....	83
Figura 32 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas em todas as horas do ano na situação proposta FVO em Curitiba.....	83
Figura 33 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas em todas as horas do ano na situação base PAD em Manaus	84
Figura 34 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas em todas as horas do ano na situação proposta FVO em Manaus	84
Figura 35 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas nas horas realmente ocupadas do ano, nas situações base PAD e proposta FV, em Curitiba	86
Figura 36 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas nas horas realmente ocupadas do ano, nas situações base PAD e proposta FV, em Manaus.....	87
Figura 37 – Total de graus-hora para a situação base PAD em Curitiba.....	90
Figura 38 – Total de graus-hora para a situação proposta FV em Curitiba	91
Figura 39 – Total de graus-hora para a situação base PAD em Manaus	91
Figura 40 – Total de graus-hora para a situação proposta FV em Manaus	91
Figura 41 – Planta-baixa esquemática do pavimento tipo – situação base	95
Figura 42 – Planta-baixa esquemática do pavimento tipo – situação proposta	95
Figura 43 – Conceito dos modelos geométricos FVO e PAD	98
Figura 44 – Abordagem das simulações por ventilação natural (esq) e climatização artificial (dir).....	100
Figura 45 – Exemplo de configuração da programação de abertura para ventilação da cavidade de ar na interface do programa de edição de IDF do E+.....	102
Figura 46 – Prédio-Base modelado nas versões tradicional (PAD) e proposta (FVO)	104
Figura 47 – Geometrização da situação proposta (FV) no estudo-piloto	107
Figura 48 – Geometrização da situação proposta (FVO) no prédio-base.....	108
Figura 49 – Modelo com envoltório tradicional (PAD).....	109
Figura 50 – Janela de configuração do material no <i>IDF Editor</i> do modelo com envoltório tradicional equivalente (PADeq)	110

Figura 51 – Configuração dos objetos no módulo <i>WindAndStackOpenArea</i>	114
Figura 52 – Configuração empregada para o controle da simulação do fluxo de ar	117
Figura 53 – Configuração da ventilação natural entre múltiplas zonas.....	117
Figura 54 – Configuração das subsuperfícies vinculadas ao uso da ventilação natural	118
Figura 55 – Configuração das superfícies de portas e janelas	119
Figura 56 – Esquema de funcionamento do sistema PTHP.....	122
Figura 57 – Decréscimo de desempenho versus a temperatura.....	124
Figura 58 – Configuração dos dias típicos de projeto – verão e inverno	125
Figura 59 – Configuração das agendas de radiação solar – direta e difusa – para os dias típicos de projeto em Vitória da Conquista-BA	126
Figura 60 – Configuração do <i>HVACTemplate:Zone:PTHP</i>	127
Figura 61 – Métodos de avaliação do investimento	131
Figura 62 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB1 – Curitiba/PR	134
Figura 63 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB2 – Santa Maria/RS	135
Figura 64 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB3 – São Paulo/SP	135
Figura 65 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB4 – Brasília/DF.....	136
Figura 66 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB5 – Vit. Conquista/BA	136
Figura 67 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB6 – Campo Grande/MS	137
Figura 68 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB7 – Cuiabá/MT.....	137
Figura 69 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB8 – Belém/PA	138
Figura 70 – Corte esquemático das situações PAD e FVO com os pontos observados.....	142
Figura 71 – Temperatura Superficial Sala 401 Norte, Curitiba/PR.....	144
Figura 72 – Temperatura Superficial Sala 401 Norte, Santa Maria/RS.....	145
Figura 73 – Temperatura Superficial Sala 401 Norte, São Paulo/SP.....	146
Figura 74 – Temperatura Superficial Sala 401 Norte, Brasília/DF	147
Figura 75 – Temperatura Superficial Sala 401 Norte, Vitória da Conquista/BA...	148
Figura 76 – Temperatura Superficial Sala 401 Norte, Campo Grande/MS	149
Figura 77 – Temperatura Superficial Sala 401 Norte, Cuiabá/MT	150
Figura 78 – Temperatura Superficial Sala 401 Norte, Belém/PA	151
Figura 79 – Temperatura Superficial Sala 401 Oeste, Curitiba/PR.....	152
Figura 80 – Temperatura Superficial Sala 401 Oeste, Santa Maria/RS.....	153
Figura 81 – Temperatura Superficial Sala 401 Oeste, São Paulo/SP	154
Figura 82 – Temperatura Superficial Sala 401 Oeste, Brasília/DF	155
Figura 83 – Temperatura Superficial Sala 401 Oeste, Vitória da Conquista/BA..	156
Figura 84 – Temperatura Superficial Sala 401 Oeste, Campo Grande/MS	157
Figura 85 – Temperatura Superficial Sala 401 Oeste, Cuiabá/MT.....	158
Figura 86 – Temperatura Superficial Sala 401 Norte, Belém/PA	159
Figura 87 – Taxa de transferência de calor Sala 401 verão, Curitiba/PR	166
Figura 88 – Taxa de transferência de calor Sala 401 inverno, Curitiba/PR	166

Figura 89 – Taxa de transferência de calor Sala 401 verão, Santa Maria/RS	166
Figura 90 – Taxa de transferência de calor Sala 401 inverno, Santa Maria/RS ..	167
Figura 91 – Taxa de transferência de calor Sala 401 verão, São Paulo/SP	167
Figura 92 – Taxa de transferência de calor Sala 401 inverno, São Paulo/SP	167
Figura 93 – Taxa de transferência de calor Sala 401 quente e seco, Brasília/DF	168
Figura 94 – Taxa de transferência de calor Sala 401 frio e úmido, Brasília/DF ...	168
Figura 95 – Taxa de transferência de calor Sala 401 quente e seco, Vit. da Conquista/BA	168
Figura 96 – Taxa de transferência de calor Sala 401 frio e úmido, Vit. da Conquista/BA	169
Figura 97 – Taxa de transferência de calor Sala 401 quente e seco, Campo Grande/MS	169
Figura 98 – Taxa de transferência de calor Sala 401 frio e úmido, Campo Grande/MS	169
Figura 99 – Taxa de transferência de calor Sala 401 quente e seco, Cuiabá/MT	170
Figura 100 – Taxa de transferência de calor Sala 401 frio e úmido, Cuiabá/MT .	170
Figura 101 – Taxa de transferência de calor Sala 401 quente e úmido, Belém/PA	170
Figura 102 – Intensidade de uso energético nas ZBBs pró FVO e em outros países	180

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Matriz de padrões para alto desempenho	54
Tabela 2 – Ferramentas digitais	56
Tabela 3 – Pontos favoráveis e desfavoráveis no uso de fachadas de dupla pele ..	59
Tabela 4 – Valores de Transmitância Térmica (U_{value}) para paredes e Capacidade Térmica (C_T) nas oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras.....	66
Tabela 5 – Configuração das situações base e proposta no estudo-piloto	72
Tabela 6 – Componentes e propriedades dos elementos construtivos para inserção no programa de simulação <i>EnergyPlus</i>	75
Tabela 7 – Cargas internas.....	78
Tabela 8 – Nível de desempenho situação base PAD em Curitiba.....	79
Tabela 9 – Nível de desempenho situação proposta FV em Curitiba.....	80
Tabela 10 – Nível de desempenho situação base PAD em Manaus.....	80
Tabela 11 – Nível de desempenho situação proposta FV em Manaus	80
Tabela 12 – Balanço energético da edificação, situação PAD para a Curitiba.....	89
Tabela 13 – Balanço energético da edificação, situação FV para a Curitiba	89
Tabela 14 – Dados gerais das oito zonas bioclimáticas	94
Tabela 15 – Prédio Comercial, segundo a NBR 12.721 (2006).....	96
Tabela 16 – Quadro das simulações	99
Tabela 17 – Padrão de uso e atividade	101
Tabela 18 – Levantamento do consumo de energia prédios comerciais no Brasil.	103
Tabela 19 – Propriedades dos modelos simulados	105
Tabela 20 – Esquadrias	110
Tabela 21 – Períodos de Análise para as Semanas Típicas	112
Tabela 22 – Valores do CUB para "Comercial, Salas e Lojas – 8 pavimentos (jan/2016)	132
Tabela 23 – Quantificação de graus-hora quando $T_{interna}$ igual à $T_{externa}$	134
Tabela 24 – Quantificação anual de graus-hora FVO vs PAD vs PADeq	139
Tabela 25 – GH com a rotação de eixo (+90°) FVO vs PAD	140
Tabela 26 – Percentual de desconforto por GH total na razão N-S por L-O	140
Tabela 27 – Consumo de energia nas ZBBs 1 e 2	164
Tabela 28 – Consumo de energia nas ZBBs 3 e 4	164
Tabela 29 – Consumo de energia nas ZBBs 5 e 6	164
Tabela 30 – Consumo de energia nas ZBBs 7 e 8	164
Tabela 31 – Custo anual de energia nas oito zonas bioclimáticas	173
Tabela 32 – Método da Anuidade para as ZBBs 1 a 4	178
Tabela 33 – Método da Anuidade para as ZBBs 5 a 8	179

Abreviaturas, Siglas e Unidades

Abreviaturas Gerais

AFN – *Air flow network* (fluxo de ar em rede)

ANC – Área não condicionada

APO – Avaliação pós-ocupação

APT – Área de permanência transitória

AU – Área útil

BDI – Benefícios e Despesas Indiretas¹

BMS – *Building management system* (sistema de gerenciamento da edificação)

CABS – *Climate adaptive building shells* (envoltório de edificações adaptada ao clima)

CBECS – *Commercial buildings energy consumption survey*² (pesquisa do consumo de energia de prédios comerciais)

CBP – *Commercial Building Partnerships*³ (Parcerias em Prédios Comerciais)

CEC – Custo de energia conservada

CEE – Coeficiente de eficiência energética

COP – *Coefficient of performance* (coeficiente de desempenho)

CSV – *Comma Separated Values* (valores separados por vírgula)

DCI – Densidade de carga interna

1 Vem da sigla inglesa *BDI* – *Budget Difference Income*, e apresenta às vezes a troca da palavra "benefícios" por "bonificação".

2 Vinculada ao *U.S. Energy Information Administration*.

3 Exemplo de programa público/privado americano, com custos compartilhados, patrocinado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (DOE), pareando proprietários selecionados de edifícios comerciais e seus operadores com representantes do DOE, dos laboratórios nacionais de pesquisas e técnicos especialistas do setor privado. Estas equipes exploram medidas de conservação de energia (incluindo aquelas que poderiam ser considerados muito caras ou tecnologicamente desafiadoras) e aplicam-nas em projetos específicos de edifícios comerciais.

DPI – Densidade de potência de iluminação

EEM – *Energy efficiency measures* (medidas de eficiência energética)

EISA – *Energy Independence and Security Act* (Ato de Independência Energética e Seguridade)

E_t – *Thermal efficiency* (eficiência térmica)

E+ – *EnergyPlus*

FVO – Envoltório modelo proposto

GH – Graus-hora

GUI – *Graphic user interface* (interface gráfica do usuário)

HVAC – *Heating, ventilation and air conditioning* (Sistema de climatização artificial)

IDF – *Input data file*

IECC – *International Energy Conservation Code* (Código Internacional de Conservação de Energia)

I/O E+ – *Input Output Reference Guide of EnergyPlus* (Guia de Referência para Dados de Entrada e Saída do EnergyPlus)

LEED[®] – *Leadership in Energy and Environmental Design* (Liderança em Energia e Projeto Ambiental)

NBR – Norma Brasileira

NC3 – *National commercial construction characteristics* (características nacionais de construção comercial)

NZEB – *Net-zero energy buildings*⁴ (prédios de energia zero da rede)

PAD – Envoltório modelo padrão

PMV – *Predicted mean vote (voto médio predito)*

POC – Percentual de horas ocupadas em conforto

PPD – *Predicted percentage of dissatisfied* (percentual de insatisfeitos predito)

PT – Pontuação total

RAC-C – Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-C – Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

SET – *Standard effective temperature* (temperatura eficaz padrão)

SHGC – *Solar heat gain coefficient* (coeficiente de ganho de calor solar)

4 Prédios que apresentam balanço (geração versus consumo) zerado em relação à rede de distribuição de energia na qual estão inseridos.

TE – Tarifa de energia
TSUD – Tarifa de uso do sistema de distribuição
VAV – *Variable air volume* (volume de ar variável)
VLA – Valor Líquido Atual (*Net Present Value*)
VRF – *Variable refrigerant flow* (fluxo refrigerante variável)
VT – *Visible transmittance* (transmitância visível)
WWR – *Window-to-wall ratio* (razão entre janelas e paredes)
ZZB – Zona Bioclimática Brasileira

Entidades e Instituições

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica
AIA *American Institute of Architects* (Instituto Americano dos Arquitetos)
AMCA *International – Air Movement and Control Association International*
(Associação Internacional do Movimento e Controle do Ar)
ANSI – *American National Standards Institute* (Instituto Nacional Americano de Padronização)
ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-condicionado)
ASTM *International – American Society for Testing and Materials* (Sociedade Americana para Testagem e Materiais) até 2001, e desde então ASTM Internacional
CBCS – Conselho Brasileiro da Construção Sustentável
CEA – *Clean Energy Alliance* (Aliança de Energia Limpa)
CEC – *California Energy Commission* (Comissão de Energia da Califórnia)
CIBSE – *The Chartered Institution of Building Services Engineers* (A Ordem dos Engenheiros para Serviços da Construção)
DIN – *Deutsches Institut für Normung* (Instituto Alemão para Normatização)
DOE – *Department of Energy* (Departamento de Energia dos Estados Unidos da América)
EERE – *Energy Efficiency and Renewable Energy* (Eficiência Energética e Energia Renovável do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América)

EIA – Energy Information Administration (Administração de Informação de Energia dos Estados Unidos da América)

EPA – Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América)

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ECEEE – European Council for an Energy Efficient Economy (Conselho Europeu por uma Economia de Eficiência Energética)

HPBC – High Performance Building Council (Conselho de Prédios de Alto Desempenho), vinculado ao *NIBS*

IBPSA – International Building Performance Simulation Association (Associação Internacional de Simulação de Desempenho das Edificações)

IEA – International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

IES – Illuminating Engineering Society (Sociedade de Engenharia de Iluminação)

ILO – International Labour Organization (Organização Internacional do Trabalho)

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

ISO – International Standard Organization (Organização Internacional de Padronização)

LabCEE – Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (UFPEL)

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética nas Edificações (UFSC)

LBNL – Lawrence Berkeley National Laboratory

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério das Minas e Energia

NBI – New Buildings Institute

NFPA – National Fire Protection Association (Associação Nacional de Proteção contra o Fogo) nos Estados Unidos

NIBS – National Institute Building Sciences (Instituto Nacional das Ciências da Edificação)

NREL – National Renewable Energy Laboratory

PNNL – Pacific Northwest National Laboratory

PROGRAU – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo

PUCPR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná

UFPEL – Universidade Federal de Pelotas

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

ULI – *Urban Land Institute*

UNEP – *Union Nations Environment Programme* (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA)

USGBC – *United States Green Building Council* (Conselho para Edificações Verdes dos Estados Unidos)

Unidades

A	área [m ²]
Btu/hr	<i>British thermal unit</i> por hora [-]
C	condutância térmica [W/m ² .K]
Cd	coeficiente de descarga [-]
cp	calor específico [J/kg.K]
Cp	coeficiente de pressão do vento na superfície [-]
ΔT	diferença de temperatura [°C]
ΔT _{MEAN}	diferença de temperatura média [°C]
Dh	diâmetro hidráulico [m]
D _{MIN}	diferença mínima [°C]
D _{MAX}	diferença máxima [°C]
e	espessura [m]
E	energia [kW.h]
E _c	consumo de energia [kW.h]
FC _t	fluxo de caixa líquido [R\$ unidade monetária em jan/2016]
g	aceleração da gravidade [m/s ²]
GD	graus-dia [-]
GH	graus-hora [-]
h	coeficiente de transferência de calor por convecção [W/m ² .K]
hr	coeficiente de transferência de calor por radiação [W/m ² .K]
H	altura de uma superfície vertical [m]
I	radiação solar [W/m ²]
m	taxa de fluxo de massa [kg/s]
p	pressão [Pa]
ρ	taxa de desconto [%]

q	perda de calor no dia típico de projeto [Btu/h]
Q	taxa de fluxo de calor [W/m^2]
q'''	<i>heat flow rate</i> [W/m^3]
R _{value}	resistência térmica [$m^2.K/W$]
t	tempo [s]
T	temperatura [$^{\circ}C$ ou K]
T _{méd}	temperatura média mensal [$^{\circ}C$]
T _N	temperatura neutra [$^{\circ}C$]
tpe	tonelada de petróleo equivalente [1000tpe = 11,63GW.h]
T _{PER}	período de análise [ano, meses]
U _{value}	transmitância térmica [$W/m^2.K$]
U _p	valor absoluto de uma transmitância térmica periódica [$W/m^2.K$]
v	velocidade [m/s]
V	volume [m^3]
x,y,z	coordenadas cartesianas [m]

Sumário

1. INTRODUÇÃO	25
1.1. Relevância da Proposta e Adequação ao Programa	25
1.2. Justificativa do Tema	26
1.3. Problema da Pesquisa	28
1.4. Objetivos da Pesquisa	30
1.5. Resumo do Capítulo	32
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	33
2.1. Antecedentes Históricos	33
2.2. Soluções Tecnológicas para Prédios Comerciais	40
2.3. Fachadas de Dupla Pele	42
2.4. Fachadas Ventiladas Opacas.....	45
2.5. Condicionantes Tipológicos	50
2.6. Gerenciamento da Câmara de Ar.....	52
2.7. Referenciais Normativos	53
2.8. Programas e <i>Plugins</i>.....	56
2.9. Revisão Narrativa	59
2.10. Resumo do Capítulo	66
3. MÉTODO DE PESQUISA	69
3.1. Estrutura Geral da Pesquisa	69

3.2. Estudo-Piloto	71
3.2.1. Entrada de Dados	72
<i>Tipologias.....</i>	<i>72</i>
<i>Vedações Externas.....</i>	<i>74</i>
<i>Esquadrias</i>	<i>75</i>
<i>Programações.....</i>	<i>76</i>
<i>Cargas Internas</i>	<i>77</i>
<i>Período de Análise</i>	<i>78</i>
3.2.2. Resultados	79
<i>Interpolação dos Valores.....</i>	<i>85</i>
<i>Análise Gráfica</i>	<i>87</i>
<i>Graus-Hora.....</i>	<i>89</i>
3.3. Modelagem.....	93
3.3.1. Arquivos Climáticos	93
3.3.2. Apresentação do Projeto	95
<i>Comercial Salas e Lojas (CSL - 8).....</i>	<i>96</i>
3.3.3. Apresentação das Zonas Térmicas	97
3.4. Configuração do Edifício.....	100
3.4.1. Condições de Uso e Ocupação	101
<i>Agendas</i>	<i>101</i>
<i>Cargas Internas</i>	<i>103</i>
3.4.2. Configuração do Envoltório	104
<i>Fachada Ventilada Opaca (FVO)</i>	<i>106</i>
<i>Envoltório Tradicional (PAD).....</i>	<i>108</i>
<i>Envoltório Tradicional Equivalente (PADeq)</i>	<i>109</i>
<i>Esquadrias</i>	<i>110</i>
<i>Período de Análise</i>	<i>111</i>
3.4.3. Configuração da Ventilação na Câmara de Ar (FVO).....	112
3.5. Configurações de Ventilação e Climatização	116
3.5.1. Salas ventiladas naturalmente (VN).....	116
<i>Balanço Energético</i>	<i>119</i>
<i>Temperaturas Internas.....</i>	<i>120</i>

3.5.2. Salas climatizadas artificialmente (AC)	122
<i>Dia Típico de Projeto</i>	127
<i>Consumo de Energia</i>	128
<i>Avaliação Econômica</i>	129
4. RESULTADOS	133
4.1. Conforto Térmico	133
4.1.1. Indicação de Desempenho Termoenergético	133
4.1.2. Temperaturas Superficiais	142
4.2. Consumo Energético	163
4.2.1. Fluxos Térmicos	165
4.2.2. Avaliação Econômica	173
4.2.3. Valores de Implementação	175
5. CONCLUSÕES	183
5.1. Trabalhos derivados	188
5.2. Sugestão de Futuros Trabalhos	189
6. BIBLIOGRAFIA	192
ANEXO A	199
A1. Fechamentos Verticais Equivalentes	199
A2. Cálculo FVO Modelo Físico	201
A3. Cálculo FVO Modelo Geométrico E+	205
A4. Cálculo PAD Modelo Geométrico E+	210
A5. Cálculo PADeq Modelo Geométrico E+	215
ANEXO B	217
B1. Balanço Energético	217

1. Introdução

1.1. Relevância da Proposta e Adequação ao Programa

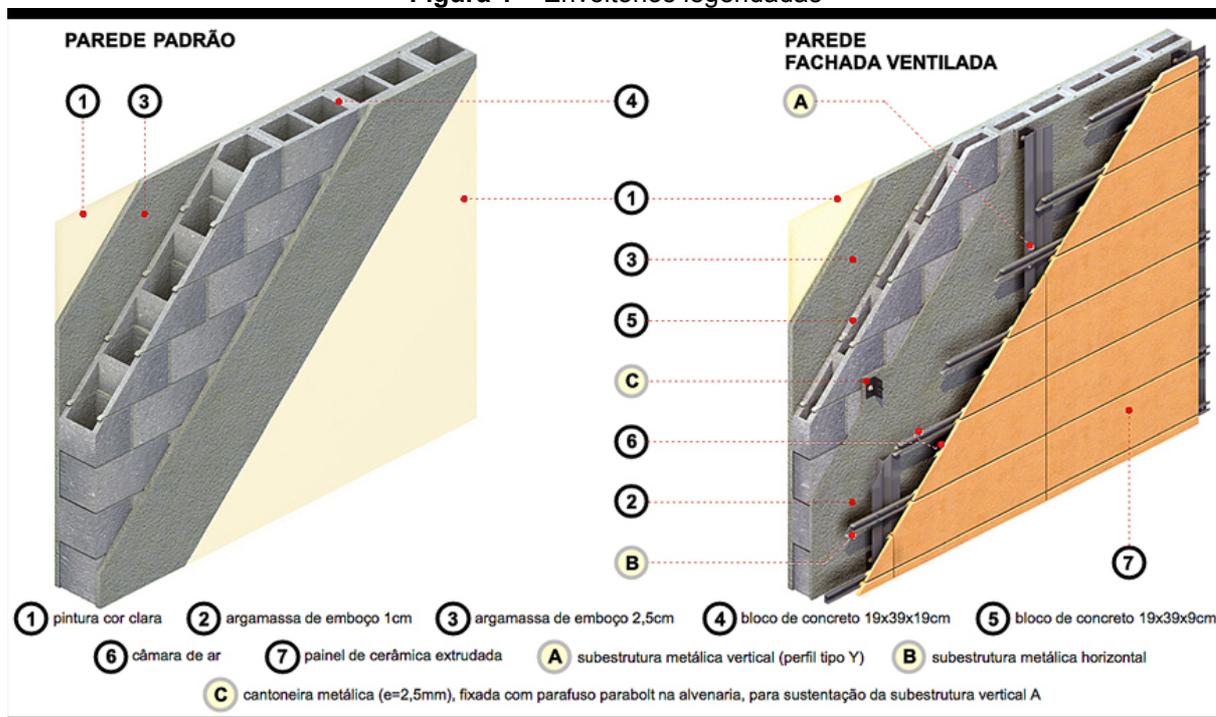
A relevância deste estudo enquadra-se em um campo que se delimita de um lado pelo desenvolvimento normativo e regulatório oriundo de pesquisas intramuros acadêmicos e, por outro, pelo pragmatismo do mercado da construção civil. São dois extremos que tem, por uma tradição de avanços lerdos e quase nenhuma interlocução, um viés quase reacionário na forma como apresentam seus resultados para a sociedade brasileira – seja o resultado prático e aplicado de pesquisas, seja no produto edilício médio ofertado no mercado.

Com a vigência da Norma de Desempenho de Edificações – NBR 15.575 e a eminente exigência de etiquetagem nas edificações comerciais – Programa PROCEL Edifica, em particular através do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), espera-se o estabelecimento de um novo patamar nas relações entre fornecedores e consumidores.

Dentro da área de Qualidade e Tecnologia do Ambiente Construído proposta pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PROGRAU, pesquisas que vinculem questões de construções mais sustentáveis calcadas na análise de aspectos qualitativos e quantitativos são essenciais. Elas apresentam-se como oportunas neste momento em que o panorama nacional oferece clara intenção de dar um salto de qualidade impulsionada pela demanda represada por décadas de abandono pelas políticas públicas e pela falta de um mercado consumidor interno capaz de dar-lhes suporte. Assim, a oportunidade de uma desejável ampliação no horizonte das informações atualmente disponíveis, abre questionamentos sobre a

pertinência do "como" se faz arquitetura, geralmente relegado a um plano secundário a partir do "quê" se faz em arquitetura...

Figura 1 – Envoltórios legendadas



Fonte: Próprio autor, 2014

Com este enfoque, propõe-se neste estudo a busca por respostas sobre a viabilidade térmica e energética do emprego de um sistema de fachada ventilada opaca quando comparada a um envoltório mais tradicional (Fig. 1). Originalmente concebida para sustentar condições de conforto térmico em ambientes internos de zonas temperadas frias (onde preferencialmente não se quer perder calor para o meio externo), busca-se verificar sua aplicabilidade em um país predominantemente inserido no clima tropical (onde preferencialmente não se quer ganhar o calor do meio externo).

1.2. Justificativa do Tema

Nas últimas décadas, desde a primeira crise do petróleo em 1973, o aporte tecnológico nas edificações disseminou-se em um ritmo muito maior que o próprio desenvolvimento da ciência da construção. Naquela época, a partir de exemplares na Holanda, Alemanha e países nórdicos, foi cunhada a expressão "prédios inteligentes" para designar as construções que buscavam, por meio de aparatos, instalações e equipamentos, uma maior economia no consumo de energia. Como as

edificações eram responsáveis por uma parcela considerável desta demanda – suportada por fontes fósseis, a efficientização destas instalações proporcionaria uma diminuição na energia consumida.

A ideia surgida como uma remediação para aquela situação externamente imposta (escassez da fonte de energia primária e aumento de seu custo), a partir dos anos 90 passou a ser comercializada como solução tecnológica. De acordo com Ochoa *et al* (2008), os ditos "prédios "inteligentes" são aqueles que combinam inteligências ativa e passiva, recursos ativos e estratégias de projeto passivas, buscando oferecer o máximo de conforto aos ocupantes com o mínimo dispêndio de energia.

A escalada alarmista nas mídias com notícias sobre as mudanças climáticas e o aquecimento global provocado por gases do efeito estufa⁵ transformaram o prédio inteligente em prédio "verde", oportunizando ao setor imobiliário reconhecer aquelas construções que minimizavam seus impactos ambientais através da adoção de boas práticas e, principalmente, com um melhor desempenho energético que seus pares, baseando-se principalmente em sistemas de controle e automação.

Assim, o tema proposto neste estudo justifica-se pela busca de uma resposta adequada as nossas condições climáticas e orientada ao incremento da realidade técnico-constructiva da construção civil no país. Ainda que as fachadas ventiladas no Brasil encontrem-se em uma situação de importação de produtos disponibilizados no exterior, ou por representantes locais de empresas e marcas estrangeiras, a economia de escala proporcionada pelo avanço no seu uso permitiria a implementação de fábricas locais em um médio prazo. A nossa disponibilidade de recursos naturais e as condições competitivas de produção de peças cerâmicas de qualidade podem facilitar o desenvolvimento e domínio desta técnica, muito diferente das condições vinculadas à importação de produtos e componentes especialistas das áreas sistêmicas.

Desde o lançamento da Agenda21 na Rio'92 ficou explícito o impacto da indústria da construção no meio ambiente. No que diz respeito aos resíduos, Mália, Brito e Bravo (2011) apontam que ela é responsável por gerar aproximadamente 500 milhões de toneladas/ano em toda a União Europeia, correspondendo até 30% de

5 Segundo o *California Environmental Quality Act – Air Quality Guidelines* (2011), "Gas(es) do efeito estufa" é um termo genérico utilizado para se referir a todos os seguintes tipos de gases: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorcarboneto (CFCI₃), perfluorcarbono (C_nF_{2n+2}) e hexafluoreto de enxofre (SH₆).

todos os resíduos produzidos. Se dentro de um cenário onde há uma dedicação maior a todos os elementos construtivos necessários para uma obra, um maior tempo de planejamento e tomadas de decisões, grande percentual de elementos pré-fabricados e mecanização das construções, ainda encontram-se índices tão relevantes, o que esperar da realidade brasileira? No Brasil, segundo Pinto (1999, *apud* MÁLIA; BRITO; BRAVO, 2011, p.118) a geração de resíduos de construção e demolição foi estimada em 500kg/habitante/ano, representando de 41% a 70% do total de resíduos sólidos urbanos, dependendo do porte das cidades e a região do país. Segundo um estudo conduzido pela ABRELPE⁶, a quantidade estimada de resíduos da construção civil coletada no ano de 2010 se aproximaria de 100.000ton/dia (sem considerar as projeções de serviços privados).

O ponto de encontro entre estes níveis de desperdício com o tema aqui proposto incide no fato apontado por estes autores que quase 80% dos resíduos gerados em obra na UE serem compostos por concreto e materiais cerâmicos, enquanto que no Brasil estes valores ultrapassam a casa dos 90%, com total predominância de concreto e seus derivados (IPEA, 2012, p.17).

Sistemas industrializados que carreguem para o canteiro de obra componentes a serem instalados ou montados, ao invés de construídos por meio da combinação de empilhamento e improviso, poderiam contribuir para exercer uma menor pressão sobre as fontes naturais destes recursos, diminuindo os impactos causados pelo desperdício destas matérias-primas e, conseqüentemente, gerando menor quantidade de resíduos no final do processo de construção, ou no final da vida útil destas edificações.

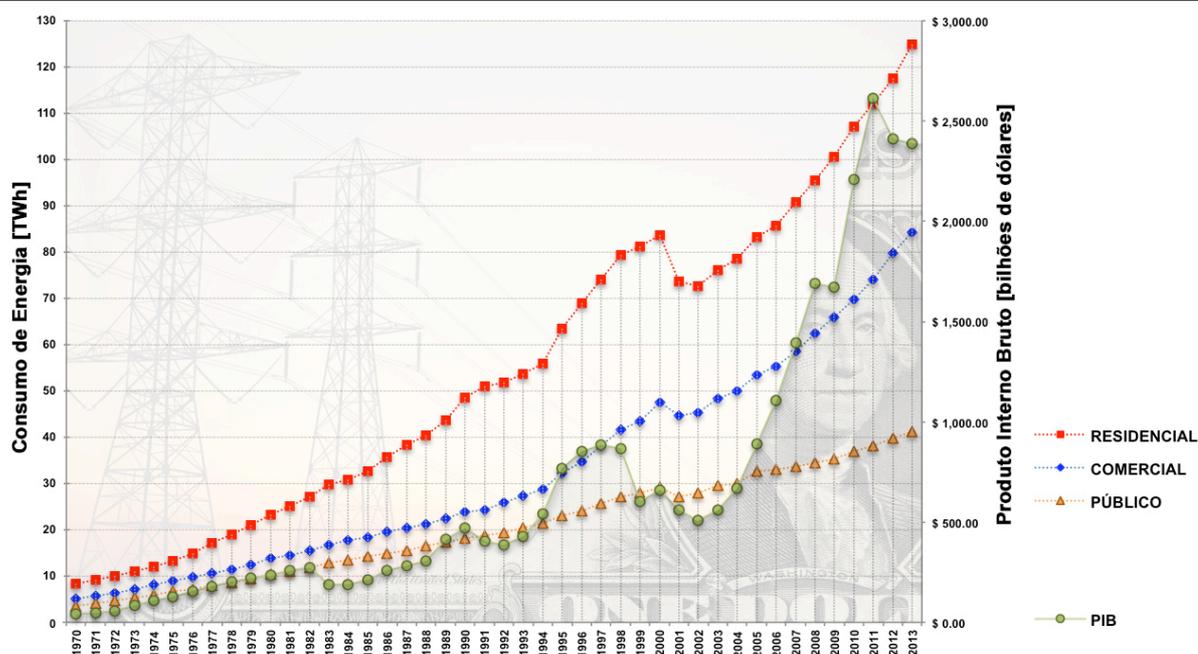
1.3. Problema da Pesquisa

O problema principal deste estudo recai sobre a necessidade de que se saiba, e em que medida, se uma eventual compartimentação do envelope – separando-o em vedação e revestimento – poderá trazer consigo contribuições para a redução no consumo de energia nos ambientes internos. Será que isto seria capaz de diminuir a intensidade de uso de climatização artificial e ampliar a sensação de conforto dos usuários em prédios comerciais no país? A discussão deste problema

6 ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

mostra-se atual e relevante, pois o consumo de energia elétrica por parte das edificações (para todos os usos) apresenta um crescimento contínuo e com índices tendendo a um descolamento ascendente quando comparados aos do Produto Interno Bruto (PIB) nas duas últimas décadas, conforme apresentado na **Fig.2** a seguir.

Figura 2 – Consumo de energia elétrica no Brasil, período de 1970 a 2013



Fonte: Pelo autor, com dados do EPE, 2013 e Banco Central Brasileiro, 2013

É inevitável que se entenda a importância do setor da construção no mundo, movido pelo crescimento populacional e a acelerada urbanização advinda desde a segunda metade do século XX. Segundo Betts e Farrell (2009 *apud* UNEP, 2011) este setor movimenta 7,5 trilhões de dólares por ano, ou aproximadamente dez por cento do PIB mundial, enquanto emprega formalmente mais de 110 milhões de pessoas. Acredita-se que em âmbito global, outra igual quantidade de trabalhadores participe informalmente deste mercado de acordo com dados apresentados por Paredes Gil *et al* (2007, *apud* COMARU e WERNA, 2013).

Considerando-se o estoque de prédios construídos e projetados existentes no mundo, os principais desafios energéticos e ambientais que se apresentam ao setor da construção estão centrados na diminuição do consumo de energia e na diminuição de suas taxas de emissões de CO₂. Quanto às questões energéticas, elas dizem respeito não só a sua operação, mas também a demanda para construção, e o uso da energia incorporada nos materiais empregados. Aproximadamente 60% da eletricidade consumida no mundo está nas edificações

residenciais e comerciais, com variações decorrentes da localização geográfica, clima ou padrões de consumo das populações (UNEP, 2013). Quanto as emissões de gases do efeito estufa, o mesmo relatório da UNEP (32013) apresenta as edificações como responsáveis por aproximadamente um terço das emissões feitas, o que fazem delas o maior "contribuinte" individual em termos globais.

Novas tecnologias ou elementos construtivos que possam colaborar com a diminuição destes índices serão muito bem vindas quando se mira o horizonte projetado pelo IPCC para o ano de 2030. Os relatórios do Painel Intergovernamental apontam para os países da América Latina um incremento esperado nas emissões de dióxido de carbono de 8,4 para 15,6GtCO₂⁷ (pior cenário), ou de 8,4 para 11,4 GtCO₂ (melhor cenário).

1.4. Objetivos da Pesquisa

Segundo Baruti (2009), a condição atual da grande maioria dos edifícios em regiões tropicais não aborda a questão da eficiência energética, aumentando a demanda de energia em edifícios pelo incremento no uso de sistemas de condicionamento artificial. Este fato é comprovado localmente, bastando para tal um olhar transversal em cada novo balanço energético publicado pela EPE na última década, onde as edificações tem ampliado sua participação ano após ano no consumo de energia apurado no país.

Desta forma, o objetivo principal deste estudo é explorar a **viabilidade termoenergética do emprego de um sistema de fachada ventilada opaca**, orientado às edificações comerciais. Um conhecimento maior sobre o comportamento de edificações com um sistema de fachadas ventiladas em cada ZBB poderá impulsionar novas pesquisas e abordagens distintas sobre este tema, incluindo a forma como a ventilação da câmara de ar interna possa ser empregada (conforme os condicionantes tipológicos expressos mais adiante, no **item 2.5**). Isto permitiria o incremento na aplicação por parte de empreendedores que pretendessem oferecer uma solução de menor impacto ambiental e financeiro que aquelas tradicionalmente utilizadas.

7 GtCO₂ é Giga tonelada de dióxido de carbono.

Adicionalmente, a pesquisa busca, ao definir-se um modelo exploratório para simulação, **confrontar as características climáticas** brasileiras com as **possibilidades de envoltórios com melhor resposta global** que aquelas relacionadas na NBR 15.220 – Parte 3, Anexo D, Tab. D.3, dentro do mercado da construção civil.

Para que este estudo seja possível, necessita-se definir um modelo exploratório que possa ser adotado em todas as zonas bioclimáticas brasileiras. Ou seja, para as mesmas condições internas de uso e ocupação, os materiais e componentes do envoltório projetada sofrerão ajustes (nos modelos-base e proposto) de acordo com a realidade local na ZBB em que se deseja comparar seus desempenhos. Com isto, busca-se o **entendimento dos melhores comportamento e operabilidade** proporcionados pelo envoltório mecanizado proposto **frente às distintas características climáticas** do território brasileiro, atuando com um dinamismo que permita, em relação àquelas que são estanques e tem uso corrente na construção civil, uma otimização no desempenho.

Assim como a função termorreguladora desempenhada pelos poros de nossa pele, que se dilatam ou contraem conforme a necessidade, o invólucro do prédio-base com o sistema proposto obedecerá uma programação que lhe permita **regular a quantidade e vazão do ar na cavidade interposta** entre o revestimento externo e a vedação interna. Acredita-se que esta regulação mecânica entre o aberto e fechado seja tão ou mais importante que os componentes materiais do sistema proposto para a avaliação e comparação com outra edificação equivalente com o envoltório tradicional de blocos de concreto e argamassa de revestimento (interna e externa).

Visando compreender algumas das questões físicas que envolvem o atendimento ao objetivo principal supra mencionado, pretende-se visualizar o **comportamento das temperaturas em algumas das superfícies verticais dos modelos**. Na comparação do sistema proposto com a vedação tradicional, mesmo que de forma amostral, deseja-se aferir se, e de que forma, a radiação solar incidente nas fachadas e as cargas internas afetam a massa de ar na cavidade intersticial.

Adicionalmente, outra análise a ser feita é a relação entre o total de horas em desconforto (ou por frio, ou por calor) e a **previsão de consumo deste prédio-**

base nas diferentes regiões do país, verificando o custo energético por metro quadrado em cada uma delas.

1.5. Resumo do Capítulo

Uma introdução ao tema estudado foi o ponto inicial deste trabalho, destacando a relevância do projeto de pesquisa no âmbito do programa de Pós-Graduação da instituição, bem como sua adequação e conveniência na área da Qualidade e Tecnologia do Ambiente Construído. Partindo-se de um panorama nacional sobre as oportunidades decorrentes deste momento de introdução de novas normas e regulamentos, procurou-se o recorte que aproximasse um ideal de construções mais sustentáveis com o aporte de dados de aferição teóricos.

Por meio de correlações históricas oriundas desde os anos 70 até o limiar da segunda década deste século, buscou-se um embasamento que servisse como definição do problema de pesquisa. A ideia de que prédios devam ser mais "montados" que "construídos" calcou o objetivo principal de buscar referenciais e exemplos de que seja possível a diminuição dos estoques construtivos através de edificações mais econômicas e eficientes, que gerem menor desperdício de matérias-primas, menores custos operacionais e, principalmente, maior conforto aos usuários sem o uso intenso de climatização artificial.

Assim, a definição do objetivo principal deste estudo concentra-se na discussão da viabilidade termoenergética do emprego de um sistema de fachada ventilada opaca, orientado às edificações comerciais. Secundariamente, foi exposta a intenção de definir um modelo exploratório para simulação, a confrontação das características bioclimáticas brasileiras com uma edificação padrão replicada em todo país, e o entendimento de um envoltório com a função termorreguladora como princípio de mecanização da fachada. Com isto, busca-se a relação entre graus-hora e previsão de consumo de energia para este prédio-base nas diferentes regiões do país como variável para a atribuição de valor entre as construções.

2. Revisão de Literatura

Este trabalho partirá da descrição conceitual de fachadas ventiladas oriundas de diferentes fontes que trataram o assunto previamente. Embora o tema não seja exatamente uma novidade, a indicação e uso deste sistema em projetos ao redor do mundo tem crescido consideravelmente a partir dos meados da década de 90. Suas diferentes intenções de uso, escolha de materiais e resultados obtidos propiciam uma boa base para avaliação do desempenho desta tecnologia em diferentes situações de uso e clima variados, bem como estendem a discussão sobre sua aplicabilidade em nosso país.

2.1. Antecedentes Históricos

De acordo com Saelens (2002), a primeira menção sobre fachadas de dupla pele é feita por Jean-Baptiste Jobard em 1849. Na época, como diretor do Museu Industrial em Brussels (BEL), ele descreve uma versão primária de uma fachada com múltiplas camadas e ventilada mecanicamente, mencionando que no inverno o ar quente poderia circular entre dois panos de vidro, enquanto que no verão seria um ar frio. Por sua vez, Bredsdorff (2007 *apud* KALYANOVA, 2008), relata que antes da citação feita por Jobard, ainda em 1762 foram projetadas esquadrias com vidros duplos para o Palácio de Inverno em Sankt-Petersburg (RUS) com a intenção de condicionamento do ar.

O primeiro exemplar assinalado como uma dupla pele (envidraçada) é o da "fábrica de bichinhos de pelúcia" *Steiff Firma* (**Fig. 3A e 3B**), em Giengen an der Brenz na Alemanha. Datado de 1903, o prédio feito com blocos de vidro da empresa mundialmente conhecida por fabricar o "ursinho Ted", não tem um projetista

registrado, mas supõe-se que a autoria seja de um sobrinho da fundadora da empresa – Richard Steiff. Ele esteve na Inglaterra em 1897, sendo capaz de estudar o Crystal Palace (1851-1936) e replicar os conceitos de uma edificação concebida em ferro e vidro. O projeto de três pavimentos foi tão bem aceito que resultou em outras duas construções, em 1904 e 1908.

Figura 3 – *Steiff Factory* – 1903, no início desta segunda década (imagem A) e Detalhe da seção vertical da fachada de dupla pele (imagem B) com respectiva legenda



Fonte: Próprio autor, 2014

A independência entre estrutura e fachada já fora apresentada por Otto Wagner ainda antes do final do século XIX com o projeto da *Majolikahaus* (Fig. 4A) em Viena (1898). E a ideia está inerente nas proposições do uso do concreto armado por August Perret nos primeiros anos do século XX, a partir do projeto da *Garage Ponthieu* (1905), na Fig. 4C.

Figura 4 – *Majolikahaus* de Otto Wagner (imagem A), Detalhe da capa do álbum *Indelibly Stamped* do Supertramp – 1971 (imagem B), *Garage Ponthieu Automobiles* de August Perret – 1906 (imagem C) e *Iglesia San Juan de Ávila* de Eládio Dieste – 1996 (imagem D)



Fonte: Montagem com as imagens A – MODERNE STÄDTEBILDER IV, 2001; B – SUPERTRAMP, 1971; C – GUILLEMOT, sem ano; D – PAGLIANO, 2010

Entretanto, ambos ainda estavam arraigados ao padrão vigente na época, onde o formalismo clássico dominava. Tanto que Adolf Loos sarcasticamente referiu-se ao projeto de Wagner como “arquitetura tatuada” (GÖSSEL e LEUTHÄUSER,

2001), desmerecendo a meritória proposta construtiva do colega para ater-se à escolha do padrão estampado de sua fachada, como quem julgasse um álbum pela capa (**Fig. 4B**). A obra de Perret apresentava uma composição de fachada que pouco informação trazia em relação ao seu uso (onde forma não segue a função), estando fortemente vinculada ao desenho das igrejas cristãs ainda hoje utilizado. Isto é o que sugere o exemplo da obra de Eládio Dieste, conforme ordenado na composição da **Fig. 4D** anterior.

Esta independentização somente alcançou outro nível a partir da apresentação do modelo estrutural Dom-Ino (**Fig. 5**) de Le Corbusier, que alinhava esta ideia com um discurso descolado da tradição da época. O *skeleton* contrapunha-se ao tradicional porque tirava proveito do fato de que as paredes não tinham mais a dupla função de envelopar e sustentar a edificação. Foi este conceito que permitiu às construções serem pensadas com materiais mais leves, maior transparência e linearidade visual, com o conseqüente aumento da conexão entre os ambientes interno e externo.

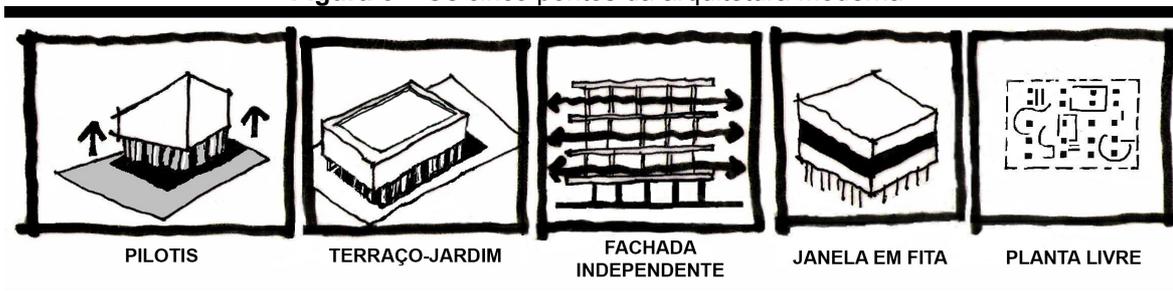
Figura 5 – Le Corbusier e o modelo estrutural Dom Ino



Fonte: LIFE MAGAZINE, 1965

De uma forma geral, a ideia de "envelope", ou envoltório – recorrente hoje em dia, advém dos cinco pontos para a arquitetura (resumidas na **Fig. 6**) propostas por Le Corbusier como premissas do movimento moderno. São estes aspectos que transportam a arquitetura com traços arraigadamente culturais, historicistas e nacionalistas em vigência na passagem do século XIX para o XX, para um ambiente carregado por um novo espírito e caracterizado por soluções tecnológicas que não estariam mais vinculadas a apenas uma nação, um momento ou a um determinado lugar.

Figura 6 – Os cinco pontos da arquitetura moderna



Fonte: Adaptado de MAXWELL, 2012

A revisão bibliográfica prévia aqui apresentada demonstra que há muito material versando sobre a ideia da câmara de ar consorciada com a cortina de vidro duplada. A sobreposição de uma segunda pele (externa ou interna) busca corrigir os problemas oriundos do fechamento em formato de "cristaleira", internacionalmente disseminados no período posterior à segunda guerra mundial, pela consolidação da "megaempresa" de Skidmore, Owings & Merrill (SOM) e pela migração de expoentes como Ludwig Mies van der Rohe e Walter Gropius para os Estados Unidos.

Figura 7 – *Lever House*, de SOM e Gordon Bunshaft – 1952 (imagem A) e *Seagram Building*, de Ludwig Mies van der Rohe e Philip Johnson – 1958 (imagem B)



Fonte: Montagem com A – GMPicket, 2008 e B – DORRONSORO, 2009

Nas **Fig. 7A** e **7B**, estão sintetizados os ideais da escola bauhausiana, através de dois prédios monumentais e icônicos do minimalismo racional – totalmente orientados pela função. O mantra "menos é mais" entoado por Mies durante sua estada na América do Norte atravessou novamente o Atlântico, e reencontrou-se com seu solo sagrado na Alemanha, de onde partiu a disseminação pelo continente europeu.

A imposição do *International Style* como simbologia de status e poder perdurou até os anos 70, quando ocorre um renascimento tecnológico da engenharia. Ali a estrutura passou a representar um novo papel (**Fig. 8A a 8C**), conforme os exemplos:

- *Hi-Tech Architecture* de Renzo Piano e Richard Rogers com o Centro George Pompidou em Paris;
- *Follies* desconstrutivistas de Bernard Tschumi, com exemplares espalhados em disposição matricial pelo maior parque urbano de Paris (La Villette), construído para as comemorações do bi-centenário da Revolução Francesa;
- As esculturais obras de Santiago Calatrava, como a Ponte sobre Alamillo, inaugurada para a Exposição Mundial de 1992 em Sevilla e cujo modelo de vão estaiado serviu como inspiração para dezenas de outras pontes desde então.

Figura 8 – *Follie de La Villette*, de Bernard Tschumi – 1987 (imagem A), *Centre George Pompidou*, de Renzo Piano e Richard Rodgers – 1977 (imagem B), e *Puente del Alamillo*, de Santiago Calatrava – 1992 (imagem C)



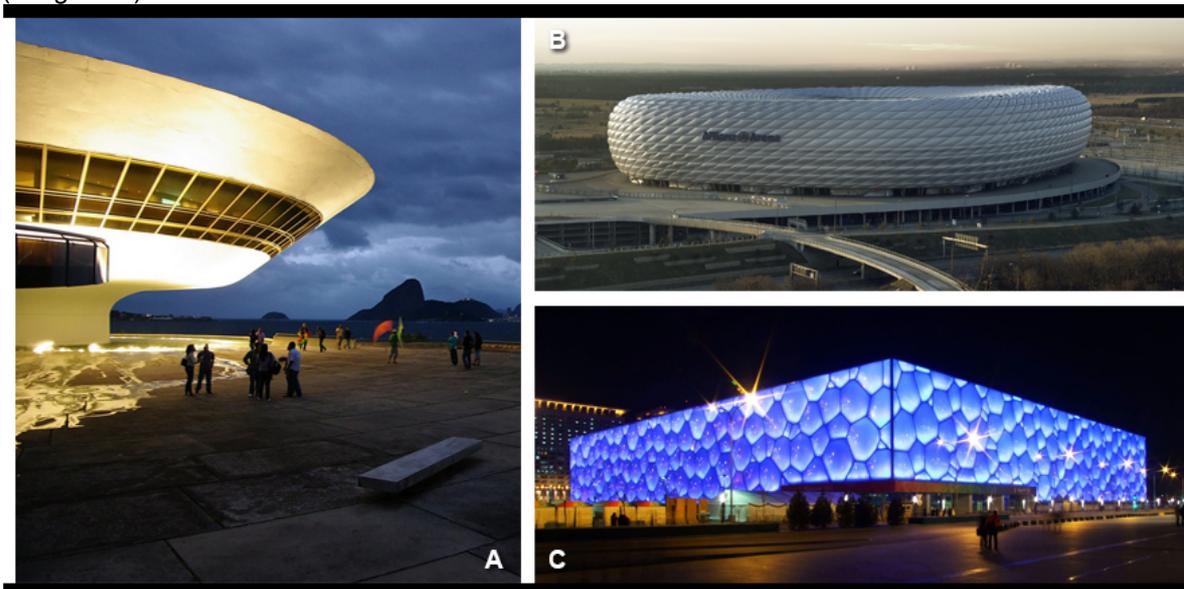
Fonte: Montagem com A – GREENE, 2007, B – STRINGER, 2006 e C – CAULFIELD, 2002

Novas tecnologias e o desenvolvimento de produtos para um mercado consumidor globalizado, fizeram da virada do milênio e da primeira década deste século um campo fértil para provocações, experimentações e consolidações nos campos da arquitetura e engenharia.

A provocação está exemplificada na **Fig. 9A**, através da proposta edificada de Oscar Niemeyer para o Museu de Arte Contemporânea – MAC em Niterói no ano de 1996, onde o arquiteto inverte a lógica de olhar-se para dentro em um espaço de exposições. Ali, o fechamento transparente das galerias (no lugar natural do opaco) propõe uma dupla inversão ao espectador: primeiro que ele olhe para fora onde comumente se olharia apenas para dentro, e segundo que descubra que o acervo mais valioso do prédio é a visão aberta e oposta da Baía da Guanabara.

No campo das experimentações, pode-se citar o emprego do polímero etileno tetrafluoretileno (ETFE) como material de revestimento com múltiplas propriedades, encontrado no Estádio Municipal Allianz Arena de Herzog & de Meuron, em München, para a Copa do Mundo da Alemanha em 2006 (**Fig. 9B**), ou na caixa poligonal regular conhecida como o Cubo D'Água, da PTW Architects com a ARUP para a Olimpíada de Beijing na China em 2008 (**Fig. 9C**).

Figura 9 – Museu de Arte Contemporânea, de Oscar Niemeyer – 1996 (imagem A), *Allianz Arena*, de Herzog & Meuron – 2005 (imagem B), e Cubo D'Água, de PTW Architects para a ARUP – 2008 (imagem C)

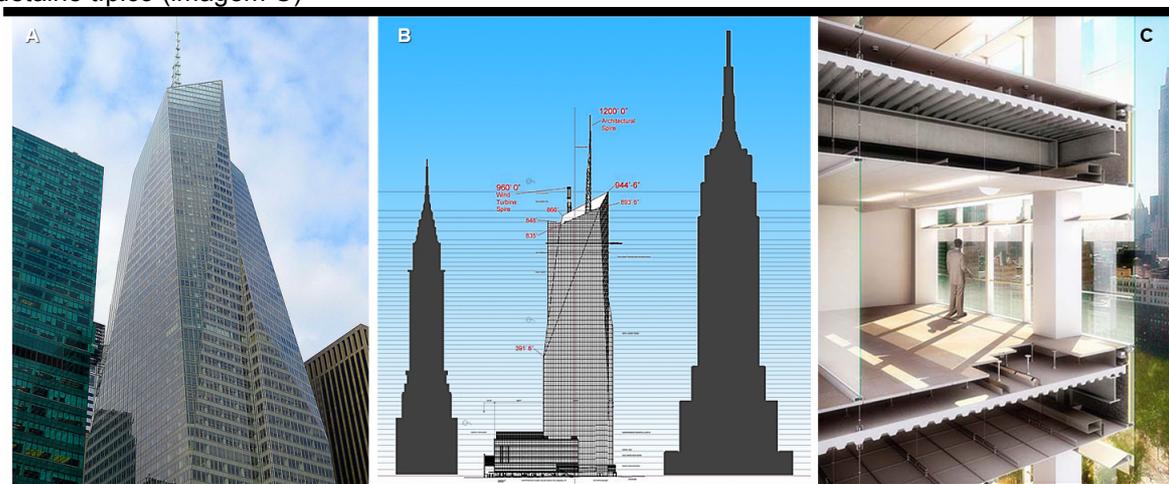


Fonte: Montagem com A – JOFILI, 2010, B – BARTZ, 2006 e C – FONG, 2008

E sobretudo, a consolidação da sustentabilidade como preceito projetual, onde o desenvolvimento de edificações seguindo metodologias com baixo impacto ambiental tem resultado em obras melhor conectadas e inseridas em seu contexto urbano. Elas são mais eficientes quanto ao uso de água e consumo de energia, mais responsáveis quanto aos materiais empregados e os reflexos que estas escolhas causam, o que tende a proporcionar maior bem-estar e conforto aos seus usuários.

Estes são os casos do *Bank of America Tower – Bryant Park*, projeto do escritório Cook+Fox Architects certificado pela ferramenta *LEED*[®] em nível platina em 2008, em New York (**Fig. 10A a 10C**), ou o *Australia – Siège Social d'ETDE*, projeto de Hubert Godet para a *Bouygues Bâtiment* certificado pelo processo *HQE*⁸ em 2011, em Montigny-le-Bretonneux (**Fig. 11A e 11B**), ou ainda o *One Angel Square*, projeto do escritório 3DReid para a sede corporativa da *Co-operative Group*, certificado com um índice de 95,32% no *BREEAM*⁹ em 2013, em Manchester (**Fig. 12A e 12B**).

Figura 10 – *Bank of America*, visão geral (imagem A), Comparativo de altura deste com outros dois ícones da arquitetura de New York – o *Chrysler Building* e *Empire State Building* (imagem B), e detalhe típico (imagem C)



Fonte: Montagem com A – WISNIEWSKI, 2013; B – NEW YORK CITY ARCHITECTURE, 2010; C – COOK+FOX, 2008

Figura 11 – *One Angel Square* (imagem A) e Vista aproximada da fachada (imagem B)

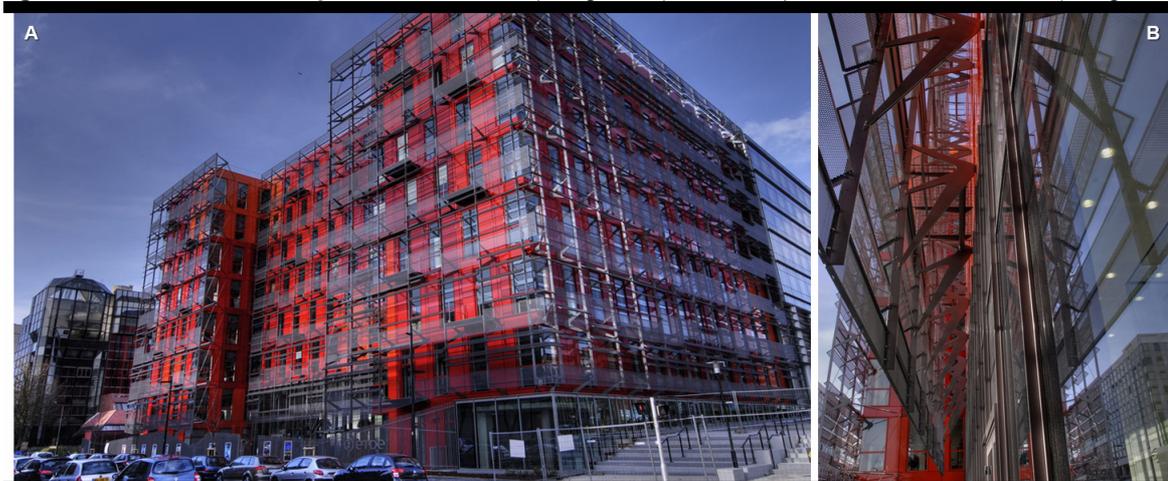


Fonte: Montagem com A – THE CO-OPERATIVE, 2013 e B – NIĆ-PAWEŁEK, 2013

8 *HQE* – *Haute Qualité Environnementale* (Alta Qualidade Ambiental), adaptada aos parâmetros brasileiros pela Fundação Vanzolini.

9 *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology* (Metodologia de Avaliação Ambiental da Instituição de Pesquisas da Construção).

Figura 12 – Australia – *Siège Social d'ETDE* (imagem A) e Vista aproximada da fachada (imagem B)



Fonte: Montagem A e B – BEDROSSIAN, 2011

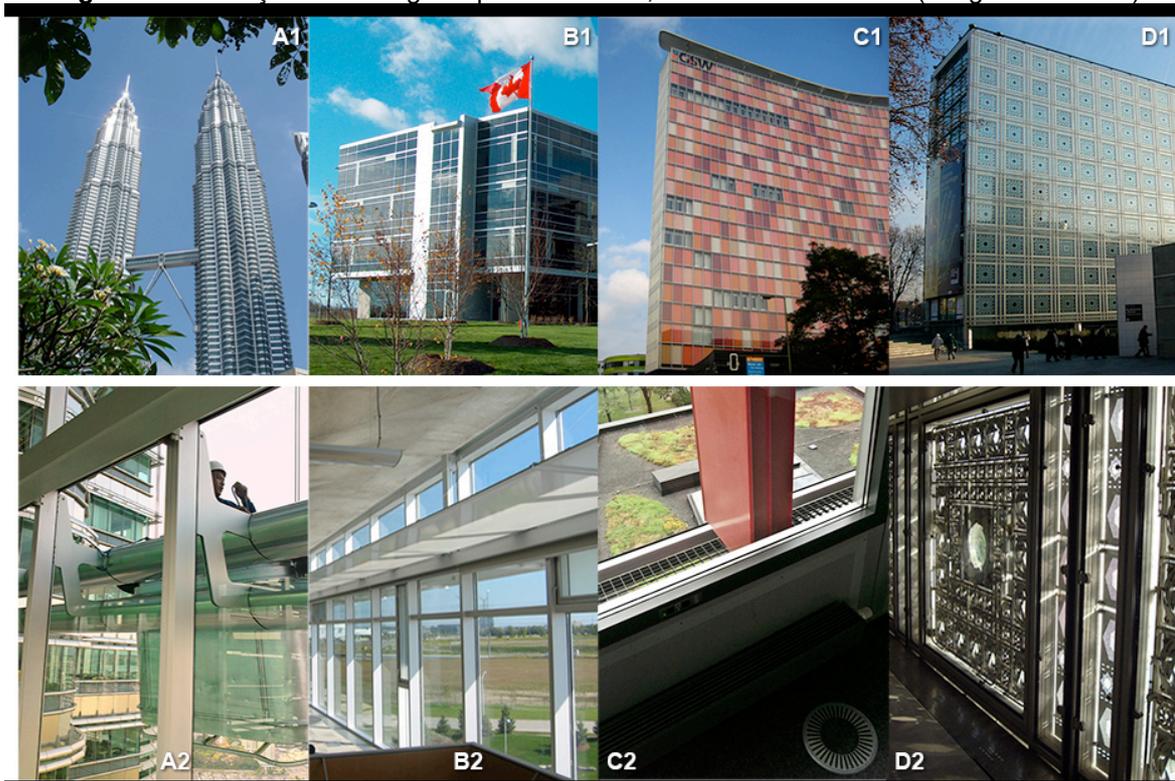
De comum nestes projetos de excelência, a presença de envoltórios ventiladas contribuindo para que, na operação destas edificações, ocorra o cumprimento dos pontos referentes a um maior grau de eficiência energética. Isso quando comparado aos parâmetros estabelecidos pelo *Energy Star Rating System* (EUA), o selo *Bâtiment Basse Consommation Énergétique* (FRA), e o *National Home Energy Rating* (GRB), respectivamente.

2.2. Soluções Tecnológicas para Prédios Comerciais

A consideração da importância do envelope da edificação não está apenas no carácter estético que este representa para a edificação. Dependendo do tipo de material e das características da construção, ele representa entre seis e vinte por cento do custo da edificação (MEDEIROS, 2012). Entretanto, o custo real da escolha do tipo de invólucro da edificação tem este valor multiplicado pelos custos de operação e manutenção advindos da decisão tomada nas fases de concepção e projeto, pois estendem-se ao longo da vida útil da edificação.

Segundo exposto e exemplificado por Lee *et al.* (2002), em pesquisa sobre fachadas de prédios comerciais propostos para atuarem com alto desempenho energético, as soluções tecnológicas dividem-se entre fachadas de controle solar (**Fig. 13A**), fachadas com iluminação natural (**Fig. 13B**), fachadas de dupla pele e ventilação natural (**Fig. 13C**) e sistemas de fachadas ativas (**Fig. 13D**).

Figura 13 – Soluções tecnológicas para fachadas, com Petronas Tower (imagens A1 a D2)



Fonte: Montagem pareada com A1 – FENTON, 2007; A2 – BYRNE, 2009; B1 e B2 – LEUNG, 2007; C1 – ALPEROVICH, 2012; C2 – NEMESKERI, 2011; D1 – HYDE, 2003; D2 – MACINTOSH, 2007

Note-se que o foco de interesse nestes projetos concentra-se no desempenho proporcionado pela combinação de fachadas compostas por um plano vertical de vidro em contato com o meio externo e um corredor de ar internalizado, aos quais é acrescido um outro plano vertical de vidro como suporte de sistemas de climatização artificial para o meio interno destas edificações. Este conjunto de prédios funciona como síntese para os modelos mais convencionais de fachadas ventiladas existentes no mundo.

A revisão sobre envoltórios de edificações adaptadas ao clima feita por Loonen *et al.* (2013) apresenta uma mesma designação conceitual para diversas variações sobre o termo adaptativo quando aplicado às edificações. Assim, em oposição às propriedades tipicamente estáticas dos envelopes tradicionais, que não são capazes de responder da melhor forma às mudanças climatológicas que ocorrem ao longo do dia, das estações ou do ano, surge a expressão *climate adaptive building shells (CABS)*. Este acrônimo engloba as denominações para fachadas ativas, avançadas, dinâmicas, inteligentes, interativas, cinéticas, ajustáveis, inteligentes, espertas, cambiáveis, etc, as quais tem a habilidade de

alterar de forma reversível e repetida algumas de suas funções, características ou comportamento.

O elemento fundamental para uma operação bem sucedida com estas fachadas reside na forma de controle efetivo da mutabilidade do envelope, dividido em dois tipos básicos:

- a) **Controle intrínseco**, onde a capacidade de adaptação do envoltório é uma característica inerente a ela, e onde os auto-ajustes são sensíveis aos estímulos advindos do meio externo, como temperatura, umidade, velocidade e direção do vento, presença ou ausência da radiação solar, índices de UVA e UVB, ou níveis de CO₂. Um exemplo seriam os PCM¹⁰, materiais que mudam de fase em função de um determinado tipo de estímulo, alterando assim suas condições internas e propriedades naturais.
- b) **Controle extrínseco**, cuja principal vantagem está na possibilidade de tirar proveito do retorno das informações (*feedback*) sobre o efeito de suas configurações/ações, que podem ser comparadas com um estado constante desejável (*setpoint*) e ajustadas de forma ativa (automática ou manual). Sua estrutura baseia-se no conjunto sensor, processador, atuador.

Ao acreditar-se que o horizonte que se avizinha na indústria da construção trará uma perspectiva com muito maior embasamento tecnológico do que a realidade atual apresenta, este trabalho buscará fazer uso da mecanização na operabilidade da abertura ou fechamento da câmara de ar do sistema de fachada ventilada. Esta simples ação, vinculada a uma programação pré-estabelecida que compare a temperatura do ambiente interno com a temperatura da face exposta do revestimento, poderá otimizar os resultados de conforto dos usuários e o menor dispêndio de energia da edificação como um todo, quando comparada a um envelope estático.

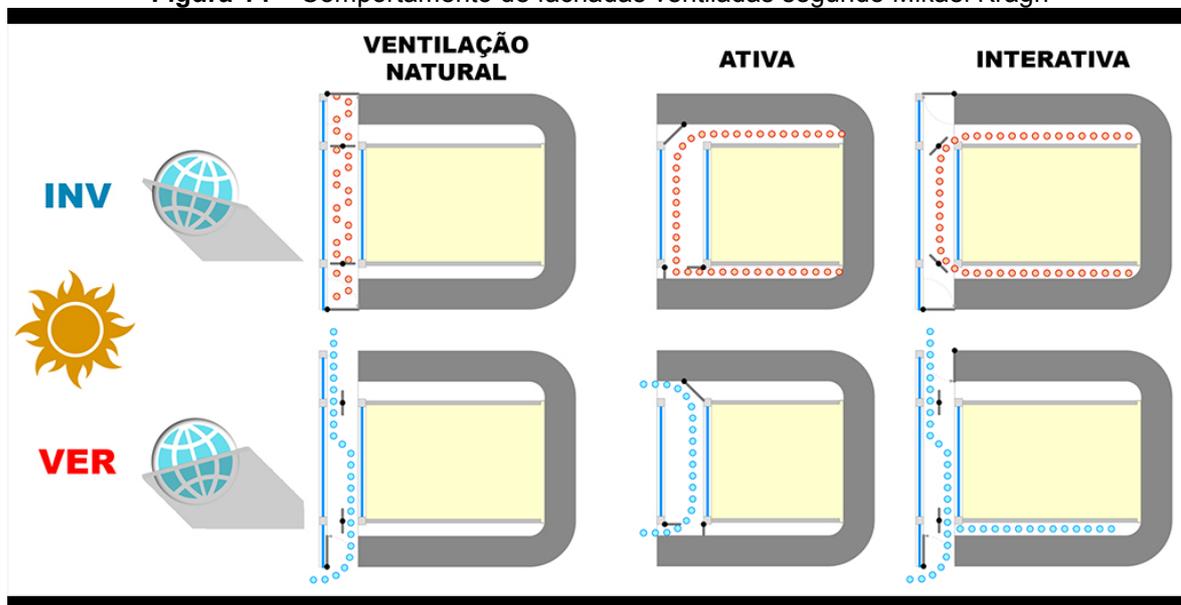
2.3. Fachadas de Dupla Pele

Os esforços para este trabalho centram-se na apresentação e comportamento independentes dos elementos de vedação e revestimento da membrana da edificação. De acordo com Kragh (2000 *apud* POIRAZIS, 2006), as

¹⁰ PCM – Sigla em inglês para *phase-change material*.

fachadas ventiladas, ou de dupla pele, podem ser categorizadas de acordo com a função da câmara de ar (tipo de ventilação) em três tipos: naturalmente ventiladas, ativas e interativas (**Fig.14**).

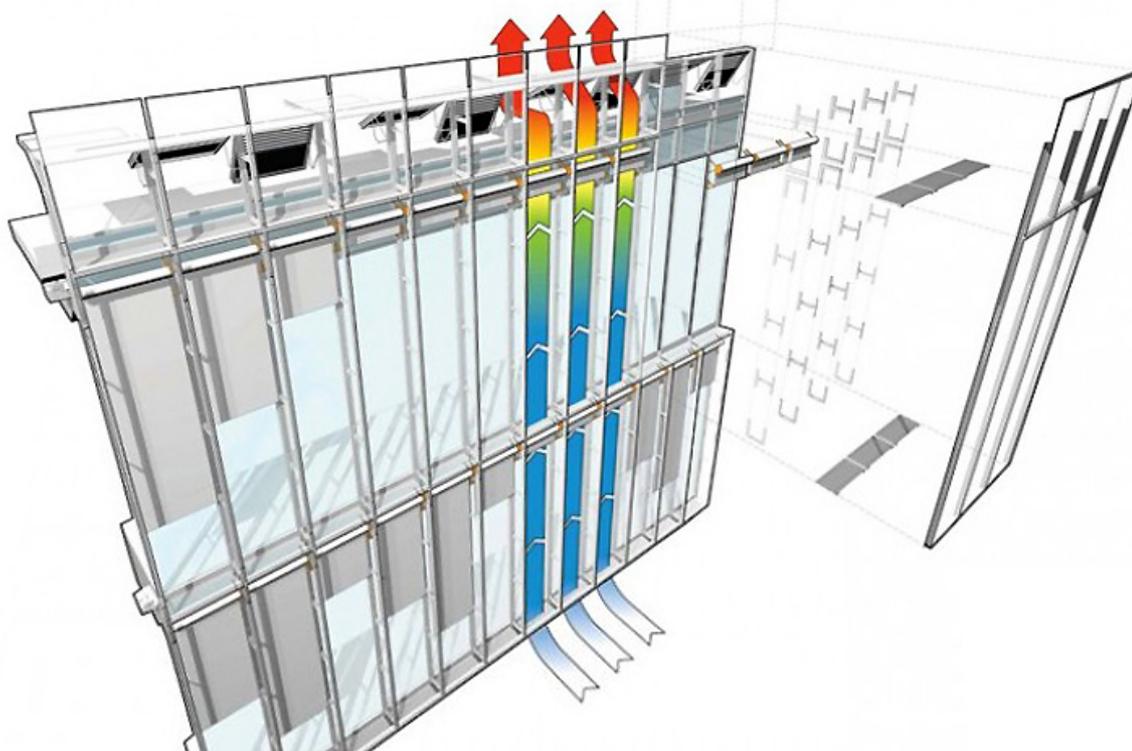
Figura 14 – Comportamento de fachadas ventiladas segundo Mikael Kragh



Fonte: Pelo autor, 2016

As naturalmente ventiladas são as que possuem uma pele externa, ampliando o isolamento térmico em períodos sem radiação solar, ou diminuindo os ganhos térmicos pelo calor nos períodos com radiação solar, trabalhando sempre com a fluabilidade e convecção do ar – uma solução que lembraria uma redoma em volta da cristaleira (**Fig. 15**). As paredes ativas são aquelas adicionadas internamente nas edificações, e que permitem que o ar interno circule pela cavidade da fachada e volte ao sistema de ventilação – pavimento por pavimento. Estas paredes, em períodos mais quentes, absorvem a energia solar que se acumula nas persianas (que funcionam como um *buffer*), e a removem pela ventilação; em períodos mais frios, esta mesma energia absorvida é recuperada por meio de trocadores de calor. Por fim, as paredes interativas, que trabalham basicamente como as ventiladas naturalmente, tendo a diferença significativa de que fazem uso da ventilação forçada, sendo consideradas ideais para climas quentes em que se faça uso de muita carga para refrigeração. Aparentemente, é a solução mais indicada ao Brasil; no entanto poucos projetos que incluam a ventilação mecanizada são desenvolvidos no país, restando apenas usos mais convencionais para a condução/indução forçada de ar, como coifas e exaustores em sanitários.

Figura 15 – Apresentação esquemática de uma fachada ventilada ativa



Fonte: Adaptado de VAGLIO, 2011

A literatura internacional é farta no relato sobre as fachadas ventiladas compostas de dois planos envidraçados, independentes ou ajustados para atuarem correlacionados, conforme relacionado a seguir.

Arons (2001) define a fachada dupla ventilada como aquela formada por dois elementos planos que permitem que o ar interno ou externo mova-se através do sistema, referindo-se a este como pele gêmea.

Segundo Louncour *et al* (2004), uma fachada dupla ventilada pode ser definida como uma fachada tradicional duplada interna ou externamente por uma outra, essencialmente em vidro. Cada uma destas fachadas é comumente chamada de pele – daí a denominação largamente empregada de "fachada de dupla pele ventilada". Segundo os autores, esta cavidade pode ter uma largura variando de alguns centímetros até alguns metros para que seja acessível.

O trabalho de Loonen *et al* (2013) aponta que nas últimas décadas a concepção de prédios com baixo consumo energético segue em duas direções: tecnologias ativas e estratégias passivas de projeto. Enquanto na primeira situação há um incremento no nível de qualidade no ambiente da construção pela inserção de dispositivos técnicos inovadores, na segunda faz-se uso de recursos que valorizam

a concepção projetual, a volumetria do prédio e o uso de regras que permitam que os recursos naturais disponíveis (radiação solar e o vento, principalmente) diminuam a dependência por recursos energéticos. A mecanização das fachadas das edificações, pode ser uma alternativa híbrida entre estas duas vertentes. Loonen *et al* (2013, p.485) definem as envoltórios de edificações adaptadas ao clima como uma designação tomada de uma enorme quantidade de termos diferentes para um mesmo conceito:

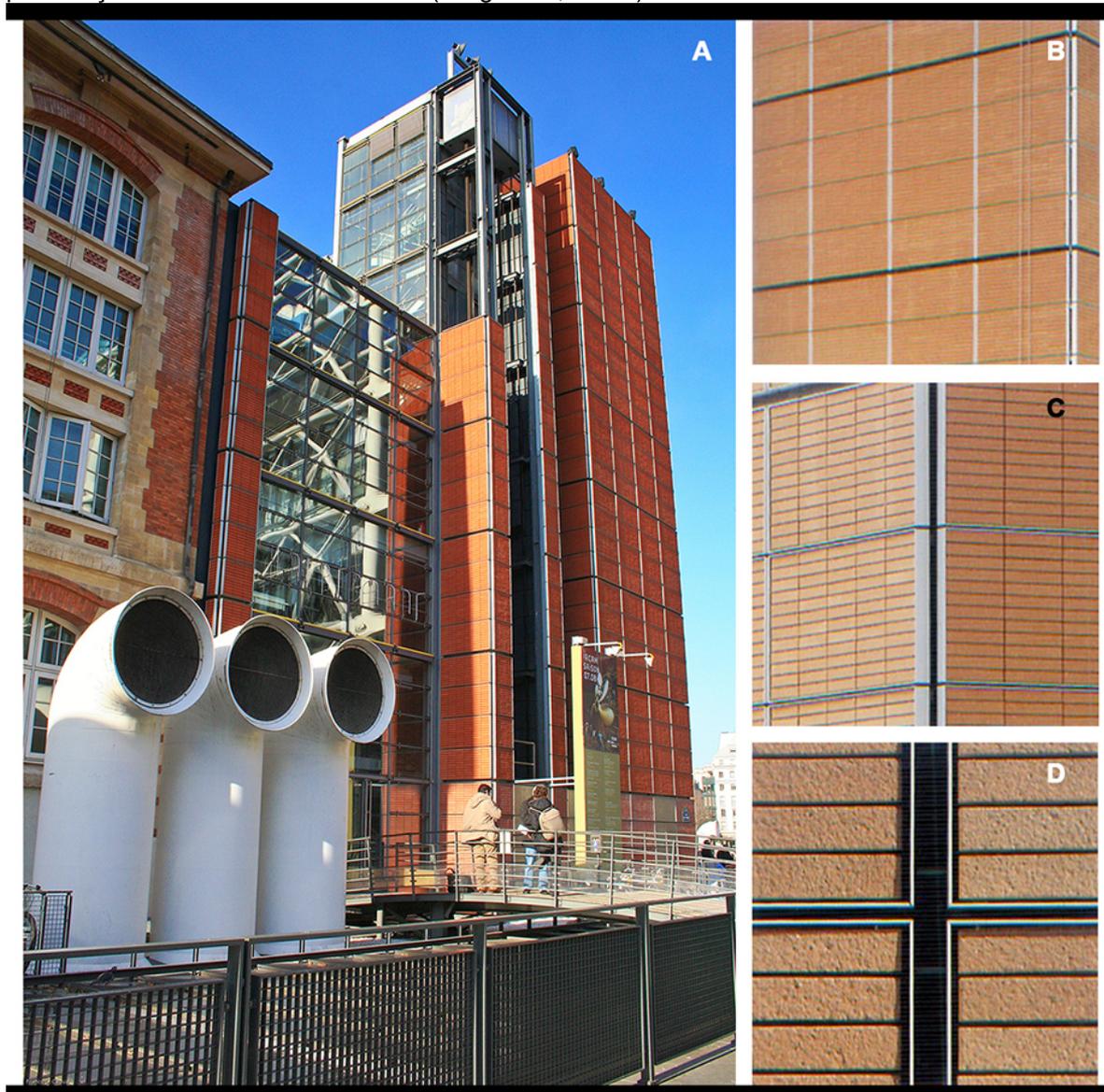
"Um envoltório de edificação adaptada ao clima tem a capacidade de alterar de forma repetida e reversível algumas de suas funções, características ou comportamento em resposta aos requisitos de desempenho e condições-limite variáveis, e faz isso com o objetivo de aprimorar o desempenho da construção."

2.4. Fachadas Ventiladas Opacas

Ainda no final da década de 80, Renzo Piano desenvolve e edifica seu primeiro prédio em contexto urbano por meio de seu então novo escritório de arquitetura, o anticonvencional *Building Workshop*. Com um trabalho comprometido com a experimentação, engajado em todos os aspectos do "fazer arquitetônico" e dentro de um ambiente colaborativo, projetam o *Institute for Research and Coordination of Acoustics and Music – IRCAM* (1988-1989), conforme mostrado nas **Figs. 16 A, B, C e D**.

A torre do complexo é completamente revestida por peças cerâmicas extrudadas, organizadas em painéis pré-fabricados modulares, independentes da vedação interna, e fixados na estrutura. Estas peças demonstram simultaneamente conexão e isolamento. Ao mesmo tempo que promovem a releitura do uso da alvenaria de tijolos no entorno suburbano de Paris onde se localiza (identificando-a com o espírito do lugar), tem um aspecto de massa, de cheio, que reforça a introspecção necessária a sua funcionalidade (ou o seu descolamento dentro do tecido onde foi executado). E é este caráter de prédio ensimesmado que se contrapõe aquele feito com o antigo parceiro Richard Rogers – o visceral *Centre George Pompidou*, com o qual faz frente a algumas dezenas de metros.

Figura 16 – Prédio do IRCAM projetado por Renzo Piano – 1989 em Paris, França (imagem A), e aproximações do revestimento exterior (imagens B, C e D)



Fonte: Montagem com A – CAPUA, 2008 e B, C, D – IRCAM, 1993

Entretanto, esta pesquisa aborda a solução apresentada por Renzo Piano de outra maneira. Ao invés do uso do material e da tecnologia como uma resposta estética e contextual às premissas de projeto e ao local de inserção, aqui tratar-se-á de um sistema (material, tecnologia e solução) como resposta potencial a uma demanda por desempenho. Não se pretende uma resposta específica, como aquela apresentada por ele no exemplo anterior, mas baseada em sua resposta busca-se a discussão sobre o comportamento dela para diversas situações no contexto bioclimático brasileiro. Ou seja, o proposto é a passagem do significado para o significante, conforme explicado por Vitruvius em tradução de Maciel (2007, p.60):

"Na realidade, como em todas as coisas, também na arquitetura, de uma forma especial, se verificam estas duas realidades: o que é significado e o

que significa. O que é significado é a coisa proposta, da qual se fala; o que significa é a evidência baseada na lógica dos conceitos. E, assim, parece que aquele que pretende ser arquiteto deverá se exercitar numa e noutra parte."

Há extensa literatura disponível sobre sistemas arquitetônicos utilizados em prédios sustentáveis demonstrando as vantagens do emprego de convecção natural como característica de eficiência energética (BOIX *et al*, 2008, tradução do autor). Embora por si isso não garanta a facilidade de que se encontrem informações científicas sobre o comportamento térmico dos envelopes cerâmicos ventilados. Isto é corroborado por Marinosci *et al* (2011), afirmando que na análise da literatura existente com destaque para fachadas ventiladas, as do tipo *rainscreen*¹¹ tem recebido menos atenção que outras configurações.

Neste ponto reside o mérito da tese de López (2012), que identifica como inconveniente a tentativa de utilizar-se fachadas ventiladas transparentes em climas quentes, pelo risco natural do aquecimento interno indesejável. Ele propõe que a mesma construção realize-se com duas camadas opacas. A radiação solar incidente é absorvida na superfície externa, reduzindo os riscos de sobreaquecimento da câmara de ar, além de ponderar-se que este sistema poderia empregar materiais com um custo muito menor do que os vidros com maior tecnologia embarcada.

Assim, Boix *et al* (2008) descreve que um envelope de cerâmica ventilada apresenta três setores claramente distintos: um para a captura do calor, outro como o canal de transferência de calor¹², e o último como o setor de estabilização térmica. Nesta ordem, o primeiro setor é concebido com elementos capazes de absorver a radiação imposta, o segundo atua como o duto através do qual o ar aprisionado, alimentado por uma abertura na parte inferior do envelope, eleva-se como resultado da convecção interna, e o terceiro geralmente é constituído por elementos de maior massa térmica (dentro desta composição), separados da função estrutural, e responsáveis por suavizar as flutuações de temperatura que ocorrem durante o dia transmitidas para a face interna do envelope.

De acordo com Rua (2010), para as características climáticas da Espanha, as fachadas ventiladas são compostas por três elementos principais: uma folha de tijolo com furos como uma parede de base, isolamento na parte externa desta

11 Fachada ventilada tipo *rainscreen* é a denominação que define uma parede externa onde o revestimento em formato *sidding* (sobreposição) está descolado da superfície com resistência à umidade e uma barreira de ar é aplicada no envoltório, criando-se uma descontinuidade capilar entre os elementos e permitindo a drenagem e evaporação.

12 Traduzido da sigla em inglês para *HTC – heat transfer channel*.

superfície e um revestimento trans-ventilado (geralmente em cerâmica), ancorado na parede de base por meio de uma subestrutura em alumínio.

Para Silva (2010), a fachada ventilada é um envelope multicamadas que se caracteriza principalmente pela inclusão de uma câmara de ar separada em duas folhas: uma interna que resolve o isolamento térmico e a estanqueidade do ar, outra externa, responsável por moldar a câmara de ar e garantir a ventilação contínua ao longo de toda a superfície.

Por sua vez, Cerdá (2010) explica que a fachada ventilada é a face exterior de um edifício constituído por uma folha externa, cujo peso e suporte é transmitido para um fechamento convencional, ou diretamente para a própria estrutura do prédio. Este sistema permite um isolamento térmico contínuo a ser posicionado junto a parte externa da folha interna, que funciona como um envelope, deixando uma câmara de ar contínua entre este e a folha exterior, proporcionando à construção com o acabamento estético e a proteção.

Na revisão sobre os componentes de envoltório visando a economia de energia em prédios passivos, estabelecida por Sadineni, Madala e Boehm (2011), as fachadas de dupla pele ventilada são aquelas que apresentam um espaço de ar entre duas camadas de alvenaria, com braçadeiras e fixadores metálicos internalizados para sustentar a face externa. Segundo eles, há dois tipos básicos de paredes ventiladas: uma com ventilação forçada através da cavidade interna, e outra com ventilação natural, que faz uso do efeito de empilhamento.

Mais comumente, as paredes ventiladas são usadas para melhorar a refrigeração passiva dos edifícios, segundo prescrito por Ciampi *et al.* (2002) e Griffith (2006), que desenvolveram modelos matemáticos para avaliar o desempenho energético de uma parede com ventilação internalizada. Segundo Saelens e Hens (2003), no inverno é lógico que a adição de uma camada extra no envoltório incrementará a resistência térmica (R_{value}) do sistema, mantendo-se a câmara de ar selada e transformando-a em um elemento de absorção de calor. No verão no entanto, quando não há necessidade de incremento da temperatura interna em relação ao meio externo, a radiação solar absorvida deve ser controlada. Conforme citado por estes últimos, diversos estudos e relatórios apontam a diminuição do valor de Transmitância Térmica (U_{value}) dinâmico ou equivalente do conjunto pela passagem ou extração forçada do ar na câmara interna destas paredes.

Aproximando as questões de modelagem e simulação com a validação de dados a partir de comparação direta com um modelo físico monitorado por instrumentos, Naboni (2007) afirma que a fachada ventilada é um caso especial de fachada onde a face exterior consiste de uma camada descolada ou decalcada da edificação, o que provoca o surgimento de uma cavidade naturalmente ventilada. Como os coeficientes utilizados na simulação experimental tivessem uma carência de maior grau de certeza, ou mesmo os dados de entrada ainda fossem pouco apropriados, foi conduzida a construção de um protótipo em escala real conforme a **Fig. 17 A e B** a seguir.

Assim, o autor pode caracterizar com o experimento de campo os valores apropriados para alimentação do modelo, como as áreas de abertura para ventilação, e os vários tipos de sistemas de coeficientes de descarga. Os dados obtidos com este trabalho alimentaram uma versão alternativa às fachadas ou coberturas com painéis fotovoltaicos desenvolvida por Griffith em 2006 para o programa *EnergyPlus* através do *Lawrence Berkeley National Laboratory*, e a configuração desta geometria construída e monitorada servem de subsídio a quem deseje simular as fachadas ventiladas opacas por meio desta adaptação do *exterior naturally vented cavity (ENCE)*.

Figura 17 – Protótipo com fachada ventilada opaca desenvolvido pela empresa Aderma, em Como, Itália – 2007, com a faces orientadas para o Leste (imagem A) e o Oeste com leve inclinação na parte posterior, enquanto as faces com orientações para o Sul (imagem B) e Norte são planas



Fonte: Montagem com A e B – NABONI, 2007

Os estudos de Soto Francés *et al.* (2013) apresentam um avanço sobre o tema das fachadas ventiladas de fechamento contínuo, em cerâmica ou material metálico. Este grupo de estudos apresenta um modelo matemático que melhora a descrição da resposta térmica de uma fachada ventilada, considerando o balanço energético entre a placa externa (revestimento), o fluxo de ar através do canal ventilado e a superfície externa da parede interna (vedação). Eles citam a existência

de diversas abordagens para a verificação do comportamento da ventilação da câmara de ar, mas abrem mão do método das dinâmicas de fluídos computacionais (tridimensional) para adotar um tratamento mais simples, compatível com o cálculo por passo de tempo (por diferenças finitas – bidimensional) do motor de simulação do *EnergyPlus*.

2.5. Condicionantes Tipológicos

Para Lee *et al* (2002), o grau de complexidade e as variações na concepção de fachadas de dupla pele são muito extensas, bem como a necessidade de conhecimentos específicos por parte dos projetistas. Ela e sua equipe citam o caso do estado da Califórnia (EUA), onde duas estratégias de eficiência energética para fachadas de dupla pele são particularmente discutidas: controle solar e ventilação noturna.

A função básica de uma fachada ventilada reside na criação de um amortecimento térmico entre os ambientes interno e externo. A montagem deste "colchão" pode ser feita a partir da combinação de vários elementos, desde que atenda basicamente ao princípio da fachada, ao tipo básico, ao modo de ventilação e ao tipo de fluxo de ar desejado, conforme demonstrado no quadro resumo abaixo (Fig. 18).

Figura 18 – Quadro resumo das tipologias de fachada ventilada

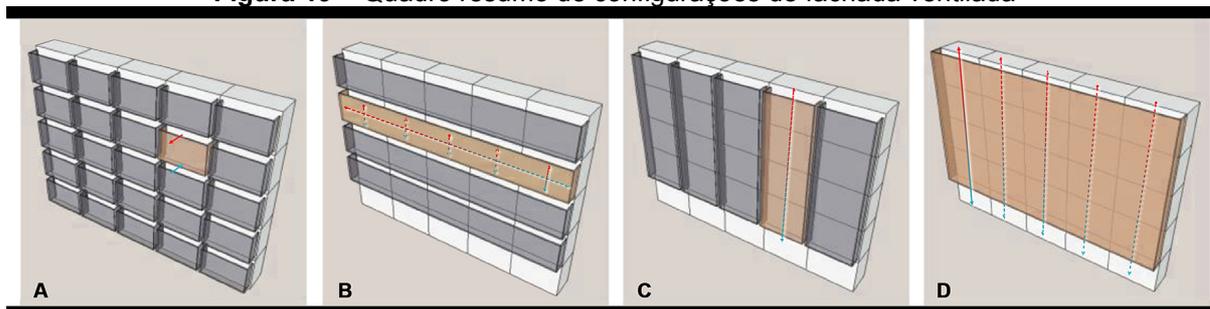
PRINCÍPIO	OPACO		TRANSPARENTE		
TIPO	JANELA EM CAIXA	TIPO CORREDOR	CAIXA SHAFT	MULTI-PAVIMENTOS	
MODO DE VENTILAÇÃO	NATURAL		MECÂNICA		HÍBRIDA
FLUXO DE AR	EXAUSTÃO DE AR	FORNECIMENTO DE AR	COLCHÃO ESTÁTICO	CORTINA DE AR EXTERNA	CORTINA DE AR INTERNA

Fonte: Pelo autor, acrescido e adaptado de AKSAMIJA, 2009

Detendo-se nos tipos destacados na figura anterior, segundo Aksamija (2009) encontram-se, conforme a **Fig. 19**:

- a) **Janela em Caixa**, onde a fachada está seccionada por módulos em cada pavimento, e a câmara de ar é fechada horizontal e verticalmente, e preferencialmente empregando a ventilação natural;
- b) **Tipo Corredor**, onde a fachada apresenta um grande vão entre as peles, mas continua dividida por pavimentos, permitindo o uso de quaisquer modos de ventilação;
- c) **Caixa Shaft**, semelhante ao tipo corredor, mas conectado por um duto vertical (*shaft*) para uma maior utilização do efeito de empilhamento, normalmente vinculado para os modos de ventilação natural ou híbrido;
- d) **Multi-Pavimentos**, onde a cavidade de ar encontra-se aberta no topo e na parte inferior, formando grandes volumes abertos que permitem o emprego de todos os três modos de ventilação.

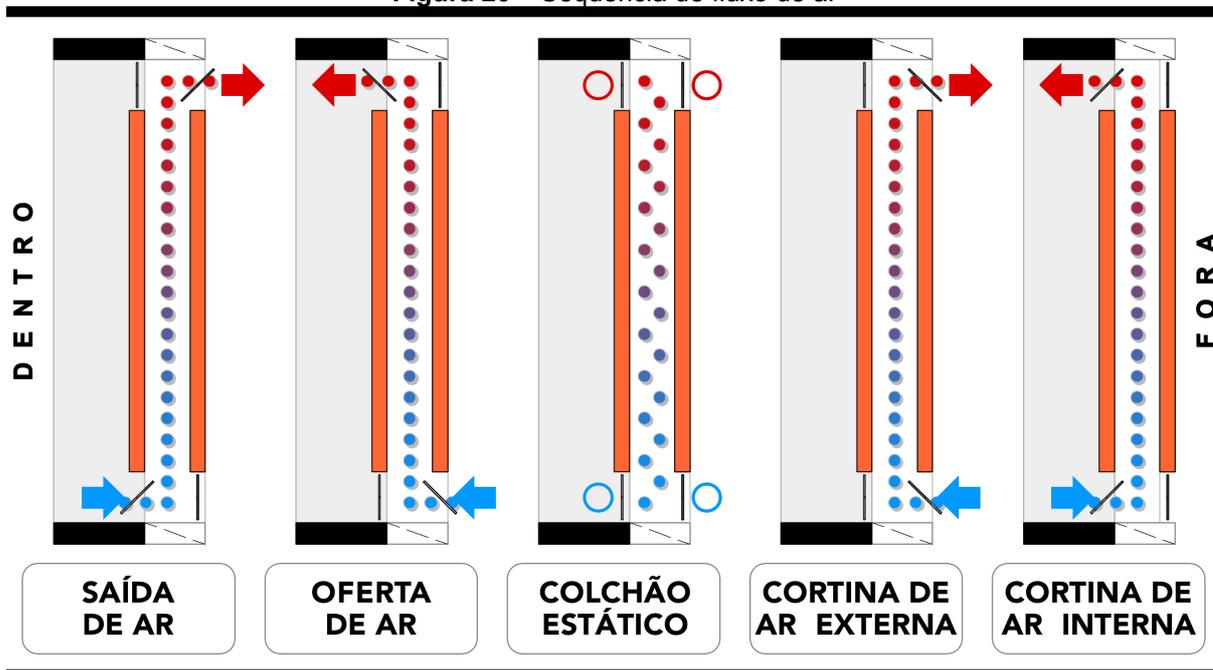
Figura 19 – Quadro resumo de configurações de fachada ventilada



Fonte: Pelo autor, adaptado de BARBOSA e IP, 2014

Quanto à forma como o fluxo de ar possa ser melhor aproveitado através da câmara de ar no sistema de fachada ventilada, tem-se os modelos discriminados na **Fig. 20** a seguir.

Figura 20 – Sequência de fluxo de ar



Fonte: Pelo autor, 2015

Uma vez que os tipos construtivos possam diferir de um lugar para outro, é óbvio que a simples comparação de diferentes fontes literárias nem sempre seja relevante (POIRAZIS, 2004, p.3, tradução do autor). Assim, acredita-se que a comparação das descrições compositivas por si só não constituam a parte mais importante que se pode extrair de exemplares estudados e publicados, mas sim suas inter-relações.

2.6. Gerenciamento da Câmara de Ar

Segundo Solomon (2007 *apud* BARKKUME, 2007) há três formas básicas de gerenciamento do sistema de ventilação híbrida: ativo, bloqueio sazonal, e ocupação informada. O controle ativo usa o *BMS*¹³ para responder automaticamente às condições ambientais. No bloqueio sazonal, Há uma equipe responsável pelo controle que faz alterações, tais como abrir ou fechar as saídas de ar conforme as mudanças das estações no ano, ou quando há preocupação com o conforto acústicos, ajustando para que as esquadrias fiquem seladas nos horários com maiores fontes de ruídos externas. A ocupação informada refere-se a sinais visuais

13 Sigla em inglês para Sistema de Gerenciamento Predial (*Building Management System*), que consiste de um processo de controle instalado na edificação, baseado em computador e aplicativos, permitindo o controle e monitoramento de equipamentos elétricos e mecânicos, como aqueles utilizados para a energia, iluminação, climatização, proteção contra incêndio ou vigilância.

ou alertas que notificam os funcionários para que eles mesmos façam as alterações necessárias.

De acordo com Saelens (2002) em um estudo de um prédio comercial via monitoramento por equipamentos, é possível utilizar o *BMS* para fornecer dados com médias horárias para a intensidade da radiação solar no plano vertical (em W/m^2) e a energia elétrica fornecida para iluminação, os escritórios e circuitos de becape.

Quando comparado aos sistemas mais tradicionais, as fachadas ventiladas podem oferecer uma redução de até 30% no consumo de energia, prover a ventilação natural e reduzir sensivelmente o desconforto provocado pelas fontes externas de ruído (ARONS, 2000, p.3).

2.7. Referenciais Normativos

Existem inúmeros padrões, códigos e normas internacionais que abordam as questões de desempenho da edificação, seja em suas partes específicas, desde escolha de materiais, processos ou segurança, até a consideração dela como um conjunto completo de requisitos com uma necessidade mínima de funcionamento. Desta forma, é apresentada a seguir (**Tab. 1 e Tab. 1 – continuação**) uma matriz básica de *standards* estabelecidos pelo governo americano através do *EISA*¹⁴ que devem ser observados quando cruzam-se os requisitos do envoltório da edificação (em prédios comerciais), e o conjunto de atributos segurança, proteção, conservação de energia, meio ambiente e durabilidade.

¹⁴ *EISA – Energy Independence and Security Act* (Ato de Independência Energética e Seguridade) publicado pelo governo americano em 2007, e que destaca onze atributos como de "alto desempenho". Destes, cinco estão diretamente endereçados às equipes de projeto. O ato identifica como prédios de alto desempenho aqueles que integram e otimizam, em termos de ciclo de vida, os principais atributos de alto desempenho, incluindo conservação de energia, meio ambiente, segurança, proteção, durabilidade, acessibilidade, custo-benefício, produtividade, sustentabilidade, funcionalidade e considerações operacionais (EISA, 2007).

Tabela 1 – Matriz de padrões para alto desempenho

Prédios Cobertos:		Escritórios		Sistema da Edificação Coberto:		Envelope/Fechamento		
Atributos HPBC	Atributos EISA	Subatributo	Marcador de Desempenho	Medida		Standard de Desempenho		
				Qualitativa	Quantitativa			
I I I	Proteção	Resistência ao Vento	Segurança à Vida e Estado de Conformidade	Nível de Prejuízo / Possibilidade de Continuar Operando	Risco com Vidro e Deformação do Envelope	Comum a todos neste subatributo IBC-2009 ASCE 7-05 ASTM E 330 ASTM E 1300 ASTM E 1996/1886		
			Redução de Prejuízos					
			Operações Continuadas					
		Resistência ao Fogo Externo	Cálculo da Situação Base	Extensão do Prejuízo	Medições dos Impactos Permitidos	Comum a todos neste subatributo Ignição: NFPA 259 Resistência à propagação de chamas: NFPA 285 Ignição e disparo de chama no revestimento da cobertura: ASTM E108 Barreira de fogo externa: ASTM E2707 Isolamento: ASTM E119/NFPA 251 Colapso: ASTM E119/NFPA 251 Isolamento: ASTM E119/NFPA 251 Colapso: ASTM E119/NFPA 251 Portas: NFPA 252 Janelas: NFPA 257		
			Estado de Conformidade					
			Redução de Prejuízos					
		Proteção Externa contra Agressões Químicas, Biológicas ou Radiação	Sem Proteção	Grau de Vulnerabilidade	Medições dos Impactos Permitidos	ISC-2009 (ref. 12) ASHRAE 29-2009 (ref. 13) NRC-2007 (ref. 14) ASHRAE 90.1-2004 (ref. 19) ASHRAE 52.2-2007 (ref. 32) AMCA-500-D-07 (ref.35)		
			Alta Vulnerabilidade					
			Moderada Vulnerabilidade					
			Baixa Vulnerabilidade					
		Sustentabilidade	Conservação de Energia	Transferência Térmica	Caso Base	Taxa de Transferência	Consumo de energia de todo o prédio referente ao Envelope (kWh/m ² /ano) e o U _{value} por tipo de sistema	ASHRAE 90.1-2004
					Desempenho Melhorado			
Desempenho Superior								
Alto Desempenho	Taxa de Escape / Estanqueidade			m ³ /minuto/m ² de área encerrada a 1,57psf (75Pa)	Envelope: ASTM E 273, ASTM E 783, ASTM E1186 Toda a Edificação: ASTM E 779, ASTM C1060, ASTM E1186			
						Caso Base		
						Padrão		
Estanqueidade do Ar	Taxa de Escape / Estanqueidade			m ³ /minuto/m ² de área encerrada a 1,57psf (75Pa)	Envelope: ASTM E 273, ASTM E 783, ASTM E1186 Toda a Edificação: ASTM E 779, ASTM C1060, ASTM E1186			
						Fixo +		
						Fixo +++		

Tabela 1 – Matriz de padrões para alto desempenho, continuação

Prédios Cobertos:		Escritórios		Sistema da Edificação Coberto:		Envelope/Fechamento	
Atributos HPBC	Atributos EISA	Subatributo	Marcador de Desempenho	Medida		Standard de Desempenho	
				Qualitativa	Quantitativa		
Sustentabilidade	Sustentabilidade	Iluminação Natural	Caso Base	Extensão da Iluminação Natural	Redução do uso de energia em toda a edificação (kWh/m ² /ano)	ASHRAE 90.1-2004, sem requisitos de iluminação natural	
			Desempenho Melhorado			ASHRAE 90.1-2010, com requisitos tanto para iluminação lateral quanto para zenitais	
			Desempenho Superior			1 ponto no Crédito LEED® EA em adição à ASHRAE 90.1-2010, com requisitos tanto para iluminação lateral quanto para zenitais	
			Alto Desempenho			1 ponto no Crédito LEED® EA em adição à ASHRAE 90.1-2010, com requisitos tanto para iluminação lateral quanto para zenitais	
		Ventilação Natural	Caso Base	Extensão da Ventilação Natural	Redução do uso de energia em toda a edificação (kWh/m ² /ano)	Sem normatização disponível	
			Desempenho Melhorado				
			Desempenho Superior				
			Alto Desempenho				
		Energia Renovável – Solar	Caso Base	Extensão da Geração de Energia Solar	Redução do uso de energia em toda a edificação (kWh/m ² /ano)	ASHRAE 90.1-2004	
			Desempenho Melhorado			ASHRAE 90.1-2010	
			Desempenho Superior			ASHRAE 50% AEDG (2011)	
			Alto Desempenho			EISA-2007 – Definição de NZEB	
	Meio Ambiente	Pegada Ambiental	N/A	Produção anual de CO ₂	N/A		
		Transmissão Acústica	Caso Base	Extensão do Nível Sonoro Permitido	Critério de Ruído – Classe de Transmissão Composta do Exterior para o Interior	ASTM E 1332-10A	
			Padrão				
			Silencioso				
	Muito Silencioso						
	Durabilidade	Penetração de Água	Caso Base	Caso Base	psf para o Teste de Pressão	Paredes opacas, portas e janelas: ASTM E 331 teste de água estática em laboratório, ASTM E1105 em campo, AAMA 501.1 avaliação dinâmica e AAMA 501.2 para trabalho de diagnóstico	
			Padrão	Bom			
			Fixo +	Melhor			
Fixo +++			Ótimo				
Migração do Vapor de Água		Caso Base	passa / falha	Percentual de Umidade Relativa	ASHRAE 160		
		Padrão					
		Fixo +					
		Fixo +++					
Vida Útil da Edificação		Caso Base	Classe de Serviço	Anos de Vida Útil	Julgamento profissional, sem norma citável		
		Desempenho Melhorado					
		Desempenho Superior					
		Alto Desempenho					
Vida Útil da Parede Externa		Caso Base	Classe de Serviço	Anos de Vida Útil	Julgamento profissional, sem norma citável		
		Desempenho Melhorado					
	Desempenho Superior						
	Alto Desempenho						
Vida Útil da Esquadria	Caso Base	Classe de Serviço	Anos de Vida Útil	Índice de Resistência à Umidade, por Werner Lichtenberger – Glass Magazine, junho de 2005			
	Desempenho Melhorado						
	Desempenho Superior						
	Alto Desempenho						
Vida Útil do Sistema de Cobertura	Caso Base	Classe de Serviço	Anos de Vida Útil	Julgamento profissional, sem norma citável			
	Desempenho Melhorado						
	Desempenho Superior						
	Alto Desempenho						

2.8. Programas e Plugins

A listagem de ferramentas digitais de energia das edificações do *website* do *IBPSA* apresenta 122 *softwares*. Dentre estes, destacam-se quatro que atenderiam simultaneamente os quesitos de simulação energética do edifício como um todo, cálculo de carga térmica, seleção e dimensionamento do sistema de climatização artificial e conformidade com normas e *standards* (Tab. 02).

Tabela 2 – Ferramentas digitais

MARCA	DESCRIÇÃO	DADOS GERAIS
	<p>IDA ICE IDA Indoor Climate and Energy é um aplicativo de simulação dinâmica e detalhada de múltiplas zonas em um ano inteiro para o estudo do clima interno do uso energético. Ao mesmo tempo em que serve a um mercado global, IDA ICE está adaptado às linguagens e requisitos locais (dados sobre o clima, padrões, sistemas especiais, relatórios especiais, e dados de produtos e materiais).</p> <p>Pontos Fortes: o IDA ICE pode ser usado para estudos completos de projeto e de energia, envolvendo os sistemas de envelope, de plantas e sistema de controle e automação. Cada equação subjacente pode ser navegada, e cada variável pode ser registrada com comentários/criticas do usuário. A equação geral baseada em métodos usada no programa, em combinação com sua arquitetura flexível, torna-o mais fácil para que seja desenvolvido continuamente para adaptá-lo às exigências locais, e para expandi-lo com novos recursos de modelagem.</p>	<p>EQUA Simulation AB (Suécia)</p> <p>www.equa.se/en/ida-ice</p> <p>Windows</p> <p>Licenças Unitárias ou em Rede no formato versão x + com assinatura anual, módulos entre US\$2250 + US\$675 a US\$8000 + US\$2700, e pacotes de extensões entre US\$620 + US\$185 e US\$2085 + US\$625</p> <p>Licença individual para estudantes US\$1125 + US\$330, para Sala de Aula (25un) US\$2250 + US\$675 e para Instituições (25un) US\$4500 + US\$1350</p>
	<p>EnergyPlus é um motor de simulação energética do prédio como um todo. Ele inclui características avançadas de simulação, como etapas fracionadas de tempo de simulação, soluções simultâneas de condições de zona e ações do sistema de HVAC, estrutura modular de sistemas de climatização que acomoda uma ampla gama de configurações, e estratégias de controle definidas pelo usuário. Como ele não possui uma interface gráfica, ou mesmo um modelador integrado, seu uso depende de um maior grau de conhecimento dos dados de entrada, bem como a integração com softwares paralelos para concepção e projeto.</p> <p>Pontos Fortes: o EnergyPlus implementa detalhados algoritmos da física das construções para a transferência de calor – por radiação, convecção e condução – pelo ar, e transferência de umidade, distribuição luminosa e fluxos de água. Isto permite ao programa modelar uma grande variedade de edificações, nas mais diversas condições e configurações de sistemas mecânicos. Além disso, o EnergyPlus é um software de código aberto.</p>	<p>criado pelo US DOE BTO – Building Technologies Office e gerenciado pelo NREL – National Renewable Energy Laboratory</p> <p>energyplus.net</p> <p>Windows, Linux e Mac OS X</p> <p>suíte de softwares totalmente gratuita</p>
	<p>DesignBuilder é uma completa solução modular e compreende um núcleo modelador 3-D e 9 módulos que trabalham juntos para fornecer uma análise aprofundada do uso de energia, consumo e comprometimento para qualquer tipo de edifício. Cada módulo ise integra completamente com suas contrapartes, permitindo que se escolham módulos individuais ou um determinado tipo de pacote. O programa contém as combinações de módulos mais comuns para cada classe de usuário: Modelador 3D, Visualizador, Certificação, Simulador, Iluminação Natural; Projeto de HVAC; Estimativa de Custos; LEED, Otimizador e CFD, divididos nos pacotes Assessor Energético, Arquitetura e Engenharia. Módulos também podem ser adquiridos separadamente e uma licença de rede local com qualquer combinação de módulos também está disponível.</p> <p>Pontos Fortes: o formato em composição modular permite que seja adquirido apenas o que será utilizado; boa curva de aprendizado facilitada pela boa interface gráfica e pelos Modelador e Visualizador estarem integrados em quaisquer dos pacotes.</p>	<p>DesignBuilder Softwares Limited</p> <p>www.designbuilder.co.uk/content/view/144/223/</p> <p>Windows e Linux</p> <p>Licenças Unitárias ou em Rede no formato versão x perpétua, ou assinatura anual, módulos entre US\$359 a US\$3999 e pacotes entre US\$1199 e US\$5999</p> <p>Licença para instituições de ensino com 50% de desconto Licença individual para estudantes com 90% de desconto</p>
	<p>Tas é uma ferramenta de modelagem e simulação de edificações líder do setor. Capaz de realizar de forma rápida simulação térmica dinâmica para os maiores e mais complexos edifícios do mundo, Tas permite aos projetistas preverem com precisão o consumo de energia, as emissões de CO₂, os custos operacionais e o nível de conforto dos ocupantes. Tas permite a automatização completa disponível através da linguagem Visual Basic. Isso permite a rápida realização de simulações paramétricas, permitindo que se façam alterações no modelo, exportação, simulação ou extração de resultados de qualquer aplicação dentro da própria suite Tas (Modelador, BIM e Simulador, Visualizador de Resultados, Projeto de Sistemas e Simulador, e programa CFD).</p> <p>Pontos Fortes: ágil e precisa para o desenvolvimento conceitual, é uma excelente ferramenta rápida e robusta com capacidades abrangentes para todos os tipos de modelagem de energia, permite a customização e o refinamento dos dados de entrada e o controle altamente personalizável de aberturas, instalações e sistemas.</p>	<p>EDSL – Environmental Design Solutions Limited</p> <p>www.edsl.net/main/</p> <p>Windows</p> <p>Licença para estudantes de mestrado ou doutorado – gratuita (com limitação de tempo de uso)</p> <p>Licença Unitária Padrão – US X,XX Licença para Rede – US X,XX</p>

O conjunto de simulações deste estudo foi efetivado através do programa *EnergyPlus*, em sua versão 8.4 (realizada em setembro de 2015), a terceira utilizando a linguagem C++. O *EnergyPlus* é uma suíte de programas para simulação de uma edificação, oferecida de forma gratuita pelo DOE, e que permite a modelagem dos fluxos energéticos previstos para aquecimento, refrigeração, iluminação, ventilação, entre outros. Este programa é uma compilação das melhores características e capacidades encontradas no BLAST (1977) e DOE-2 (1979), reunidas em um único pacote a partir de 1996. Desde então, com o avanço da linguagem de programação e com a oferta de processadores cada vez mais capazes por um menor preço, este programa vem sendo desenvolvido de forma colaborativa. Conforme Liu *et al* (2010), suas atribuições avançam em questões como o passo de tempo para o cálculo, sistemas modulares integrados em sua arquitetura, simulação de trocas de calor baseadas em equilíbrio térmico, cálculo de fluxo de ar entre várias zonas, conforto térmico e sistemas renováveis de energia.

A menção no parágrafo anterior à linguagem de programação na qual as rotinas, ações e algoritmos utilizados pelo simulador diz respeito à preocupação quanto ao grau de confiabilidade das respostas versus o tamanho dos arquivos. A passagem da suíte deste programas e utilitários da linguagem Fortran 90 para a C++, realizada digitalmente via software ainda em 2014, torna necessário o carregamento de uma quantidade muito maior de informação do que aquela que os arquivos de trabalho necessitariam, de forma a contornar possibilidades de erros severos¹⁵. Este hipervolume de dados diminuiu entre a primeira versão (EP v8.2) na nova linguagem e a que foi empregada neste trabalho (EP v8.4). A linguagem Fortran é tão antiga quanto os programas que deram origem ao *EnergyPlus* como o conhecemos hoje, e sua substituição permitirá que novos módulos sejam desenvolvidos e adicionados em um intervalo de tempo muito menor do que se observava. Entretanto, como usuário final, e distante do ambiente de programadores e desenvolvedores, a opção pelo uso da versão apresentada deu-se por questões de segurança e confiabilidade em relação às novas versões portadas.

Como o *EnergyPlus* é muito mais um motor de cálculo do que propriamente um programa formatado dentro das convenções implementadas pela ciência da computação (aquele que estabelece um posicionamento usuário – *software* –

15 Erros severos são aqueles que inviabilizam a simulação, determinando sua interrupção durante o processo, ou mesmo originando a falha no programa.

hardware), faz-se necessário o emprego de um outro programa que sirva como interface gráfica (*GUI*, na sigla em inglês) e mede a compreensão visual do modelo que se desenvolve. Para isto, neste estudo foi empregado o programa gratuito *SketchUp Make* (Trimble, 2015), em sua versão 16.0.19913 para o OS X. Os arquivos para os modelos manipulados no processo de simulação diferem daqueles que normalmente são construídos para visualização tridimensional de uma edificação, então empregou-se o *plugin Legacy OpenStudio* (NREL, 2015), em sua versão 1.0.14 para OS X. Ele trabalha com informação agregada a cada uma das superfícies desenhadas, permitindo a atribuição de uma série de propriedades prévias nos arquivos dos modelos construídos, bem como o transporte de determinadas características e informações necessárias para sua correta legibilidade dentro da suíte *EnergyPlus*, seja pelo *IDFEditor*, seja pelo *EP-Launch*.

As informações necessárias para a execução da simulação vem incorporadas no arquivo com extensão *IDF* originadas da construção do modelo no *SketchUp*. Todavia, devem ser complementadas com outros dados que são inseridos diretamente no *IDFEditor* – um aplicativo dentro da suíte do *E+*. Trata-se de um editor de texto que apresenta uma estrutura de uso em formato de lista ordenada, onde todos os campos para inserção de dados (*Class Lists*) estão abertos e dispostos em uma ordem lógica. Para a alimentação destes campos, alguns dados são obtidos de outros programas de pré-processamento da própria suíte do *E+*, como o *Slab*, responsável por fornecer a média mensal de temperatura do solo na interface com a(s) superfície(s) diretamente em contato com ele. É através do *IDFEditor* que são feitas as alterações que dizem respeito ao comportamento do modelo virtual: operabilidade de esquadrias, programação de ocupação, densidade de cargas de iluminação, etc.

Dentre outras possibilidades, os resultados (dados de saída) ou relatórios são fornecidos pelo simulador no formato CSV, o qual permite sua leitura e manipulação através de programas de planilha eletrônica. Neste estudo empregou-se o programa *Excel for Mac* (Microsoft, 2011), em sua versão 14.4.9 (150325) para o trabalho de tabulação, editoração e pré-montagem de gráficos.

2.9. Revisão Narrativa

Há grande quantidade de estudos desenvolvido nos continentes europeu e norte-americano sobre o tema das fachadas com dupla pele desde os anos 90 do século passado, embora o foco destes esteja em edificações com uma câmara de ar entre duas superfícies de vidro.

Tabela 3 – Pontos favoráveis e desfavoráveis no uso de fachadas de dupla pele

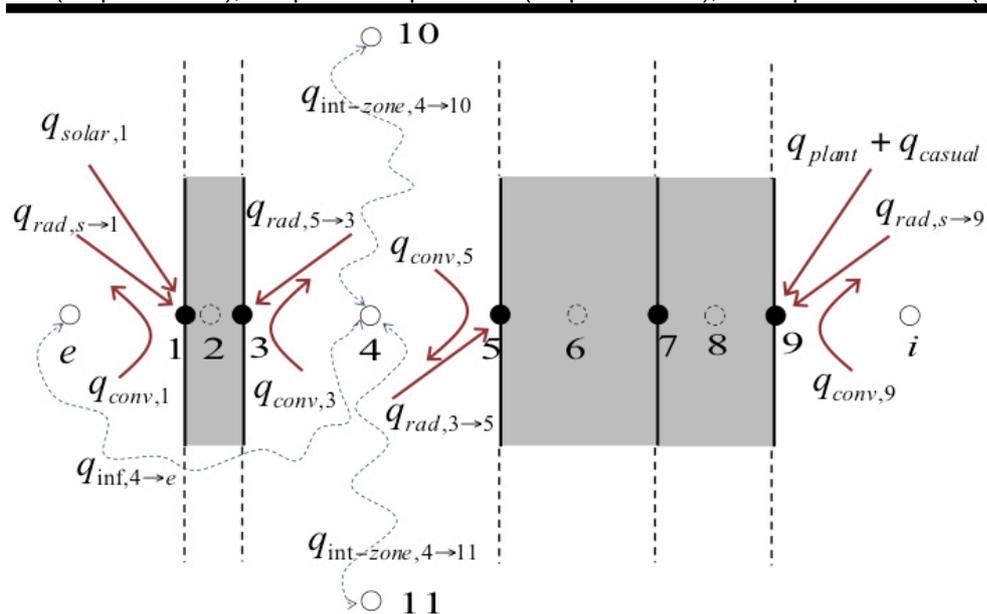
ITENS OBSERVADOS	PRÓS	CONTRAS
Acústica	Fornecer melhor isolamento acústico contra o barulho externo	Como o sistema tem que ser aberto para ventilação, então ele diminuirá o isolamento acústico da câmara de ar e irá incrementar a transmissão acústica
Energia para aquecimento no inverno	Economiza energia de aquecimento porque a energia solar é capturada como em um coletor	Maioria dos prédios analisados tem altas cargas internas e esta economia de energia por aquecimento não é observada
Energia para refrigeração no verão	O calor do verão pode ser ventilado através da câmara de ar do sistema	Neste sistema, a câmara de ar tem forte aquecimento no verão, a qual poderá deixar a edificação atrás do sistema muito quente
Condições internas por ventilação	Incrementa o conforto climático nos ambientes devido a ventilação natural	Com este sistema, pode-se atingir o conforto interno pelo uso de ventilação mecânica, e o sistema favorece a transferência de odores
Sombreamento	Possibilidade de aplicação de um sistema de sombreamento que proteja a câmara de ar	Um sistema de sombreamento poderá ser aplicado apenas na parte interna da edificação, sem utilizar-se a câmara de ar
Operabilidade das esquadrias	Permite que os usuários abram janelas mesmo em prédios muito altos	Com o hardware, onde você limitar a quantidade de janelas que possam ser abertas, pode-se usar uma única janela operável na fachada em um arranha-céu, bem como em um edifício muito alto
Necessidade de pressão para fechamento das portas internas na edificação	No lado que sopra o vento em prédios altos, o sistema reduz a pressão estática interna, a qual poderia resultar em menor necessidade de pressão para fechar portas internas comparada aos prédios naturalmente ventilados	Se utilizaram-se janelas ventiladas contra tempestades nos vãos de uma fachada perfurada para quebrar o vento, a pressão estática também poderá reduzir-se
Iluminação	Permite a instalação de elementos de reorientação da iluminação	O redirecionamento luminoso também poderá ser executada em uma fachada perfurada; o envidraçamento extra no sistema reduz a quantidade de iluminação natural que entra na edificação
Fogo	Com a compartimentação horizontal e vertical, o espalhamento do fogo pela câmara de ar pode ser prevenido	A camada envidraçada externa reduz a capacidade da fumaça ventilar/dissipar e a câmara de ar incrementa o risco de espalhar o fogo entre pisos ou ambientes
Condensação	Com ventilação suficiente pela câmara de ar pode-se manter a edificação livre de condensação	Na superfície interna do painel externo é inevitável que haja condensação e que se realize limpeza com maior frequência
Custo	Menores custos de operação pela redução dos custos energéticos	Custo inicial extremamente alto e o sistema incrementa a quantidade de custos operacionais, como por exemplo a limpeza das superfícies de vidro

Fonte: LEE, E. *et al* (2004)

Lee *et al* (2004), apresentam em um sumário (**Tab. 3** anterior) os prós e contras em empregá-las com base em uma série de critérios de avaliação e dentro de uma realidade climática restrita.

Marinosci *et al* (2011) aponta que a análise da literatura existente destacando fachadas ventiladas oferece pouca atenção para as que apresentam o princípio "opaco" em relação às configurações "transparentes". Este grupo realizou um estudo com um protótipo em escala real durante todo o inverno em San Mauro Pascoli, um município próximo a Bologna, na Itália (clima tipo *Cfa*). Os dados obtidos com sensores foram comparados aos valores obtidos experimentalmente via programa ESP-r (que considera a dinâmica dos fluídos computacionais) para obter informações detalhadas do comportamento térmico da cavidade ventilada, conforme **Fig. 21**.

Figura 21 – Fluxo de calor para os três tipos nós: em pontos internalizados em camadas de materiais homogêneos (nó pontilhado), em pontos superficiais (nó preenchido), e em pontos aéreos (nó vazio)



Fonte: Marinosci *et al.*, 2011

Neste trabalho, a fachada ventilada do tipo *rainscreen*¹⁶ testada foi estudada numericamente usando um modelo específico de rede nodal: uma rede de fluxo de ar estava integrada com o modelo de rede térmica correspondente, calculando-se o fluxo interno através das temperaturas em cada nó. Os resultados previstos para o

¹⁶ Literalmente uma "tela contra a chuva", é um detalhe na parede exterior de edificações onde o revestimento afasta-se da superfície interna por uma barreira de ar e que é resistente à umidade criando uma quebra contra a capilaridade e que permite a drenagem e evaporação. O uso do termo *rainscreen* implica a ideia de um sistema de edifício, assim como neste estudo fala-se do "sistema de fachada ventilada", uma vez que envolve um conjunto de revestimento, subestrutura de sustentação, proteções, arremates e uma série de detalhes aplicados.

caudal de ar foram utilizados para obtenção do balanço energético da simulação térmica – um procedimento de solução iterativa, indicando que o sistema é apto a reverter o fluxo de calor durante os períodos mais frios do ano. Os fluxos de calor seguem a seguinte legenda:

q_{solar} – Radiação solar absorvida no nó (W);

q_{rad} – Troca de calor com as superfícies do entorno em contato com ondas longas (W);

q_{conv} – Troca de calor entre o ar interno e a superfície sólida (W);

q_{inf} – Energia que flui para dentro da câmara de ar a partir do meio externo (W);

$q_{int-zone}$ – Energia que flui para dentro da câmara de ar oriunda de outras zonas (W);

q_{plant} – Energia radiante gerada colocada para o nó (W);

q_{casual} – Energia radiante absorvida de fontes casuais (W).

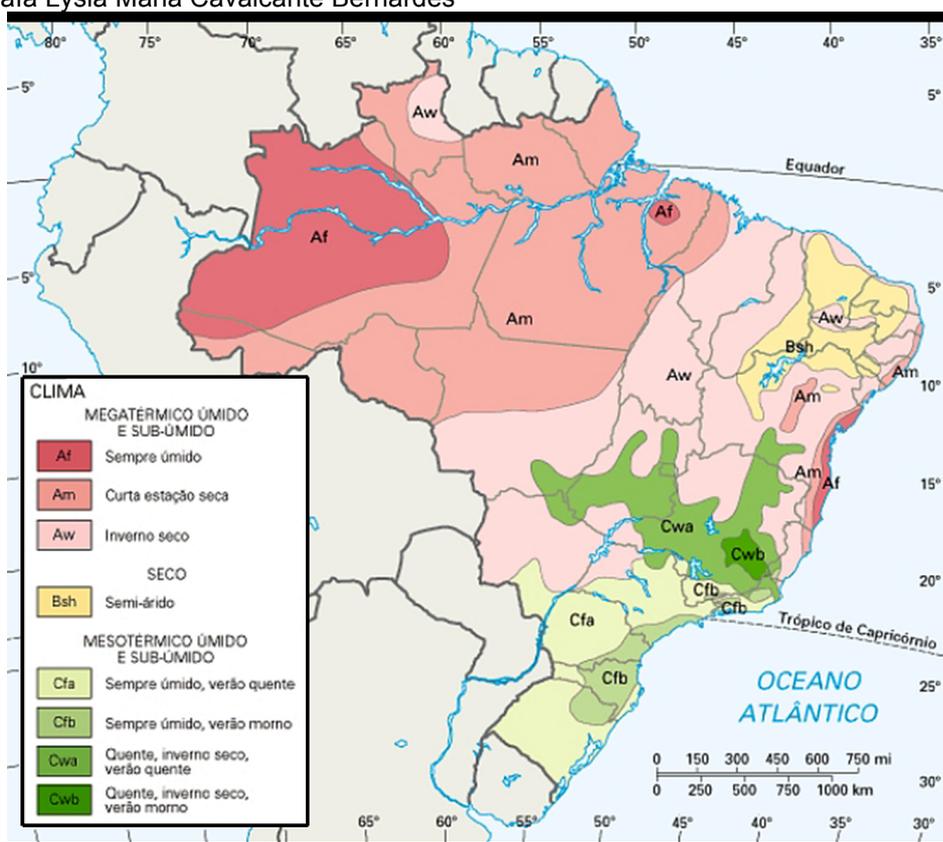
Salienta-se que estes estudos foram dirigidos em região com larga irradiação solar e moderada velocidade do vento durante o inverno, tornando a fachada um elemento ativo na diminuição do consumo de energia para aquecimento.

Ainda na Itália, Corrado, Gorrino e Paduos (2013) desenvolveram um estudo caracterizando o desempenho energético do envelope ventilado opaco por meio de uma metodologia simplificada para diminuir as cargas de pico no verão. Eles aproximam as condições reais de uso deste sistema através do emprego de parâmetros advindos das EN ISO 6949 e EN ISO 13786, como a transmitância térmica em estado estacionário, a transmitância térmica periódica equivalente e o tempo de troca. Estes parâmetros equivalentes são obtidos por meio da avaliação da transmissão de calor por condução na superfície interna dos componentes opacos, e sob condições externas estabilizadas a cada passo de tempo, no dia típico de verão, por meio do método *CTF (conduction transfer function)* de transferência de calor na simulação dinâmica pelo *EnergyPlus*. Os resultados mostraram que a U_{value} periódica equivalente decai exponencialmente em função da razão entre a espessura da camada opaca e a profundidade da câmara de ar. Para soluções realmente maciças, o valor da transmitância térmica periódica tende a zero. A espessura da cavidade ventilada e as condições de contorno influenciam apenas as soluções leves, mas os desvios não são significativos.

Naboni e Tarantino (2014) estudam um modelo do tipo "shoebox"¹⁷ para algumas cidades europeias, onde indicam que o emprego de uma fachada ventilada opaca reduziria significativamente a demanda por energia em zonas que apresentam grande consumo para refrigeração. Os melhores resultados foram encontrados em Palermo, Itália. Pela classificação climática de Köppen-Geiger, esta cidade apresenta o clima Csa. Conhecido como o "clima mediterrâneo", apresenta o verão como a estação quente e seca, e o inverno sendo instável e úmido.

Traçando um paralelo com as cidades brasileiras escolhidas para esta pesquisa, expostas na **Fig. 22**, este clima seria semelhante ao de Vitória da Conquista - BA (tipo Csb), com a diferença de que, no mês mais quente, a temperatura está entre 10°C e 22°C.

Figura 22 – Mapa geopolítico brasileiro com a classificação climática de Köppen-Gigger, adaptado pela geógrafa Lysia Maria Cavalcante Bernardes



Fonte: FONTANILLES, 2013

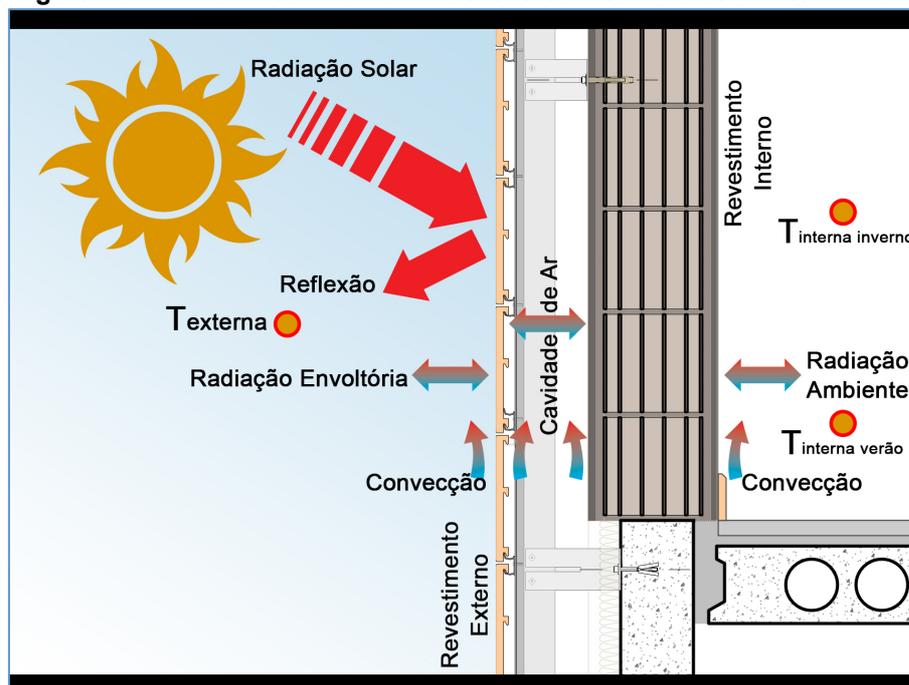
As demais cidades estudadas foram Milano – Itália (com o clima Cfa), København – Dinamarca e München – Alemanha (com o clima Cfb). No Brasil,

17 Literalmente um modelo do tipo "caixa de sapato", onde a esquadria está modelada de forma centralizada em uma das superfícies com maior dimensão (voltada para o lado com maior incidência solar ao longo do dia). Esta esquadria é verticalizada e cobre toda a altura do modelo, o que favorece o funcionamento do sistema de fluxo de ar pela cavidade na fachada ventilada opaca proposta.

Curitiba e São Paulo estão classificadas como Cfb, que é o "clima oceânico", ou "temperado marítimo" (Cfb, Cwb e Cfc). Este clima em regiões afastadas das grandes massas continentais e nas margens ocidentais situadas nas latitudes médias e altas, com chuvas abundantes e bem distribuídas ao longo de todo o ano, apresentando o verão fresco e úmido.

Países da Europa mais próximos do Mediterrâneo também estão oferecendo produtos no mercado com envelopes duplados opacos. Isto é o que apresenta Silva (2010), ao mencionar que as fachadas ventiladas com placas cerâmicas de grandes dimensões estão posicionando-se no mercado de revestimentos externos como uma alternativa única, tanto pelas questões estéticas quanto pelas funcionais, com boa resistência à degradação por agentes externos, ausência de manutenção e desempenhos térmico e acústico acima da média. Os fenômenos físicos da forma como o fluxo de calor dá-se através do sistema de fachada ventilada opaca está exemplificado na seção genérica da **Fig. 23**.

Figura 23 – Fluxo de calor em uma fachada com câmara de ar internalizada



Fonte: Pelo autor, 2015

GhaffarianHoseini *et al.* (2012) apresentaram uma extensa classificação das diferentes tipologias de fachadas para prédios de baixa energia, revisando-as sob a ótica do envoltório inteligente. O conceito de inteligência aplicada nas fachadas diz respeito à forma sensível e consciente de tirar proveito das condições climáticas, do ambiente externo e das possibilidades oferecidas pelos ambientes internos no que

tange parâmetros de desempenho, conforto térmico, acústica, qualidade do ar interno, conforto visual, etc. As tipologias mencionadas estão orientadas de acordo com o material externo, ou a distribuição e posição de aberturas, ou pelas propriedades radiantes do plano externo, ou pelo tamanho e forma do espaçamento entre a vedação interna e o revestimento externo.

O comportamento do ar na cavidade interna também merece uma observação cuidadosa. Em seu trabalho abordando o desenvolvimento de um modelo simplificado para avaliar o desempenho de fachadas ventiladas evitando o sobreaquecimento interno em períodos quentes, Balocco (2002) propõe uma configuração com canal único utilizando a convecção natural a partir do fluxo de ar externo-externo. A autora aponta em seus resultados a relevância de dois aspectos: a (1) largura da cavidade, que não deve ser menor que 7cm porque a turbulência interna gerada pelo atrito do ar com as superfícies diminuiria a capacidade de resfriamento a que se propõe, até uma faixa ideal entre 20-30cm; e a (2) altura do conjunto, conformando o "*stack effect*".

No estudo de Torres *et al* (2007), uma edificação típica de escritórios foi avaliada na quantificação de cargas anuais totais e de pico para refrigeração e aquecimento. Seus resultados, considerando o clima de Barcelona (clima tipo Csa pela classificação de Köppen-Geiger) apontam que os valores economizados nas cargas anuais de refrigeração, apesar de pequenos, apresentam vantagem quando tratados através de um vão com a altura total da edificação em relação aos obtidos com o fracionamento andar por andar. Isso dá-se pela maior taxa de ventilação da cavidade quando empregado o efeito de empilhamento.

Nos estudos de Sanjuan *et al.* (2011) desenvolveram-se modelos tridimensionais para comparar fachadas ventiladas opacas seladas (chamadas "tradicionais") com outras de junta aberta. Segundo os autores, na versão tradicional, o ar próximo à superfície externa da câmara de ar tende a esquentar e subir, enquanto aquele junto da face interna do espaço airado tende a esfriar e descer. Estes fenômenos causariam turbulência interna e diminuiriam a capacidade de desempenho do sistema. Dados apresentados apontam uma redução de 26% nos ganhos de calor durante o período quente do ano na versão com as juntas abertas, onde os fenômenos não ocorrem cumulativamente. Entretanto, no período

mais frio, a redução na temperatura da câmara de ar nas juntas abertas provocam uma perda superior a 50% nos ganhos de calor.

Alinhando-se com o exposto por Sadineni, Madala e Boehm (2011), que descrevem como as abordagens de eficiência energética nem sempre exigem um investimento adicional de capital nos projetos, este trabalho de pesquisa busca estabelecer um ponto ideal. Se um sistema de revestimento independente da vedação permite ganho de tempo no ciclo do empreendimento, pode-se inferir que esta eficiência de construção seja estendida a uma operação mais econômica do edifício. Além disso, uma abordagem projetual que reduza o tamanho de sistemas mecânicos instalados poderia auxiliar na compensação de qualquer custo adicional através dos recursos economizados pela eficiência energética.

Em trabalho apresentado por Signor, Westphal e Lamberts (2001) sobre análise regressiva de consumo de energia elétrica e variáveis arquitetônicas de prédios comercial climatizados artificialmente em 14 cidades brasileiras, é descrito um método que objetiva prever o consumo de energia com a climatização. Os autores elencaram dez variáveis a serem utilizadas em equações regressivas, a ver: área de cobertura pela área total (1), área de fachada pela área total (2), área de abertura pela área de fachada (3), fator de projeção de sombreadores da fachada (4), coeficiente de sombreamento dos vidros (5), transmitância da cobertura (6), absorvância da cobertura (7), transmitância da parede externa (8), absorvância da parede externa (9) e densidade de carga interna (10). Usando três valores para cada uma destas variáveis, os autores chegariam a 59.049 simulações para cada cidade. De forma a reduzir o impacto desta grande quantidade de dados a serem processados década e meia atrás, optaram pelo estabelecimento de apenas dois valores para cada variável, excetuando-se a transmitância das paredes, estabelecida de forma fixa em $2,632\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Esta era a única variável que apresentava uma tendência não-linear em relação ao consumo: um aumento para U_{value} não correspondia diretamente a um aumento da tarifa.

Por esta lógica, há de se supor que um menor valor de U_{value} também não corresponderá a uma diminuição no consumo das unidades. Na NBR 15.575 (ABNT, 2013) e no RTQ-C (INMETRO, 2010), foram observados os U_{value} máximos de Transmitância Térmica das paredes, combinados com os valores mínimos admissíveis da Capacidade Térmica para a futura definição da situação base PAD,

conforme a **Tab. 4** a seguir discrimina. Segundo Brandalise *et al.* (2015), para situações em que há uma grande geração de calor interna (densidade de pessoas somado a conseqüente intensidade no uso de equipamentos elétricos), apesar da densidade de potência de iluminação realizar-se em nível A pelo preconizado no RTQ-C, o envoltório com menor resistência oferece melhor desempenho. Ela permite uma maior dispersão do calor acumulado internamente ao longo dos dias e do ano, favorecendo o menor consumo energético do prédio como um todo.

Tabela 4 – Valores de Transmitância Térmica (U_{value}) para paredes e Capacidade Térmica (C_T) nas oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras

Referência	Nível	Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7, e 8		
NBR 15575	mínimo	$U_{value} \leq 2,50W/m^2.K$	$\alpha \leq 0,60$	$\alpha > 0,60$	
			$U_{value} \leq 3,70W/m^2.K$	$U_{value} \leq 2,50W/m^2.K$	
		Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7			Zona 8
		CT ≥ 130 kJ/m ² K		sem requisitos	
Referência	Nível	Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5 e 6	Zonas 7 e 8	
RTQ-C	A	$\alpha < 0,50$ (na ZBB2)	$\alpha < 0,50$	$\alpha < 0,50$	
		$U_{value} \leq 1,00W/m^2.K$	$U_{value} \leq 3,70W/m^2.K$	CT ≤ 80 kJ/m ² K CT > 80 kJ/m ² K $U_{value} \leq 2,50W/m^2.K$ $U_{value} \leq 3,70W/m^2.K$	
	B	$U_{value} \leq 2,00W/m^2.K$	$U_{value} \leq 3,70W/m^2.K$	α sem requisitos	CT ≤ 80 kJ/m ² K CT > 80 kJ/m ² K $U_{value} \leq 2,50W/m^2.K$ $U_{value} \leq 3,70W/m^2.K$
				α sem requisitos	CT ≤ 80 kJ/m ² K CT > 80 kJ/m ² K $U_{value} \leq 2,50W/m^2.K$ $U_{value} \leq 3,70W/m^2.K$
	C	$U_{value} \leq 3,70W/m^2.K$	$U_{value} \leq 3,70W/m^2.K$	α sem requisitos	CT ≤ 80 kJ/m ² K CT > 80 kJ/m ² K $U_{value} \leq 2,50W/m^2.K$ $U_{value} \leq 3,70W/m^2.K$
				α sem requisitos	CT ≤ 80 kJ/m ² K CT > 80 kJ/m ² K $U_{value} \leq 2,50W/m^2.K$ $U_{value} \leq 3,70W/m^2.K$

2.10. Resumo do Capítulo

O capítulo abre com antecedentes históricos desde a segunda Revolução Industrial usando exemplares que demonstram a dificuldade de fazer a independência entre a estrutura e envelope. Ou por conta do pouco domínio compositivo de seus proponentes, ou pela carga de conhecimento anterior ao desenvolvimento da tecnologia. Com as premissas do movimento moderno alastrando-se a partir do final da II Grande Guerra (com a emigração de alguns de seus patronos da Europa para América), a realidade propositiva muda.

No enfoque do "algo-novo-de-forma-nova", que destaca os trabalhos de Mies e Johnson no *baby-boom* do *International Style*, há definição de um mesmo padrão para prédios comerciais empregado nos mais diversos lugares do planeta. Isso manteve-se até meados dos anos setenta, com o "ressurgimento engenharia" no *high-tech* dos trabalhos de Tschumi, Rogers, Calatrava e Renzo Piano. Permeia

as experimentações compositivas de Niemeyer, onde envoltório e estrutura poderiam ser novamente algo único. Segue em novas tecnologias, caso dos materiais que alteraram suas propriedades termofísicas, ou sistemas que tem no envelope um meio de comunicação, e não apenas um elemento de proteção.

Medeiros (2012) cita a importância do envoltório da edificação não apenas como elemento estético, mas como elemento responsável por um menor custo de operação e manutenção em prédios comerciais. Na compilação de Poirazis (2006), as fachadas de dupla pele dividem-se pelo tipo de câmara de ar em naturalmente ventiladas, ativas e interativas. Seguem-se diversas citações do que seria uma fachada ventilada – conceito, operação, formato, etc, com a discussão entre autores sobre o comportamento e as possibilidades do emprego do efeito convectivo do ar. A base da literatura disponível sobre as fachadas ventiladas opacas vem da Espanha, onde há necessidade muito maior de resfriarem-se as edificações. Contrário ao observado em países de latitudes mais extremas, que adotam-nas para aumentar a resistência ao frio ou à perda de calor interno.

Quanto aos condicionantes tipológicos, um quadro resume as tipologias de fachada ventilada, cuja função principal seria a de criar um amortecimento térmico entre os meios interno e externo. Há uma matriz normativa onde estão listados os *standards* a serem observados cruzando-se os requisitos do envoltório da edificação (em prédios comerciais), com os atributos segurança, proteção, conservação de energia, meio ambiente e durabilidade.

Uma revisão narrativa a partir dos anos 90 é apresentada. Lee *et al* (2004) destacam os prós e contras no uso das fachadas ventiladas de dupla pele de vidro, avaliando-as a partir de uma série de critérios (dentro de uma realidade climática restrita). Marinosci *et al* (2011) estudam um protótipo em escala real para validar dados do programa ESP-r (que considera a dinâmica dos fluídos computacionais – *CFD*, em inglês) sobre o comportamento térmico da cavidade ventilada. Similar ao que Naboni (2007) fizera ao conduzir seu protótipo apurando os valores para alimentação do modelo computacional no programa *EnergyPlus* por meio da adaptação do *exterior naturally vented cavity (ENCE)*. Soto Francés *et al.* (2013) trataram do fechamento contínuo de fachada em cerâmica ou metal, citando a existência de diversas abordagens para a verificação do comportamento da ventilação da câmara de ar, mas abrindo mão do método *CFD* (tridimensional) ao

adotarem tratamento mais simples, compatível com o cálculo por passo de tempo (por diferenças finitas – bidimensional) do motor de simulação do *EnergyPlus*. Corrado, Gorrino e Paduos (2013) propuseram uma simplificação na avaliação de fachadas ventiladas opacas, defendendo seu uso na redução das cargas de pico no verão. Eles empregaram no *E+* parâmetros de transmitância térmica em estado estacionário, transmitância térmica periódica equivalente e tempo de troca, obtidos através da carga térmica por condução na superfície interna dos componentes opacos no dia típico de verão.

Naboni e Tarantino (2014) estudam um modelo *shoebox* para algumas cidades europeias, indicando que fachadas ventiladas opacas reduziriam a demanda por energia em zonas que apresentam grande consumo para refrigeração. Traça-se um paralelo com as cidades europeias estudadas por eles com as brasileiras, por meio da aplicação da classificação climática de Köpper-Giger. Silva (2010), citou o potencial das peças cerâmicas em fachadas ventiladas na Europa por questões funcionais: boa resistência à degradação, ausência de manutenção e desempenhos térmico e acústico superiores. GhaffarianHoseini *et al.* (2012) apresentaram extensa classificação tipológica de fachadas para prédios de baixo impacto energético, revisando-as sob a ótica do envoltório inteligente.

Observando o comportamento do ar na câmara interna, Balocco (2002) trata do *stack effect* relacionando a largura e a altura das edificações, e Torres *et al* (2007) descreve as vantagens para as cargas de refrigeração quando se usa a altura total da edificação para o fluxo de ar, ao invés de fracioná-lo por pavimentos. Sanjuan *et al.* (2011) apresentaram resultados comparando modelo de juntas seladas versus abertas, a partir de modelos tridimensionais.

Em consonância com o exposto por Sadineni, Madala e Boehm (2011), este trabalho busca apresentar que as abordagens voltadas a um maior grau de eficiência energética nem sempre exigem um investimento adicional de capital nos projetos. Como base de comparação, será utilizado o envoltório descrito por Signor, Westphal e Lamberts (2001) no desenvolvimento do método que objetivou prever o consumo de energia com a climatização em edificações comerciais no Brasil. Finalmente, no estudo de Brandalise *et al.* (2014) há indicação que em prédios com grandes cargas internas, um envoltório com menor resistência oferece melhor desempenho que outra com melhor nível na etiquetagem pelo PROCEL Edifica.

3. Método de Pesquisa

Aqui apresenta-se a formatação metodológica que se estrutura a partir da experimentação de um modelo piloto examinado sob as circunstâncias inicialmente expostas. Com as contribuições apresentadas pela banca de examinadores durante a etapa de qualificação desta pesquisa, e as críticas formuladas sobre os resultados advindos deste estudo inicial, propôs-se um realinhamento/reordenamento evolutivo. A evolução compositiva do modelo base para análise, sua adequação geométrica ao que se pretende analisar por simulação, a escolha dos dados de entrada e o embasamento teórico voltado ao que se possa extrair dos relatórios obtidos após as simulações formam o escopo deste capítulo.

3.1. Estrutura Geral da Pesquisa

Com a **Fig. 24** apresenta-se graficamente a abordagem desta pesquisa. Nela estão discriminadas as etapas previstas para a consecução dos objetivos propostos, usando-se um encadeamento lógico em formato gráfico dividido em cinco campos principais:

- Introdução ao tema;
- Definição do objeto de estudo;
- Modelagem e simulação;
- Eficiência termoenergética;
- Conclusões.

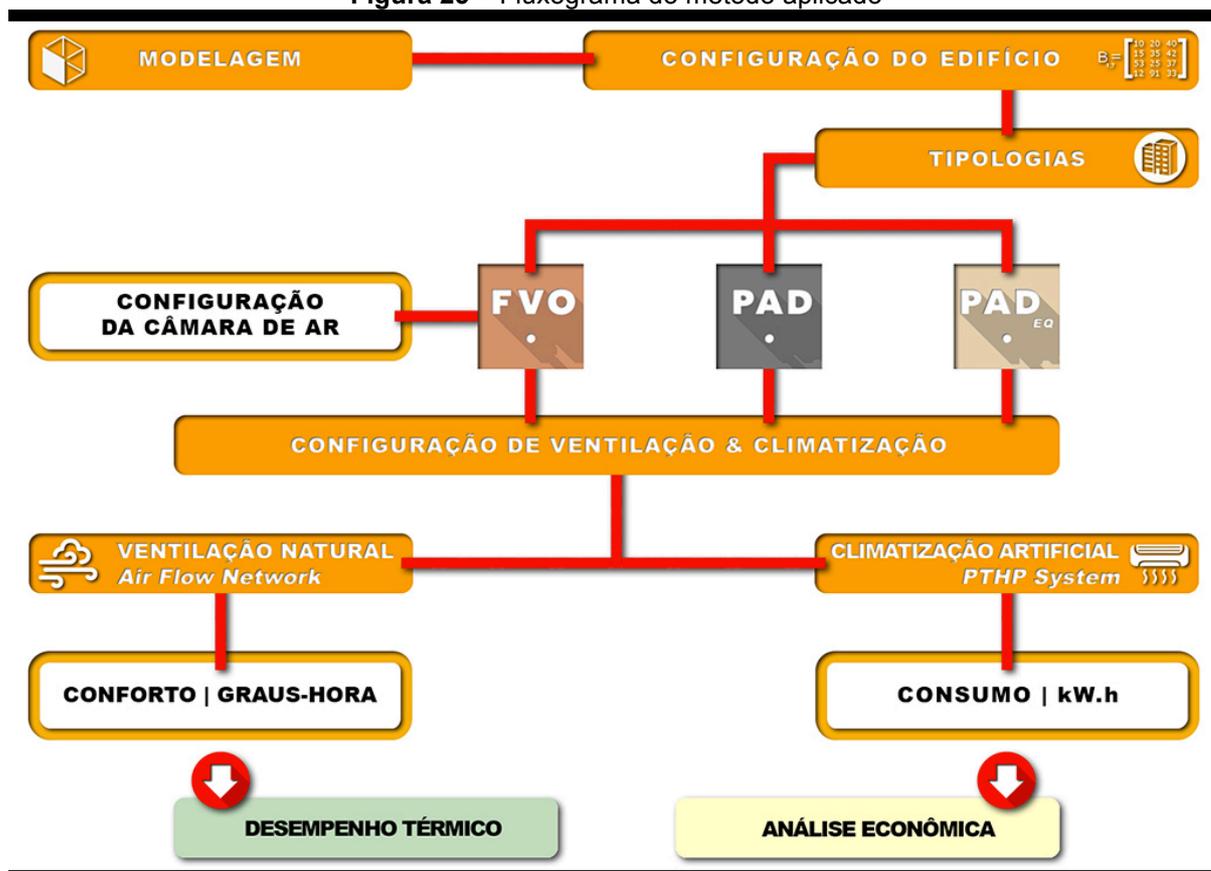
Figura 24 – Apresentação da sequência lógica deste estudo



Fonte: Pelo autor, 2016

Parafraseando Groat e Wang (2013), a pesquisa por simulação tem origem no fascínio humano mais amplo com a replicação (mimese – o ato de se assemelhar, imitação) de objetos contextualizados do mundo real e seus ajustes. Dentro deste caráter experimental, o encadeamento do método escolhido está representado na **Fig. 25** a seguir.

Figura 25 – Fluxograma do método aplicado



Fonte: Pelo autor, 2016

3.2. Estudo-Piloto

No período inicial de pesquisa, durante o levantamento sobre os estado da arte no tema de fachadas ventiladas, percebeu-se que grande quantidade de informações sobre este sistema estavam centrados na tecnologia com envoltórios transparentes, e não opacos. O próprio programa de simulação escolhido apresenta recursos próprios para análise de fachadas ventiladas translúcidas ou transparentes, como seu Grupo – Conceitos Avançados de Superfície (*Group – Advanced Surface Concepts*), módulo de Propriedades de Superfícies (*Surface Properties*), pela classe Cavidade Externa Naturalmente Ventilada (*Class List ExteriorNaturalVentedCavity*).

3.2.1. Entrada de Dados

Para que o estudo como um todo pudesse ter um ponto focal determinado, mostrou-se necessária a experimentação de alguns quesitos. O modelo aqui chamado Estudo-Piloto e seus resultados foram apresentados na etapa de qualificação desta pesquisa. O primeiro quesito experimentado no Estudo-Piloto foi a busca em como representar geometricamente as camadas propostas para a fachada ventilada. Realizou-se para isto um modelo de teste básico, buscando verificar o comportamento das simulações no *E+* de forma a contemplar a convecção dentro da câmara de ar proposta no sistema de fachada ventilada, além do previsível efeito de transmissão do fluxo de calor.

Tipologias

Assim foram modeladas, através do *plugin Legacy OpenStudio*, dentro do ambiente de trabalho do programa *SketchUp*, duas edificações características: a primeira para situação base com envoltório tradicional (PAD) e a segunda para o sistema proposto com fachada ventilada (FV). Elas foram compostas pelo empilhamento de apenas quatro unidades singulares, com distinção na forma da composição das paredes externas orientadas para Leste, Norte e Oeste em cada uma delas, conforme os parâmetros da **Tab. 5**. A parede orientada para o Sul, nos dois modelos de análise, apresenta o mesmo sistema construtivo.

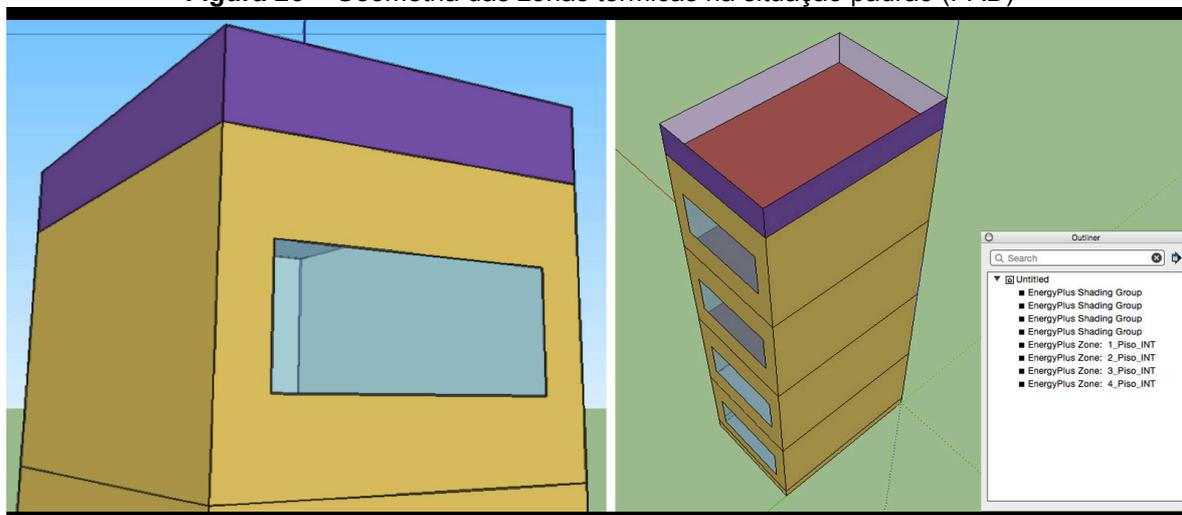
Tabela 5 – Configuração das situações base e proposta no estudo-piloto

Situação	U_{value} (W/m ² .K)	Capacidade Térmica (kJ/m ² .K)	Atraso Térmico ϕ (horas)	Espessura Equivalente (m)	Densidade Equivalente (kg/m ³)
PAD – Alvenaria Padrão	2,59	252,57	4,44	0,0289	2.643,18
FVO – Fachada Ventilada Opaca	1,88	232,88	5,62	0,0705	933,03

A montagem dos dois modelos é apresentada a seguir, nas **Figs. 26 e 27**, e seguiram a lógica de manter a mesma área interna útil. Considerando-se que grande parte da carga térmica pela radiação solar incidente na edificação advém da cobertura, tomou-se o cuidado de tentar protegê-la com o uso de platibandas. Assim, na versão PAD, ela foi desenhada com superfícies chamadas de "*Shading Group*" – elementos de sombreamento para o qual não há necessidade de atribuir-

se qualquer tipo de material, ou designar camadas compositivas, pois não oferecem trocas térmicas (ou elas são desnecessárias em relação ao que se observa).

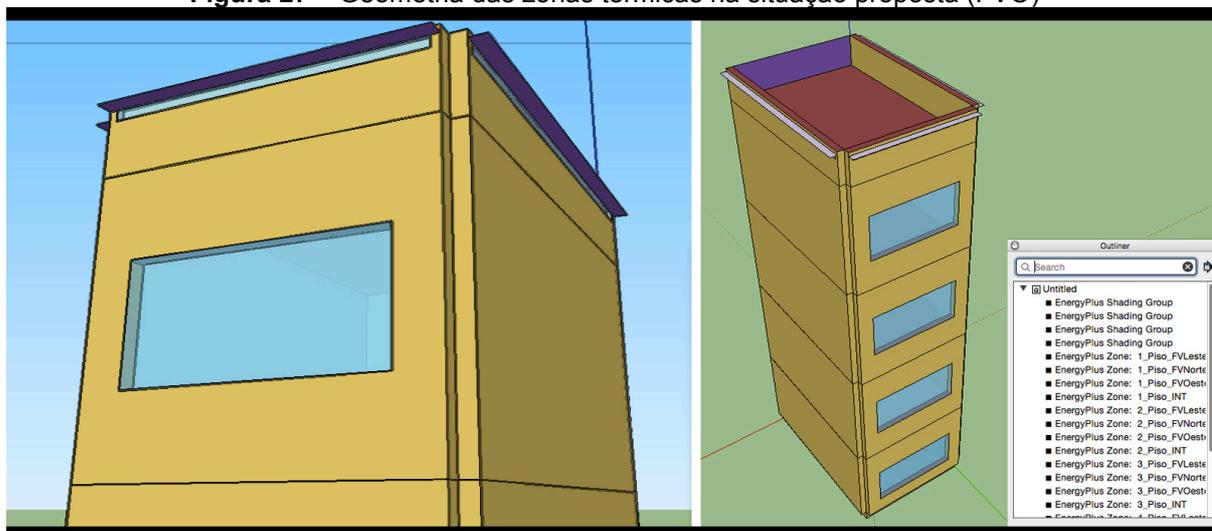
Figura 26 – Geometria das zonas térmicas na situação padrão (PAD)



Fonte: Pelo autor, 2015

Já na versão FV, todas as faces externas voltadas para as orientações Leste, Norte e Oeste, foram conformadas como zonas térmicas, estendendo-se inclusive para as platibandas. Além do sombreamento parcial da cobertura, o uso deste elemento arquitetônico oferece uma conveniência quando se está pensando no sistema de fachadas ventiladas: a elevação do ponto de saída de ar que circula pela cavidade. A combinação de acúmulo e exaustão do calor no topo do sistema, poderia sobrecarregar a temperatura interna das superfícies das zonas em contato direto com esta área.

Figura 27 – Geometria das zonas térmicas na situação proposta (FVO)



Fonte: Pelo autor, 2015

Vedações Externas

Enquanto a primeira situação exemplificada na **Fig. 25** apresentou as paredes externas nestas orientações com uma construção de reboco externo, blocos de concreto com espessura de 19cm e argamassa de revestimento interna, a segunda foi concebida de outra forma para atender o sistema proposto com fachada ventilada.

Entretanto, foram adicionadas três outras zonas térmicas por pavimento – uma para cada orientação mencionada anteriormente, fazendo com que cada qual destas novas zonas térmicas representasse um simulacro de fachada ventilada, conforme exemplificado na **Fig. 26**, apresentando uma espessura unitária de 20cm (tal qual o esperado em uma situação de construção real das câmaras de ar). Além disso, a platibanda prevista apresenta a configuração *Shading Group* na situação base, enquanto que na situação proposta ela assume a característica de zona térmica (exceto na face orientada para Sul, onde ela também é um *Shading Group* fechando o vão superior).

Com isto, o que na versão PAD eram paredes externas, assumem a condição de uma parede interna na interface com as zonas térmicas criadas para o sistema de fachada ventilada. Estas paredes assumem uma configuração (de dentro para fora), com a argamassa de revestimento, bloco de concreto 9cm, reboco e manta barreira de vapor. As demais três superfícies que compõem cada uma destas três zonas são construções de paredes externas compostas apenas pelo material cerâmica extrudada.

As configurações utilizadas estão discriminadas na **Tab. 6**, na fase de **concepção para o emprego no estudo-piloto** testado. Os dados desta tabela estão revisados, editados e ampliados para o modelo final. Os valores utilizados são originados dos dados expressos na **Tab. 5** (apresentado anteriormente) de acordo com os métodos de cálculo indicados pela NBR 15.220 – Parte 3, apresentando-se as Transmitância Térmica e Capacidade Térmica, além do atraso térmico para as duas situações avaliadas. Com o U_{value} e a C_T são calculadas as "espessura equivalente" e "densidade equivalente" dos componentes heterogêneos dos envoltórios no *EnergyPlus*.

Tabela 6 – Componentes e propriedades dos elementos construtivos para inserção no programa de simulação *EnergyPlus*

Material (externo para interno)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Densidade Equivalente (Kg/m3)	Calor Específico (J/kg.K)	Espessura Equivalente (m)	α	ε
PAREDES EXTERNAS						
Situação Base – PAD, com pintura clara nas faces interna e externa						
argamassa de revestimento	1,150	2000	1000	0,025	0,40	
bloco de concreto 19x39x14cm	1,750	2643,18	1000	0,0289	0,65	
câmara de ar interna 140mm		R=0,1700W/m ² K			–	0,90
bloco de concreto 9x19x39cm	1,750	2643,18	1000	0,0289	0,65	
argamassa de revestimento	1,150	2000	1000	0,025	0,40	
Situação Proposta – FV, com cerâmica aparente na face externa e pintura clara na face interna						
cerâmica extrudada	1,050	2133,30	920	0,015	0,73	
câmara de ar ventilada		R=0,1400W/m ² K			–	
filme barreira de vapor 0,1mm		R=0,0020W/m ² K			–	
reboco	0,720	2050	932	0,010	0,76	
bloco de concreto 9x39x14cm	1,750	933,83	1000	0,0705	0,65	0,90
câmara de ar interna 40mm		R=0,1400W/m ² K			–	
bloco de concreto 9x39x14cm	1,750	933,83	1000	0,0705	0,65	
argamassa de revestimento	1,150	2000	1000	0,025	0,40	
PISO EXTERIOR						
Situação Base – PAD e Situação Proposta – FV						
laje de concreto tipo radier	1,750	2400	1000	0,125	0,70	
camada de regularização	0,290	800	1000	0,020	0,40	
argamassa de assentamento	1,150	2000	1000	0,010	0,40	0,90
piso cerâmico 400x400mm	0,900	1600	920	0,007	0,39	
COBERTURA						
Situação Base – PAD e Situação Proposta – FV						
laje de concreto leve	0,530	1280	840	0,1016	0,70	
câmara de ar interna		R=0,1800W/m ² K			–	0,90
forro acústico	0,060	368	590	0,0191	–	

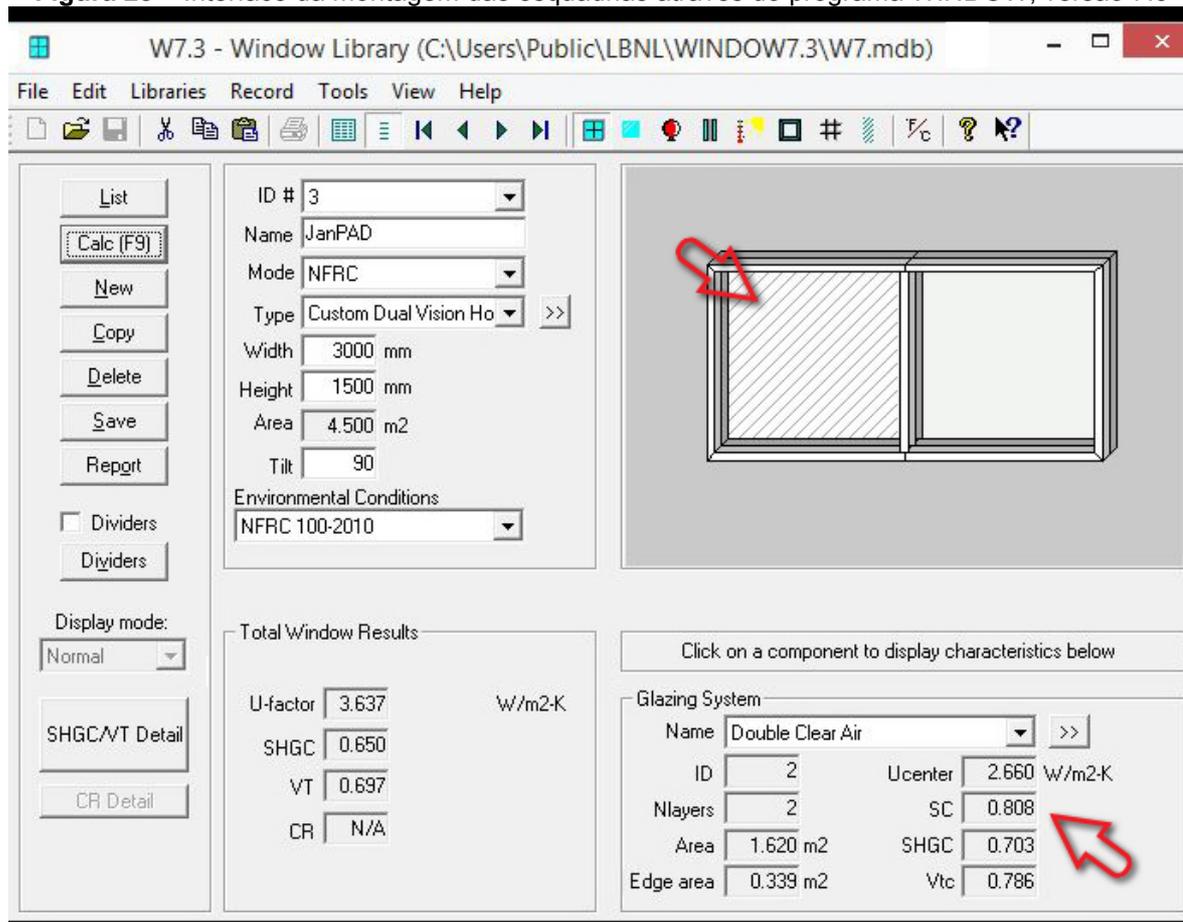
Esquadrias

As duas versões apresentam uma esquadria por zona (ou uma por pavimento) voltada para a face Norte. No modelo PAD, ela é composta por vidro duplo; no de fachada ventilada, há duas esquadrias– um plano simples no plano mais externo, outro simples na superfície de interface entre as zonas, o que provoca um envidraçamento duplo. Ressalte-se que no modelo da FV, o espaço que interliga cada um dos vértices entre os dois planos de vidros está selado, tornando independente este conjunto vítreo da câmara de ar adjacente.

Em princípio, visando a menor quantidade de diferenças possíveis entre os modelos, buscou-se o uso de um mesmo tipo de janela nas duas situações a serem confrontadas. Entretanto, devido a solução geométrica encontrada para a modelagem do sistema de fachada ventilada, o tratamento das esquadrias assume uma forma para a situação base (PAD), e outra para a situação proposta (FV).

O material "vidro" e suas propriedades foram obtidas através do banco de dados do programa *Window v7.3* (LBNL, 2014), escolhendo-se o modelo incolor, tipo *float*, com 3mm de espessura. Na **Fig. 28** vê-se a interface de trabalho do programa, de onde um relatório específico é gerado no formato de um arquivo IDF, contendo as propriedades térmicas e espectrais da esquadria, permitindo a cópia de seus objetos e a incorporação diretamente nos arquivos de simulação.

Figura 28 – Interface da montagem das esquadrias através do programa WINDOW, versão 7.3



Fonte: Pelo autor, 2015

Programações

As programações utilizadas para as simulações estão vinculadas a uma série de comandos que respondem como os modelos comportar-se-ão durante as simulações. Elas estão definidas por dois grandes grupos básicos: os tipos de programação (*Schedule Type Limits*) – que comandam partes ou o todo de outros elementos programados, e as programações em si (*Schedules*), compactas e derivadas.

Os tipos de programação trabalhadas são:

- a) Qualquer número ou valor;
- b) Fração ou percentual;
- c) Temperatura;
- d) Ligado ou desligado;
- e) Tipo de controle;
- f) Umidade;
- g) Número.

Estas programações estão orientadas ao uso e ocupação para os modelos propostos, inicialmente pensadas nos itens a seguir, utilizadas de forma seletiva em cada situação:

- a) Infiltração – fração, entre 0 e 1;
- b) Vestimenta (Escritório) – fração, entre 0 e 1;
- c) Luzes (Escritório) – fração, entre 0 e 1;
- d) Equipamentos (Escritório) – fração, entre 0 e 1;
- e) Ocupação (Escritório) – fração, entre 0 e 1;
- f) AC – ligado ou desligado, 0 ou 1;
- g) *Setpoint* Refrigeração – temperatura, entre 21,5 e 26,5°C¹⁸;
- h) *Setpoint* Aquecimento – temperatura, entre 18 e 22°C;
- i) Dias de Projeto Apenas – qualquer número, entre 0 e 1;
- j) Velocidade do Ar – qualquer número;
- k) *FVO_Year Operation* – fração, entre 0 e 1;
- l) Atividade (Escritório) – qualquer número, entre 0 e 190.

Cargas Internas

As cargas internas obedeceram o critério de mesclar configurações ajustadas ao que o mercado imobiliário pode oferecer, mantendo-se dentro das possibilidades de oferta por parte das incorporadoras, com aquilo que pode-se atribuir ao "fator humano". Assim, conforme apresentado na **Tab. 7**, utilizou-se a densidade de potência de iluminação prevista como nível A no RTQ-C, padrão possível de ser oferecido pelos responsáveis por um empreendimento imobiliário. O que foge ao alcance direto dos incorporadores diz respeito à densidade de pessoas que ocuparão determinada metragem quadrada vendida, bem como a quantidade de

¹⁸ Conforme estipulado na NBR 16.401:2008.

equipamentos que farão uso para realizar suas atividades. Para isso, utilizaram-se o valor previsto como alta densidade para a ocupação humana (com nível de 130W por pessoa) – segundo a NBR 16.401-1 (ABNT, 2008), e alta densidade de carga interna para equipamentos da mesma norma – ainda que esta esteja calcada na *ASHRAE Handbook Fundamentals* (ASHRAE, 2009), com a classificação de *heavy density offices* (escritórios densamente ocupados).

Tabela 7 – Cargas internas

cargas	valores (W/m²)	standard
Ocupantes	26.00	20 pessoas a cada 100m ² (escritórios com alta densidade), conforme Tab. 1 da ABNT NBR 16401-3:2008
Iluminação		Limites máximos aceitáveis de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência A, segundo Tabs. 4.1 e 4.2 do RTQ-C
áreas de permanência prolongada	9.70	
áreas de permanência transitória	7.10	
Equipamentos	21.50	Valor estipulado para escritórios com alta densidade de carga interna, segundo classificação da ABNT 16401-1:2008, baseado na 2009 ASHRAE Fundamentals Handbook, Capítulo 18.12, "Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations", Tabs. 8, 9, 10, 11
Mobiliário	–	

Finalizando, para a simulação das edificações ventiladas naturalmente utilizou-se um valor ajustado de forma fixa. Assim, a taxa de renovação do ar contido em cada uma das zonas térmicas (internas) foi renovado uma vez este volume por hora, ou de cinco vezes este mesmo volume por hora. Usou-se para isso a programação de aberturas das esquadrias em contato com o meio externo, vinculadas ao uso e ocupação das zonas térmicas.

Período de Análise

De forma preliminar, no estudo-piloto para as situações base (PAD) e proposta (FV), as temperaturas internas foram observadas de duas maneiras: para os dias típicos de projeto no verão e no inverno, e com as temperaturas apuradas ao longo de um ano, zona a zona, todos os dias, hora a hora.

Para os dias típicos de projeto fez-se o estudo sem a influência das cargas internas e utilizando valores fixos para a ventilação: uma ou cinco renovações de ar por hora em horários de ocupação. A ideia até aquele momento ainda era buscar um paralelo com o que é solicitado pela parte 1 da NBR 15575 (ABNT, 2013, p.18), observando-se o atendimento aos requisitos e critérios mínimos para elementos de fachada e cobertura, ressaltando-se que esta norma está voltada para prédios habitacionais.

Para o período anual, as cargas internas foram adicionadas, buscando-se o estabelecimento de uma linha referencial do nível de conforto dos usuários baseado no conforto adaptativo. A intenção seria de vislumbrar o comportamento e o potencial de emprego tecnologia de fachada ventilada como recurso de envelope mecanizado em contraponto ao modelo estanque convencional, observando-se as temperaturas interna e externa oferecidas pelos arquivos climáticos utilizados.

Em ambas situações, os modelos foram avaliados usando-se arquivos climáticos das Zonas Bioclimáticas Brasileiras mais extremadas: ZBB1 – Curitiba/PR e ZBB8 – Manaus/AM.

3.2.2. Resultados

Com as ressalvas anteriormente descritas, os modelos foram inicialmente simulados prevendo-se os prédios operando apenas com ventilação natural, sem ocupação e sem a adição das cargas internas, conforme estabelecido para avaliação através da NBR 15.575 (ABNT, 2013). As **Tab. 8** e **9** apresentam os resultados de desempenho em dois períodos distintos do ano para cidade de Curitiba, obtidos pelo prédio nas duas situações: com o envelope tradicional PAD e com a fachada ventilada FV, respectivamente.

Tabela 8 – Nível de desempenho situação base PAD em Curitiba

Prédio Comercial					
ZBB 1 – eixo Norte 0°					
NewPAD08					VERÃO
AMBIENTE	Text máx	PADRÃO	5 REN/h	Tint média	Amplitude Térmica
1_PISO_INT	31.40°C	26.00°C		26.19°C	2.17°C
2_PISO_INT		27.38°C			
3_PISO_INT		27.55°C			
4_PISO_INT		28.17°C			
NewPAD08					INVERNO
AMBIENTE	Text mín	PADRÃO	5 REN/h	Tint média	Amplitude Térmica
1_PISO_INT	0.81°C	7.02°C		4.53°C	3.71°C
2_PISO_INT		4.45°C			
3_PISO_INT		4.07°C			
4_PISO_INT		3.31°C			

Tabela 9 – Nível de desempenho situação proposta FV em Curitiba

Prédio Comercial					
ZBB 1 – eixo Norte 0°					
NewFV08 WindAndStack_r					VERÃO
AMBIENTE	Text máx	PADRÃO	5 REN/h	Tint média	Amplitude Térmica
1_PISO_INT	31.40°C	26.12°C		26.68°C	2.76°C
2_PISO_INT		27.97°C			
3_PISO_INT		28.20°C			
4_PISO_INT		28.88°C			
NewFV08 WindAndStack					INVERNO
AMBIENTE	Text mín	PADRÃO	5 REN/h	Tint média	Amplitude Térmica
1_PISO_INT	0.81°C	8.01°C		5.73°C	3.41°C
2_PISO_INT		5.78°C			
3_PISO_INT		5.48°C			
4_PISO_INT		4.60°C			

Para a ZBB1, o modelo com fachada ventilada apresentou um desempenho superior comparado ao envelope tradicional, para o período de inverno. Entretanto, a temperatura média maior no período mais quente do ano sugeriu que a edificação não perdeu de forma satisfatória durante a noite o calor acumulado ao longo do dia.

As **Tabs. 10 e 11** apresentam os resultados de desempenho para cidade de Manaus (ZBB8), obtidos pelo prédio nas mesmas duas situações.

Tabela 10 – Nível de desempenho situação base PAD em Manaus

Prédio Comercial					
ZBB 8 – eixo Norte 0°					
NewPAD08_5ren_Z8					VERÃO
AMBIENTE	Text máx	PADRÃO	5 REN/h	Tint média	Amplitude Térmica
1_PISO_INT	34.90°C	32.46°C	33.32°C	1 ren	1 ren
2_PISO_INT		33.22°C	33.65°C	33.43°C	2.26°C
3_PISO_INT		33.34°C	33.69°C	5 ren	5 ren
4_PISO_INT		34.73°C	34.46°C	33.78°C	1.15°C

Tabela 11 – Nível de desempenho situação proposta FV em Manaus

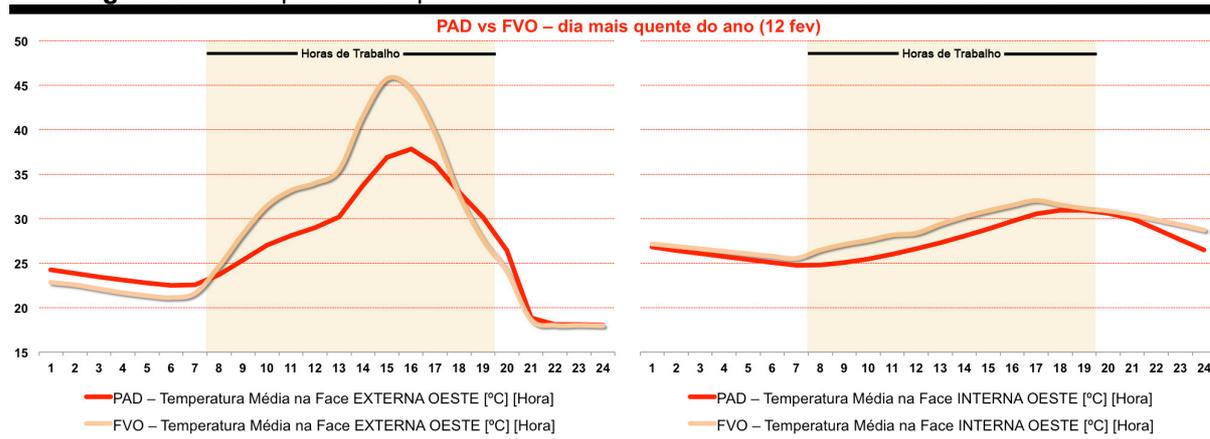
Prédio Comercial					
ZBB 8 – eixo Norte 0°					
NewFV08 WindAndStack_5ren_Z8					VERÃO
AMBIENTE	Text máx	PADRÃO	5 REN/h	Tint média	Amplitude Térmica
1_PISO_INT	34.90°C	32.89°C	33.53°C	1 ren	1 ren
2_PISO_INT		34.22°C	34.06°C	34.20°C	2.45°C
3_PISO_INT		34.34°C	34.09°C	5 ren	5 ren
4_PISO_INT		35.35°C	34.71°C	34.10°C	1.18°C

Nesta zona bioclimática não há necessidade de simular-se um dia típico para o período mais frio porque ele inexistente. A simulação da situação proposta FV teve um desempenho claramente inferior aquele apresentado pela vedação tradicional PAD. Como o quarto piso interno não apresentou o desempenho mínimo (para um último pavimento), fez-se nova simulação com o incremento na taxa de renovação do ar. Isto permitiu que o prédio fosse aprovado no método prescritivo da

NBR 15.575 (ABNT, 2013), mas representou um decréscimo de apenas $0,10^{\circ}\text{C}$ na temperatura média do modelo. A versão PAD não necessitaria ser submetida à quintuplicação da taxa de renovação de ar para ter o seu desempenho balizado com os requisitos da norma. Entretanto, ao fazê-lo, diferente com o ocorrido na situação FVO, o incremento na quantidade de renovações apontou um crescimento na média das temperaturas internas de $0,35^{\circ}\text{C}$. A amplitude térmica decresceu em ambas situações com o aumento da taxa de renovação, desta vez atingindo praticamente a metade do valor original nas duas situações.

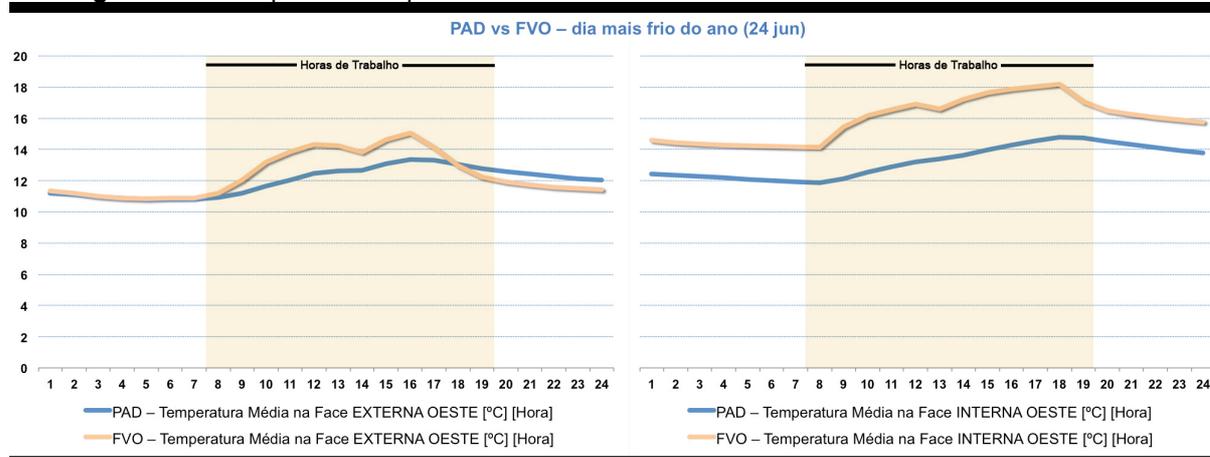
Outro quesito que pode ser observado para análise do desempenho térmico é o comportamento das temperaturas superficiais nos envoltórios. A título de ilustração, na Zona Bioclimática 3, com dados da cidade de São Paulo, fez-se um recorte da simulação do estudo-piloto original, conforme as **Figs. 29 e 30**.

Figura 29 – Temperatura superficial nas faces externa e interna da fachada Oeste – verão



Fonte: Pelo autor, 2015

Figura 30 – Temperatura superficial nas faces externa e interna da fachada Oeste – inverno



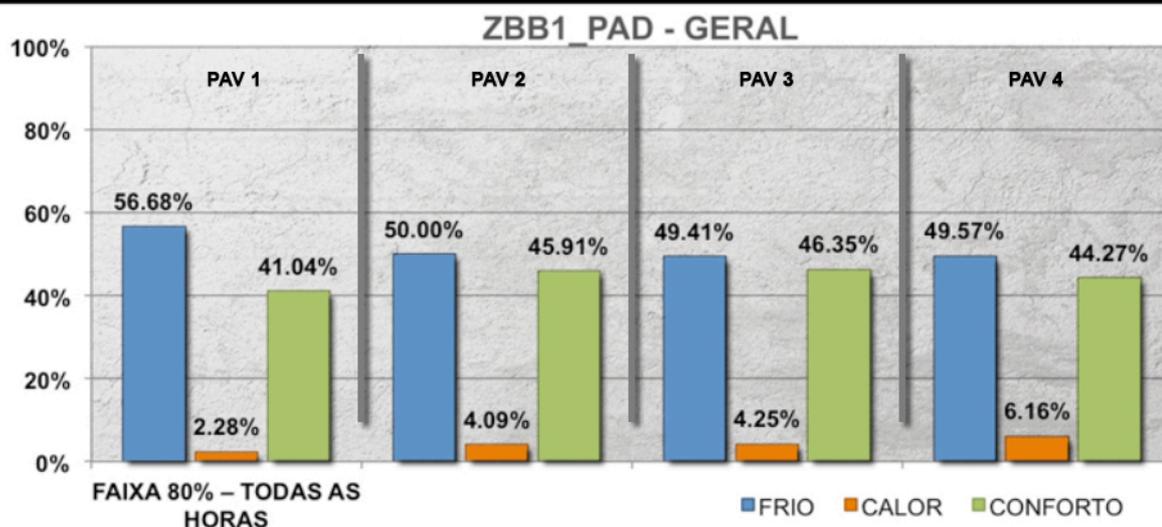
Fonte: Pelo autor, 2015

Observou-se o comportamento térmico superficial nas paredes externa e interna da face Oeste, nas duas situações estudadas. Na situação base PAD, as temperaturas interna e externa da face orientada para a orientação Oeste estão no mesmo elemento, que é tanto vedação quanto revestimento. Na situação proposta FV, como há elementos distintos entre os lados externo e interno, a superfície o plano do revestimento (cerâmica extrudada) é distinta da superfície interna do plano da vedação (reboco pintado).

De uma forma geral, a temperatura superficial externa da FV apresentou valores superiores ao da PAD nos dois períodos. Exceções (ainda que por pequenas margens) no verão, antes do horário das atividades, e ao final do horário de expediente, onde ela caiu mais rapidamente do que o da situação PAD, até as duas estabilizarem-se em valores praticamente iguais até o final do dia; e no inverno, após o horário das atividades. Internamente, a temperatura superficial da situação proposta FV esteve constantemente superior à da situação PAD. Entretanto, a maior diferença entre os gradis externo, implica em uma menor diferença média diária interna. Ou o oposto no período mais frio. Observando-se os gráficos de forma pareada, isto indica que, quanto menor a amplitude entre as máximas e mínimas, melhor a capacidade do sistema proposto em reter calor.

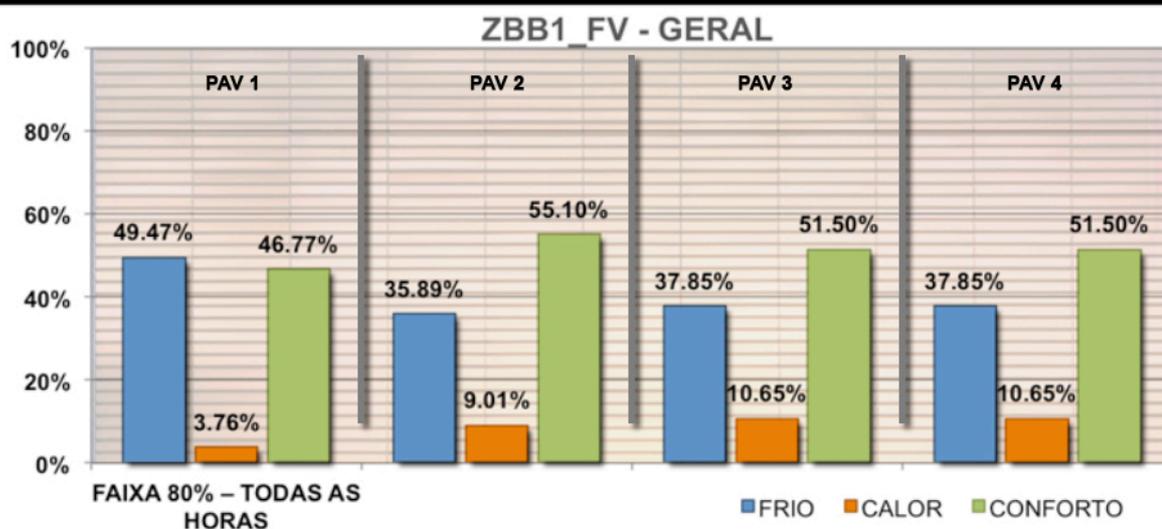
Após a realização desta primeira bateria de simulações, os modelos foram acrescidos das cargas internas, segundo dados da **Tab. 7** apresentados anteriormente (**item Cargas Internas**), ainda sem previsão de uso de climatização artificial. Com isto, apurou-se o percentual de horas em conforto ao longo de todas as horas em todos os dias do ano, utilizando-se apenas a ventilação natural (**Figs. 31 e 32**). Assim, cada par de figuras a seguir apresenta, de forma sequencial, o percentual de pessoas em desconforto por frio, desconforto por calor, ou em situação de conforto (ao nível de 80% de satisfação).

Figura 31 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas em todas as horas do ano na situação proposta PAD em Curitiba



Fonte: Pelo autor, 2015

Figura 32 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas em todas as horas do ano na situação proposta FVO em Curitiba

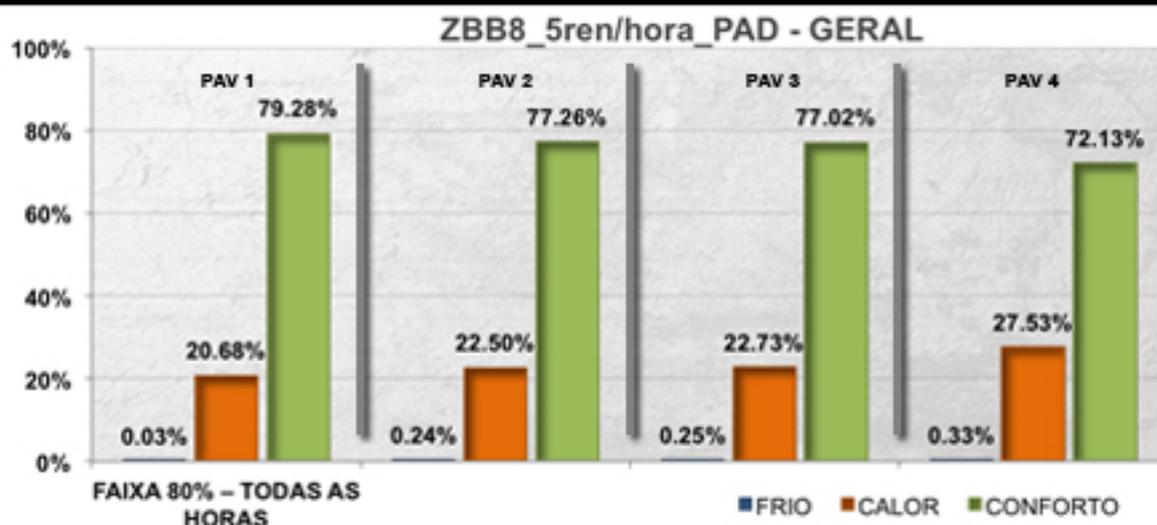


Fonte: Pelo autor, 2015

Observa-se que na Zona Bioclimática 1, independente do pavimento analisado, a situação proposta FV **sempre apresentou um desempenho superior para conforto**, com valores relativos 14% acima para o térreo, 20% acima para o segundo, 11% acima para o terceiro e 16% acima para o último piso. O desconforto por frio, que de uma forma geral é preponderante ao longo do ano na cidade de Curitiba, também apresentou **valores menores** na situação proposta FV em relação à situação base PAD.

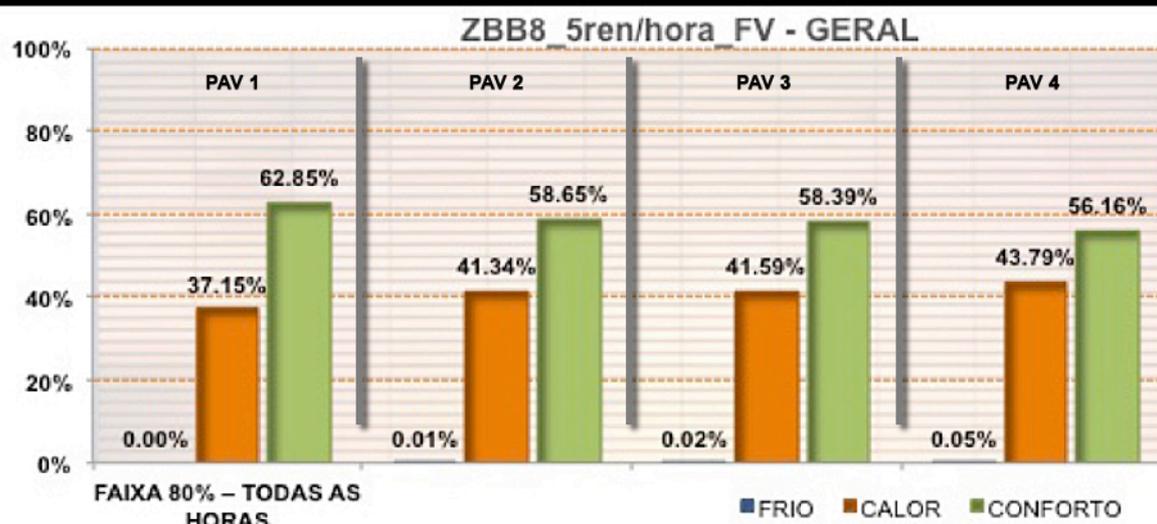
Na Zona Bioclimática 8 em Manaus, quando analisadas todas as horas em todos os dias do ano (Figs. 33 e 34), a situação proposta FV apresentou um **desempenho superior para conforto**, quando comparado com a situação base PAD. Isto ocorreu quando ampliou-se a taxa de renovação de ar nas zonas térmicas de uma para cinco trocas por hora.

Figura 33 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas em todas as horas do ano na situação base PAD em Manaus



Fonte: Pelo autor, 2015

Figura 34 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas em todas as horas do ano na situação proposta FVO em Manaus



Fonte: Pelo autor, 2015

Em termos absolutos, a situação tradicional PAD apresenta percentuais maiores de horas em conforto que a situação proposta FV. Ao observar-se os resultados de forma pareada, há indicação de que na situação proposta FV (com

menor U_{value} e, portanto, com maior isolamento) haja dificuldade de liberar para o meio externo a quantidade de calor gerada internamente. Isto apontaria a grande diferença de desconforto por calor em relação à situação PAD.

Entretanto, uma análise das temperaturas superficiais neste caso poderiam esclarecer melhor se esta lógica de pensamento está correta, ou se teríamos apenas algum indicativo de erro nos ajustes e/ou especificações da situação FV tão somente.

Interpolação dos Valores

Seguindo na análise inicial, e procurando um melhor enquadramento do desempenho das edificações simuladas, entendeu-se que seria mais crível a observância do conforto nos horários em que houvesse o vínculo com a presença humana, uma vez que a análise não trata de prédio habitacional. Desta forma, procurou-se a visualização apenas naquelas horas em que os prédios com atividade comercial, estivessem em funcionamento. Assim, observou-se o comportamento durante as horas onde há geração de calor internamente.

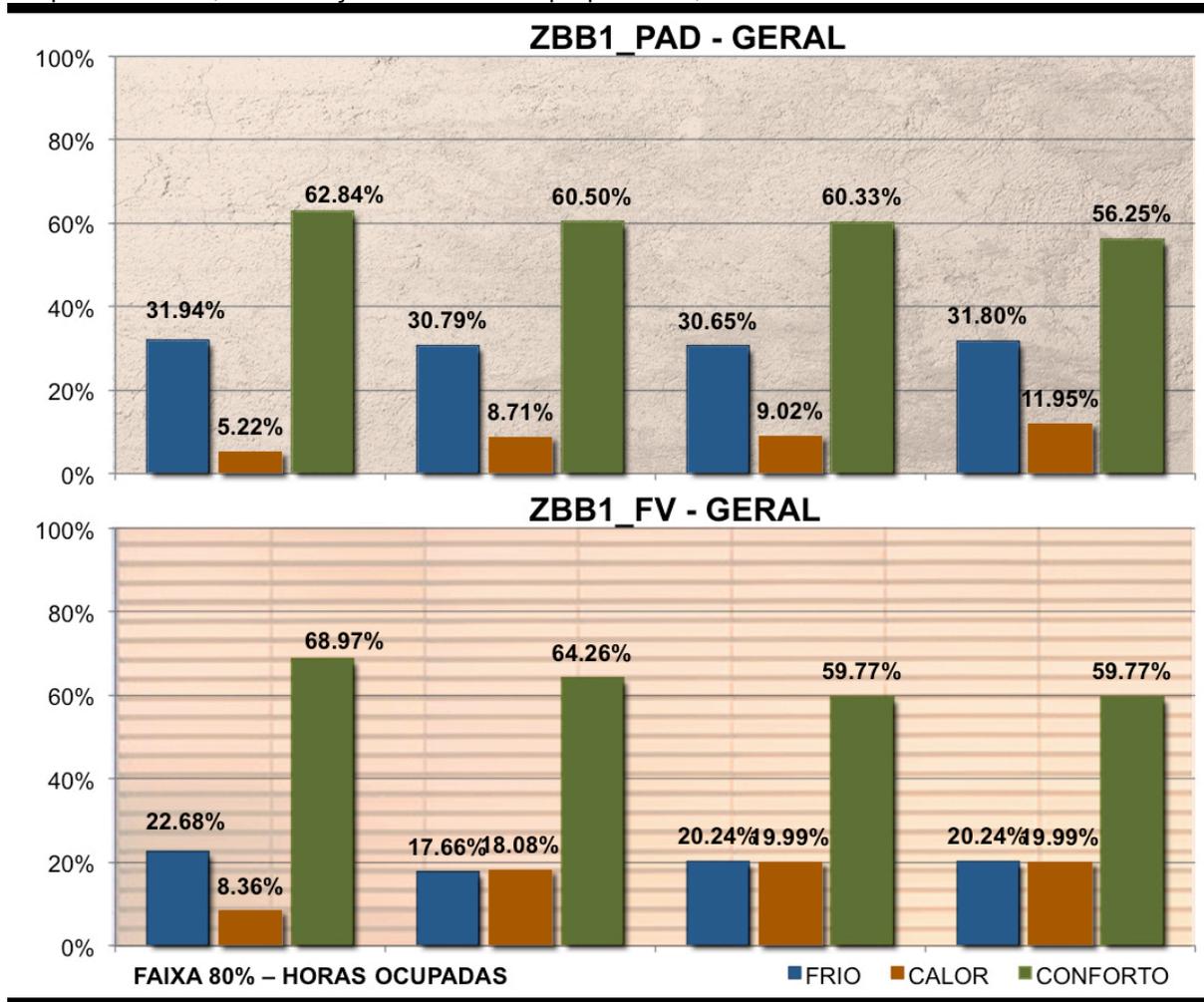
Desta forma, o horário de comparação foi limitado à programação de ocupação, definida entre 8:00 e 19:00h ao longo dos dias úteis da semana, e entre 8:00 e 13:00h aos sábados, durante o período anual. A série de gráficos a seguir está composta de pares referentes a cada uma das duas zonas bioclimáticas analisadas no estudo-piloto.

Para a cidade de Curitiba/PR (ZBB1), a **Fig. 35** apresenta o percentual em conforto durante as horas ocupadas elevou-se em aproximadamente 40% em relação aquele observado para todas as horas do ano, estabilizando-se os percentuais de desconforto por frio e calor na situação proposta FV – exceto para o pavimento em contato direto com o solo¹⁹. Para este, a influência do solo promove distintas trocas térmicas ao longo do ano: No período mais quente, o prédio beneficia-se das perdas acumuladas ao longo do inverno pelo solo, e este pavimento térreo tende a expurgar parte do calor interno gerado/acumulado pela laje térrea. No período mais frio, o mesmo pavimento ganha parte do calor acumulado no

¹⁹ Salienta-se que no modelo final do prédio-base proposto, o pavimento térreo servirá apenas de acesso na edificação, com áreas de permanência eventual (recepção, corredor e núcleo de circulação vertical). O prédio a ser modelado estará sob pilotis e as áreas de atividade-fim praticamente imunes à influência da temperatura do solo.

período mais quente do ano pelo solo, diminuindo as perdas que ocorrem pelas superfícies expostas das fachadas.

Figura 35 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas nas horas realmente ocupadas do ano, nas situações base PAD e proposta FV, em Curitiba

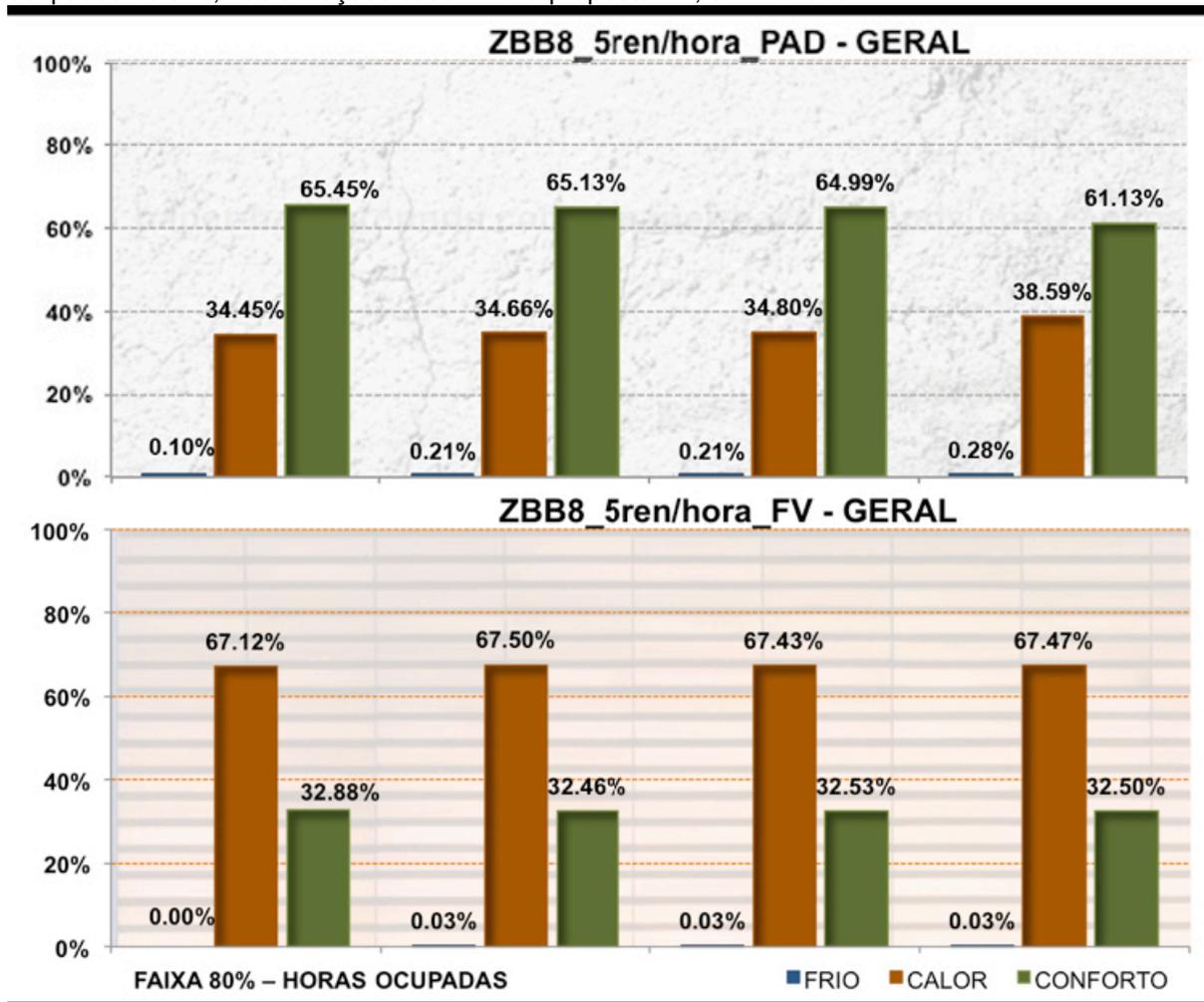


Fonte: Pelo autor, 2015

A situação base PAD melhorou seu percentual de horas em conforto da mesma maneira, diminuindo a discrepância entre desconforto por frio comparado ao desconforto por calor. Parte do que era visto como desconforto por frio para todas as horas do ano passou para a faixa de conforto, quando analisadas as horas realmente ocupadas nas edificações.

Na cidade de Manaus/AM (ZBB8), mesmo empregando o recurso de cinco renovações de ar a cada hora, a **Fig. 36** demonstra que houve grande discrepância entre os valores obtidos para situação base PAD quando comparada à situação proposta FV. A primeira apresentou **o dobro do percentual** para conforto quando comparada à segunda.

Figura 36 – Percentual de horas em conforto que atenda 80% das pessoas nas horas realmente ocupadas do ano, nas situações base PAD e proposta FV, em Manaus



Fonte: Pelo autor, 2015

Há praticamente inexistência de graus-hora de desconforto por frio nas horas realmente ocupadas ao longo do ano para as duas situações, mas dois terços dessas horas na edificação com o sistema proposto apresentaram-se em desconforto por calor.

Análise Gráfica

Observando-se os dados oferecidos pelas simulações, o desempenho geral em Curitiba, mesmo quando se restringe o horário de cômputo de horas, aponta que o envoltório com o sistema proposto tem melhores resultados que o tradicional. Ou seja, em um clima com maior quantidade de período frio ao longo do ano, independente da quantidade de calor gerada internamente, o envoltório com menor transmitância térmica funcionará melhor (dentro dos valores aqui simulados).

Há grande diferença entre os percentuais de conforto quando são observadas todas as horas do dia em relação ao apontado apenas nas horas com atividades. Isso indicaria que o envoltório proposto FV é capaz de apresentar uma capacidade maior de reter o calor internamente, ou ao menos dificultar o balanço térmico quando a temperatura do ar exterior diminua pela ausência da radiação solar (horário noturno) incidindo nos fechamentos verticais. Isto seria de grande valia em prédios voltados para a habitação, onde a considerável menor carga de calor interna, e o distinto horário de uso, tornam-nas mais suscetíveis à variação da temperatura externa.

Já para a cidade de Manaus/AM (ZBB8), mesmo ampliando-se a quantidade de renovações de ar a cada hora, há um grande desafio para a viabilidade no emprego do sistema de fachadas ventiladas. O elevado percentual ali apresentado de desconforto por calor – seja oriundo do meio externo pressionando o meio interno a buscar o equilíbrio, seja a alta carga interna impedida de sair – indicou que para possibilitar a utilização do sistema de fachada ventilada devia-se buscar uma alternativa. Naquele momento cogitou-se a troca do sistema tipo "multi-pavimentos" pelo "janela em caixa" como capaz de oferecer um melhor desempenho.

Existiu clara distinção entre as situações analisadas até o momento da qualificação da pesquisa. Curitiba apresentava-se com um clima temperado, com precipitações ao longo de todo o ano e um verão sem maiores excessos – Cfb, segundo a classificação Köppen-Geiger (1961-2006); Manaus apresentava-se noutra condição, com clima tropical de monção, sem estação fria – Am, segundo a classificação Köppen-Geiger (1961-2006). Segundo a interpretação dos resultados deste estudo-piloto, que indica grande diferença entre os percentuais de horas em conforto entre as versões PAD e FV, uma versão que considere a maior necessidade de "respiração" do envoltório e que contemple o balanço térmico de uma forma mais próxima do comportamento funcional apresentado por nossa pele, possa viabilizar o sistema proposto de fachada ventilada na ZBB8.

Assim como entende-se que um prédio não deva ser empregado de forma indistinta em relação ao lugar onde será construído, uma mesma solução tecnológica de fachada também deve estabelecer possibilidades de adequação. Portanto, a análise do estudo-piloto permitiu o entendimento que o sistema proposto utilizado em um zona bioclimática de forma satisfatória talvez não resulte em uma

boa solução para outra, com condições consideradas mais adversas para seu emprego.

Graus-Hora

As tabelas a seguir apresentam em destaque o que as superfícies opacas poderiam oferecer como ganhos ou perdas ao longo do período anual. A **Tab. 12** é oriunda da situação base PAD, enquanto a **Tab. 13** é o do envoltório com sistema de fachada ventilada FV.

Tabela 12 – Balanço energético da edificação, situação PAD para a Curitiba

Zona Térmica	HVAC Zone Eq. & Other Sensible Air Heating [GJ]	HVAC Zone Eq. & Other Sensible Air Cooling [GJ]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]	HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]	People Sensible Heat Addition [GJ]	Lights Sensible Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Addition [GJ]	Window Heat Addition [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Addition [GJ]	Infiltration Heat Addition [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Removal [GJ]	Window Heat Removal [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Removal [GJ]	Infiltration Heat Removal [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [GJ]
1_PISO_INT	0	0	0	0	0	0	0.029	2.149	4.763	7.269	0	0.138	0	0	-0.942	0	-2.736	-10.669
2_PISO_INT	0	0	0	0	0	0	0.029	2.149	4.763	7.103	0	0.102	0	0	-1.092	0	-3.182	-9.87
3_PISO_INT	0	0	0	0	0	0	0.029	2.149	4.763	7.056	0	0.102	0	0	-1.1	0	-3.204	-9.795
4_PISO_INT	0	0	0	0	0	0	0.029	2.149	4.763	6.989	0	0.069	0	0	-1.12	0	-3.271	-9.608
Total (GJ)	0	0	0	0	0	0	0.116	8.596	19.052	28.417	0	0.411	0	0	-4.254	0	-12.393	-39.942
Total (kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.22	2387.78	5292.23	7893.62	0.00	114.17	0.00	0.00	-1181.67	0.00	-3442.50	-11095.01

Tabela 13 – Balanço energético da edificação, situação FV para a Curitiba

Zona Térmica	HVAC Zone Eq. & Other Sensible Air Heating [GJ]	HVAC Zone Eq. & Other Sensible Air Cooling [GJ]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]	HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]	People Sensible Heat Addition [GJ]	Lights Sensible Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Addition [GJ]	Window Heat Addition [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Addition [GJ]	Infiltration Heat Addition [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Removal [GJ]	Window Heat Removal [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Removal [GJ]	Infiltration Heat Removal [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [GJ]
1_PISO_INT	0	0	0	0	0	0	0.029	2.149	4.763	0	0	0.098	0	0	0	0	-3.293	-3.746
1_PISO_FVOESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.596	0	0	4.668	0	-0.17	0	-5.095	0
1_PISO_FVLESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.621	0	0.009	2.879	0	-0.097	0	-3.412	0
1_PISO_FVNORTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.804	0	0	0	0	-1.445	0	-2.31	-4.049
2_PISO_INT	0	0	0	0	0	0	0.029	2.149	4.763	0	0	0.044	0	0	0	0	-4.353	-2.631
2_PISO_FVOESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.792	0	0	0	-5.792	0
2_PISO_FVLESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.115	0	0	0	-5.116	0
2_PISO_FVNORTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.39	0	0	0	0	-1.53	0	-2.734	-3.126
3_PISO_INT	0	0	0	0	0	0	0.029	2.149	4.763	0	0	0.042	0	0	0	0	-4.452	-2.53
3_PISO_FVOESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.713	0	0	0	-5.714	0
3_PISO_FVLESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	5.001	0	0	0	0	-5.002	0
3_PISO_FVNORTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.359	0	0	0	0	-1.524	0	-2.702	-3.133
4_PISO_INT	0	0	0	0	0	0	0.029	2.149	4.763	0	0	0.025	0	0	0	0	-4.271	-2.694
4_PISO_FVOESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	5.648	0	0	0	0	-5.649	0
4_PISO_FVLESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	4.928	0	0	0	0	-4.928	0
4_PISO_FVNORTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.366	0	0	0	0	-1.476	0	-2.625	-3.265
PLAT_OESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.582	0	0.011	1.719	0	-0.036	0	-2.277	0
PLAT_NORTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.257	0	0.008	0.581	0	-0.02	0	-0.826	0
PLAT_LESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.552	0	0.012	1.817	0	-0.077	0	-2.305	0
Total (GJ)	0	0	0	0	0	0	0.116	8.596	19.052	32.527	0	0.252	43.861	0	-6.375	0	-72.856	-25.174
Total (kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.22	2387.78	5292.23	9035.29	0.00	70.00	12183.62	0.00	-1770.83	0.00	-20237.79	-6992.78

Atendendo a expectativa inicial, percebeu-se que os ganhos de calor pela presença das pessoas, iluminação e equipamentos permaneceram inalterados, pois tratam-se de configurações internas compartilhadas igualmente. Nestes dados não aparecem os ganhos referentes às cargas oriundas das atividades das pessoas.

Para os elementos transparentes dos envoltórios tem-se que a situação FV apresentou um fluxo 8,2% superior ao da situação PAD (computando-se os ganhos

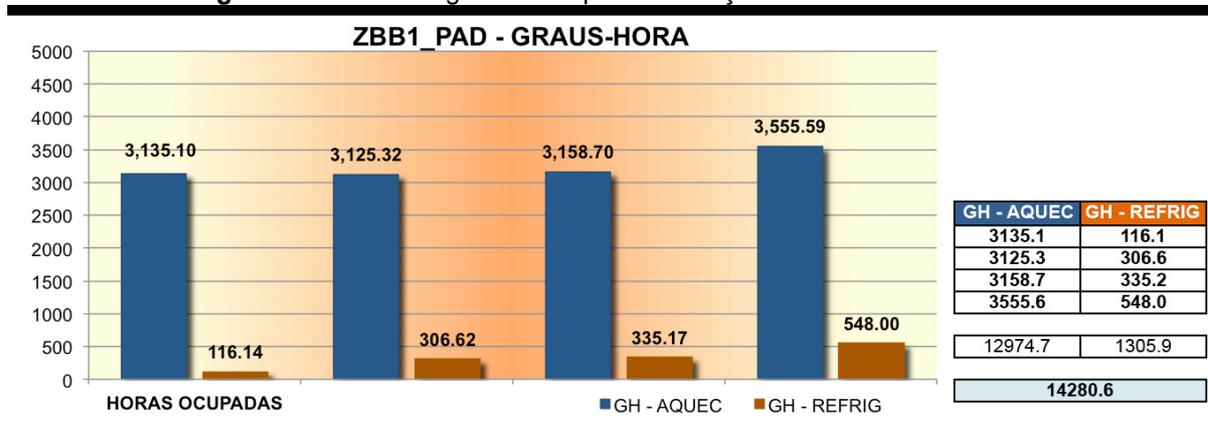
e perdas de calor pelas janelas). Isto explica-se parcialmente porque, apesar da mesma dimensão de vão, a distância entre os planos vítreos na solução geométrica da versão FV era maior que aquela da versão PAD, gerando um colchão de ar estanque (e que se aquece ao longo do dia), responsável por simultaneamente:

- favorecer a irradiação do calor desde o meio externo para o interno;
- dificultar o expurgo do calor gerado pelas altas cargas do meio interno ao externo.

Em contrapartida, como ponto de interesse, enquanto as superfícies opacas na situação tradicional PAD apenas removem calor, na situação proposta FV o fluxo tem um balanço específico que indica absorção de calor (computando-se os ganhos e perdas de calor pelas paredes).

Do ponto de vista dos valores energéticos obtidos pelo somatório de horas em desconforto por frio ou calor ao longo de um ano, as simulações indicaram que o sistema proposto pudesse apresentar viabilidade termoenergética apenas nas ZBBs 1 e 2. Estas zonas bioclimáticas apresentam um período frio mais significativo (ou extenso) ao longo do ano do que as demais.

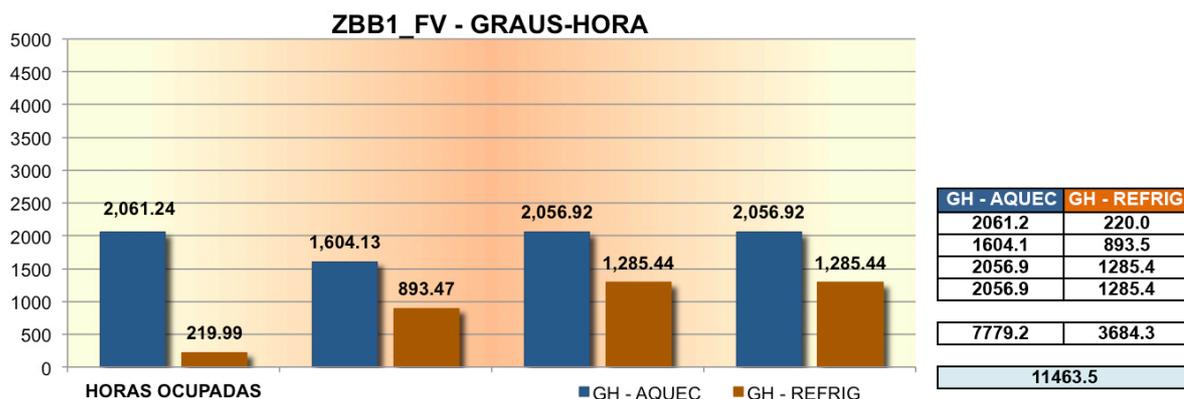
Figura 37 – Total de graus-hora para a situação base PAD em Curitiba



Fonte: Pelo autor, 2015

Quanto ao cômputo de graus-hora com as edificações em horário de ocupação e em operação, em Curitiba o total de GH em desconforto na situação FV (**Fig. 38**) atingiu 80,3% do total observado para a situação PAD (**Fig. 37**).

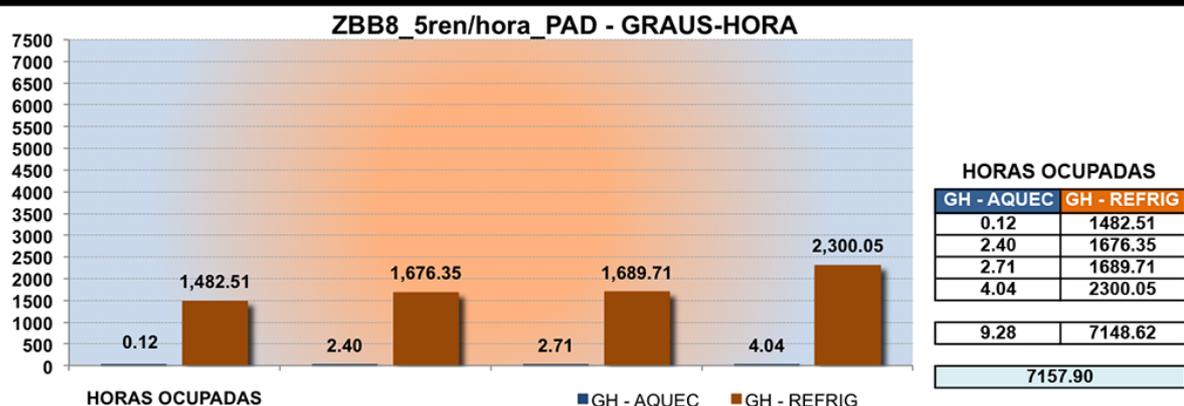
Figura 38 – Total de graus-hora para a situação proposta FV em Curitiba



Fonte: Pelo autor, 2015

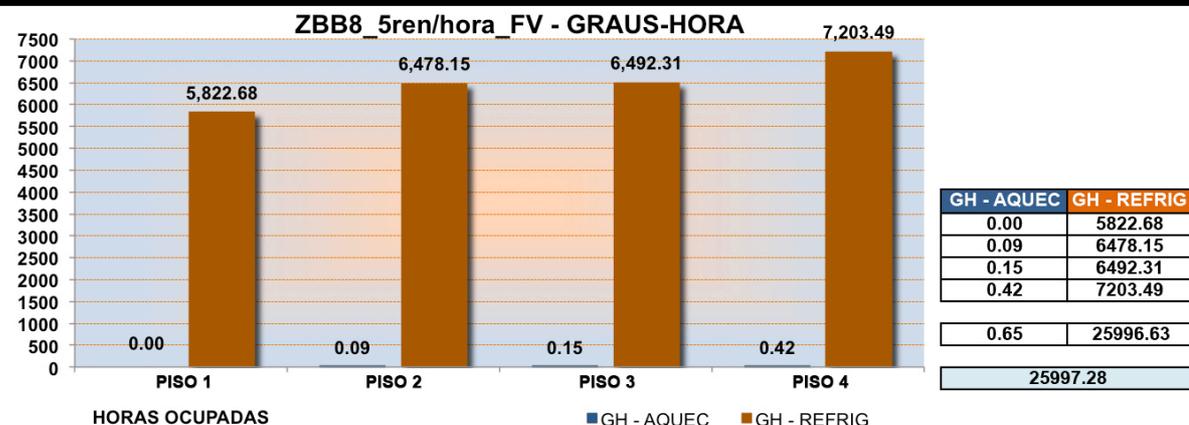
Na cidade de Manaus (ZBB 8) os resultados são antagônicos entre cada uma das situações, conforme as **Figs. 39 e 40** a seguir.

Figura 39 – Total de graus-hora para a situação base PAD em Manaus



Fonte: Pelo autor, 2015

Figura 40 – Total de graus-hora para a situação proposta FV em Manaus



Fonte: Pelo autor, 2015

A situação proposta FV em Manaus/AM apresentou um valor de horas em desconforto quase três vezes e meia em relação ao total computado para a situação

tradicional PAD. O último pavimento da FV, por exemplo, atingiu cerca de 7200 graus-horas de desconforto por calor. Pela piora em ritmo regular de crescimento dos índices na situação proposta, há indução da ideia de que em um prédio com maior volume e altura os valores esperados pudessem alcançar índices ainda mais inaceitáveis.

A quantidade de graus-hora no estudo-piloto esteve restrita às semanas com temperaturas extremas – de calor e de frio – nas duas Zonas Bioclimáticas Brasileiras analisadas no momento da qualificação desta pesquisa: 1 e 8. Os resultados apurados indicaram uma quantidade de horas em conforto/desconforto e graus-hora pertinentes, ou pelo menos dentro do esperado, para o prédio com o envoltório tradicional (PAD), considerando-se as peculiaridades bioclimáticas de Curitiba e Manaus, respectivamente.

Com o desenvolvimento do prédio-base, há expectativa que as distorções encontradas na situação proposta (FV) para o número de horas em desconforto, vinculem-se muito mais com a incerteza sobre a geometria do modelo simulado do que com o sistema em si. Ademais, o período analisado foi de semanas extremas, e questiona-se esta representatividade/expressividade quando se pensa no comportamento do dia-a-dia. A premissa de que se funciona para a pior situação, deve funcionar para o tempo todo é refutada porque o sistema pode ter um desempenho muito bom (ou muito ruim) em situações limites, mas que não significa melhor desempenho geral. A sua operação na maior parte do tempo, ou ao longo de um período anual, poderia vincular-se muito mais às semanas típicas, aquelas com maior capacidade de repetirem-se em um período mais longo de análise.

3.3. Modelagem

3.3.1. Arquivos Climáticos

Inicialmente, para que ocorram as simulações, faz-se necessária a composição do arquivo próprio do EnergyPlus com um arquivo climático para o local definido para que ela ocorra. Assim, o programa necessita do arquivo IDF (acrônimo para *Input Data File*) e do arquivo climático em formato próprio, chamado EPW (acrônimo para *EnergyPlus Weather*).

Há inúmeras fontes que originam estes arquivos climatológicos capazes de serem convertidos em EPW, mas segundo Goulart (1993, *apud* PACHECO, 2007), o

... *Test Reference Year (TRY)* representa um ano real de dados referentes a um período de registro disponível de 10 anos ou mais. A mais recente geração de sistemas informatizados para simulação de desempenho térmico de edificações, adota como dados de entrada, representando o clima local, informações horárias de um período anual. Exemplos desses sistemas são DOE, ESP e COMFIE, que utilizam os dados climáticos horários de um ano típico, para cálculo do consumo de energia e avaliação de desempenho térmico em edifícios.

De maneira geral, o TRY (ano climático de referência) é obtido pelo descarte gradual de anos dentro de um período amostral cujos dados tenham as temperaturas médias mensais extremas. A retirada dos valores mais altos e mais baixos dá-se até que se obtenha apenas um ano de dados médios. Não há extremos de temperatura, e isto lhe indicaria para melhor avaliar situações de conforto.

No período de montagem desta pesquisa, a partir do banco de dados disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LABEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina, foi apurado que para o Brasil há arquivos do tipo TRY apenas para cidades em quatro zonas bioclimáticas (considerando-se a substituição da cidade de Manaus-AM utilizada no estudo-piloto por Belém-PA).

Para as demais zonas, buscou-se o emprego de arquivos do tipo *Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)*. Este foi um projeto de cooperação internacional do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente que reuniu dados sobre energia solar e eólica, além de ferramentas em plataforma aberta. As informações e dados compilados estão disponíveis para o público em geral, e destinam-se aos formuladores de políticas, planejadores, projetistas, analistas e investidores.

Ainda restava a necessidade de um arquivo climático para a ZBB5, que não possuía nem TRY, nem SWERA. Na mesma fonte – LABEEE, buscou-se o arquivo EPW existente no conjunto referente à série corrigida do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil – INMET (2015). Originalmente, os arquivos EPW são baseados *Test Meteorological Year*, versão 2 – TMY2, que resultam em um ano inexistente. Ele é montado pelo descarte de meses sem extremos de temperatura ao longo de diferentes anos em uma série contínua, que gera um ano fictício.

A **Tab. 14** mostra uma síntese destes dados, incluindo a indicação da classificação climatológica de Köppen-Giger para cada cidade representante das zonas bioclimáticas.

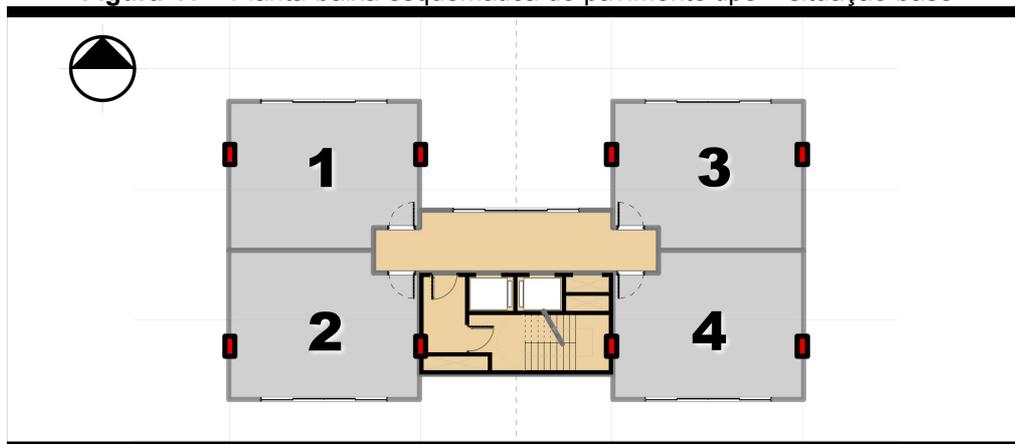
Tabela 14 – Dados gerais das oito zonas bioclimáticas

ZBB	Köpper	Cidade	UF	T _{média anual}	Pluviometria	Latitude	Longitude	Elevação	Arquivo
1	Cfb	Curitiba	PR	17,1°C	1390mm	25,43 S	47,27 O	924m	TRY
2	Cfa	Santa Maria	RS	19,1°C	937mm	29,66 S	53,80 O	95m	SWERA
3	Cfb	São Paulo	SP	18,5°C	1340mm	23,50 S	46,62 O	792m	TRY
4	Aw	Brasília	DF	21,1°C	1668mm	15,78 S	47,93 O	1115m	TRY
5	Csb	Vitória da Conquista	BA	20,0°C	712mm	14,88 S	40,79 O	875m	EPW
6	Aw	Campo Grande	MS	23,4°C	1449mm	20,45 S	54,62 O	530m	SWERA
7	Aw	Cuiabá	MT	26,1°C	1337mm	15,55 S	56,12 O	150m	SWERA
8	Aw	Belém	PA	26,8°C	2537mm	01,46 S	48,50 O	24m	TRY

3.3.2. Apresentação do Projeto

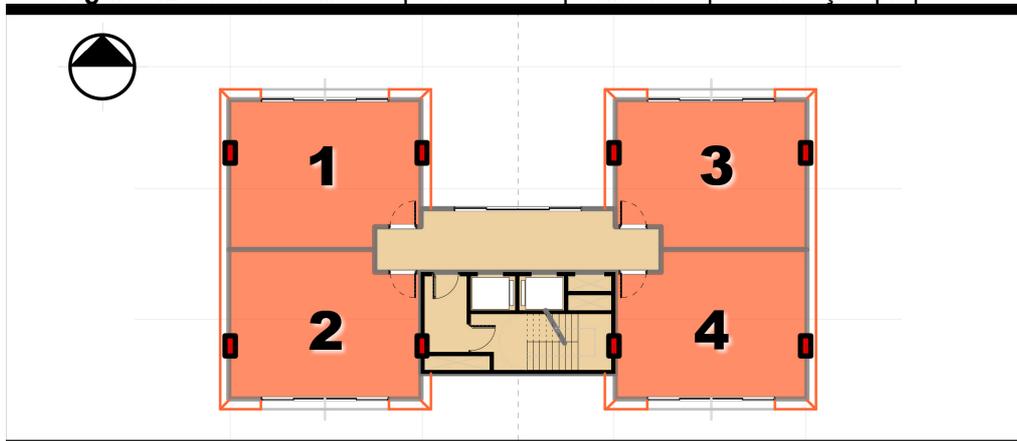
O pavimento tipo, que se repete em altura oito vezes, distribui-se em duas alas com núcleo de circulação vertical e hall ao centro e um corredor longitudinal de distribuição. Esta disposição está apresentada nas **Fig. 41** e **42**, as quais apresentam simetria axial transversal, e simetria axial parcial longitudinal.

Figura 41 – Planta-baixa esquemática do pavimento tipo – situação base



Fonte: Pelo autor, 2015

Figura 42 – Planta-baixa esquemática do pavimento tipo – situação proposta



Fonte: Pelo autor, 2015

O uso das cores apresentadas nas figuras segue o que será empregado ao longo deste trabalho, com o **CINZA** para elementos do modelo tradicional PAD e **LARANJA** para o modelo proposto FVO. Para quem estiver lendo esta pesquisa sem acesso às cores, o modelo tradicional PAD aparecerá como **CINZA CLARO**, enquanto o modelo proposto FVO estará em **CINZA ESCURO**.

A geometria básica do pavimento-tipo modelado é formada por quatro zonas térmicas em compartimentos principais – áreas de permanência prolongada (com faces laterais cegas, e aberturas apenas para Norte e Sul), e outras duas zonas em compartimentos secundários – áreas transitórias. Para o desenvolvimento do sistema de fachadas ventiladas opacas, elas também conformam zonas térmicas, embora sua área interna, e volume global, sejam desconsiderados nas totalizações oferecidas pelo programa de simulação. Para ampliação dos efeitos comparativos, as aberturas estarão sempre nas faces de maior dimensão, permitindo que todas as simulações apresentem o comportamento com as salas na dispostas ao longo dos eixos Norte-Sul, ou Leste-Oeste.

Desta forma, facilitando a comparação entre os dois sistemas, há uma mesma metragem geral das edificações PAD e da FVO, contabilizando cada uma **1891,23m²**. Deste total, **1393,02m²** são "áreas condicionáveis", enquanto **498,21m²** são "áreas não condicionáveis".

Comercial Salas e Lojas (CSL - 8)

O tipo edifício selecionado para este estudo está enquadrado como Comercial Salas e Lojas, e tem sua descrição sucinta para o objeto "prédio comercial" está contida na **Tab. 15**.

Tabela 15 – Prédio Comercial, segundo a NBR 12.721 (2006)

EDIFICAÇÃO COMERCIAL (PADRÕES NORMAL E ALTO)	
Comercial Salas e Lojas (CSL - 8)	
Composição do edifício:	Garagem, pavimento térreo e oito pavimentos tipo.
Descrição dos pavimentos:	
	Garagem
	escada, elevadores, sessenta e quatro vagas de estacionamento coberto, cômodo de lixo, depósito e instalação sanitária
	Pavimento Térreo
	escada, elevadores, hall de entrada e lojas
	Pavimento Tipo
	hall de circulação, escada, elevadores, oito salas com sanitário privativo por andar
Área Real: 5.942,94m²	

Fonte: Pelo autor, adaptado da NBR 12.721 (2006)

A tabela é adaptada dos quadros com os tipos edifícios da NBR 12.721 (ABNT, 2006)²⁰, que discriminam as características das edificações para montagem do custo unitário básico da construção, popularmente conhecido pela sigla CUB. Neste estudo, com o objetivo de diminuir as variáveis com possibilidades de erro, o tipo foi diminuído de oito para quatro salas por pavimento, resultando em prédios mínimos do ponto de vista das necessidades das simulações.

Este envoltório conforma-se por uma sequência unitária e axialmente simétrica (do centro para dentro; do centro para fora) a partir do bloco de concreto vazado com 19cm de largura. Servirá de contraponto ao sistema de envoltório proposto da fachada ventilada opaca FVO, assimétrico, e que distingue a vedação interna do revestimento externo.

3.3.3. Apresentação das Zonas Térmicas

As configurações estabelecidas neste trabalho foram baseadas em duas alternativas: a primeira para a situação proposta, o sistema de fachadas ventiladas; a segunda para a situação com a qual deseja-se a comparação, um envoltório com blocos de concreto vazados e revestidos. Esta vedação vertical é corroborada pelo trabalho de Signor, Westphal e Lamberts (2001), conforme metodologia exposta no **item 2.2 – Soluções Tecnológicas para Prédios Comerciais**, com blocos de concreto de 19cm de espessura, recobertos interna e externamente com argamassa de revestimento, com U_{value} de $2,63W/m^2.K$. Esses autores definem a escolha por este tipo de fechamento ser comumente encontrado em todas as quatorze cidades analisadas, e porque essa composição serviria como síntese em relação àquelas que são empregadas na construção brasileira, as quais apresentam transmitâncias entre $2,00$ e $3,00W/m^2.K$ prevalentemente.

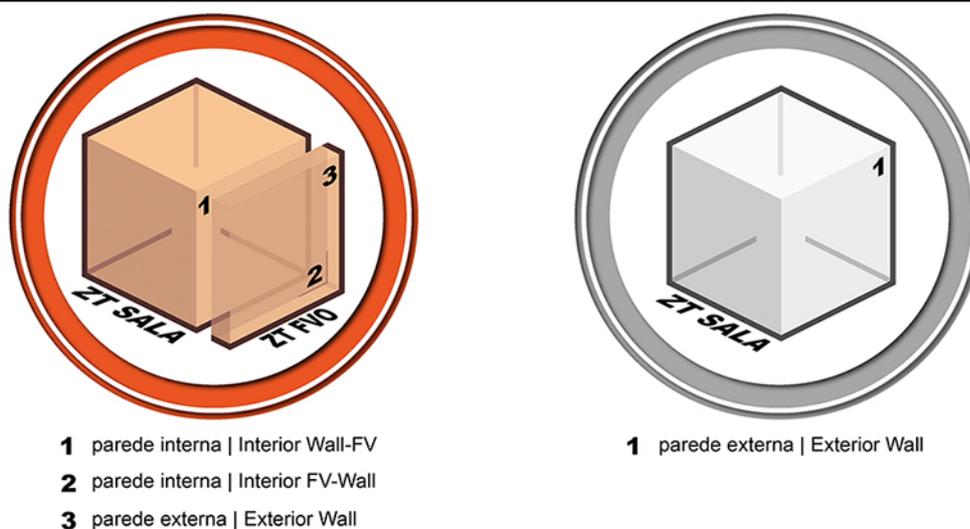
Considerando-se os demais componentes construtivos constantes nestas paredes, o cálculo realizado da resistência térmica total atingiu o valor de $0,3800m^2.K/W$, ou uma transmitância total de $2,63W/m^2.K$ na situação tradicional

²⁰ Ainda que NBR 12.721 também preveja garagens em subsolo, estas não foram construídas na montagem do modelo para simulação. Embora sua existência possa influenciar nas trocas de temperatura entre o solo e o corpo da edificação, como este está afastado daquele por um pavimento quase todo livre, sob pilotis, então os pavimentos previstos para servirem de estacionamento (área de uso comum, permanência eventual e não condicionada) foram desconsiderados neste estudo.

PAD, enquanto que para o sistema de fachada ventilada opaca da situação proposta FVO o cálculo da resistência térmica total apresenta o valor de $0,5074\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, ou uma transmitância total de $1,97\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$. Saliente-se que, diferente do recomendado pelos fornecedores deste sistema no Brasil, não foram empregados isolantes térmicos (lã de rocha, lã de vidro, poliestireno ou poliuretano) na composição dessas paredes, que trariam a transmitância para próximo de $1,00\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$.

Estes valores apresentados tratam do modelo físico e suas propriedades, mas ela não poderia ser transportada desta forma para o programa de simulação devido a abordagem definida para o sistema proposto. Nele há necessidade de distinguir as propriedades do modelo físico e do modelo geométrico, pois a FVO é tratada como uma zona térmica independente, onde a vedação faz parte da face de contato com as salas internas e o revestimento é a interface com o meio externo (Fig. 43).

Figura 43 – Conceito dos modelos geométricos FVO e PAD



Fonte: Pelo autor, 2016

A sequência de modelagens e execuções está discriminada na **Tab. 16**. Nela há previsão de análise das variáveis "Zona Bioclimática Brasileira", "Setpoint de Operabilidade" para abertura, fechamento e condições de uso das esquadrias, "Faixa de Conforto" para o emprego da climatização artificial, e "Orientação" do eixo longitudinal (paralelo às aberturas).

Tabela 16 – Quadro das simulações

VARIÁVEL DE PROJETO	CÓDIGO				DADOS DE AJUSTE	SITUAÇÕES				"RUN"
	VN	PTHP	GH	DD		FVO	PAD	PADeq	FVOeq	
Zonas Bioclimáticas Brasileiras										
três semanas extremas – QUENTE/SECA	✓					○	○	○		24
três semanas extremas – FRIA/ÚMIDA	✓					○	○	○		24
três semanas típicas – QUENTE/SECA	✓	✓			determinação do período de tempo	○	○	○	○	49
três semanas típicas – FRIA/ÚMIDA	✓	✓				○	○	○	○	43
semana típica – VERÃO ou QUENTE/SECA				✓		●	●	○	○	16
semana típica – INVERNO ou FRIA/ÚMIDA				✓		●	●	○	○	14
anual	✓		✓		8760 horas	●	●	●		24
dia típico de período quente		✓		✓	dia de projeto	●	●			16
dia típico período frio		✓		✓		●	●			14
Setpoint de Operabilidade										
24°C	✓		✓			○	○			2
23°C	✓		✓		ajustes de temperatura para abertura e fechamento de janela, horários de funcionamento e operabilidade da câmara de ar ao longo do ano	○	○			2
22°C	✓		✓			○	○			2
21,5°C	✓		✓			●	●	●	○	25
21°C	✓		✓			○	○			2
20°C	✓		✓			○	○			2
19°C	✓		✓			○	○			2
18°C	✓		✓			○	○			2
Faixa de Conforto										
22°C a 24°C		✓				○	○			16
20°C a 26°C		✓		✓		●	●			30
Eixo NORTE										
sem rotação do eixo transversal	✓		✓		N S	●	●	●		24
com rotação de 90° do eixo transversal	✓		✓		L O	●	●	○		16
									TOTAL	349
✓ aplicabilidade ● situação registrada ○ situação testada										

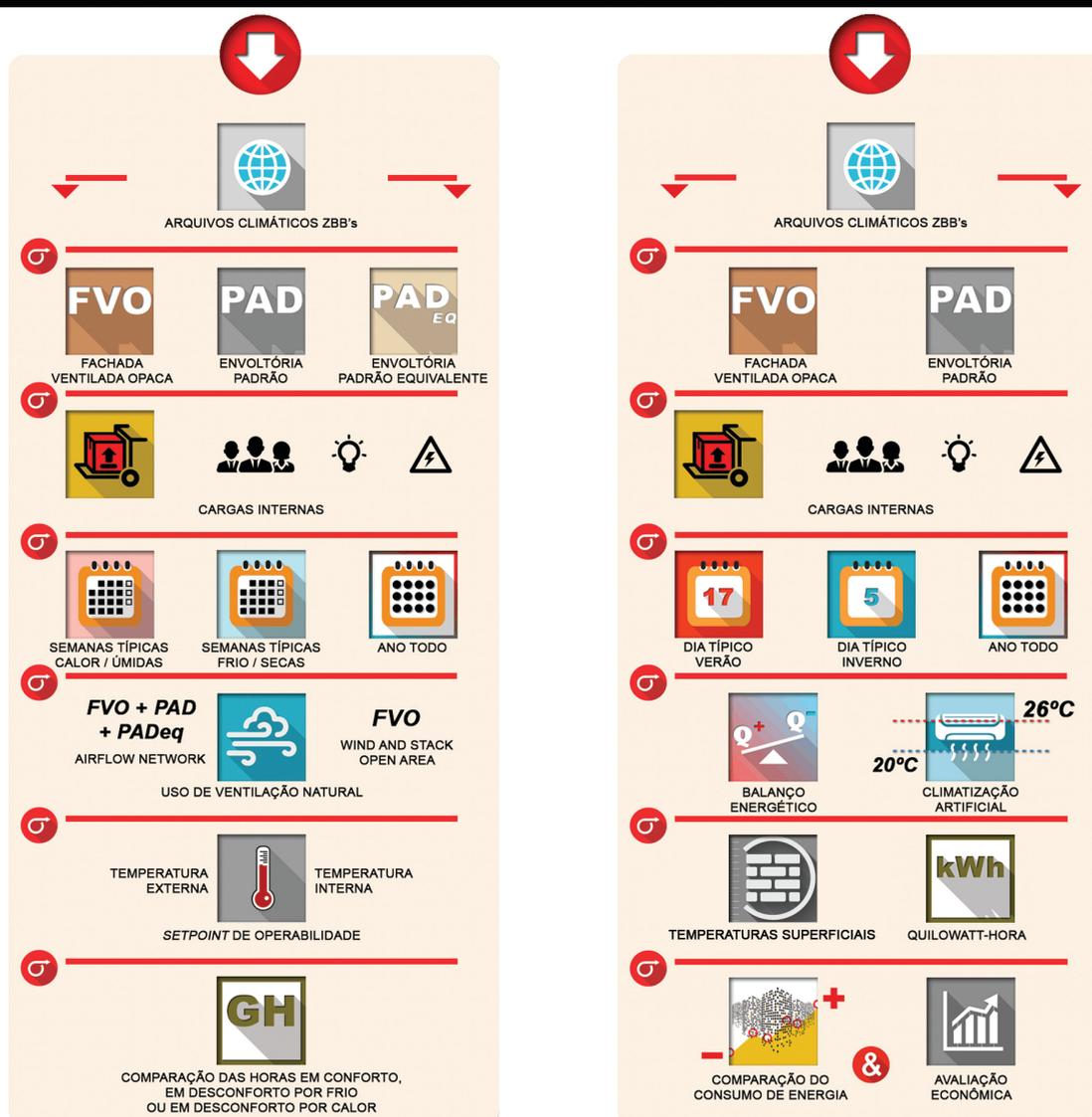
A comparação cruzada das situações referidas anteriormente está combinada com períodos distintos para a simulação ao longo do ano: dias típicos de verão e inverno, semanas extremas de calor/umidade e frio/seco, semanas típicas de calor/umidade e frio/seco, e ano inteiro. Os círculos na cor **VERMELHO** (ou escuros) indicam que os resultados estão aqui apresentados, enquanto que os **VAZADOS** (ou claros) indicam que a simulação foi testada/realizada, mas os resultados não foram anexados.

A versão do envoltório tradicional com propriedades do proposto (PADeq) é empregada como contraprova: o comportamento distinto desta em relação ao sistema de fachada ventilada comprovaria que há ação na cavidade de ar no sistema proposto FVO. Se houver inoperância no fluxo de ar nesta cavidade, os valores obtidos ficariam restritos a uma mera troca entre as transmitâncias térmicas adotadas (ressaltando-se que a situação tradicional PAD tem índices de absorvância e transmissividade iguais ao do sistema proposto FVO).

Na pesquisa aqui apresentada, a ênfase está na busca de uma solução que demonstre efetividade na circulação de ar na cavidade entre vedação e revestimento no sistema do envoltório proposto FVO como partícipe no incremento das condições de conforto, ou no desempenho energético como um todo. A intenção é verificar sua

aplicabilidade e quais as variáveis que representem a ação do caudal de ar. Observando-se as possibilidades sugeridas na bibliografia sobre distintos módulos do *E+*, segundo sintetizam as Fig. 44, são experimentadas variações contemplando: o arquivo climático, a definição das situações para os modelos, ajustes da configuração das cargas internas, definição dos períodos simulados, configuração de análise, os dados observados e a abordagem para os resultados.

Figura 44 – Abordagem das simulações por ventilação natural (esq) e climatização artificial (dir)



Fonte: Pelo autor, 2016

3.4. Configuração do Edifício

Conforme já exposto no item 3.3.2 – Apresentação das Zonas Térmicas, a edificação definida como prédio-base para este estudo é formulado com base no

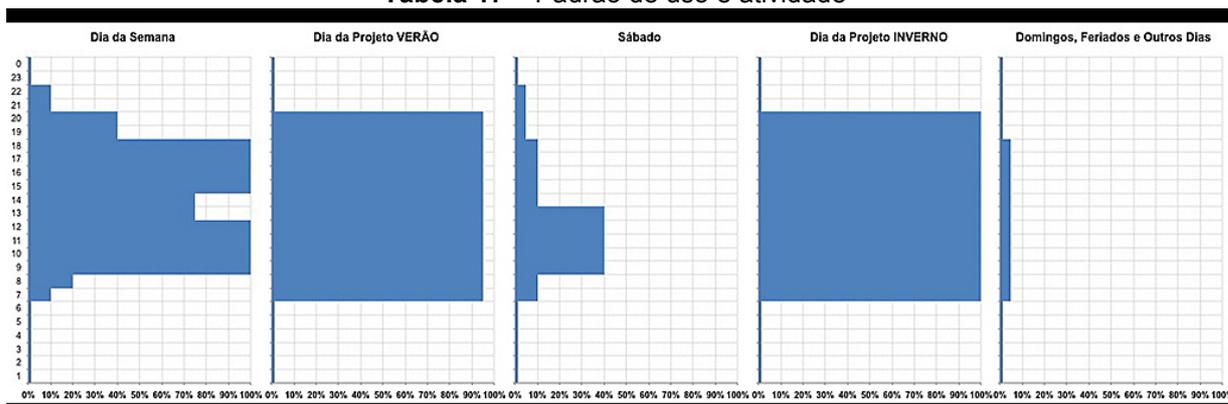
padrão CSL-8 definido na NBR 12721 (ABNT, 2006) como comercial, salas e lojas, com dez pavimentos e garagem em subsolo(s) – térreo, oito pavimentos-tipo e cobertura de serviço. O(s) pavimento(s) em subsolo para estacionamento foram suprimidos do modelo por não terem significância para efeitos de análise de desempenho termoenergético.

3.4.1. Condições de Uso e Ocupação

Agendas

As programações utilizadas para as simulações do prédio-base seguiram o já experimentado no piloto de teste. Os grupos básicos *schedule type limits* e *schedules* foram apenas ajustados, com as atividades seguindo o padrão apresentado na **Tab 17**.

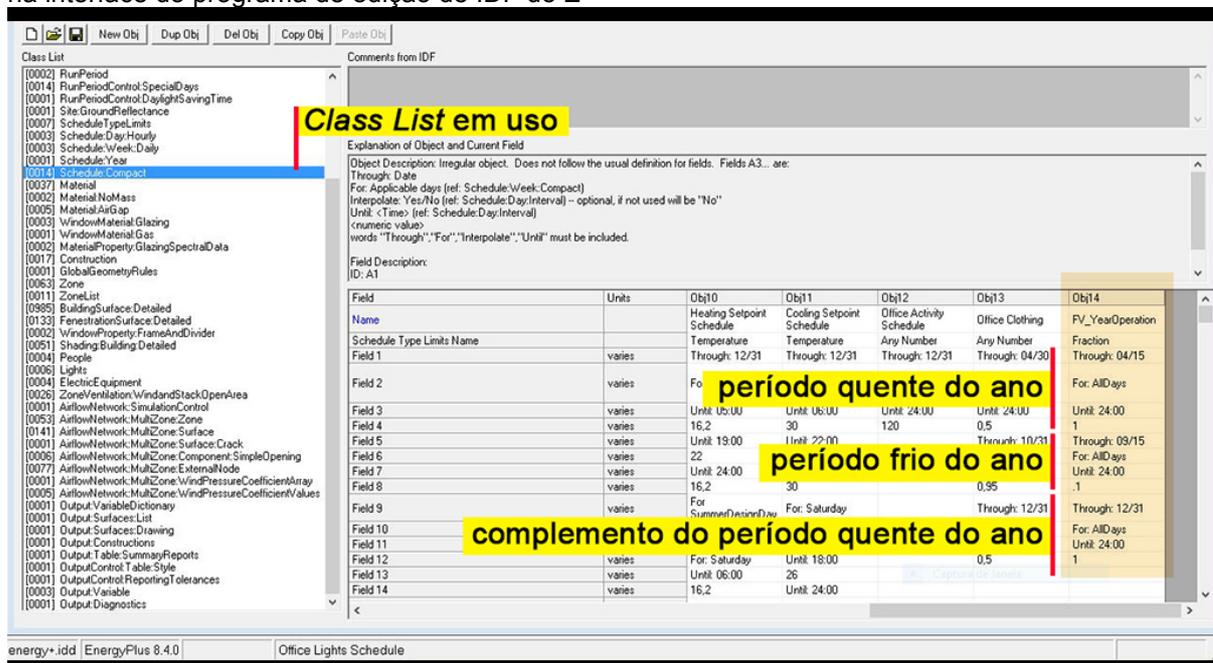
Tabela 17 – Padrão de uso e atividade



Nos arquivos em formato IDF ocorrem pequenas variações nas configurações de acordo com a necessidade. Por exemplo, na questão da operabilidade da câmara de ar para o prédio da situação proposta FVO apresentado na **Fig. 45**, a programação de abertura/fechamento utilizado em Curitiba/PR (aberto integralmente nos sete meses mais quentes e com 10% de abertura nos demais) é distinta daquela empregada em Belém/PA (aberta integralmente o ano inteiro).

A operabilidade da câmara de ar, por observação dos dados de saída do *E+*, ficou restrita às três primeiras zonas bioclimáticas. Apenas estas possuem semanas características de verão e inverno segundo os arquivos STAT. Assim, a determinação dos períodos mais quente ou frio durante o ano baseou-se nos dados das normais climatológicas (INMET, 1992), no período de 30 anos contabilizados entre 1961 e 1990 das cidades de Curitiba, Santa Maria e São Paulo.

Figura 45 – Exemplo de configuração da programação de abertura para ventilação da cavidade de ar na interface do programa de edição de IDF do E+



Fonte: Pelo autor, 2016

Na abertura das esquadrias dos escritórios, entretanto, a relação estabelecida está diretamente vinculada às relações de temperaturas interna e externa e à existência ou não de atividade no período do dia, independente da situação simulada ou da ZBB em questão. A condição para que as janelas operem vincula-se ao *setpoint* de temperatura interna a partir do qual a abertura de portas e janelas ocorrem. O entendimento de quando se pode manipular as esquadrias é fácil: como o prédio tem uso comercial, entende-se que sua operação fique restrita às horas de atividade. Mas e como se define uma temperatura ideal?

A resposta encontrada nesta pesquisa fez-se a partir de uma sequência exploratória de simulações do prédio-base, nas situações PAD e FVO, de forma a encontrar este ponto ideal. Conforme já exposto na **Tab. 16**, entre 18 e 24°C são experimentados diferentes valores que definem se portas e janelas serão abertas, e dentro de que margem isto ocorrerá. Quão mais próximo da relação de temperatura ideal entre os meios interno e externo, maior o percentual de abertura destes vãos. O gradil estabelecido de 2°C da temperatura interna comparada à temperatura externa, é o limite superior, e determinará até quando tem-se vantagem na manutenção das esquadrias abertas.

Dentre todas as simulações realizadas, aquelas que apresentaram maiores níveis de conforto para ambas as situações (PAD e FVO) indicam que o *setpoint* seria de 21,5°C, com uma faixa seguindo deste valor até 23,5°C.

Cargas Internas

As cargas internas seguiram o proposto nas configurações do estudo-piloto, assinalando ocupação intensiva, altas cargas internas para equipamentos em uso, e a iluminação no nível considerado como mais eficiente de consumo por metro quadrado segundo o parâmetro apresentado pelo RTQ-C. Dados que combinem a característica funcional da edificação e sua intensidade de uso ainda estão em um horizonte relativamente distante.

A iniciativa de criar *benchmarking* e padronizar os indicadores de consumo das edificações no Brasil encontra-se fase inicial, acompanhando as tentativas de consolidação dos regulamentos de etiquetagem prediais, algumas informações já despontam. Para o setor comercial, Lamberts e Borgstein (2013), em apresentação do comitê de trabalho do grupo Energia no CBCS, apontam valores regionais médios dentro de um universo piloto de aproximadamente 2300 prédios com medição mensal completa no ano de 2012, conforme síntese na **Tab. 18**.

Tabela 18 – Levantamento do consumo de energia prédios comerciais no Brasil

Piloto D			
REGIÃO	PRÉDIOS	CONSUMO (kWh/m ² .ano)	MÉDIA AMOSTRAGEM
Sul	526	185	
Sudeste	1060	236	
Centro-Oeste	161	263	
Nordeste	421	300	
Norte	95	300	
	2263		241

Fonte: Adaptado de Lamberts e Borgstein, 2013

Segundo informações verbais colhidas por Liu (2010) no seu trabalho para apontar as diretrizes para projetos de escritórios no Brasil, em São Paulo projetistas experientes adotam cargas médias para equipamentos e iluminação da ordem de 67W/m².

Por outro lado, na tese de Carlo (2008, p. 98), onde a autora desenvolve uma metodologia para avaliação de eficiência de envoltórios para edificações não-residenciais, os valores empregados para seus estudos simulados indicam índices

obtidos em campo entre 18,50 e 18,90W/m² e outros, alternativos, entre 28,90 e 37,60m² para prédios com a mesma atividade prevista neste trabalho de pesquisa.

Tomando-se a taxa metabólica para trabalhos laborais de 130W por pessoa, com a alta densidade estabelecida na parte 3 da NBR 16401 (ABNT, 2008) de 0,20 pessoas por metro quadrado, e a alta densidade de equipamentos indicada pela mesma NBR 16401 (ABNT, 2008) de 21,5W/m², acrescidos do valor teto para o nível A do RTQ-C para escritórios de 9,7W/m², obtém-se para as salas em estudo uma carga final total de **57,2W/m²**. Este valor aproxima-se daquele utilizado por Brandalise (2015, p. 71), onde a autora avalia a sensibilidade do RTQ-C quanto à variação de carga interna em edifícios de escritórios, estabelecendo o valor de 54,88W/m² para "alta densidade" na sua série de parâmetros.

3.4.2. Configuração do Envoltório

Uma visão geral de ambas edificações é apresentada na **Fig. 46**. Embora a existência de um terceiro modelo para as simulações com ventilação natural – versão chamada de PADeq – este não apresenta diferença geométrica em relação ao seu predecessor, na versão PAD.

Figura 46 – Prédio-Base modelado nas versões tradicional (PAD) e proposta (FVO)



Fonte: Pelo autor, 2016

Tal qual realizado no estudo-piloto, para as simulações do prédio-base do ponto de vista da materialidade do envoltório, manteve-se o critério de utilizar a vedação no sistema de fachada ventilada opaca com um bloco de menor espessura que aquele empregado no envoltório tradicional, onde este componente é o principal elemento de proteção, e substrato de sustentação do revestimento. Para a versão com a parede tradicional equivalente **PADeq**, o mesmo bloco de concreto

19x39x19cm teve as suas espessura e densidade alteradas em relação ao valores atribuídos no modelo **PAD**, permitindo que este envoltório fique com o valor de transmitância igual ao estabelecido no modelo **FVO**.

O sistema de cobertura empregado é idêntico para os três modelos estudados. Ele conforma-se, em direção ao meio interno, com piso cerâmico, argamassa de assentamento, placa rígida de poliuretano expandido (elemento isolante), membrana betuminosa, camada de concreto para regularização, concreto moldado *in loco*, câmara de ar e forro de gesso. Da mesma forma, os pisos internos também são idênticos entre todos os pavimentos e entre cada um dos modelos. A construção conta, na direção do ambiente interno anterior (ou inferior) para o posterior (ou superior), com forro de gesso, câmara de ar, laje de concreto, camada de concreto para regularização, argamassa de assentamento e piso cerâmico.

A **Tab. 19** apresenta a síntese das propriedades divide-se para as três situações a serem inicialmente simuladas: a do envoltório proposto (FVO), o do envoltório tradicional (PAD), e do mesmo envoltório tradicional com o valor de transmitância igual ao da proposto (PADeq). Os cálculos dos valores empregados nesta pesquisa constam no **Anexo A**, ao final desta pesquisa.

Tabela 19 – Propriedades dos modelos simulados

PROPRIEDADES DO MODELO FÍSICO					
Situação	U_{value} (W/m ² .K)	Capacidade Térmica (kJ/m ² .K)	Atraso Térmico ϕ (horas)	Espessura Equivalente bloco de concreto (m)	Densidade Equivalente bloco de concreto (kg/m ³)
FVO – Fachada Ventilada Opaca	1,91	212,36	5,25	0,0309	2122,00
PAD – Alvenaria Padrão	2,63	293,87	4,76	0,0232	4.175,42
PADeq – Alvenaria Equivalente	1,91	212,36	5,25	0,1223	459,53
PROPRIEDADES DO MODELO GEOMÉTRICO					
"Construction" no EnergyPlus	U_{value} (W/m ² .K)	Capacidade Térmica (kJ/m ² .K)	Atraso Térmico ϕ (horas)	Espessura empregada (m)	Densidade empregada (kg/m ³)
Exterior Wall	1,00	31,40	5,25	0,0160	2133,30
Interior Wall FV e Interior FV Wall (Situação FVO)				0,0675	964,91
Exterior Wall (Situação PAD)	2,63	293,87	4,76	0,0232	4.175,42
Exterior Wall (Situação PAdEq)	1,91	212,36	5,25	0,1223	459,53

Observam-se nesta tabela dois dados importantes: a espessura equivalente e a densidade equivalente. Dentro do *E+* há um ponto de alimentação de dados com

algumas propriedades de cada material utilizado, e neste, há campos específicos que serão preenchidos com sua espessura (ou profundidade) e densidade. Nem sempre os materiais utilizados tem constituição homogênea em suas seções. Assim, para que se transforme uma construção (*construction*, no termo empregado pelo E+) com múltiplas seções heterogêneas em outra com seções uniformes e iguais, faz-se necessário proceder um cálculo anterior à entrada de dados. Isto está especificado e exemplificado na parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005).

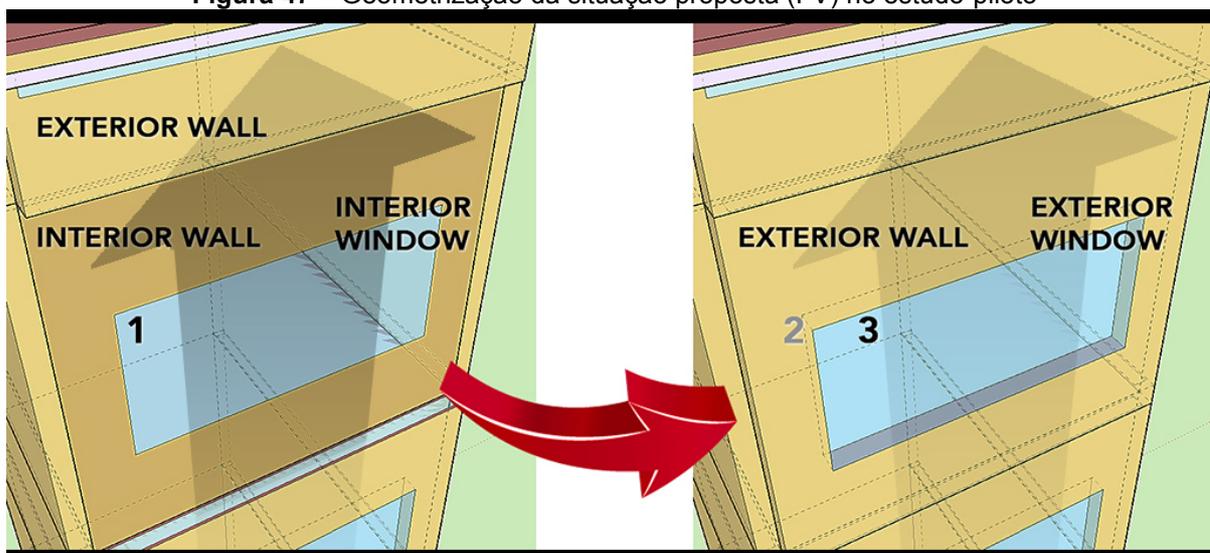
Com isto, uma parede (ou piso, ou forro) constituída por múltiplas camadas de materiais híbridos (heterogêneos e/ou heterogêneos mais homogêneos) ao longo de sua altura e espessura, passa ser constituída apenas por camadas homogêneas (conforme Fig 1 do item 5.2.1 da supra citada NBR). Isto oferece a garantia na precisão dos cálculos a serem efetuados, uma vez que o programa de simulação efetua-os em um regime estacionário e unidimensional de transmissão de calor a cada intervalo de tempo estipulado.

Fachada Ventilada Opaca (FVO)

Para a versão final do sistema de fachada ventilada proposta (**FVO**) o modelo geométrico realizado no estudo-piloto necessitou reconfiguração geométrica. Aquele que fora configurado e permitiu a execução das simulações quando da qualificação desta pesquisa, não poderia ser replicado.

Recapitulando: naquela versão, a ideia realizada tratou a fachada ventilada como uma zona térmica independente. Isto mostrou-se pertinente. O problema da não aceitação de vão aberto na fachada independente (um polígono regular com uma subtração interna) fora contornado com a inserção de um plano vítreo – janela externa – na superfície externa dessa zona térmica da fachada ventilada, conforme apresentado na **Fig. 47**. Na superfície oposta e paralela, inseriu-se outro plano vítreo, desta vez como janela interna, contígua a outra janela interna na superfície da zona interna (escritório) em cada pavimento. O perímetro entre as arestas internas e externas destas janelas fora preenchido com quatro planos regulares, conformando uma caixa selada (a distância entre um plano vítreo e outro era igual ao vão da cavidade de ar). O arquivo no formato IDF gerado rodava a simulação com esta janela sem apresentar erros.

Figura 47 – Geometrização da situação proposta (FV) no estudo-piloto



Fonte: Pelo autor, 2016

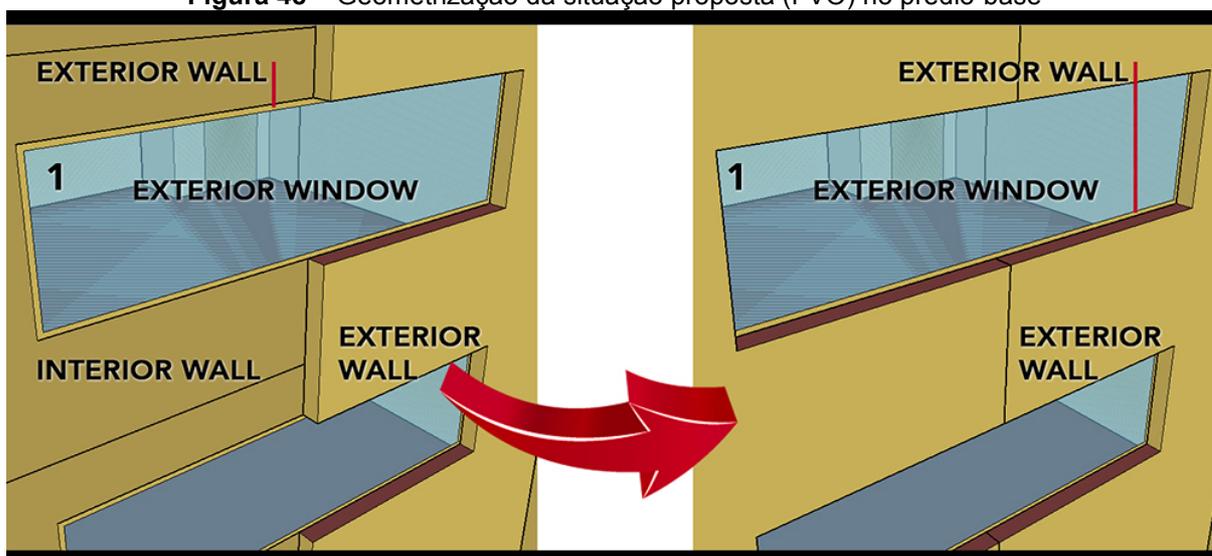
Mas no programa de simulação, um modelo executado sem mensagens de erros não significa que não possa estar errado. Uma vez o arquivo aberto no editor de IDF, ou no lançador da simulação (*EP-Launch*), o arquivo não permitia seu retorno no ambiente do *plugin Legacy OpenStudio*, dentro do *SketchUp* integralmente. Ao fazê-lo, a geometria apresentava-se com distorções e, as superfícies anteriormente transparentes transformavam-se em superfícies sólidas, indicando um problema a ser corrigido.

Para contornar este problema, e não ter que necessariamente vincular o uso da fachada ventilada opaca proposta ao emprego de uma esquadria de vidro duplo (ou ao menos, não uma com os planos de vidro tão distantes entre si), buscou-se uma nova conceituação geométrica.

Desta feita, as fachadas ventiladas não são apenas uma extensão em cada pavimento da parede de contato com a zona dos escritórios internalizada. Conforme apresentado na **Fig. 48**, concebeu-se um grande plano vertical na face de cada prumada do modelo, onde estariam as esquadrias. Como já dito anteriormente, as zonas não aceitam "buracos" dentro delas, então a solução foi dividir ao meio esta grande zona vertical (ao longo dos oito pavimentos), formando um par de polígonos denteados. Embora gerando zonas não convexas, as zonas térmicas das fachadas ventiladas seriam fisicamente compatíveis com a ideia do sistema real e exequíveis nos termos da modelagem para a simulação.

Na superfície de contato de cada zona interna dos escritórios em contato com a zona desta fachada ventilada opaca, isolou-se uma área igual ao vão formado pelos polígonos daquela. A esta superfície atribuiu-se o caráter de "parede externa", possibilitando a inserção de uma esquadria diretamente sobre ela, com uma margem mínima (destacada na mesma figura). O restante do plano vertical em contato direto com a zona térmica da fachada ventilada manteve-se como "parede interna".

Figura 48 – Geometrização da situação proposta (FVO) no prédio-base



Fonte: Pelo autor, 2016

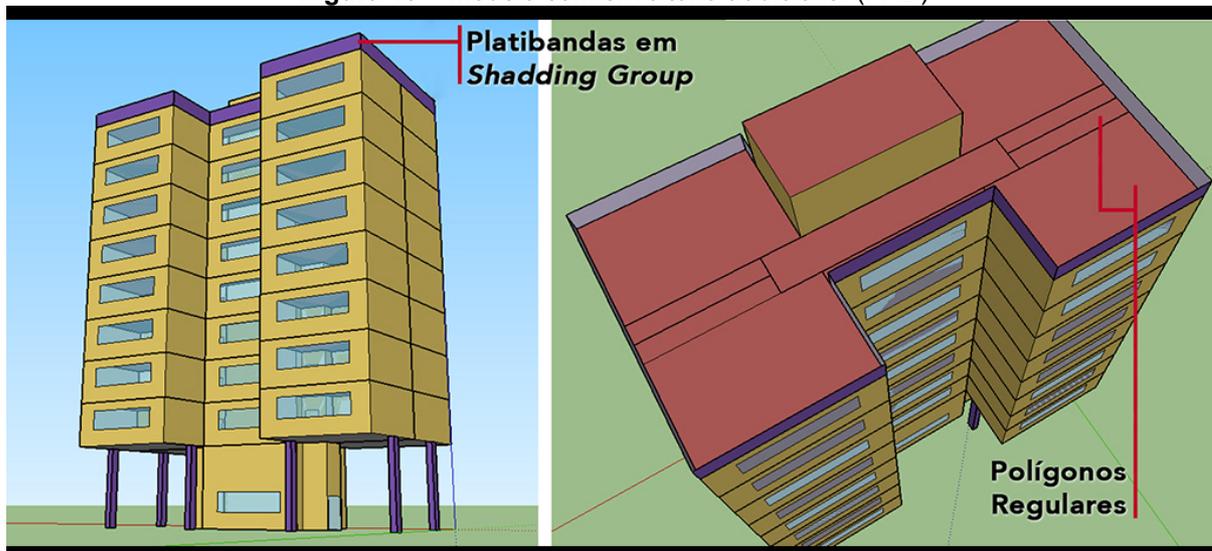
Envoltório Tradicional (PAD)

Para a realização do modelo do prédio-base na versão com o envoltório tradicional PAD, suas configurações e posteriores processos de simulação, a transposição desde o modelo do estudo-piloto ocorre como experiência cumulativa. Os elementos de construção da modelagem são mais simples que aqueles empregados na situação proposta FVO, uma vez que, em relação àquela, o envoltório possui integração entre vedação e revestimento.

Os ajustes referentes à configuração que transformam os elementos heterogêneos desta parede exterior em uma versão homogênea necessitam apenas serem informados nas devidas *Class Lists* no *IDF Editor*, não necessitando de maiores elaborações geométricas no modelo via *SketchUp* via *plugin Legacy OpenStudio*. Na comparação direta com a situação proposta FVO, o prédio-base com envoltório tradicional PAD apresenta a platibanda da edificação como *Shading Group* e não como *Construction*, seguindo o empregado no estudo-piloto. As

superfícies da cobertura do último pavimento, evitando problemas pelo uso de polígonos irregulares (conforme o desenho das zonas térmicas), estão fracionadas, de forma a representarem conjuntos de polígonos retangulares, conforme imagem à direita na **Fig 49**.

Figura 49 – Modelo com envoltório tradicional (PAD)



Fonte: Pelo autor, 2016

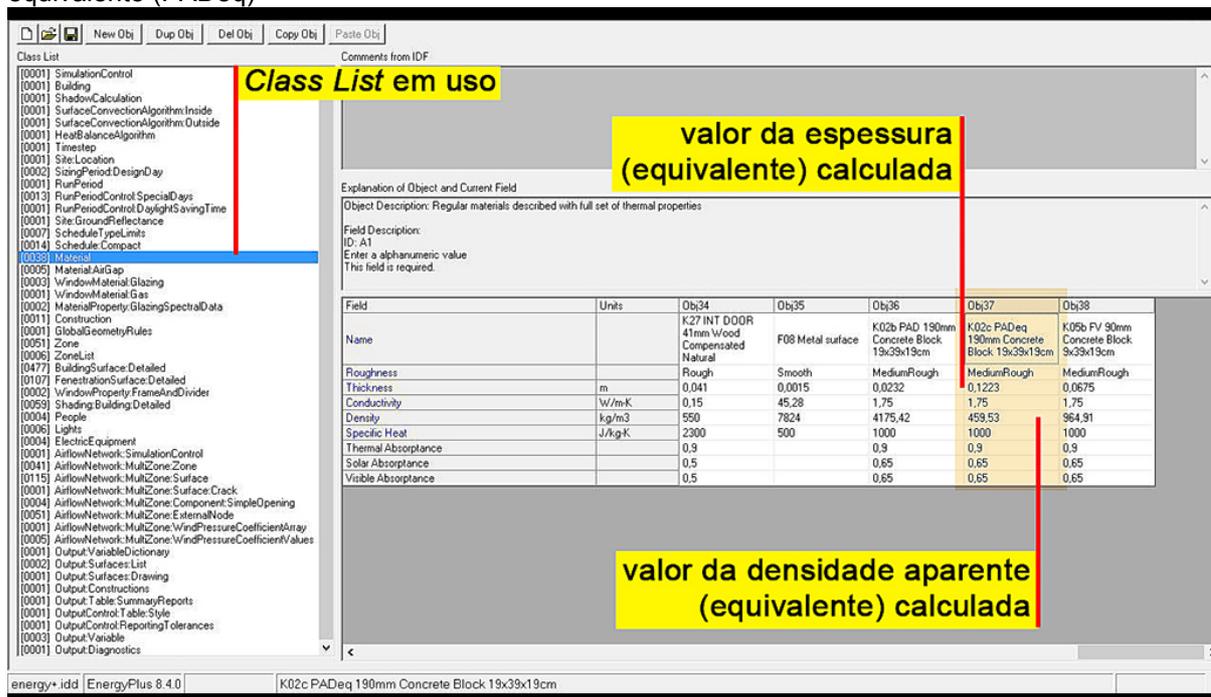
Envoltório Tradicional Equivalente (PADeq)

Para a realização do modelo do prédio-base na vertente alternativa do envoltório tradicional equivalente – PAdEq, a geometria segue estritamente o que fora modelado para o PAD. Ou seja, o arquivo IDF não necessita de quaisquer ajustes no *SketchUp* via *plugin Legacy OpenStudio*.

Na configuração do elementos de vedação vertical ocorre a substituição dos valores de espessura (e_{eq}) e densidade (ρ_{eq}) do bloco de concreto na *Class List Material*, conforme a **Fig. 50**. Isto permite que esta versão assumira os valores calculados para o modelo físico de Transmitância Térmica (U_{value}) e Capacidade Térmica (C_T) da situação proposta FVO.

O objetivo da verificação é se, quando realizada aquela simulação, os dados obtidos apontam a ação da fachada ventilada, ou se a interferência do envoltório no desempenho dá-se apenas pela troca do U_{value} e C_T . Valores iguais (ou relativamente muito próximos) indicariam a inoperância do fluxo de ar na cavidade da situação proposta FVO.

Figura 50 – Janela de configuração do material no *IDF Editor* do modelo com envoltório tradicional equivalente (PADeq)



Fonte: Pelo autor, 2016

Esquadrias

Com a solução geométrica adotada no modelo do prédio FVO, a intenção inicial de empregar um mesmo tipo de janela nas situações a serem confrontadas tornou-se possível. O fato de não utilizar-se uma esquadria especial, mesmo que similar aquela do experimento piloto, onde o emprego de vidros compostos ou multicamadas seria possível, deve-se à busca pelo menor número de variáveis paramétricas que pudessem interferir na futura análise dos resultados (**Tab. 20**).

Tabela 20 – Esquadrias

TIPO e TAMANHO (LxH)	Janela Correr 4 fls (1250x1300mm)	Janela Maxim-Ar 4 fls (1250x1300mm)
ÁREA (m2)	6,50	6,50
ABERTURA	50%	65%
LOCAL	Escritórios	Circulação
VIDRO	Glass_3364_LayerAvg	Glass_3366_LayerAvg
	ClimaGuard® 62/67 clear	ClimaGuard® 70/36 laminated
e (mm)	5,6	6,045
U (W/m2K)	3.1860	3.1850
TVIS	0.675	0.755
SHGC	0.319	0,404

Assim, a escolha recaiu em vidros considerados de melhor qualidade quando comparados às opções mais comuns do tipo *Float* disponíveis no mercado. Os dois tipos definidos foram aplicados para as situações FVO, PAD e PADeq indistintamente, resguardando apenas o local conforme indicado na tabela.

Dentre as variáveis, destacam-se:

– TVIS (transmitância visível), que é a quantidade de luz na faixa visível do espectro luminoso que passa através do vidro, e quanto maior seu valor (influenciado pelo tipo de vidro, a quantidade de painéis em uma esquadria e o tipo de acabamento aplicado ao vidro) maior a quantidade de luz natural que entra no ambiente;

– SHGC (coeficiente de ganho solar), que é a segunda principal característica de desempenho energético de vidros, e que consiste na habilidade de controlar o ganho térmico através do corpo vítreo. Em virtude de estarmos simulando as edificações com o intuito de observarmos seu desempenho termoenergético, este item assume grande relevância.

Período de Análise

Conforme exposto na pesquisa de Pires (2015), a versão mais atualizada da *ASHRAE 55* (*ASHRAE*, 2013) substituiu o emprego da temperatura média externa mensal (*mean outdoor air temperature*) pelo da temperatura média externa predominante (*prevailing mean outdoor air temperature*).

As simulações comparando as edificações pelo modelo de conforto adaptativo contemplam o ano inteiro (**8760 horas**). Entretanto, o cômputo para percentuais de conforto/desconforto, assim como a quantificação de graus-hora, restrinjam-se às **3380 horas** onde há previsão de atividade.

Entretanto, no recorte para análise das temperaturas superficiais nas faces Norte e Oeste, utilizar-se-á a análise das semanas típicas caracterizadas nos arquivos STAT das cidades de cada zona bioclimática brasileira. Assim, conforme preconizado no mesmo *standard* americano, no intuito de observar-se uma determinada janela temporal que se utilize um período de sete a trinta dias antes para o primeiro dia da análise. Nas simulações focando este intervalo de tempo, definiu-se uma semana anterior e outra posterior para fechar o período de execução

(*run period*). Conforme discriminado na **Tab. 21**, apenas ajustando-se os dias para que as semanas fossem sempre de domingo a sábado.

Tabela 21 – Períodos de Análise para as Semanas Típicas

ZBB	Cidade	UF	Semana Típica de VERÃO ou QUENTE/SECA		Semana Típica de INVERNO ou FRIA/ÚMIDA	
1	Curitiba	PR	3-fev	9-fev	27-jul	3-ago
2	Santa Maria	RS	10-fev	16-fev	20-jul	26-jul
3	São Paulo	SP	7-dez	13-dez	10-ago	16-ago
4	Brasília	DF	21-dez	27-dez	2-nov	8-nov
5	Vitória da Conquista	BA	5-out	11-out	17-fev	23-fev
6	Campo Grande	MS	14-set	20-set	6-jan	12-jan
7	Cuiabá	MT	15-jun	21-jun	20-jan	26-jan
8	Belém *	PA		5-out	11-out	

[*] No arquivo climático tipo .stat, os dados pertinentes a cidade de Belém indicam que há apenas um período único com clima quente e úmido ao longo do ano

3.4.3. Configuração da Ventilação na Câmara de Ar (FVO)

Especificamente para a situação proposta FVO, a observação da ação do fluxo de ar na cavidade interna da fachada ventilada opaca necessita ajustes que não ocorrem na versão tradicional (PAD). De forma exploratória foram analisados distintos módulos do *E+* com variáveis que poderiam representar o caudal de ar e sua influência no comportamento térmico dos ambientes internos, conforme conceitos no *Input/Output Reference Guide* (LBNL, 2015), aqui sintetizados:

- *SideSideCoefficientsModel*, no grupo *Advanced Surface Concepts*, referenciando às condições do outro lado do modelo nas informações de superfície, fora das condições limite, desconsiderando o elemento com massa mais externa em peles com múltiplos elementos. Permite utilizar os cálculos térmicos usuais para quando trabalha-se com coletores solares, painéis fotovoltaicos ventilados (destacados da superfície de apoio), e fachadas naturalmente ventiladas;

- *ExteriorNaturalVentedCavity*, também pertencente ao grupo *Advanced Surface Concepts*, usado para modelar a transferência de calor exterior através de superfícies com múltiplas camadas, mas apenas quando a mais externa é levemente destacada das demais, formando uma cavidade;

- *WindAndStackOpenArea*, no grupo *Zone Airflow*, onde a ventilação se dá a partir de uma taxa de fluxo de ar, em função da velocidade do vento e do efeito

térmico do "empilhamento" (*stack effect*), considerando a área das aberturas a serem modeladas. Este módulo pode ser utilizado sozinho ou em combinação com objetos definidos em *ZoneVentilation:DesignFlowRate*. Indicado para cálculos simplificados de ventilação, a ventilação natural pode ser controlada pela aplicação de uma programação (em *Schedule:Compact*) do tipo fracionada a uma determinada área de abertura definida pelo usuário e especificando-se valores mínimos, máximos e a amplitude de temperatura;

– *ThermalChimney*, também pertencente ao grupo *Zone Airflow*, trata do emprego de uma chaminé térmica " – um eixo vertical que utiliza a radiação solar incidente sobre a superfície externa e exposta para melhorar a ventilação natural nos edifícios. Conta para isso com uma parede absorvente, um intervalo de ar e uma tampa de vidro com alta transmissibilidade solar, e geralmente este conjunto está voltado para o lado que receba a maior radiação ao longo do dia.

Quanto às duas primeiras alternativas, a existência de janelas/aberturas (categorizadas pelo programa como subsuperfícies) em superfícies a serem indicadas para o grupo *Advanced Other Concepts* por si já inviabilizam-nas. Para que seu uso fosse possível, seria necessário trabalhar o modelo com esquadrias, ainda que com a mesma área envidraçada, em rasgos verticais, e não na forma mais comum de planos com maior eixo paralelo aos piso e teto, como usualmente as janelas são construídas.

Esta pesquisa centra esforços na discussão da viabilidade de adoção do sistema de fachadas ventiladas, e como estas poderiam ser utilizadas com abertura ou fechamento da câmara de ar, de acordo com a necessidade. Assim, a ideia de empregar o módulo *WindAndStackOpenArea* é reforçado pelo conceito antecipado de que no Brasil, em princípio e em geral, há maior necessidade de evitar-se o acúmulo de calor nas edificações. Principalmente considerando-se que se está estudando uma situação com grandes cargas térmicas próprias, ou que geram grande quantidade de calor pelas características atribuídas por uso, densidade de ocupação e cargas de equipamentos.

Para este modelo de fluxo de ar pelas zonas no *E+*, a taxa de fluxo de ar de ventilação é uma função combinada da velocidade do vento e do "*stack effect*" mencionado por Balocco (2002), juntamente com as áreas das aberturas para a infiltração (parte inferior do prédio) e exfiltração (parte superior) do ar a serem

modeladas. A vantagem deste módulo destinar-se a cálculos de ventilação simplificados, em oposição a outras opções mais detalhadas (e que supõem um conhecimento mecânico mais avançado) tornaram seu uso o mais indicado para a simulação do prédio-base no sistema FVO, conforme a configuração apresentada na Fig. 51.

Figura 51 – Configuração dos objetos no módulo *WindAndStackOpenArea*

Class List em uso

nome da zona vinculada e da área de abertura

schedule:compact vinculada ao funcionamento

orientação em relação ao Norte

diferença de altura entre o centro do inlet e o centro do outlet de ar

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		L8_p01dir	L8_p01esq	L8_p02dir	L8_p02esq	L8_p0102dir	L8_p0102esq
Zone Name		FVO_p01dir	FVO_p01esq	FVO_p02dir	FVO_p02esq	FVO_p0102	FVO_p0102esq
Opening Area	m2	0,56	0,56	0,56	0,56	0,88	0,88
Opening Area Fraction Schedule Name		PV_YearOperation	PV_YearOperation	PV_YearOperation	PV_YearOperation	PV_YearOperation	PV_YearOperation
Opening Effectiveness	dimensionless	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Effective Angle	deg	180	180	180	180	180	180
Height Difference	m	12,3875	12,3875	12,3875	12,3875	12,3875	12,3875
Discharge Coefficient for Opening		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Minimum Indoor Temperature	C	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
Minimum Outdoor Temperature	C	-100	-100	-100	-100	-100	-100
Maximum Indoor Temperature	C	100	100	100	100	100	100
Maximum Outdoor Temperature	C	40	40	40	40	40	40
Delta Temperature	deltaC	-100	-100	-100	-100	-100	-100
Delta Temperature Schedule Name							
Maximum Wind Speed	m/s	40	40	40	40	40	40

Fonte: Pelo autor, 2016

Combinado com a oferta de ar nas zonas térmicas analisadas através do grupo *AirFlow Network*, na situação proposta de fachadas ventiladas opacas (FVO) consideraram-se as situações **totalmente aberta** (100% da possibilidade de abertura) durante o período mais quente do ano; **parcialmente aberta** (10% da possibilidade de abertura) no restante do período (nas ZBBs 1, 2 e 3). Para a operabilidade da câmara de ar, definiram-se duas condições básicas e cumulativas:

a) Quando aberta, acionamento para fechar **SE** a temperatura do ar externo for menor que 16,2°C, ou acionamento para fechar **SE** a temperatura do ar externo for maior que 40,0°C²¹;

b) Combinado com **E** se o valor da temperatura interna diminuído da temperatura externa apresentar-se menor que 2°C, a ventilação não será permitida.

21 Valores *default* de temperatura apresentados pelos objetos no *IDF Editor*. A alteração da temperatura mínima (16,2°C) para menos não alterou resultados, e o incremento dela apenas aumentou o cômputo de graus-hora totais. O valor da maior temperatura não foi manipulado. Se apenas estas condições indicassem a operabilidade das aberturas da câmara de ar na FVO, então deveriam ser melhor investigadas, mas como a atuação era conjunta com o gradil entre as temperaturas interna e externa, sua influência é mínima.

A equação utilizada para calcular a taxa de ventilação impulsionada pelo vento, segundo o I/O do E+ (LBNL, 2015) é dada por:

$$Q_W = C_W \times A_{abertura} \times F_{schedule} \times V \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

Q_W = Taxa de ventilação impulsionada pelo vento (w de *wind*) [m³/s]

C_W = Eficácia da abertura [adimensional]

$A_{abertura}$ = Área de abertura [m²]

$F_{schedule}$ = Fração de área aberta [definida pelo usuário/projetista em um valor programado, adimensional]

V = Velocidade do vento no local [m/s]

Segundo o I/O do E+, a equação utilizada para calcular a taxa de ventilação considerando-se o efeito do empilhamento (de pavimentos), é dada por:

$$Q_S = C_D \times A_{abertura} \times F_{schedule} \times \sqrt{2g \times \Delta H_{NPN} \times (|T_{zona} - T_{ext}|/T_{zona})} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

Q_S = Taxa de ventilação volumétrica pelo efeito "empilhamento" (s de *stack*) [m³/s]

C_D = Coeficiente de descarga para a abertura [adimensional]

$A_{abertura}$ = Área de abertura [m²]

$F_{schedule}$ = Fração de área aberta [definida pelo usuário/projetista em um valor programado, adimensional]

ΔH_{NPN} = Diferença de altura entre o ponto médio da abertura inferior até o ponto de nível de pressão neutra²² [m]

T_{zona} = Temperatura de bulbo seco da zona térmica interna

T_{ext} = Temperatura de bulbo seco do ambiente externo local

A taxa de ventilação total calculada por este modelo será a raiz quadrada da soma quadrática dos componentes fluxo de ar impulsionado pelo vento e o efeito de empilhamento, conforme fórmula a seguir:

$$V_{wind \& stack} = \sqrt{Q_W^2 + Q_S^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

²² Estimar este valor é difícil, devendo-se observar as orientações previstas na *ASHRAE Fundamentals*, capítulo 16.

3.5. Configurações de Ventilação e Climatização

A pesquisa aqui apresentada propõe-se a uma avaliação idealizada, com a redução das variáveis paramétricas que possam interferir nos resultados. A intenção expressa é de que se observe muito mais como o envoltório proposto possa influenciar no desempenho do quê, ou quais variáveis, interfeririam neste envoltório.

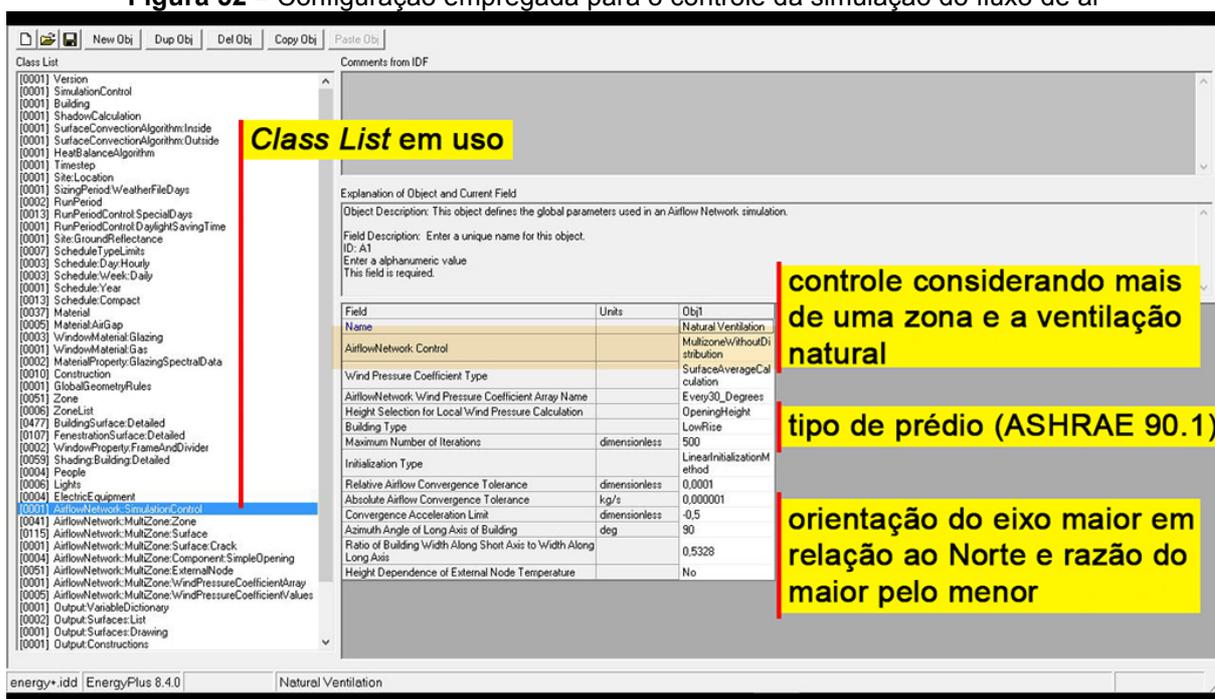
Ainda de forma preliminar, na comparação entre as situações base (PAD) e proposta (FV), verificaram-se dados de consumo de energia de forma global (toda a edificação), e de forma individualizada, zona a zona. Os dados fornecidos pelo programa de simulação foram compilados mês a mês, e integralizados para o período de um ano. A partir deste estudo-piloto definiu-se que, para o prédio-base, o formato de contabilização de dados, tomando-se os graus-hora (GH) para quando os prédios fossem simulados apenas com **ventilação natural**, e consumo de energia no local para quando simulados com uso de **climatização artificial**.

3.5.1. Salas ventiladas naturalmente (VN)

Para as simulações do prédio-base em suas distintas situações e nas diferentes ZBBs, efetivou-se o uso do fluxo de ar entre os ambientes por meio da ventilação natural com aberturas em série. Diferente do ocorrido no estudo-piloto, com apenas uma zona térmica por pavimento (e, principalmente, com apenas uma abertura em cada uma), as novas edificações modeladas foram concebidas com possibilidade de parear-se as zonas de permanência prolongada (escritórios).

Dentro do *IDF Editor*, inicialmente define-se o tipo de controle da ventilação natural em *AirFlowNetwork:SimulationControl*, através do preenchimento dos campos que determinam os parâmetros gerais a serem empregados, conforme assinalado na **Fig. 52**. Destaque-se o campo *AirFlowNetwork Control*, onde escolheu-se a opção *MultiZoneWithoutDistribution*. Nele os cálculos de fluxo do ar pelas múltiplas zonas são realizados para todos os passos (ou intervalos) de tempo estipulados para a simulação, mas a parte do sistema de distribuição de ar da rede (o que chamamos de ventilação mecânica) não é modelado mesmo que se especifiquem dados de alimentação. Como a intenção é o funcionamento sem a ventilação mecânica, esta é a opção mais indicada.

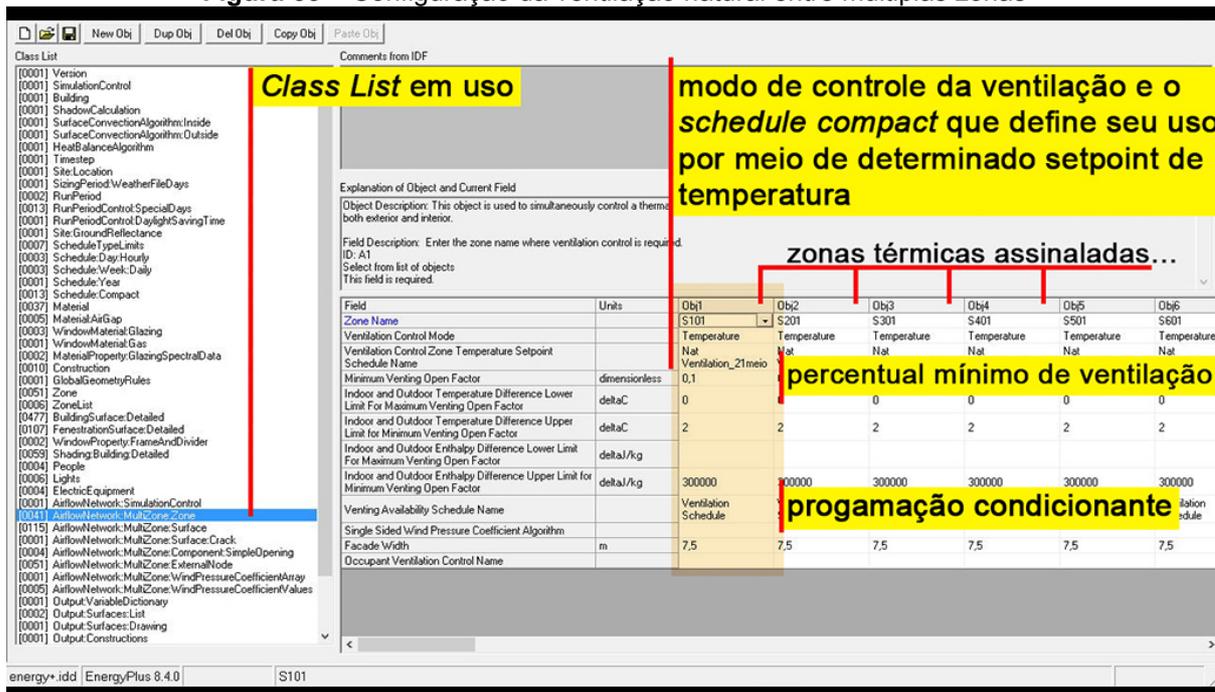
Figura 52 – Configuração empregada para o controle da simulação do fluxo de ar



Fonte: Pelo autor, 2016

No conjunto de parâmetros pertencente à *Class List* *AirFlowNetwork:MultiZone:Zone*, faz-se o controle da ventilação natural através das operações de abertura e fechamento de janelas e portas. Para isto determinou-se uma configuração tida como ideal e repetiu-se ela para cada uma das zonas térmicas (de permanência prolongada ou de uso eventual) do modelo (Fig. 53).

Figura 53 – Configuração da ventilação natural entre múltiplas zonas



Fonte: Pelo autor, 2016

O campo que indica "*Temperature*" significa que a ventilação será efetivada (ou permitida) em todas as zonas assinaladas por meio da abertura de portas e janelas nas seguintes condições cumulativas:

- **SE** a temperatura da zona térmica for maior que a temperatura externa;
- **E** a temperatura da zona térmica estiver maior que a programação condicionante estabelecida anteriormente na *Class List* correspondente às agendas compactas (*ScheduleCompact*).

Após a configuração dos parâmetros das zonas térmicas, segue-se para o próximo conjunto, pertence à *Class List AirFlowNetwork:MultiZone:Surface*. Os objetos elencados nesta *Class List* permitem a especificação das propriedades de cada subsuperfície responsável pelas conexões do fluxo de ar da ventilação natural, ou seja, as portas e janelas do modelo. Os principais campos de preenchimento estão destacados na **Fig. 54**.

Figura 54 – Configuração das subsuperfícies vinculadas ao uso da ventilação natural

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Surface Name		JAN_S101	PTA_S101	PTA_CD1_S101	JAN_S201	PTA_S201	PTA_CD2
Leakage Component Name		Window_Front	Door_Office	Door_Office	Window_Front	Door_Office	Door_Office
External Node Name		EW1_Note			EW2_Note		
Window/Door Opening Factor, or Crack Factor	dimensionless	0.45	0.3				0.55
Ventilation Control Mode		Temperature	Nat				
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule Name		Ventilation_21meio					
Minimum Venting Open Factor	dimensionless						
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor	deltaC						
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit for Minimum Venting Open Factor	deltaC	100	100	100	100	100	100
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor	deltaJ/kg						
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for Minimum Venting Open Factor	deltaJ/kg	300000	300000	300000	300000	300000	300000
Venting Availability Schedule Name		Ventilation Schedule					
Occupant Ventilation Control Name							

Fonte: Pelo autor, 2016

Esta configuração é realizada para todas as subsuperfícies²³ pertinentes, permitindo variações específicas e individualizadas. Cabe ressaltar, entretanto, que aberturas internas (como portas ou janelas entre zonas térmicas) devem replicar-se. Ou seja, para uma abertura na zona térmica X, sua configuração deverá igualar-se a

²³ O *EnergyPlus* trata estas superfícies pelo prefixo "sub" por uma questão de hierarquia do modelo, estando estas contidas ou fazendo parte de superfícies que sejam paredes internas e/ou externas.

de sua superfície contígua, na zona térmica Y – como se os dois lados de uma moeda tivessem a mesma efígie.

Por último nesta etapa, configuram-se os tipos de aberturas, segundo uma classificação que possibilita que diferentes janelas externas, por exemplo, possuam diferentes propriedades em seus funcionamento e operação. Isto dá-se, neste estudo, na *Class List AirFlowNetwork:MultiZone:Component:SimpleOpening*, que relaciona de que forma o fluxo de ar será tratado em cada tipo de abertura, combinando: o coeficiente do fluxo de massa de ar quando a esquadria está fechada, o expoente do fluxo de massa de ar quando a esquadria está fechada, a mínima diferença de densidade para fluxos bidirecionais e o coeficiente de descarga, conforme ilustrado na **Fig. 55**.

Figura 55 – Configuração das superfícies de portas e janelas

Class List em uso

tipos de aberturas utilizadas no modelo

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		WindowFV_Topo	Window_Front	Door_Office	Window_Hall	GlassDoor	WindowFV_E
Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed	kg/s/m	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	dimensionless	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Minimum Density Difference for Two-Way Flow	kg/m3	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Discharge Coefficient	dimensionless	0,95	0,8	0,95	0,6	0,6	0,95

vazão de ar para a esquadria quando está fechada

mínima diferença de densidade que permite o fluxo por meio do efeito de “empilhamento”

coeficiente de descarga (entre 0,60 e 0,80)

Fonte: Pelo autor, 2016

Balanco Energético

A demonstração dos valores obtidos pelas simulações dá-se por meio da apresentação gráfica do balanço energético dos modelos configurados para ventilação natural (e com as respectivas programações de operabilidade de esquadrias). São computados os seguintes índices, em watts, a partir dos dados de saída do programa *EnergyPlus*:

- *Zone Total Internal Total Heating Rate* (Total de Ganhos Internos Totais da Zona, que envolvem as cargas geradas pelas pessoas, a iluminação e equipamentos) [+];
- *Zone Windows Total Transmitted Solar Radiation* (Total de Radiação Solar Transmitida pelas Janelas da Zona) [+];
- *Zone Windows Total Heat Gain* (Total de Ganho de Calor pelas Janelas da Zona) [+];
- *Zone Windows Total Heat Loss* (Total de Perda de Calor pelas Janelas da Zona) [-];
- *Zone Opaque Surface Inside Faces Total Conduction Heat Gain* (Total de Ganho de Calor por Condução nas Faces Internas Opacas da Zona) [+];
- *Zone Opaque Surface Inside Faces Total Conduction Heat Loss* (Total de Perda de Calor por Condução nas Faces Internas Opacas da Zona) [-];
- *AFN Zone Infiltration Sensible Heat Gain* (Ganho de Calor Sensível por Infiltração da Zona através do Fluxo de Ar em Rede) [+];
- *AFN Zone Infiltration Sensible Heat Loss* (Perda de Calor Sensível por Infiltração da Zona através do Fluxo de Ar em Rede) [-];
- *AFN Zone Infiltration Latent Heat Gain* (Ganho de Calor Latente por Infiltração da Zona através do Fluxo de Ar em Rede) [+];
- *AFN Zone Infiltration Latent Heat Loss* (Perda de Calor Latente por Infiltração da Zona através do Fluxo de Ar em Rede) [-];
- *Surface Average Face Conduction Heat Transfer Energy* (Média da Transferência Energética de Calor por Condução na Superfície) [+ ou -];

Este índices são obtidos a partir da contabilização em arquivos .CSV, que advém dos relatórios de saída solicitados quando simulam-se os modelos para as semanas típicas de verão e inverno (ou semanas do período quente e seco e frio e úmido), em cada ZBB. Os valores positivos indicam que o fluxo térmico está na direção de fora para dentro da zona térmica; os valores negativos indicam o oposto.

Temperaturas Internas

Para as situações proposta (FVO), base (PAD) e base equivalente (PADeq), as temperaturas externa e interna serão observadas ao longo de um ano desde o arquivo climático específico selecionado de cada cidade representativa de ZBB. Como referência à temperatura externa obtida, as internas serão tabulados

contabilizando-se cada unidade em cada andar para o estabelecimento do percentual de horas em conforto, desconforto por frio, ou desconforto por calor. Este modelo adaptativo segue o extenso trabalho de De Dear e Brager, reconhecido com primazia pela norma *ASHRAE 55* (ASHRAE, 2010) a partir do Projeto *RP884* (De Dear, 1998), aplicável aos prédios naturalmente condicionados.

Enquanto a norma *ASHRAE Fundamentals* (2009) menciona que a temperatura operativa de conforto é indicada inicialmente para prédios em climas que não necessitam de refrigeração ou aquecimento", a norma *ASHRAE 55* (2010) explicita que o índice para avaliação térmica de ambientes condicionados naturalmente é a Temperatura Operativa Neutra (T_{OCn}), ou simplesmente Temperatura Neutra (T_N), baseada em De Dear *et al* (1997). Assim, são calculadas:

- a) As temperaturas externas médias mensais – baseada no valor horário médio de todas as horas do respectivo mês;
- b) As temperaturas neutras mensais, segundo a equação proposta por Nicol, Humphreys, Roaf (2010) para ambientes de trabalho em prédios comerciais, em trabalho publicado mais recentemente que o mencionado na versão da *ASHRAE 55* (2010).

$$T_N = 17,8 + (0,31 \times T_{EXT}) \quad (\text{Eq. 4})$$

onde:

T_N = Temperatura Neutra;

T_{EXT} = Temperatura externa média mensal durante o período de tempo analisado, extraída do arquivo de resultados da simulação.

Dentre as várias opções de equações para o modelo de conforto adaptativo, esta equação apresenta o maior coeficiente de determinação para o clima quente e úmido (TOE e KOBOTA, 2013), que é o predominante no Brasil. Para climas quentes e secos, ou moderados, as equações de adaptação que tomem como base de referência todas as caracterizações temperatura do ar exterior apresentam coeficientes semelhantes de determinação.

Voltando à norma *ASHRAE 55* (2010), ao valor referência estabelecido para a T_N mensal em cada zona térmica de análise, acrescenta-se 3,5°C para o estabelecimento do limite superior, e subtrai-se 3,2°C para o limite inferior. Com isto, delimita-se a faixa de conforto atendendo 80% dos ocupantes, e que serve como

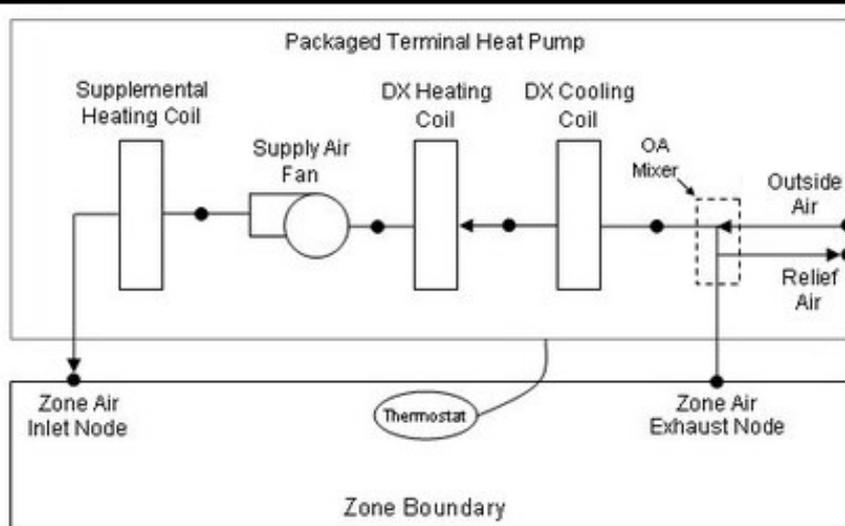
parâmetro para a comparação (hora a hora) com as temperaturas internas oferecidas pelos arquivos de resultados de cada simulação. As temperaturas que estiverem acima desta faixa provocarão desconforto por calor – computando-se graus-horas de refrigeração/resfriamento, e as que estiverem abaixo provocarão desconforto por frio – computando-se graus-horas de aquecimento.

3.5.2. Salas climatizadas artificialmente (AC)

Para a avaliação dos modelos do prédio-base quando climatizados artificialmente, optou-se pelo emprego do sistema *PTHP* (acrônimo em inglês para *Package Terminal Heat Pump*). Isto deve-se ao abrangente uso de equipamentos deste tipo em prédios comerciais de pequeno porte pelo país, onde os proprietários de salas comerciais tratam a questão da climatização de forma individualizada, independente de contarem com uma, duas, um andar ou conjunto de andares dentro de um empreendimento comercial.

O esquema básico de funcionamento (ilustrado pela **Fig. 41**) dos aparelhos comercialmente conhecidos por "*splits hi-wall*" ou "*splits high wall*" (pelo fato da instalação das unidades evaporadoras internas geralmente serem dispostas na parte mais alta de paredes, junto ao forro) está apresentado com base em ilustração do próprio manual de referência para dados de entrada e saída do programa *E+* (LBNL para o *U. S. DOE*, 2015).

Figura 56 – Esquema de funcionamento do sistema PTHP



Fonte: *Input/Output Reference Guide*, LBNL para *U. S. DOE*, 2015

Este sistema é composto sequencialmente por uma serpentina de arrefecimento por expansão direta, uma serpentina de aquecimento por expansão direta através de bomba de calor, uma serpentina suplementar de aquecimento (elétrica ou a gás), um misturador de ar externo, um ventilador de insuflamento e um termostato que regula a necessidade e a intensidade de uso do equipamento conforme o *setpoint* desejado.

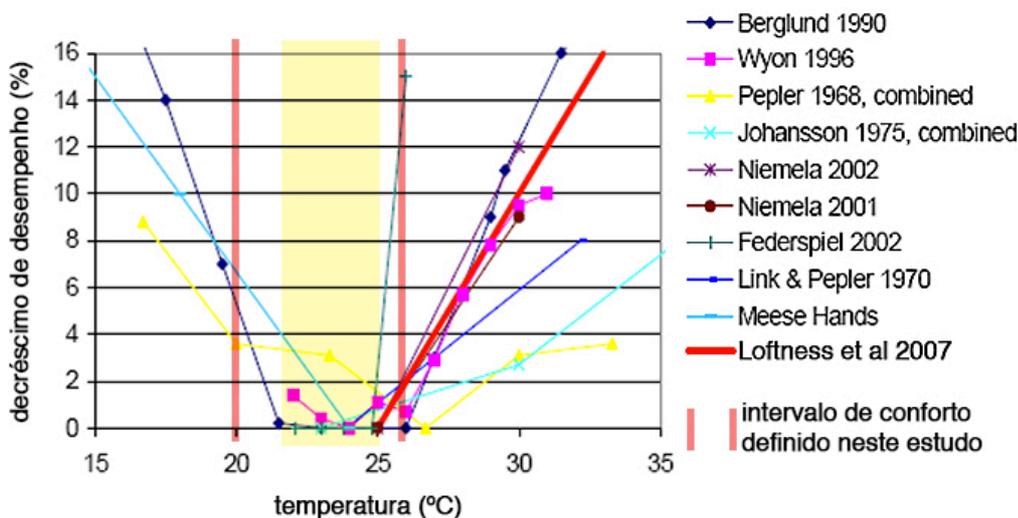
Como o objetivo principal desta pesquisa centra-se na comparação dos envoltórios analisados, abdicou-se da indicação de um modelo específico para o equipamento de climatização artificial. Para a definição dos parâmetros de funcionamento e operação, faz-se uso da possibilidade que o programa *E+* oferece em dimensionar o sistema de acordo com alguns parâmetros mínimos assinalados.

Desta forma simplificada, dentro do grupo *HVAC Template Objects*, as *Class Lists* que serão preenchidos para simular um sistema de *PTHP* em dimensionamento ideal são:

- *HVACTemplate:Thermostat*, que contém as informações das temperaturas de *setpoint* para o funcionamento do termostato do ar-condicionado;
- *HVACTemplate:Zone:PTHP*, onde são informados todos outros parâmetros do sistema (capacidade das serpentinas, programações de funcionamento, vazões de ar, etc).

No Brasil, o instrumento que regulamenta e serve como base de avaliação para empreendimentos comerciais (RTQ-C) não estipula uma faixa-padrão para quando se avaliam edificações por meio de simulação, ressalvando que o que for definido para o modelo básico de comparação deva ser replicado no modelo proposto. Desta forma, optou-se neste trabalho por manter um perfil mais conservador para o gradil de temperatura na operação da climatização artificial: entre 20° e 26°C, conforme assinalado pela faixa vertical na **Fig. 57**, e em consonância com o definido por Tom (2008, p.19).

Figura 57 – Decréscimo de desempenho versus a temperatura



Fonte: Adaptado pelo autor, 2016, de Sappänen *et al*, 2003, *apud* Loftness *et al*, 2007

Quanto aos parâmetros do *HVACTemplate:Zone:PTHP*, quando não são informadas as potências dos equipamentos, o *E+* dimensiona a carga térmica observando os dias típicos de verão e inverno. A configuração destes dias deve ser baseada em dados ambientais de um determinado dia do ano – o chamado *Design Day* (Dia de Projeto), segundo a ASHRAE. É a partir do levantamento deste dados que os sistemas de climatização artificial são elaborados pelos projetistas.

A configuração dos dias típicos na interface do *E+* será demonstrada com o exemplo da cidade de São Paulo (ZBB 3) na **Fig. 58**. As setas assinalam os valores oriundos da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Figura 58 – Configuração dos dias típicos de projeto – verão e inverno

The screenshot shows the EnergyPlus IDF Editor interface. The 'Class List' on the left is partially highlighted with a yellow box labeled 'Class List em uso'. The central table displays various fields and their units, with red arrows pointing to specific values. The right-hand pane shows the 'Explanation of Object and Current Field' and a table of values for 'Obj1' and 'Obj2'. A dropdown menu for 'Solar Model Indicator' is open, showing 'ASHRAETau' as the selected option. Yellow boxes with red arrows point to specific data points in the table, labeled 'dados obtidos no arquivo .STAT' and 'indicadores de modelos solares disponíveis no IDF Editor'.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		SUMMER Typical	WINTER Typical
Month		2	6
Day of Month		18	25
Day Type		SummerDesignDay	WinterDesignDay
Maximum Dry-Bulb Temperature	C	33.1	27.2
Daily Dry-Bulb Temperature Range	deltaC	8.1	8.5
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type		DefaultMultipliers	DefaultMultipliers
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule Name			
Humidity Condition Type		WetBulb	WetBulb
Wetbulb or DewPoint at Maximum Dry-Bulb	C	22.3	17.9
Humidity Condition Day Schedule Name			
Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb	kgWater/kgDryAir		
Enthalpy at Maximum Dry-Bulb	J/kg		
Daily Wet-Bulb Temperature Range	deltaC		
Barometric Pressure	Pa	92054	92054
Wind Speed	m/s	3.4	3.4
Wind Direction	deg	330	330
Rain Indicator		No	No
Snow Indicator		No	No
Daylight Saving Time Indicator		No	No
Solar Model Indicator		ASHRAETau	ASHRAETau
Beam Solar Day Schedule Name			
Diffuse Solar Day Schedule Name			
ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Beam Irradiance (tau_b)	dimensionless	0.383	
ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Diffuse Irradiance (tau_d)	dimensionless	2.583	
Sky Clearness			

Fonte: Pelo autor, 2016

Todas as cidades definidas para este estudo contam com arquivos climáticos *Design Day* no banco de dados indicados pelo DOE, exceto Vitória da Conquista-BA (ZBB5). Neste caso, não se pode indicar no campo *Solar Model Indicator* os valores ASHRAE e preencher os campos ASHRAE t_{aub} e ASHRAE t_{aud} como na figura acima.

Assim, para o preenchimento dos objetos com as agendas de radiação solar direta e difusa, em ambos os dias típicos faz-se uso do programa RADIASOL 2 (UFRGS, 2010). A obtenção dos dados nos dias típicos de projeto (verão e inverno) vem da interpolação destes valores com o total apontado no anexo da NBR15575 (ABNT, 2013, Tabs. A2 e A3). O preenchimento é destacado na Fig. 59, nos objetos da *Class List Schedule:Daily:Hourly*.

Figura 60 – Configuração do HVACTemplate:Zone:PTHP

Class List em uso

Object Description: Packaged Terminal Heat Pump
Field Description: Zone name must match a building zone name
ID: A1
Select from list of objects

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Zone Name		S101					
Template Thermostat Name		Setpoint General					
Cooling Supply Air Flow Rate	m ³ /s	autotize					
Heating Supply Air Flow Rate	m ³ /s	autotize					
No Load Supply Air Flow Rate	m ³ /s						
Zone Heating Sizing Factor							
Zone Cooling Sizing Factor							
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Per
Outdoor Air Flow Rate per Person	m ³ /s	0.0075					
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m ³ /sm ²						
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m ³ /s						
System Availability Schedule Name							
Supply Fan Operating Mode Schedule Name							
Supply Fan Placement		DrawThrough					
Supply Fan Total Efficiency		0.7					
Supply Fan Delta Pressure	Pa	75					
Supply Fan Motor Efficiency		0.9					
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpr
Cooling Coil Availability Schedule Name							
Cooling Coil Gross Rated Total Capacity	W	autotize					
Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio		3.45					
Cooling Coil Gross Rated COP	W/W	3					
Heat Pump Heating Coil Type		SingleSpeedDXHeatPump					
Heat Pump Heating Coil Availability Schedule Name							
Heat Pump Heating Coil Gross Rated Capacity	W	autotize					
Heat Pump Heating Coil Gross Rated Capacity	W	autotize					
Heat Pump Heating Coil Gross Rated COP	W/W	3.4					
Heat Pump Heating Minimum Outdoor Dry-Bulb Temperature	C	-8					
Heat Pump Defrost Maximum Outdoor Dry-Bulb Temperature	C	5	5	5	5	5	5
Heat Pump Defrost Strategy		ReverseCycle	ReverseCycle	ReverseCycle	ReverseCycle	ReverseCycle	ReverseC
Heat Pump Defrost Control		Timed	Timed	Timed	Timed	Timed	Timed
Heat Pump Defrost Time Period Fraction		0.058333	0.058333	0.058333	0.058333	0.058333	0.058333
Supplemental Heating Coil Type		Electric	Electric	Electric	Electric	Electric	Electric
Supplemental Heating Coil Availability Schedule Name							
Supplemental Heating Coil Capacity	W	autotize	autotize	autotize	autotize	autotize	autotize
Supplemental Heating Coil Maximum Outdoor Dry-Bulb Temperature	C	21	21	21	21	21	21
Supplemental Gas Heating Coil Efficiency		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Supplemental Gas Heating Coil Parasitic Electric Load	W						
Dedicated Outdoor Air System Name							
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Input Method		SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAir
Zone Cooling Design Supply Air Temperature	C	14	14	14	14	14	14
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Difference	deltaC						
Zone Heating Design Supply Air Temperature Input Method		SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAir
Zone Heating Design Supply Air Temperature	C	50	50	50	50	50	50
Zone Heating Design Supply Air Temperature Difference	deltaC						

setpoint a ser referenciado neste caso, entre 20° e 26°C

pela Res 09/2013 da ANVISA, vazão de 27m³/h/pessoa, igual a 0.0075m³/seg/pessoa

COP para resfriamento de 3,45 (mínimo seria 3,24)

COP para aquecimento de 3,40 (mínimo seria 3,24)

energy+.idd | EnergyPlus 8.4.0 | S101

Fonte: Pelo autor, 2016

Dia Típico de Projeto

A NBR 15575 apresenta os conceitos de dias típicos de projeto. O dia de verão seria aquele que se caracteriza com informações sobre temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente do ano segundo a média do período dos últimos dez anos. Para o de inverno, segue-se as mesmas informações, mas para o dia mais frio do ano segundo também uma média dos últimos 10 anos (ABNT, 2013, parte 1, itens 3.11 e 3.12). No Anexo A desta NBR, as Tabelas A.2 e A.3 apresentam os dados para algumas cidades brasileiras, separadas pelo período de verão (na primeira) e de inverno (na segunda). Entretanto, como esta NBR está voltada às edificações residenciais, e o processo de simulação ali orientado trata de edificações vazias, optou-se pelo emprego de valores oriundos de outra fonte.

Segundo o capítulo 14 do *ASHRAE Handbook of Fundamentals (ASHRAE, 2009)*, tem-se para aplicabilidade e característica das condições de projeto:

Os valores climáticos de projeto climáticas neste capítulo representam diferentes condições psicrométricas. Dados de projeto com base na temperatura de bulbo seco representam ocorrências de pico do componente sensível das condições de ambiente exterior. Os valores de cálculo com base na temperatura de bulbo úmido estão relacionados com a entalpia do ar exterior. Condições com base no ponto de orvalho referem-se os picos da razão de umidade. O projetista, engenheiro ou outro usuário deve decidir quais conjuntos de condições e probabilidade de ocorrência aplicam-se à situação de projeto sob consideração. (tradução do autor)

Devido à grande diversidade de características climáticas do Brasil, a opção eleita foi pelo emprego de dados listados como dias de projeto na condição de projeto de **bulbo úmido** com taxa de recorrência de **0,40%**. As informações necessárias ao preenchimento dos campos na *Class List SizingPeriod:DesignDay* (**Fig. 44** anterior, em Configurações do *PTHP System*) foram provenientes do banco de dados para disponível para a América do Sul no *EnergyPlus Energy Simulation Software Helpdesk*, acessível através do link <<http://goo.gl/rfmQeW>>. Este endereço eletrônico oferece acesso aos arquivos de dia de projeto para mais de 6400 cidades listadas na versão mais atualizada da *ASHRAE Fundamentals (ASHRAE, 2013)*, divididos por regiões do mundo.

Consumo de Energia

Para a análise de desempenho entre a situação proposta (FVO) e a situação tradicional (PAD), considerando que ambas possuam iguais quantidades de cargas internas (pessoas, iluminação e equipamentos), o consumo de energia pela climatização artificial é o elemento que indicará a diferença entre elas. O desempenho energético vincula-se às trocas de calor entre o meio construído e o ambiente externo, com variações que seguem a busca por um equilíbrio térmico. Temperatura interna, incidência de radiação solar, velocidade e direção dos ventos e umidade relativa, além da intervenção dos ocupantes, são variáveis que influenciam este comportamento.

Normalmente o projeto arquitetônico, com suporte projeto mecânico, é pensado para diminuir a absorção de carga térmica externa ao ambiente construído. Daí a difusão do pensamento "vamos isolar o edifício". Mas e quando se parte do princípio que a edificação já apresente considerável geração de calor das fontes internas? Como um prédio mais isolado comporta-se no expurgo desta energia interna?

O programa *E+* oferece relatórios de saída, em formato tabular HTML, com inúmeras informações pormenorizadas. Dentre estas, encontram-se os usos finais de energia – o que é gasto com climatização, iluminação, equipamentos, ventiladores, bombas, sistemas hidráulicos, etc. Também estão listados as chamadas métricas de desempenho para iluminação, *HVAC* e outros, onde se observa a intensidade de uso elétrico, em kW.h/m^2 . Com isto, pretende-se oferecer uma tabulação resumida com estes valores obtidos desde o prédio-base para as situações tradicional (PAD) e proposta (FVO) deste consumo pela metragem nas oito ZBB's.

Avaliação Econômica

Segundo Vicente *et al.* (2015), a viabilidade econômica em eficiência energética de edifícios possui dois grupos de parâmetros a serem avaliados. Um de natureza intangível (e que, portanto, dificilmente poderão ser avaliados com segurança), e outro dos aspectos tangíveis (aqueles avaliados financeiramente). Elencando-se resumidamente os fatores tangíveis, tem-se:

- Montante de investimento;
- Vida útil;
- Taxa de juros sobre o capital;
- Consumo anual de energia;
- Serviço, uso e manutenção;
- Evolução dos preços da energia.

Como exemplo dos parâmetros intangíveis, ou subjetivos, tem-se:

- Aspectos estéticos;
- Aspectos de segurança;
- Critérios ambientais;
- Valorização e preservação de valor;
- Efeitos sociais.

Pode-se destacar um terceiro grupo, cuja valoração é fatural, mas necessita do levantamento de dados e da observação de diversas situações, pesquisas e trabalhos anteriores. Um exemplo disto foi apresentado na **Fig. 57**, no **item 3.5.2 – Salas Climatizadas Artificialmente (AC)**, que apresenta relações entre o decréscimo da produtividade das pessoas com o incremento do *setpoint*.

Para estes fatores, cujo padrão comportamental humano necessita de um grupo amostral e um tratamento estatístico capaz de homogeneizar estes dados, tem-se:

- Padrões de desempenho;
- Aumento do conforto;
- Qualidade do ar.

Rentabilidade é uma medida de eficiência de recursos, definida como a relação entre o resultado obtido (produção, receitas, energia poupada) e os meios necessários (custos das medidas implementadas, taxas, inflação). Assim, estabelece-se a seguinte relação:

$$\text{Rentabilidade} = \frac{\text{Saída}}{\text{Entrada}} \quad (\text{Eq. 5})$$

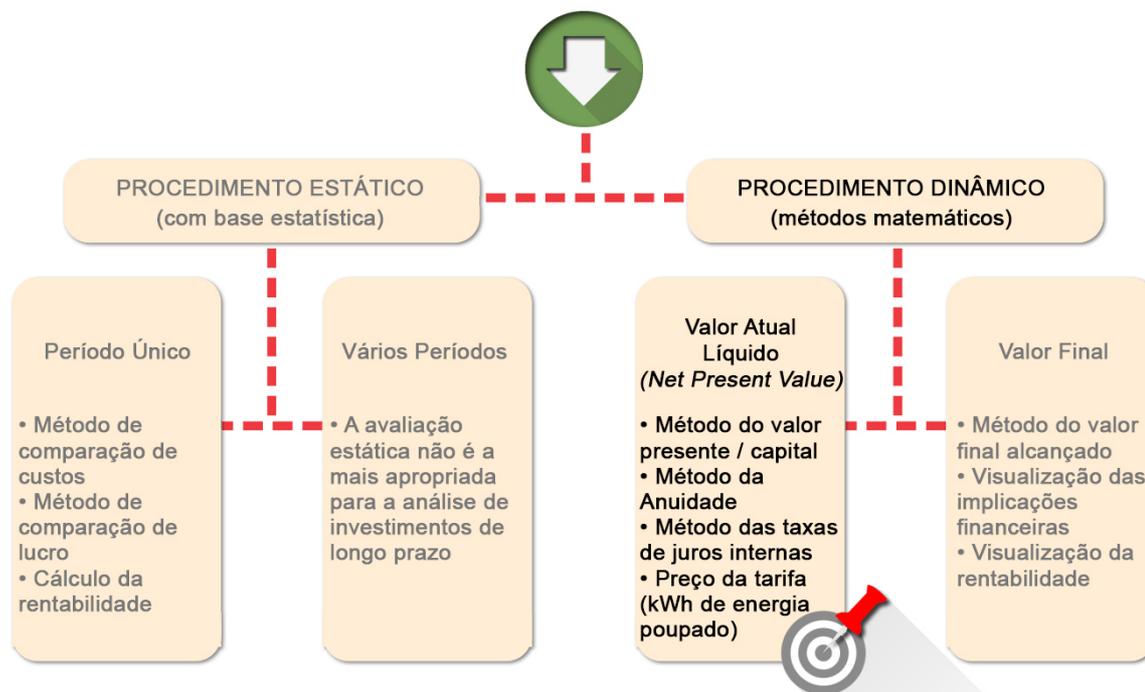
ou

$$\text{Rentabilidade} = \frac{\text{Resultados ou Receitas}}{\text{Meios Necessários ou Despesas}} \quad (\text{Eq. 5 alternativa})$$

O investimento na eficiência energética dos edifícios via de regra não gera resultados em curto prazo. O comum é o retorno econômico deste investimento a longo prazo, durante o ciclo de vida útil da edificação. Por esta característica, o mais adequado ao analisar-se a viabilidade econômica de um investimento em efficientização é a opção pelas **análises dinâmicas**, baseadas em projeções matemáticas, e não as convencionais, baseadas em dados estatísticos das análises estáticas.

Este instrumento de avaliação vem das áreas da Economia e Administração, servindo para demonstrar liquidez e solvência frente a outros mecanismos tradicionais de avaliação financeira em negócios. A **Fig. 61** a seguir apresenta, de forma sucinta, alguns diferentes métodos normalmente empregados para estas avaliações, sejam os modelos estáticos, sejam os dinâmicos.

Figura 61 – Métodos de avaliação do investimento



Fonte: Pelo autor, adaptado de ROMEU *et al.*, 2015

Dentre os diferentes métodos de avaliação financeira de projetos, Vicente *et al.* (2015) apontam o Método do Valor Líquido Atual (*Net Present Value*) como o mais indicado para as análises vinculadas à efficientização das edificações. Este método consiste no somatório de todos os lucros líquidos previstos, permitindo que se selecione e avalie se um determinado projeto será ou não rentável.

$$VLA = \sum_{t=0}^{T_{per}} \frac{FC_t}{(1+p)^t} \quad (\text{Eq. 6})$$

onde:

VLA = Valor Líquido Atual (*Net Present Value*) [unidade monetária]

FC_t = Fluxo de caixa líquido [unidade monetária]

p = taxa de desconto²⁴ [percentual]

T_{PER} = período de análise [ano, meses]

t = tempo do fluxo de caixa [ano, meses]

²⁴ A taxa de desconto mencionada diz respeito à taxa de juros utilizada na análise do fluxo de caixa descontado para determinar o valor presente de fluxos de caixa no tempo futuro. A taxa de desconto leva em conta não apenas o valor do dinheiro no tempo, mas também o risco ou incerteza sobre os fluxos de caixa futuros. Assim, quanto maior a incerteza de fluxos de caixa futuros, maior a taxa de desconto a ser empregada.

Assim, na pesquisa aqui apresentada, dentre os dados de alimentação para este cômputo, utilizar-se-á o CUB para o tipo de prédio analisado neste estudo (CSL-8), com valores regionalizados. Assim, de acordo com a **Tab. 22**, serão empregados os valores aplicáveis a cada uma das cidades representativas

Tabela 22 – Valores do CUB para "Comercial, Salas e Lojas – 8 pavimentos (jan/2016)

Cidade	CSL-8		Fonte
	padrão NORMAL	padrão ALTO	
Curitiba – PR	R\$1,286.33	R\$1,428.97	CBIC
Santa Maria – RS	R\$1,306.20	R\$1,505.22	SINDUSCON – RS
São Paulo – SP	R\$1,227.37	R\$1,325.95	SINDUSCON – SP
Brasília – DF	R\$1,142.67	R\$1,244.71	CBIC
Vitória da Conquista – BA	R\$1,223.81	R\$1,322.22	CBIC
Campo Grande – MS	R\$1,021.86	R\$1,125.97	SINDUSCON – MS
Cuiabá – MT	R\$1,193.96	R\$1,315.36	CBIC
Belém – PA	R\$1,108.59	R\$1,199.77	SINDUSCON – PA

Estes valores serão combinados com o valor do kW.h em cada uma destas cidades para obtenção de valores de energia economizada como referencial monetário para os cálculos de valoração.

4. Resultados

4.1. Conforto Térmico

O desempenho da situação proposta (FVO) comparada à situação base (PAD) dar-se-á por meio da análise dos resultados obtidos no cruzamento dos dois grupos de arquivos principais modelados. O modelo que obtiver em cada ZBB uma menor quantidade de graus-hora (somados os desconfortos por frio e por calor), ao longo de um período anual, será indicado como mais eficiente.

4.1.1. Indicação de Desempenho Termoenergético

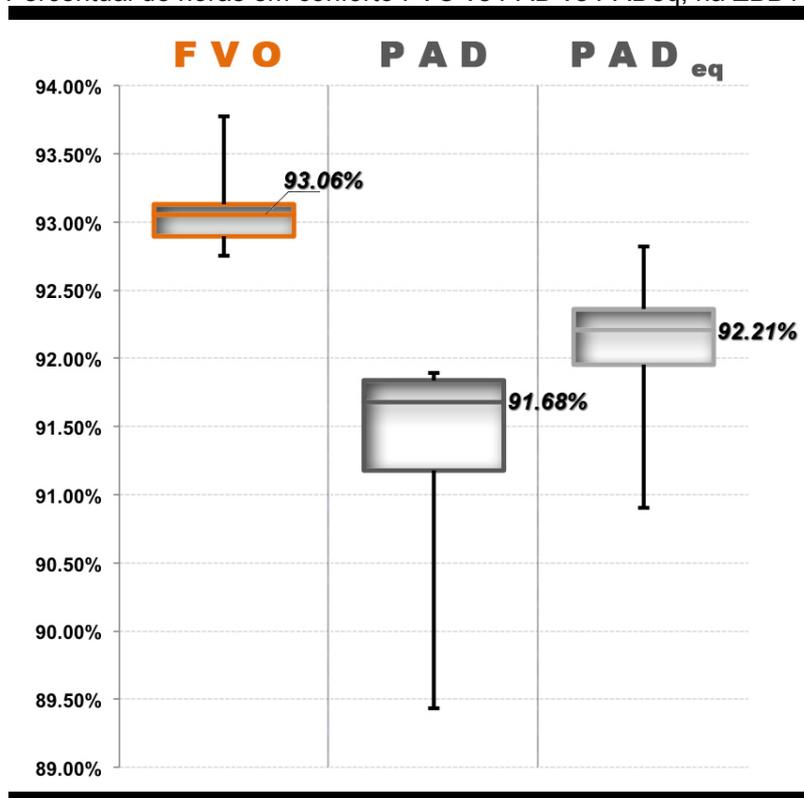
Seguindo o mesmo esquema de apresentação realizado para o estudo-piloto, selecionou-se apenas as horas ao longo do ano em que o prédio estivesse operando, observando-se o comportamento dos modelos naqueles horários onde há geração de calor de acordo com a natureza da edificação. Desta forma, o horário de comparação está restrito à programação de ocupação, definida entre 8:00 e 19:00h ao longo dos dias úteis da semana, e entre 8:00 e 13:00h aos sábados, perfazendo um total de 3380 horas ao longo de um ano para análise.

Na **Tab. 23** estão apresentados os valores anuais totais de graus-hora dentro desta faixa de uso se considerássemos a temperatura interna dos ambientes igual à externa. À direita da seta constam os respectivos percentuais de horas em desconforto por frio, desconforto por calor e horas em conforto. Índices percentuais de tempo de conforto ao longo do ano menores que esses indicam maior influência das condições internas em relação aquelas do meio externo no padrão do modelo adaptativo.

Tabela 23 – Quantificação de graus-hora quando T_{interna} igual à T_{externa}

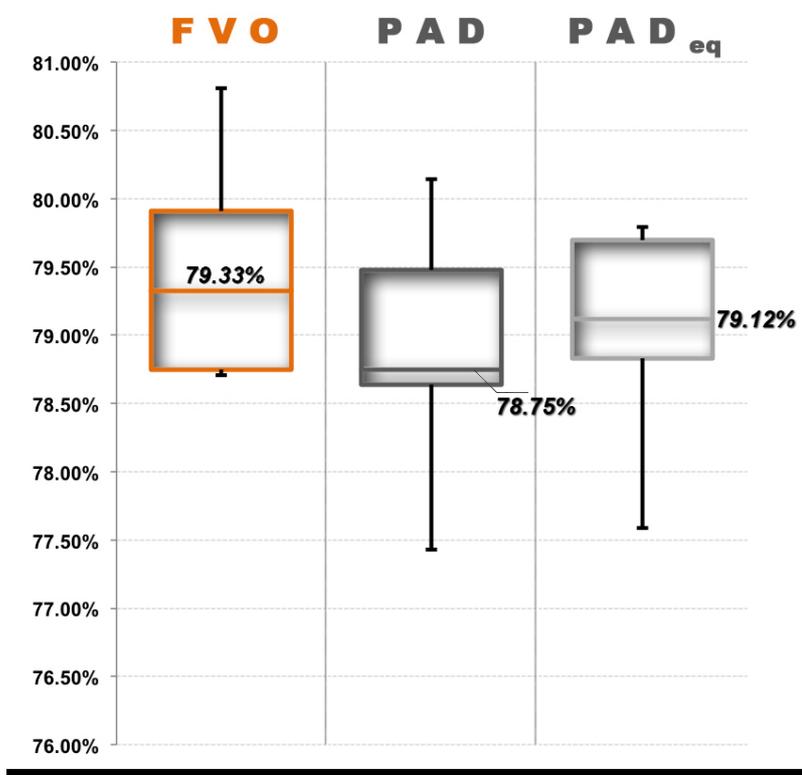
ZBB	CIDADE	Temperatura INTERNA = Temperatura EXTERNA			
		GH Período ANUAL	DESCONFORTO POR FRIO	DESCONFORTO POR CALOR	HORAS EM CONFORTO
1	Curitiba / PR	89342.02	60.34%	4.69%	34.96%
2	Santa Maria / RS	75880.39	44.19%	12.58%	43.23%
3	São Paulo / SP	58101.62	49.04%	8.49%	42.46%
4	Brasília / DF	25663.95	25.06%	8.27%	66.67%
5	Vitória da Conquista / BA	19298.49	27.91%	7.69%	64.40%
6	Campo Grande / MS	34875.00	11.46%	33.40%	55.14%
7	Cuiabá / MT	55538.94	7.28%	49.27%	43.45%
8	Belém / PA	18324.82	0.10%	37.93%	61.97%

A série de gráficos a seguir, iniciando na **Fig. 62** e seguindo até a **Fig. 69**, contabiliza a Temperatura Neutra (T_N), de cada unidade em cada uma das três situações. Cada figura está organizada no formato *boxplot* (gráfico de caixa), com a síntese dos percentuais obtidos que mostram o intervalo de conforto observado, e o percentual mediano encontrado. Estas figuras apresentam os percentuais de conforto de acordo com o nível de satisfação atendendo a 80% dos usuários, conforme o modelo adaptativo descrito anteriormente nesta pesquisa.

Figura 62 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PAD_{eq}, na ZBB1 – Curitiba/PR

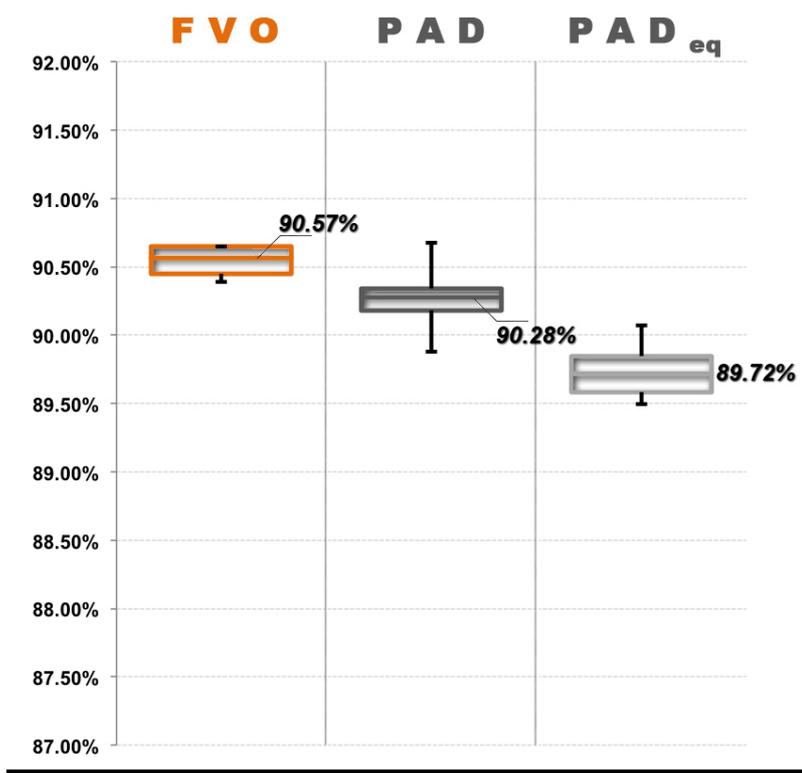
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 63 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PAD_{eq}, na ZBB2 – Santa Maria/RS



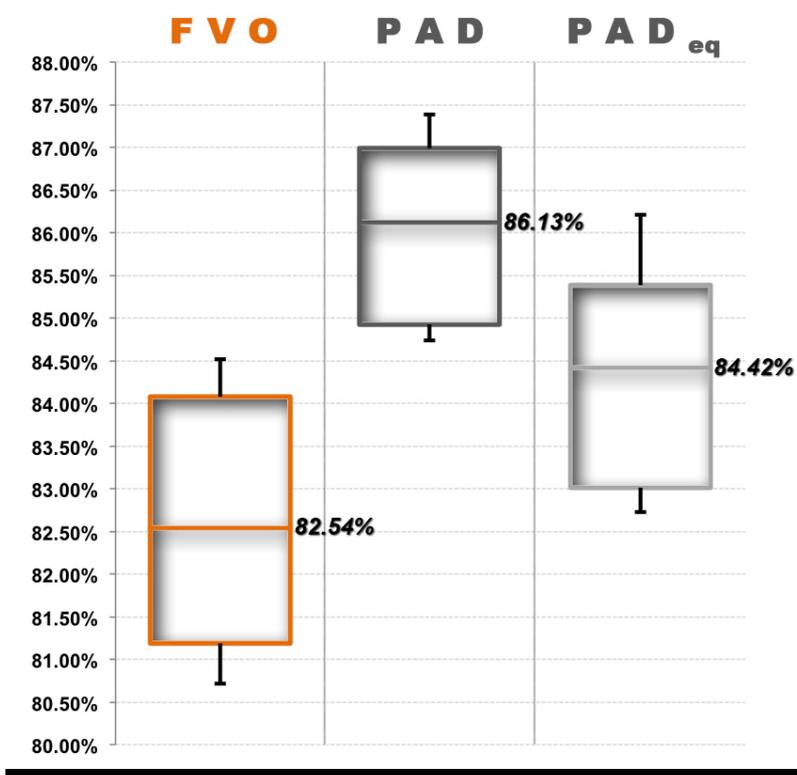
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 64 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PAD_{eq}, na ZBB3 – São Paulo/SP



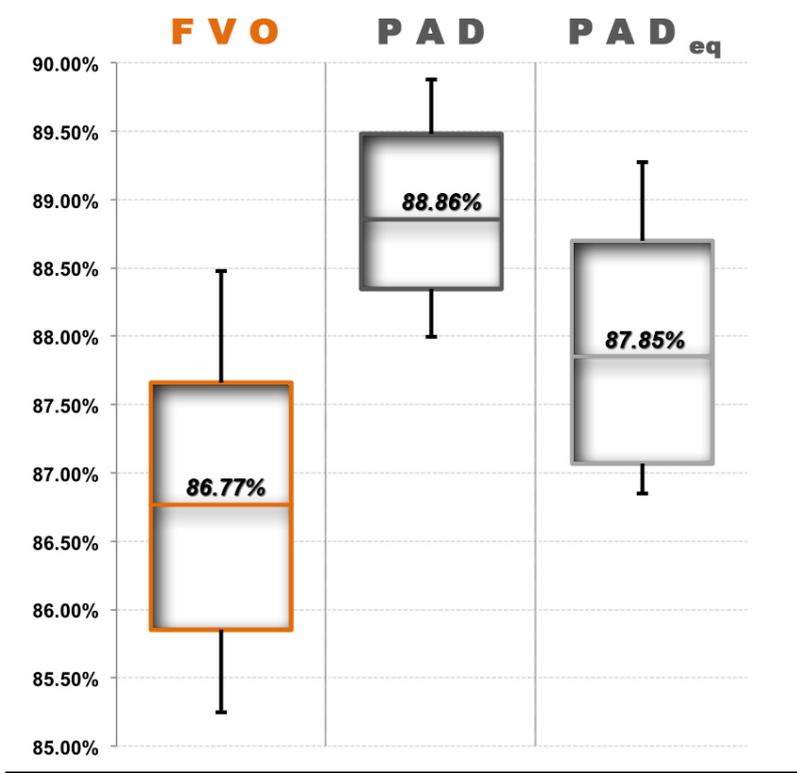
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 65 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB4 – Brasília/DF



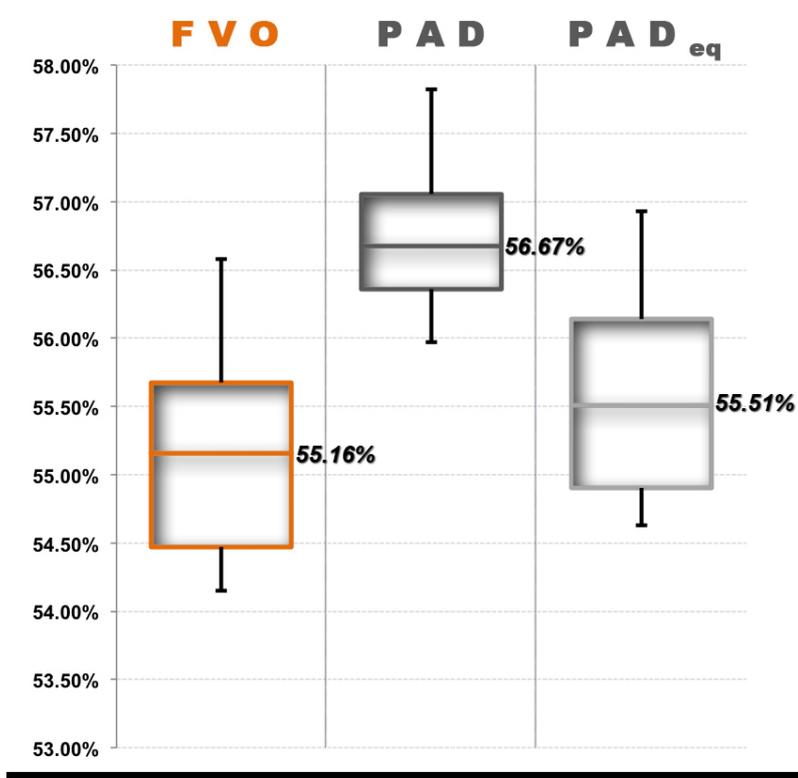
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 66 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB5 – Vit. Conquista/BA



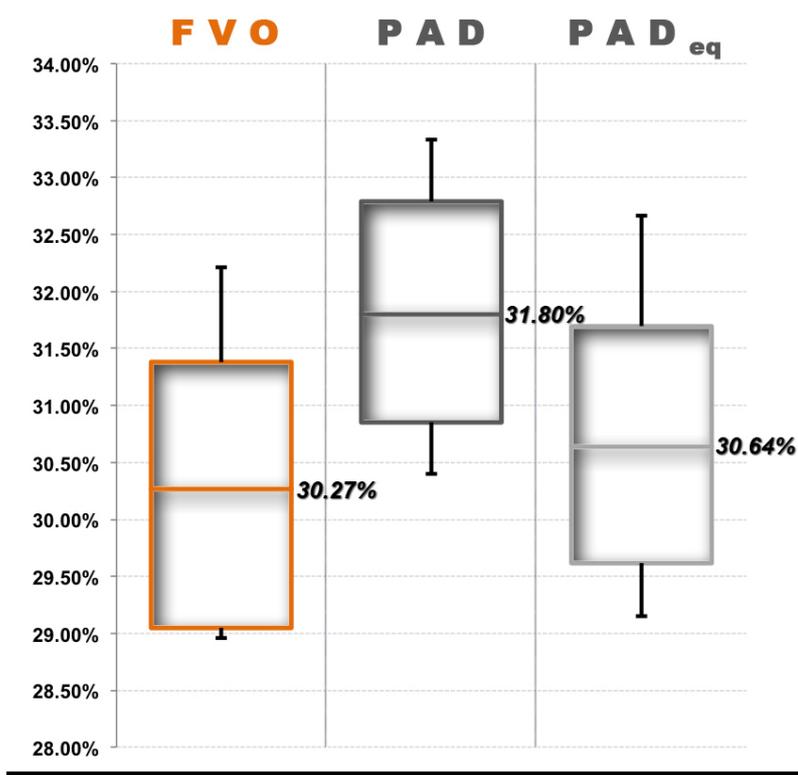
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 67 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB6 – Campo Grande/MS



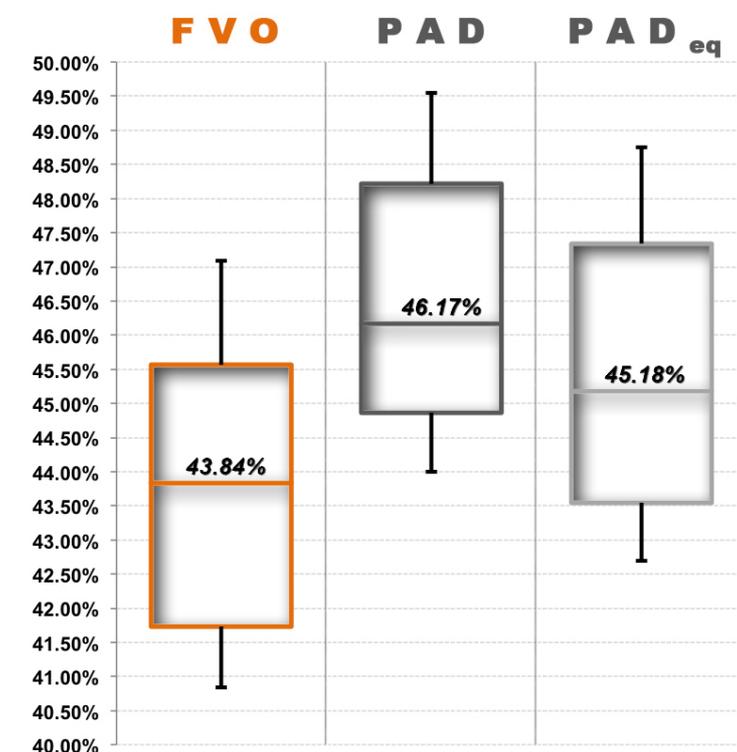
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 68 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PADeq, na ZBB7 – Cuiabá/MT



Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 69 – Percentual de horas em conforto FVO vs PAD vs PAD_{eq}, na ZBB8 – Belém/PA



Fonte: Pelo autor, 2016

De uma forma geral, das oito zonas bioclimáticas onde as edificações foram avaliadas, nas cinco primeiras os percentuais de conforto tiveram valores medianos próximos ou acima do percentual de 80%. Nas ZBBs 6, 7 e 8, o percentual fica bem distante desta meta.

Das ZBBs 1 a 5, onde o percentual de horas de atividade em conforto é atingido, as três primeiras apresentam o sistema proposto FVO com um desempenho superior ao envoltório tradicional PAD. Das outras onde o percentual demonstra um desempenho bem abaixo, em todas o envoltório tradicional PAD tem percentuais maiores que a situação proposta FVO.

Excetuando-se São Paulo-SP (ZBB3), que apresenta o menor intervalo entre quartis de horas em conforto em toda a série – entre 0,08 e 0,13%, a versão PAD_{eq} está sempre colocada como o desempenho imediatamente abaixo de PAD ou FVO, independente qual destas seja a melhor. Em todas as oito zonas bioclimáticas os percentuais apresentados pela situação proposta FVO e sua "contraprova" PAD_{eq} (com iguais valores de Transmitância Térmica e Capacidade Térmica) são distintos,

indicando que não sejam apenas estes dados que influenciam no balanço energético entre os meios externo e interno.

Quanto ao cômputo anual dos graus-hora (GH) que as situações de desconforto por frio ou por calor apresentam, temos a **Tab. 24** com:

Tabela 24 – Quantificação anual de graus-hora | FVO vs PAD vs PADeq

		Graus-Hora anual Temperatura Neutra com valores mensais (Tn 12)					
ZBB	CIDADE	FVO		PAD		PADeq	
		U _{value} = 1.91 W/m ² .K	C _T = 212.36 kJ/m ² .K	U _{value} = 2.63 W/m ² .K	C _T = 293.87 kJ/m ² .K	U _{value} = 1.91 W/m ² .K	C _T = 212.36 kJ/m ² .K
1	Curitiba / PR	6440.98	1386.98	4716.37	16562.81	6573.70	5617.22
		7827.96		21279.18		12190.92	
2	Santa Maria / RS	39703.38	1151.51	34153.35	9882.09	38193.90	5910.18
		40854.89		44035.44		44104.08	
3	São Paulo / SP	11914.15	297.72	10839.72	4335.27	12295.69	2439.65
		12211.87		15174.99		14735.34	
4	Brasília / DF	21878.03	5.79	16204.87	91.63	19201.39	57.27
		21883.82		16296.50		19258.66	
5	Vitória da Conquista / BA	18028.51	0.96	13923.50	321.98	16243.82	143.35
		18029.47		14245.48		16387.17	
6	Campo Grande / MS	107459.23	2419.75	95848.04	3873.78	103153.84	3280.14
		109878.98		99721.82		106433.98	
7	Cuiabá / MT	242094.84	3075.21	221355.94	5200.42	233998.98	4623.80
		245170.05		226556.36		238622.78	
8	Belém / PA	116589.23		103504.82		109548.85	
		116589.23		103504.82		109548.85	

desconforto por calor
 desconforto por frio
 melhor resultado

Ela quantifica os percentuais de desconforto por calor (porção esquerda de cada coluna – FVO, PAD ou PADeq) e por frio (porção à direita), com os totais acumulados na linha inferior, em cada ZBB. Menores valores totais indicam melhor desempenho anual. Aqui, diferente do que fora observado quanto aos percentuais de conforto, há maiores discrepâncias entre os números quando se compara cada uma das situações.

A primeira indicação que se pode fazer é que o sistema proposto FVO beneficia-se dos períodos mais frios do ano. É isto que determina um melhor desempenho global em Curitiba-PR, Santa Maria-RS e São Paulo-SP. Note-se que tomando apenas os GH em desconforto por calor, a **fachada ventilada opaca** tem uma quantificação **sempre maior** que o envoltório tradicional. Quando se centra a observação apenas no desconforto por frio, independente da ZBB, o desempenho da **FVO é sempre melhor**.

Portanto, onde não houver expectativa de uma extensão de tempo com temperaturas menores ao longo do ano, ou melhor, onde não houver uma clara

distinção entre as estações, o comportamento da FVO indica o padrão 'menor transmitância, pior desempenho'.

Outra série foi testada, agora com a rotação do eixo longitudinal do modelo, fazendo com que as faces que contém as aberturas ficassem voltadas para a orientação Leste-Oeste, conforme a quantificação anual na **Tab. 25**.

Tabela 25 – GH com a rotação de eixo (+90°) | FVO vs PAD

		Graus-Hora anual Temperatura Neutra com valores mensais (Tn 12)			
ZBB	CIDADE	FVO + 90°		PAD + 90°	
		U _{value} = 1.91 W/m ² .K	C _T = 212.36 kJ/m ² .K	U _{value} = 2.63 W/m ² .K	C _T = 293.87 kJ/m ² .K
1	Curitiba / PR	7685.79	1694.79	5942.34	18847.42
		9380.58		24789.76	
2	Santa Maria / RS	41109.06	1183.43	35598.89	10575.21
		42292.49		46174.10	
3	São Paulo / SP	14176.24	184.14	14420.45	1595.94
		14360.38		16016.39	
4	Brasília / DF	24066.93	36.18	18171.63	189.49
		24103.11		18361.12	
5	Vitória da Conquista / BA	17216.88	0.80	14021.60	358.61
		17217.68		14380.21	
6	Campo Grande / MS	126432.10	1897.54	112152.77	3239.92
		128329.64		115392.69	
7	Cuiabá / MT	288335.06	2133.69	258616.07	4371.75
		290468.75		262987.82	
8	Belém / PA		120302.36		107833.52
		120302.36		107833.52	

desconforto por calor
 desconforto por frio
 melhor resultado

A **Tab. 26** sintetiza percentuais baseados na razão dos GH em desconforto da orientação N-S (tida como ideal) pelos GH em desconforto da orientação L-O (tida como menos favorável).

Tabela 26 – Percentual de desconforto por GH total na razão N-S por L-O

SITUAÇÃO	ZBB1	ZBB2	ZBB3	ZBB4	ZBB5	ZBB6	ZBB7	ZBB8
 N-S	melhor	melhor	melhor	melhor		melhor	melhor	melhor
	16.55%	3.40%	14.96%	9.21%	-4.71%	14.38%	15.60%	3.09%
 L-O	melhor	melhor	melhor	melhor	pior	melhor	melhor	melhor
	14.16%	4.63%	5.25%	11.24%	0.94%	13.58%	13.85%	4.01%

Com as esquadrias passando a operar voltadas para o eixo Leste-Oeste, observa-se que, conforme o padrão indicado na bibliografia de composição projetual ou arquitetura bioclimática, o desempenho apresenta incremento no número total de GH. Apenas em Vitória da Conquista (ZBB5), na situação proposta FVO, apresenta um índice superior, ainda que este valor não faça com que o desempenho da

situação proposta supere o do envoltório tradicional (que conserva-se praticamente estável com o giro).

A investigação dos dados climáticos no arquivo STAT de Vitória da Conquista/BA dão a entender que a mudança de eixo longitudinal do prédio faça com que a ação dos ventos predominantes passe a influenciar mais o comportamento dos modelos do que a incidência solar. Com os ventos predominantes orientados a Leste pleno ($+90^\circ$) nas semanas mais secas, e Norte-Nordeste ($+30^\circ$) nas semanas mais úmidas, conjuga-se uma empena cega sempre sombreada (face Sul) com a ventilação natural reforçada pela incidência normal a um dos planos com esquadrias. Apesar disto pouco alterar os percentuais de horas em conforto ao longo do ano (**sempre com taxas superiores a 80%**), percebe-se que a diminuição na quantidade de graus-hora dá-se pela **melhoria nas situações mais expostas nos modelos**: as unidades do primeiro pavimento com salas (101-104) e as do último pavimento sob a cobertura (801-804).

Finalizando esta parte da análise, dentro do modelo adaptativo empregado, causa estranheza alguns índices encontrados e, principalmente, a quantificação destes. Salientando que os dados apuram apenas as horas em atividade especificadas ao longo do ano (3380 horas), surpreende que Campo Grande-MS (ZBB6) ou Cuiabá-MT (ZBB7) apresentem horas em desconforto por frio. E além disso, tomando-se os números do envoltório tradicional (que possui melhor desempenho global nestas ZBBs), que seus percentuais relativos em relação aos GH sejam de 3,89% e 2,30%, respectivamente. Eles superam os 0,56% para a mesma condição em Brasília-DF (ZBB4). Os valores da temperatura neutra foram tomadas para as médias mensais ($T_N = 12$). Quando se utilizam as médias semanais ($T_N = 52$), a quantificação total de GH diminui, mas estas discrepâncias persistem.

Nos modelos avaliados para uso comercial com altas cargas internas, unindo os resultados das figuras nos gráficos *boxplot* com os totais de GH, observa-se que a opção por um ou outro envoltório não apontam diferenças significativas em termos de probabilidade de **horas em conforto**. Independente do percentual de conforto ser ou não satisfatório, os envoltórios analisados apresentam pouca influência relativa. A conversão dessa quantificação dos graus-hora (com números absolutos mais distintos entre si) em energia é que poderá servir como um indicativo de preferência.

4.1.2. Temperaturas Superficiais

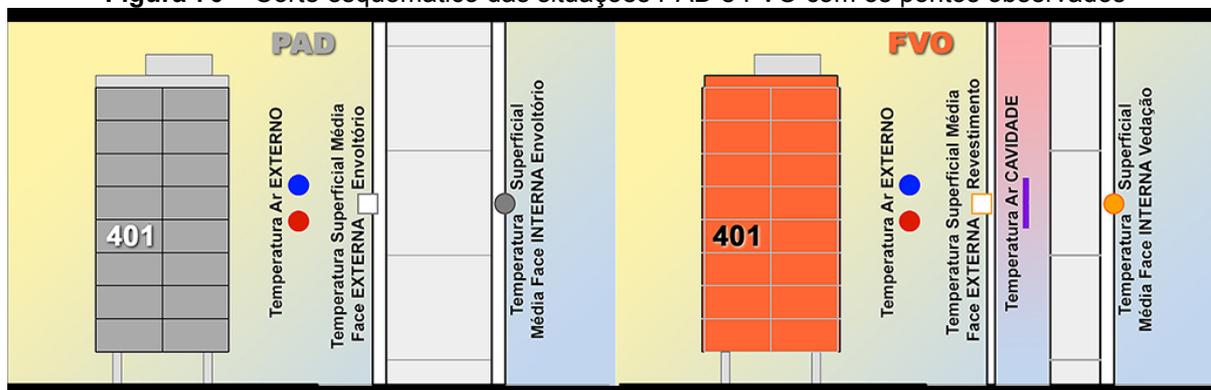
A partir dos resultados obtidos com a simulação, fez-se um recorte específico para análise comparativa do comportamento das temperaturas superficiais na situação com o envoltório tradicional (PAD) e com o sistema proposto (FVO). Para tal, escolheu-se uma unidade de um pavimento menos propenso a variações no modelo proposto: a Sala 401, que possui face com abertura para a orientação Norte e empena cega na Oeste.

A escolha segue o pressuposto de que, em um país de clima predominantemente tropical, a dificuldade maior no projeto de uma construção concentra-se em evitar a radiação solar na maior parte do ano. No caso estudado, isto direciona-se às salas voltadas para o Norte. Dentre as opções secundárias, escolheu-se aquela com face cega para Oeste porque ela apresenta maior quantidade de horas (ao longo do dia de trabalho) acumulando calor.

Observaram-se os sistemas PAD e FVO em dois períodos distintos do ano: a semana típica de verão (ou período quente/seco) e a semana típica de inverno (ou período frio/úmido), de acordo com dados dos arquivos climáticos tipo STAT e a nomenclatura ali exposta. As datas foram ajustadas para que estas semanas sempre começassem em um domingo e encerrassem no sábado.

Assim, segundo o esquema da **Fig. 70**, tem-se: a temperatura do ar externo, da situação com envoltório tradicional PAD foram solicitadas as temperaturas superficiais externa e interna, enquanto que da situação proposta FVO, além destas, a temperatura da câmara de ar interna e a quantidade de renovações do volume de ar na cavidade a cada hora.

Figura 70 – Corte esquemático das situações PAD e FVO com os pontos observados

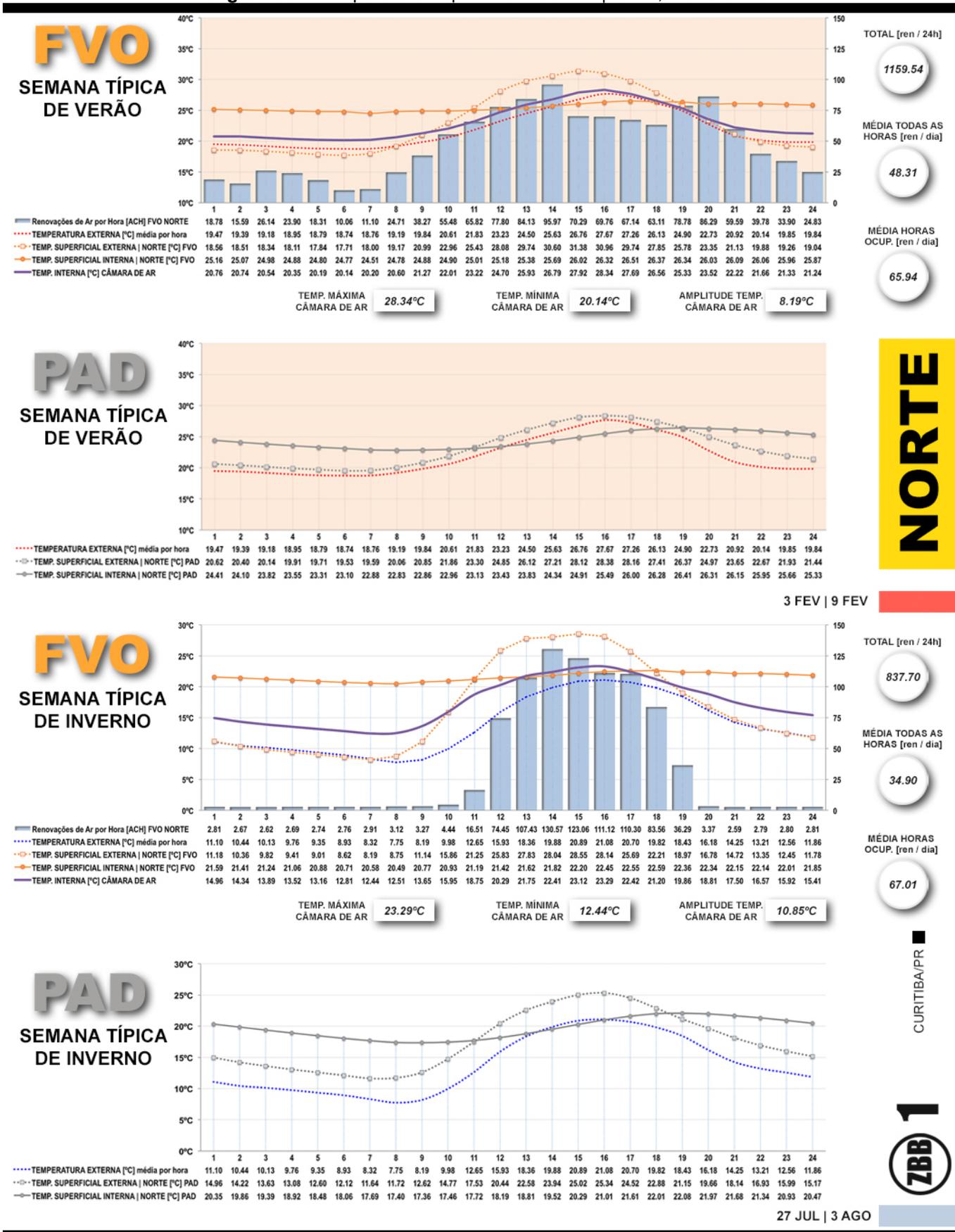


Fonte: Pelo autor, 2016

A análise dos resultados referentes aos gráficos com temperaturas superficiais está apresentada seguindo a ordem: leitura matricial (8 ZBBs x

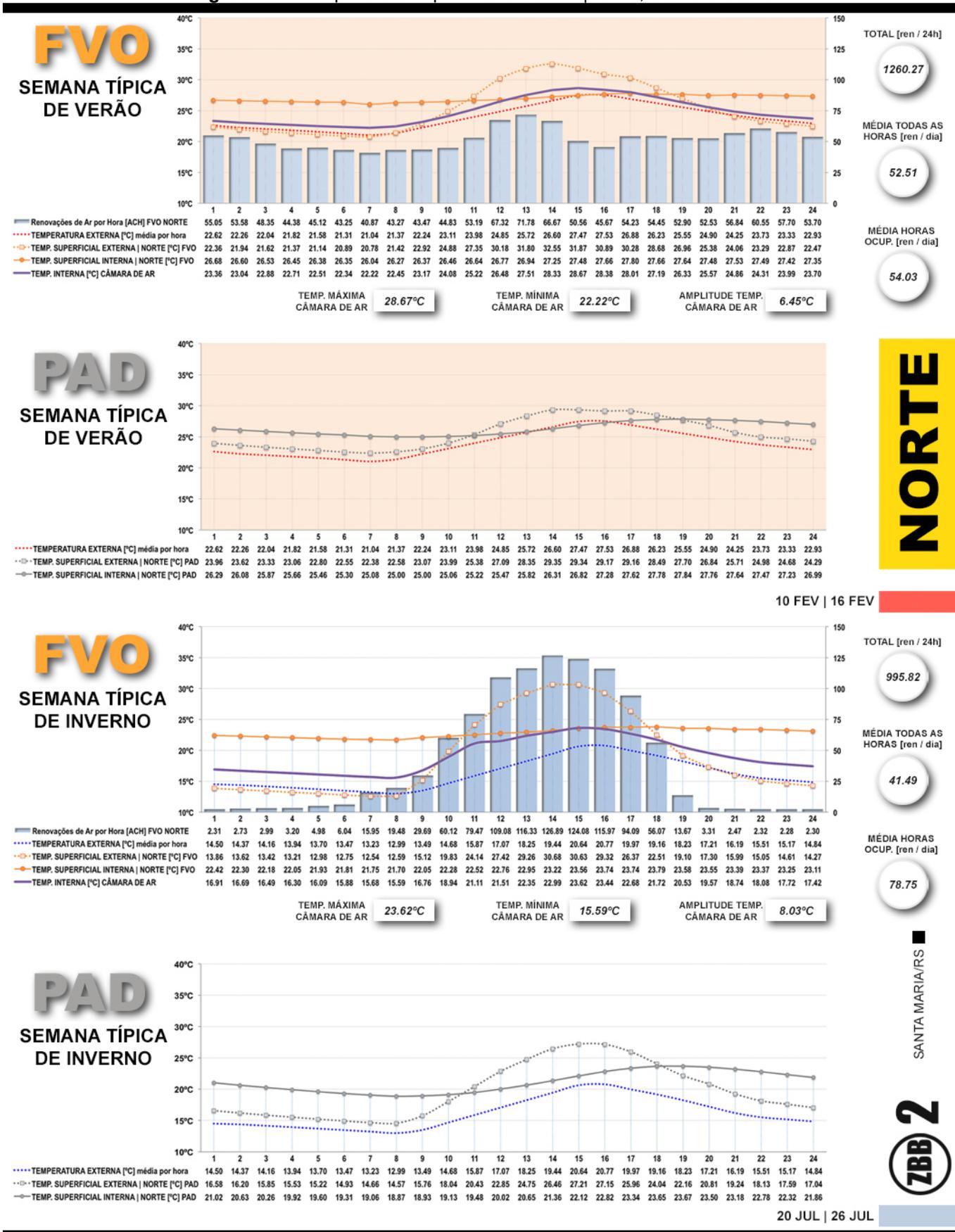
orientação solar x envoltório x semana típica) dos gráficos com observações gerais abrangendo todas as zonas bioclimáticas conjuntamente; leitura horizontal (ZBB"n" x orientação solar x envoltório x semana típica) com descrições específicas a cada ZBB. A apresentação dos resultados dá-se com as figuras divididas pelas oito cidades representativas de cada zona bioclimática, pareando a situação proposta FVO com o envoltório tradicional PAD. Os gráficos (**Figs. 71 a 86**) estão dispostos sempre com os dados de uma e outra versão simultaneamente, separados por orientação das empenas – primeiro a série Norte, depois a Oeste, com os dois períodos do ano (exceto Belém/PA, onde há um único período quente e úmido estendendo-se por todo o ano).

Figura 71 – Temperatura Superficial Sala 401 | Norte, Curitiba/PR



Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 72 – Temperatura Superficial Sala 401 | Norte, Santa Maria/RS



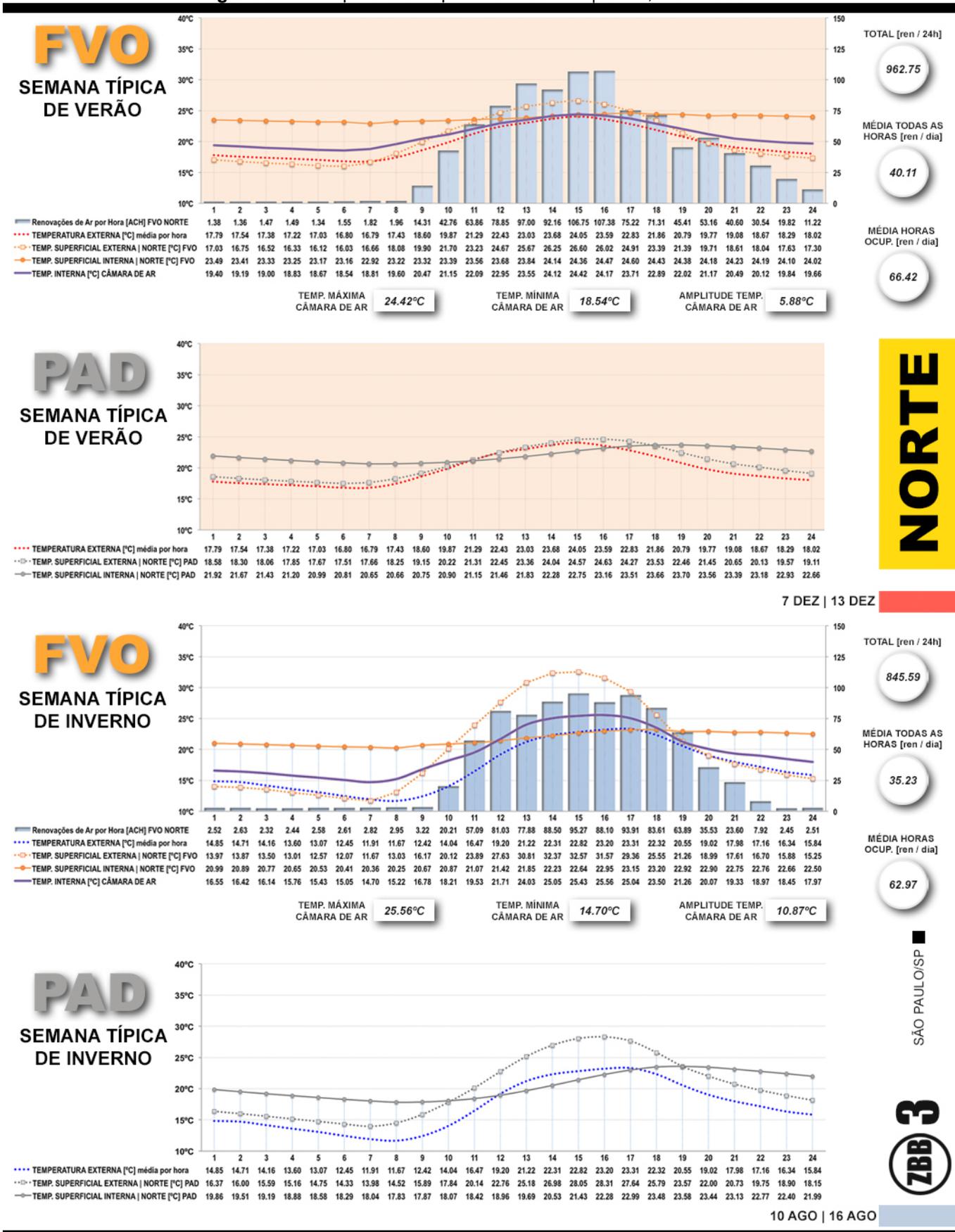
Fonte: Pelo autor, 2016

NORTE

SANTA MARIA/RS



Figura 73 – Temperatura Superficial Sala 401 | Norte, São Paulo/SP



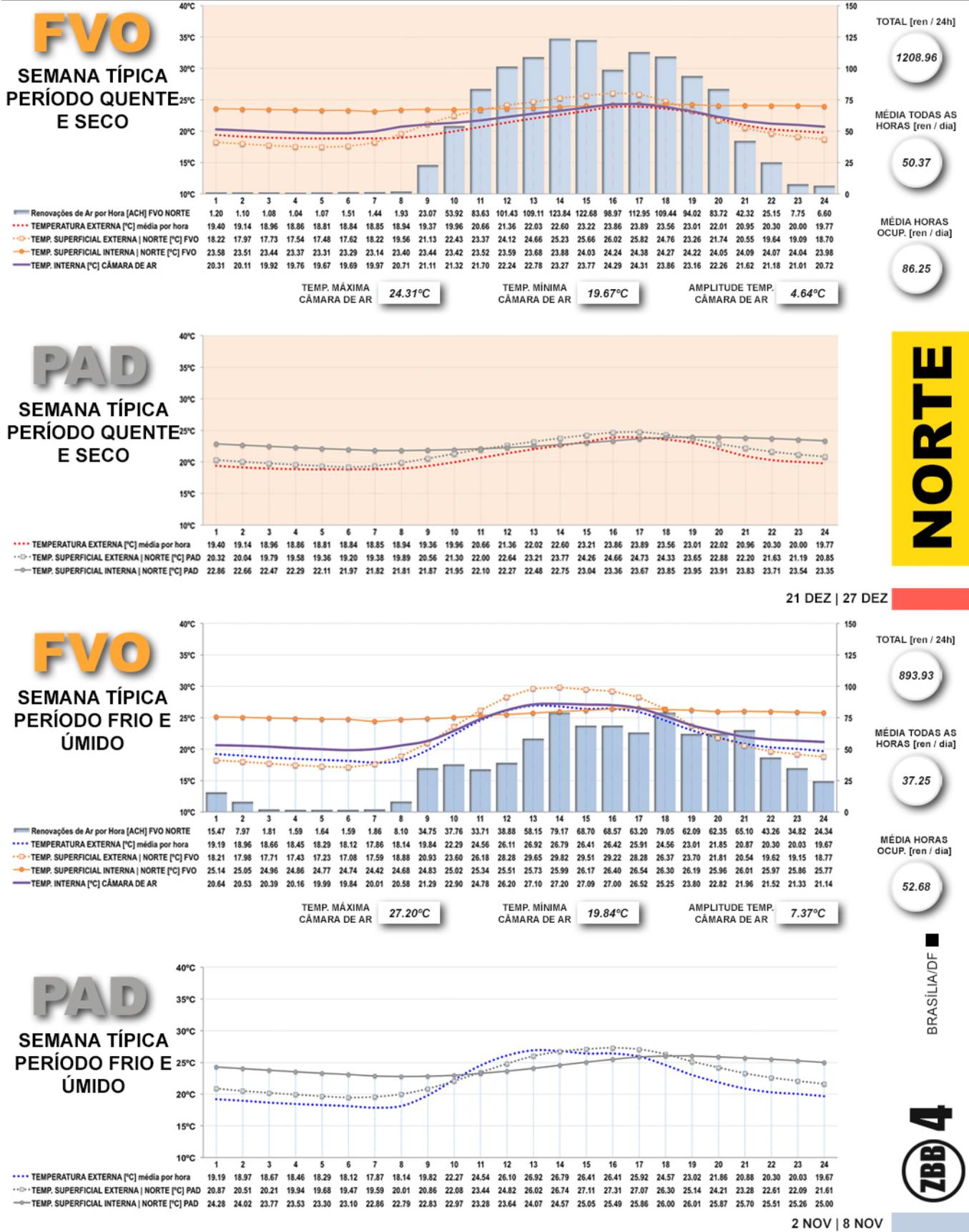
Fonte: Pelo autor, 2016

NORTE

SÃO PAULO/SP



Figura 74 – Temperatura Superficial Sala 401 | Norte, Brasília/DF



Fonte: Pelo autor, 2016

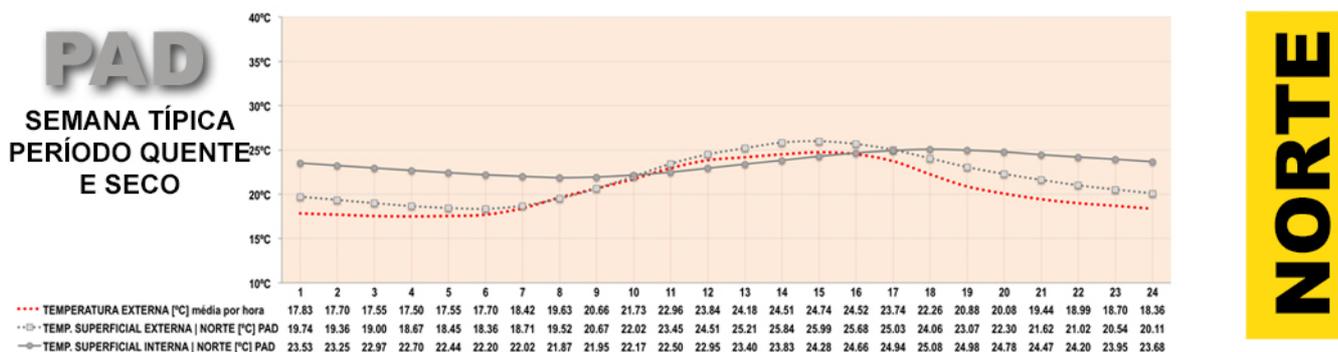
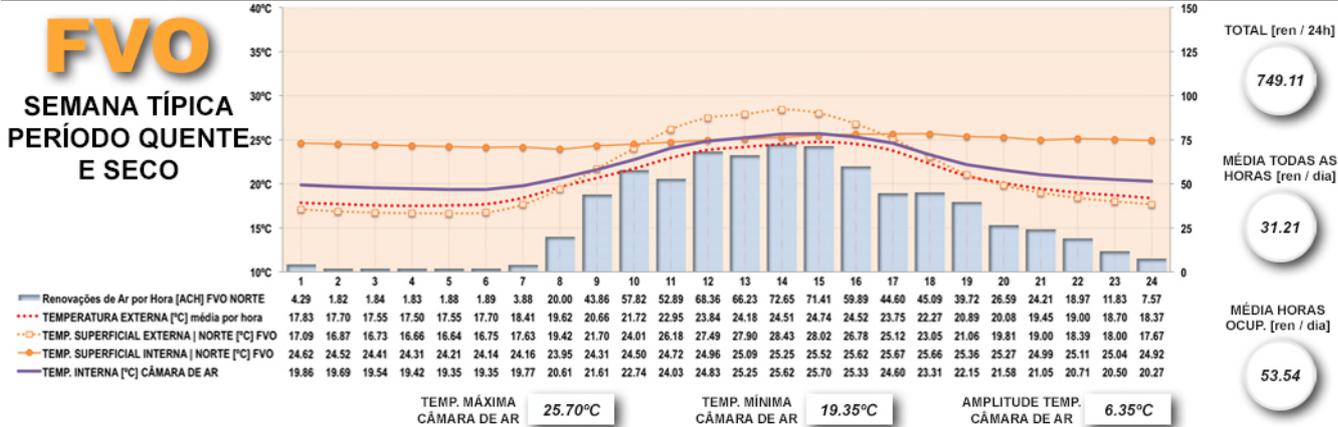
NORTE

BRASÍLIA/DF



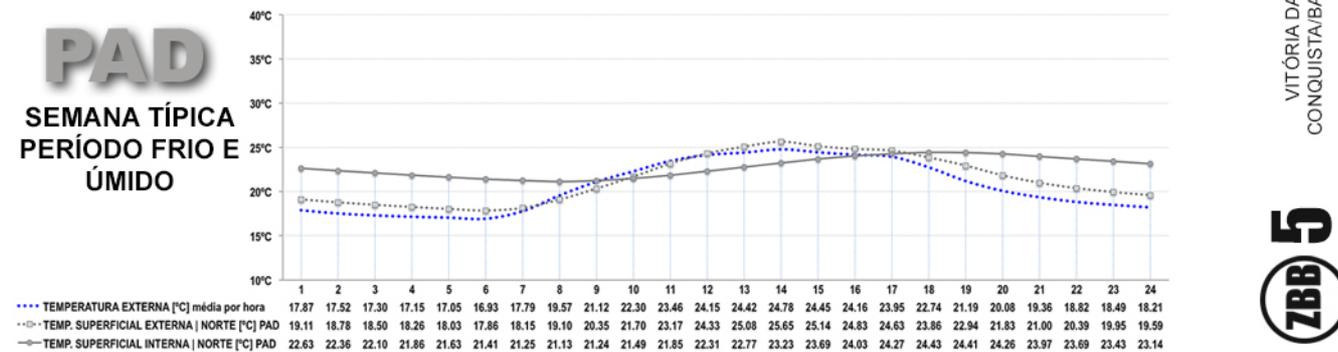
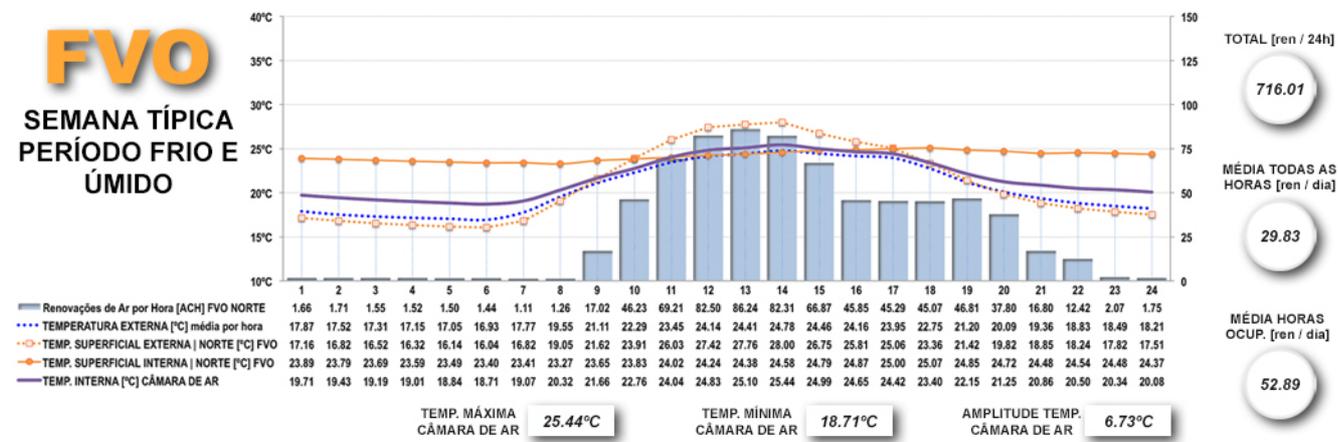
2 NOV | 8 NOV

Figura 75 – Temperatura Superficial Sala 401 | Norte, Vitória da Conquista/BA



NORTE

5 OUT | 11 OUT



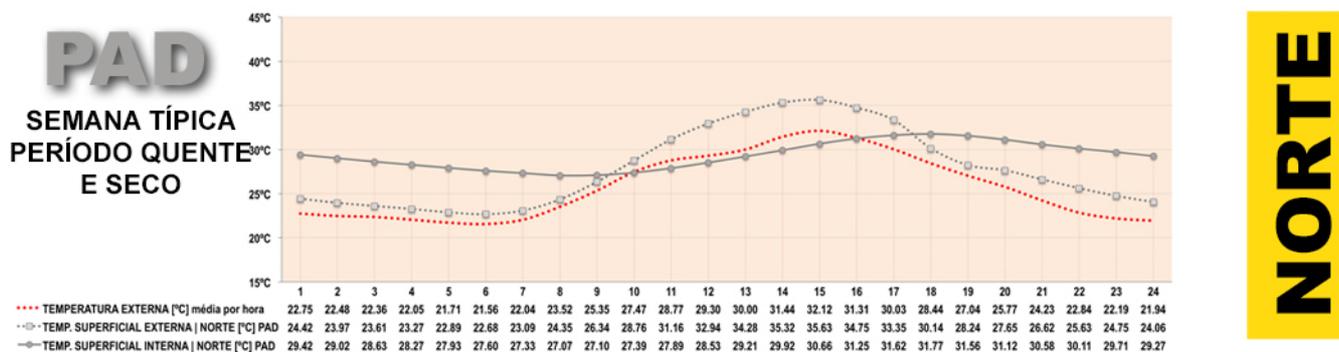
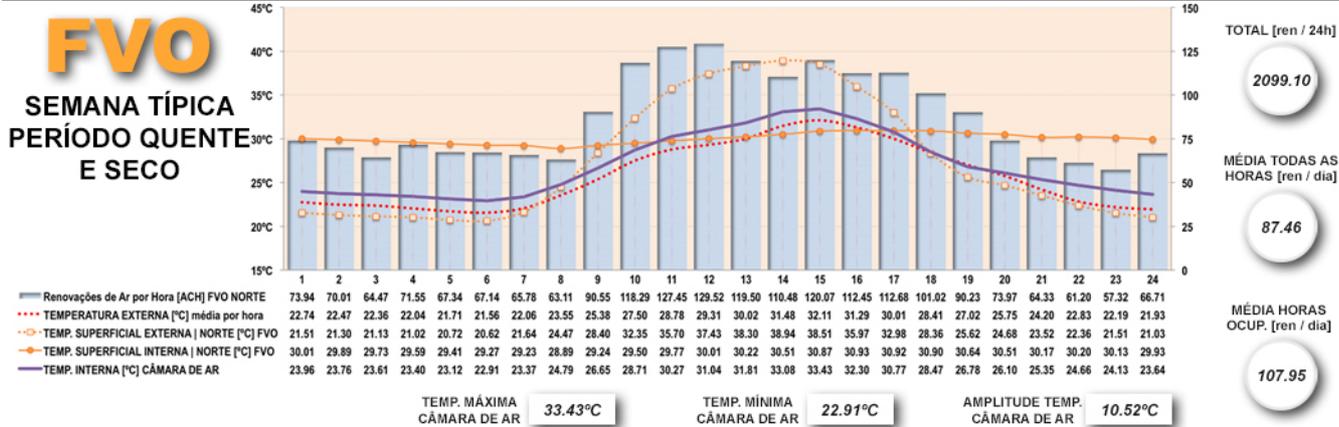
VITÓRIA DA CONQUISTA/BA

ZBB 5

17 FEV | 23 FEV

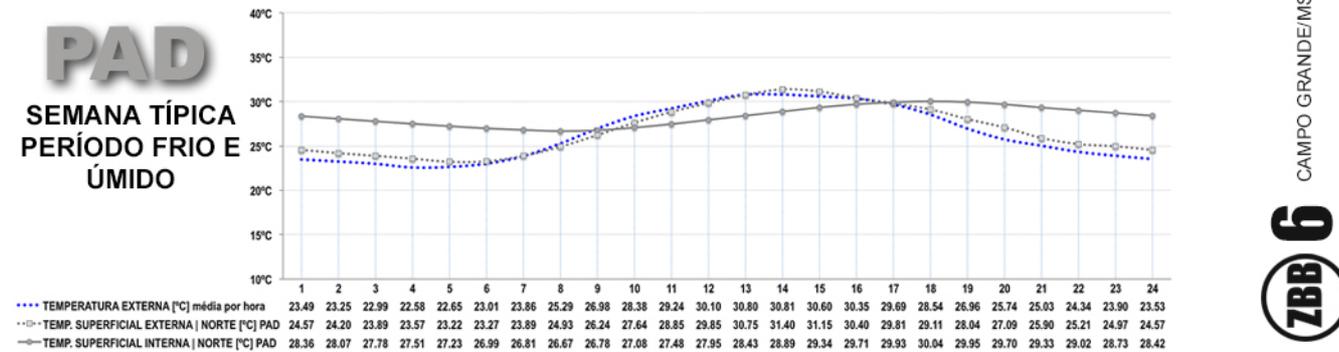
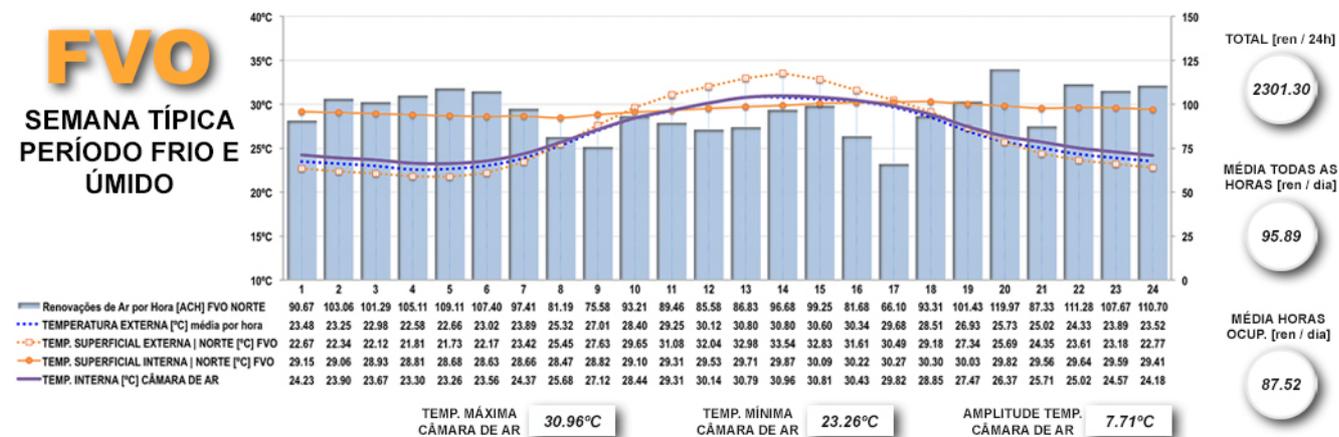
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 76 – Temperatura Superficial Sala 401 | Norte, Campo Grande/MS



NORTE

14 SET | 20 SET



6 JAN | 12 JAN

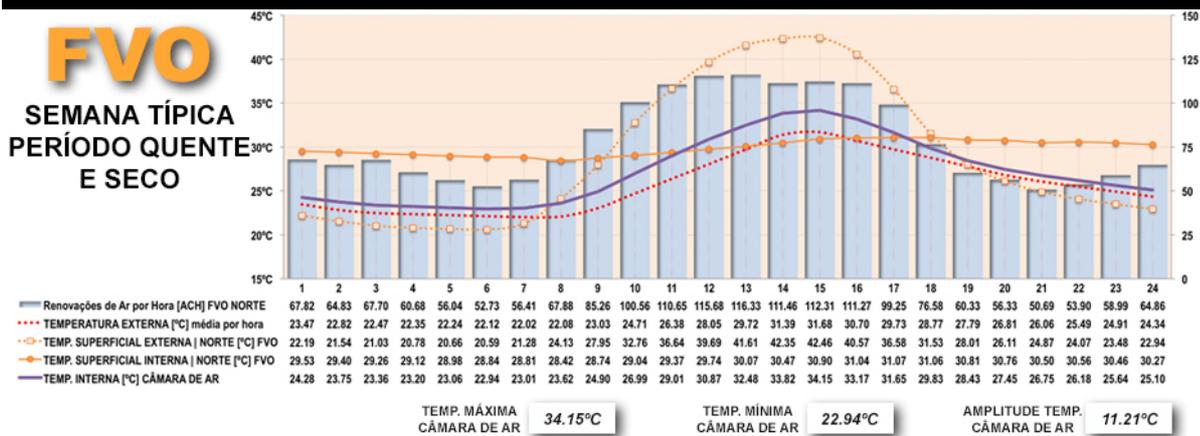
Fonte: Pelo autor, 2016



Figura 77 – Temperatura Superficial Sala 401 | Norte, Cuiabá/MT

FVO

SEMANA TÍPICA
PERÍODO QUENTE
E SECO



TOTAL [ren / 24h]

1878.53

MÉDIA TODAS AS HORAS [ren / dia]

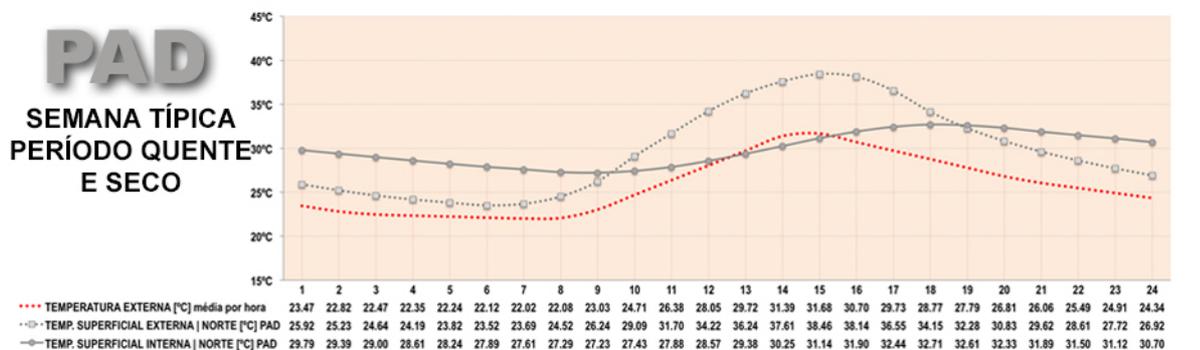
78.27

MÉDIA HORAS OCUP. [ren / dia]

97.30

PAD

SEMANA TÍPICA
PERÍODO QUENTE
E SECO

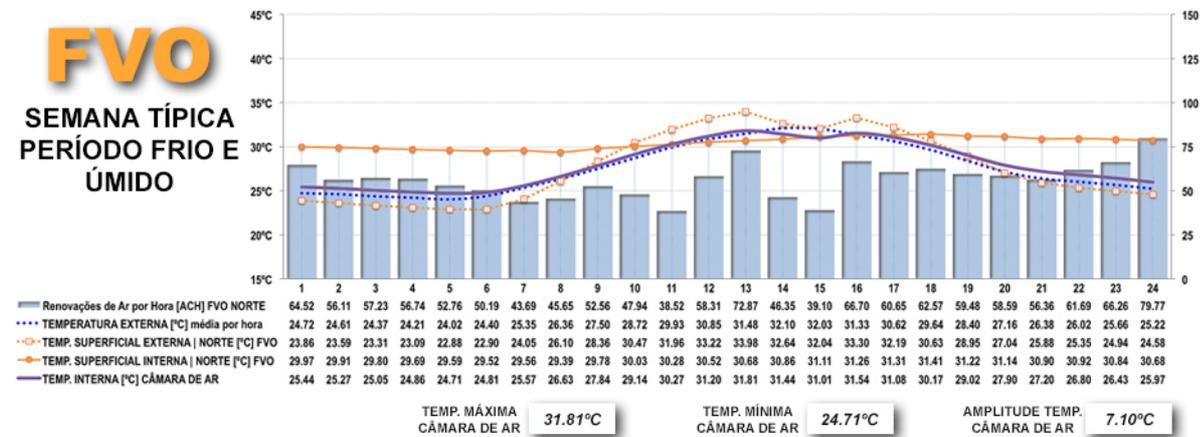


15 JUN | 21 JUN

NORTE

FVO

SEMANA TÍPICA
PERÍODO FRIO E
ÚMIDO



TOTAL [ren / 24h]

1354.61

MÉDIA TODAS AS HORAS [ren / dia]

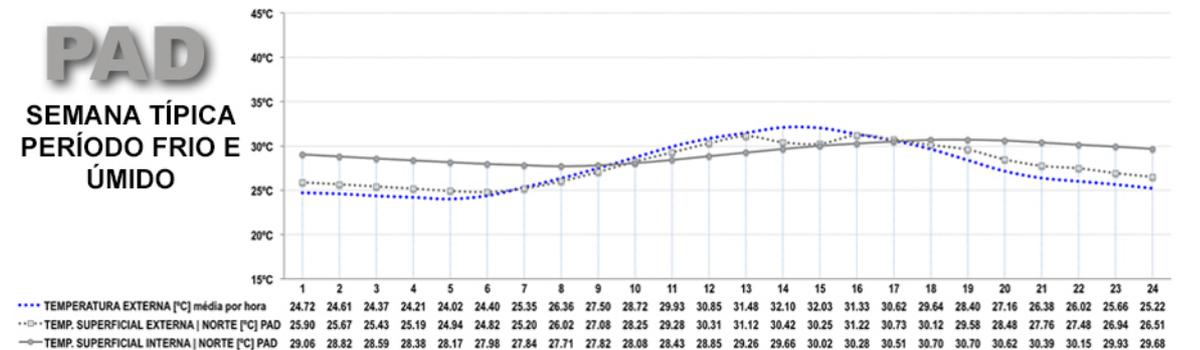
56.44

MÉDIA HORAS OCUP. [ren / dia]

54.22

PAD

SEMANA TÍPICA
PERÍODO FRIO E
ÚMIDO

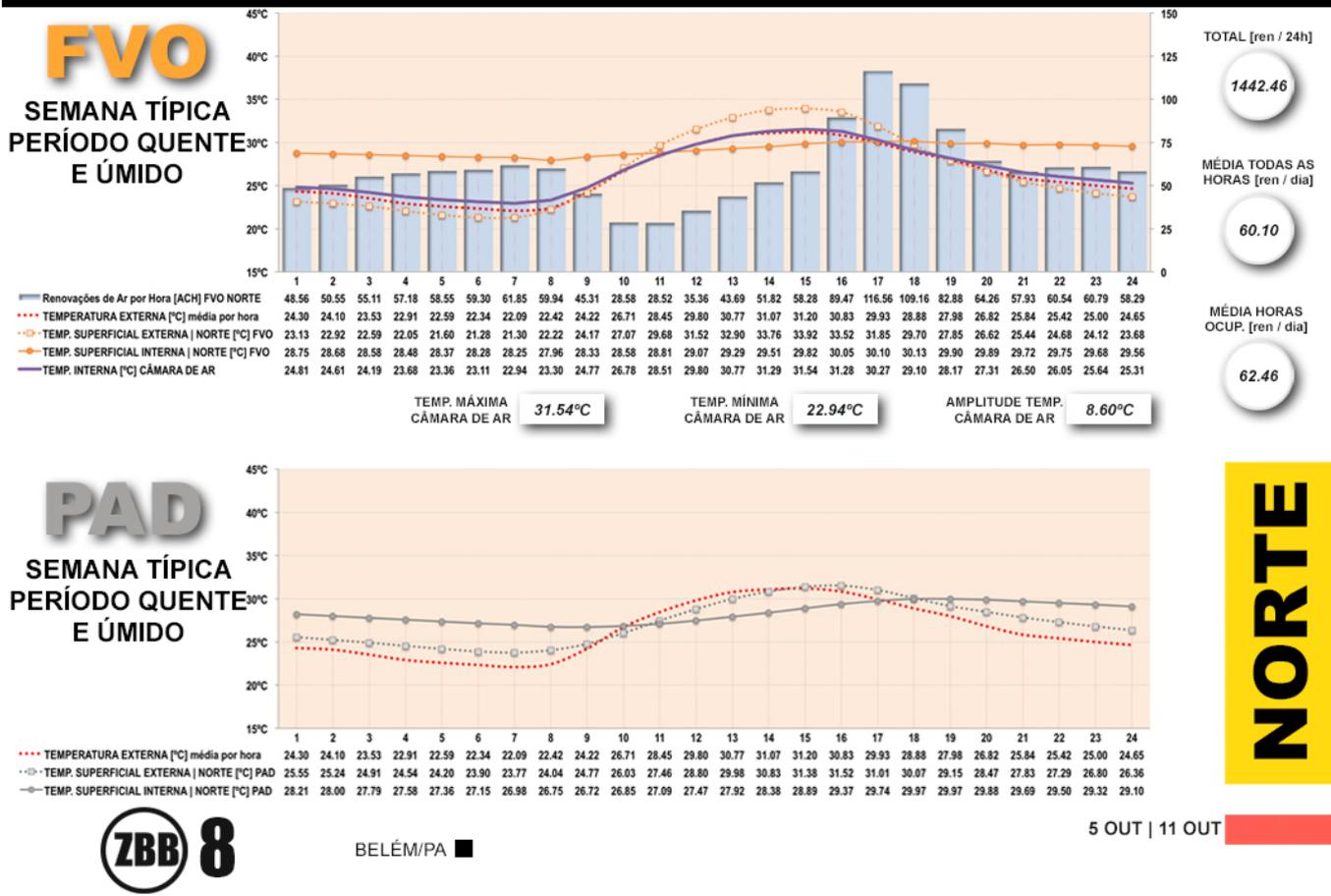


20 JAN | 21 JAN

CUIABÁ/MT



Figura 78 – Temperatura Superficial Sala 401 | Norte, Belém/PA

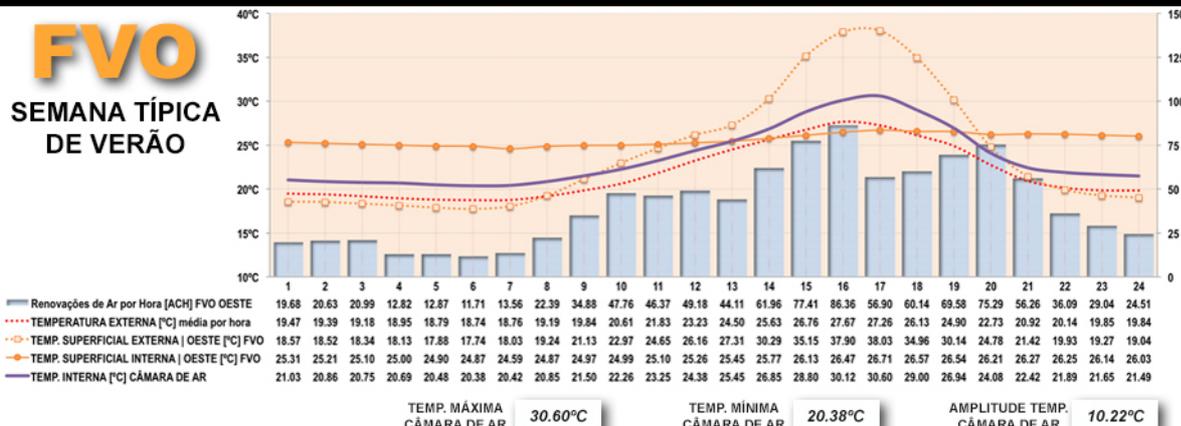


Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 79 – Temperatura Superficial Sala 401 | Oeste, Curitiba/PR

FVO

SEMANA TÍPICA DE VERÃO



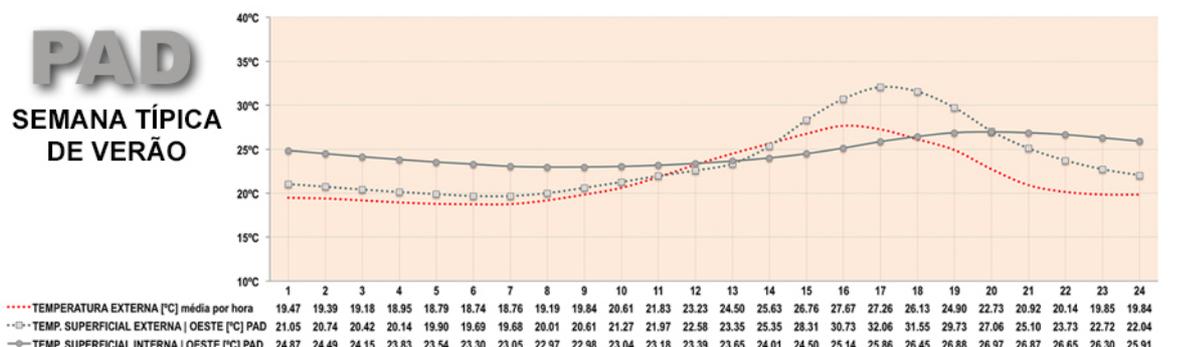
TOTAL [ren / 24h]
990.52

MÉDIA TODAS AS HORAS [ren / dia]
41.27

MÉDIA HORAS OCUP. [ren / dia]
54.76

PAD

SEMANA TÍPICA DE VERÃO

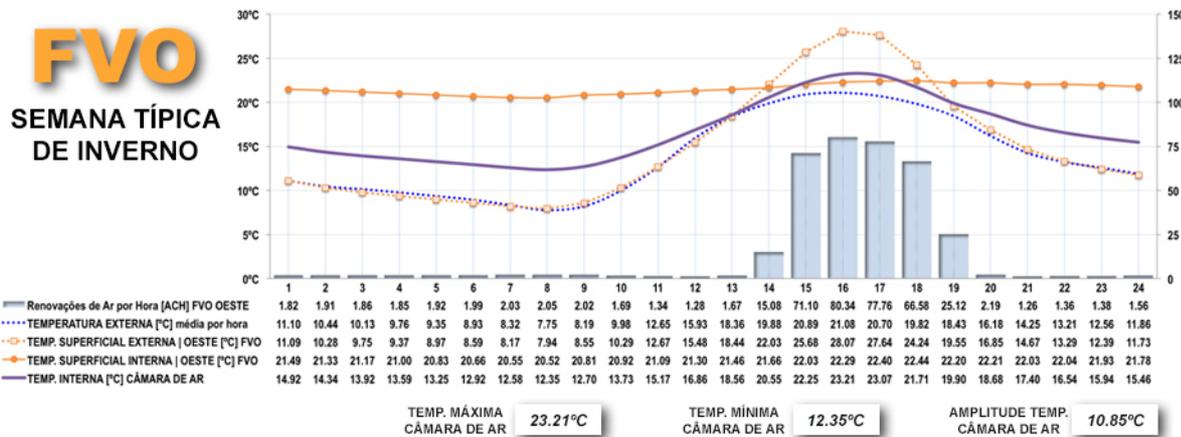


OESTE

3 FEV | 9 FEV

FVO

SEMANA TÍPICA DE INVERNO



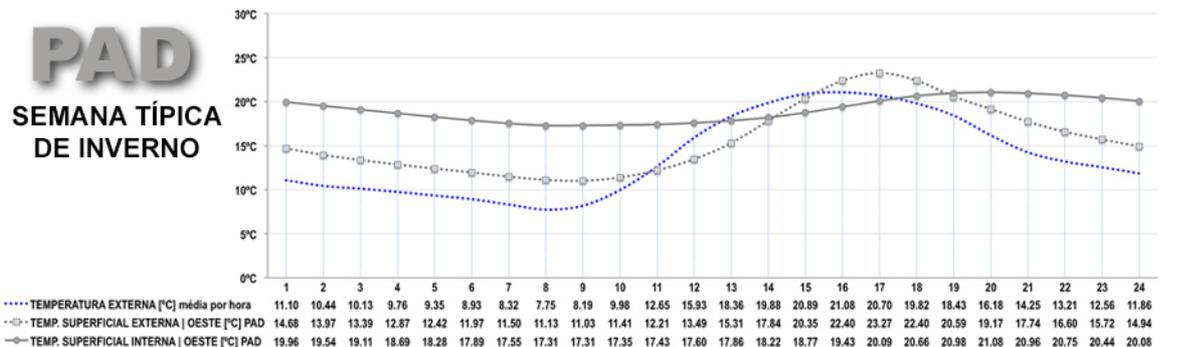
TOTAL [ren / 24h]
367.14

MÉDIA TODAS AS HORAS [ren / dia]
15.30

MÉDIA HORAS OCUP. [ren / dia]
28.83

PAD

SEMANA TÍPICA DE INVERNO



CURITIBA/PR

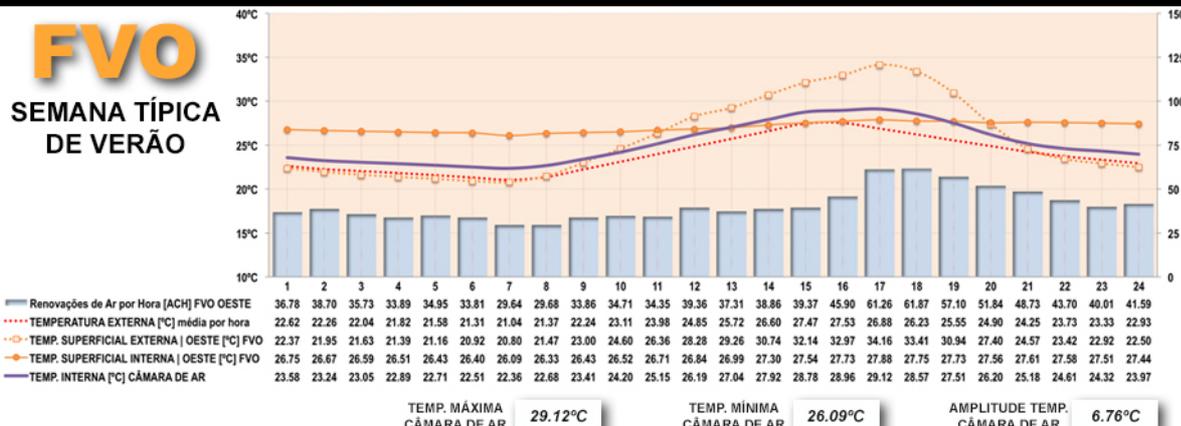


27 JUL | 3 AGO

Figura 80 – Temperatura Superficial Sala 401 | Oeste, Santa Maria/RS

FVO

SEMANA TÍPICA DE VERÃO



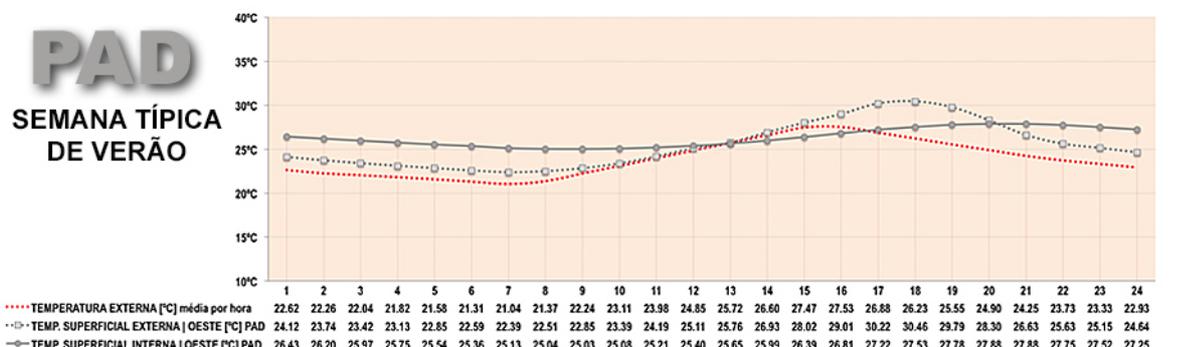
TOTAL [ren / 24h]
983.00

MÉDIA TODAS AS HORAS [ren / dia]
40.96

MÉDIA HORAS OCUP. [ren / dia]
42.80

PAD

SEMANA TÍPICA DE VERÃO

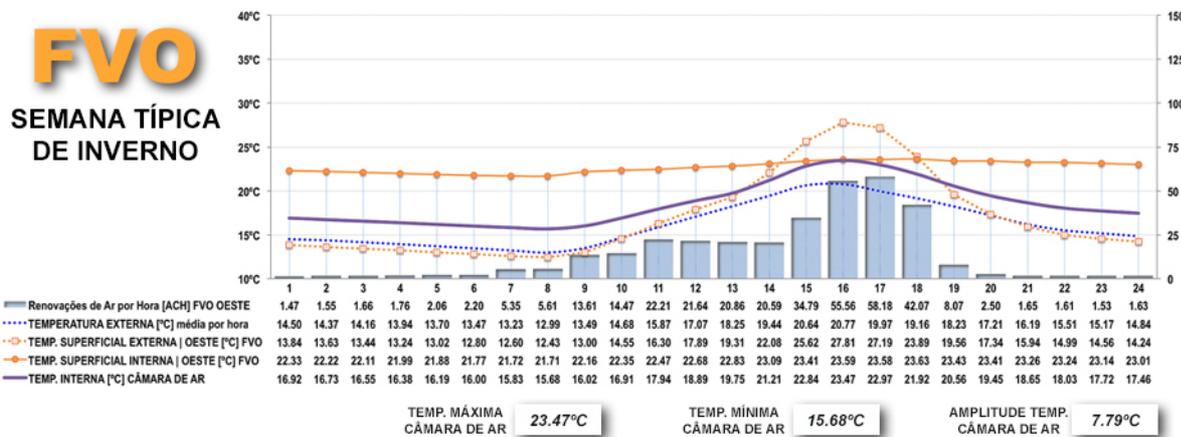


OESTE

10 FEV | 16 FEV

FVO

SEMANA TÍPICA DE INVERNO



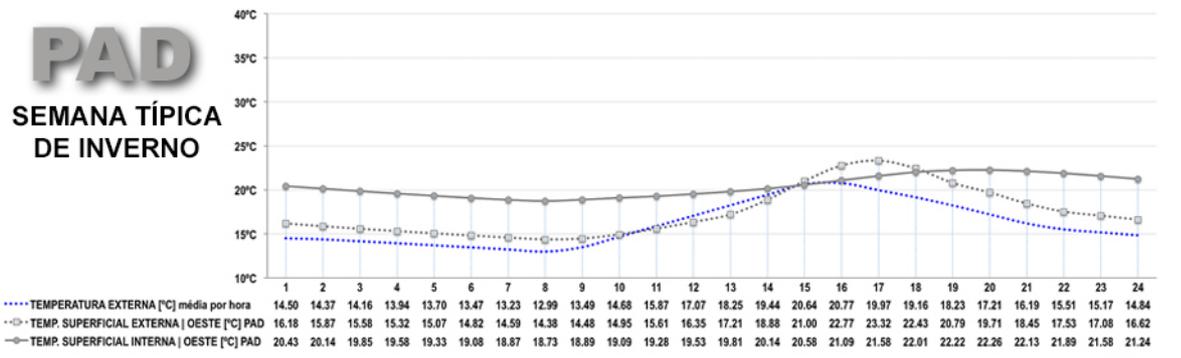
TOTAL [ren / 24h]
342.65

MÉDIA TODAS AS HORAS [ren / dia]
14.28

MÉDIA HORAS OCUP. [ren / dia]
26.47

PAD

SEMANA TÍPICA DE INVERNO



20 JUL | 26 JUL

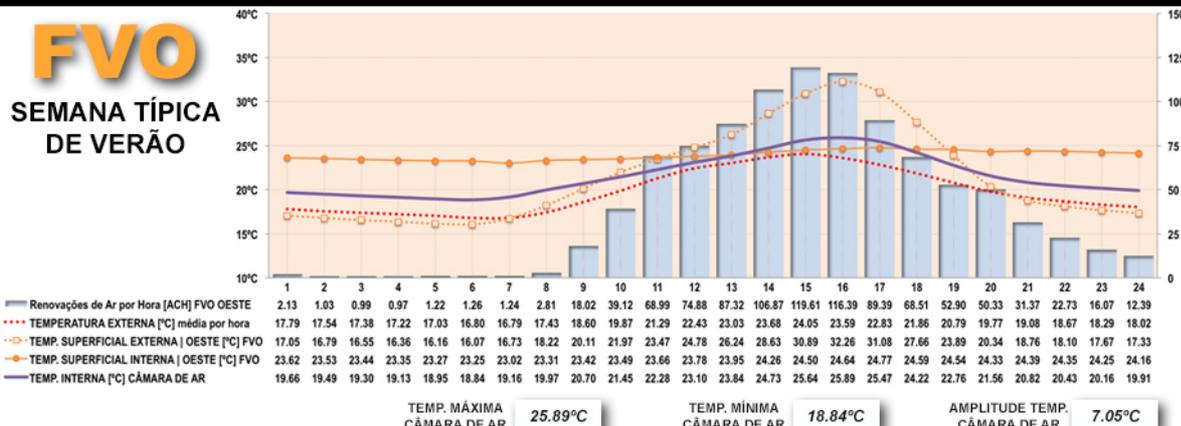
Fonte: Pelo autor, 2016



Figura 81 – Temperatura Superficial Sala 401 | Oeste, São Paulo/SP

FVO

SEMANA TÍPICA DE VERÃO



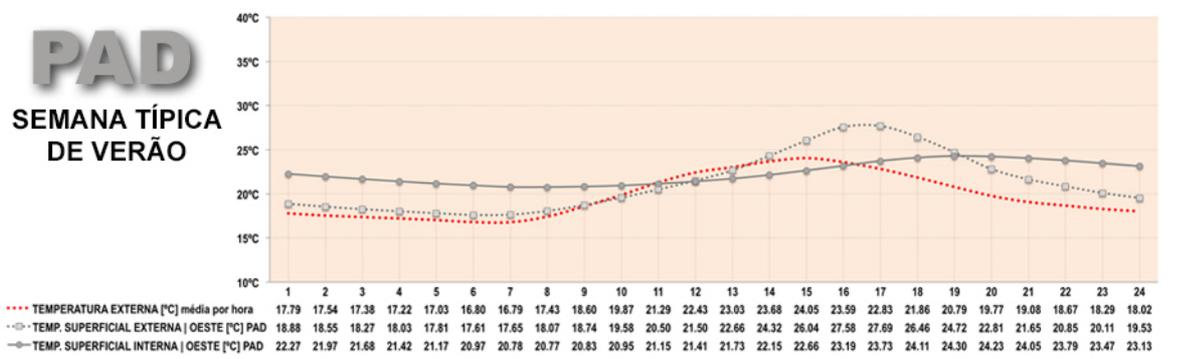
TOTAL [ren / 24h]
986.54

MÉDIA TODAS AS HORAS [ren / dia]
41.11

MÉDIA HORAS OCUP. [ren / dia]
70.40

PAD

SEMANA TÍPICA DE VERÃO

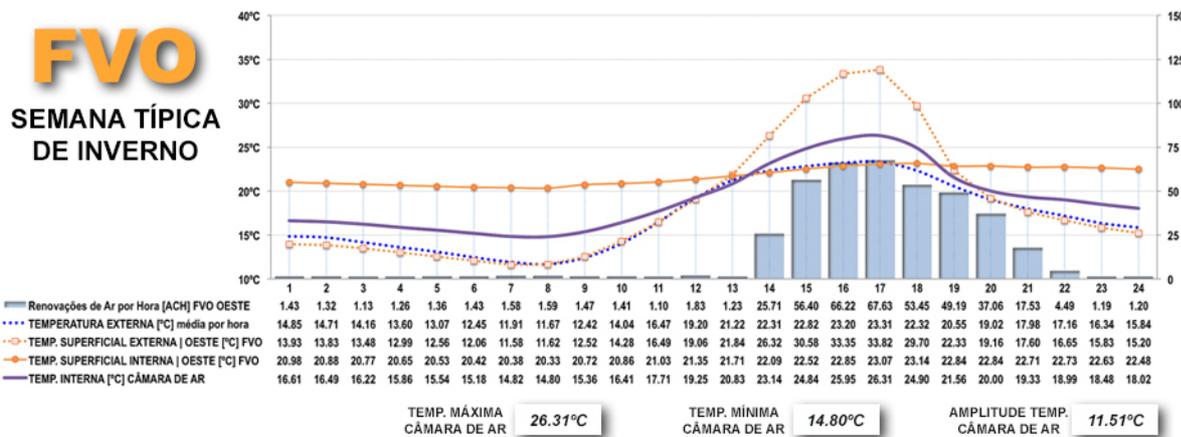


OESTE

7 DEZ | 13 DEZ

FVO

SEMANA TÍPICA DE INVERNO



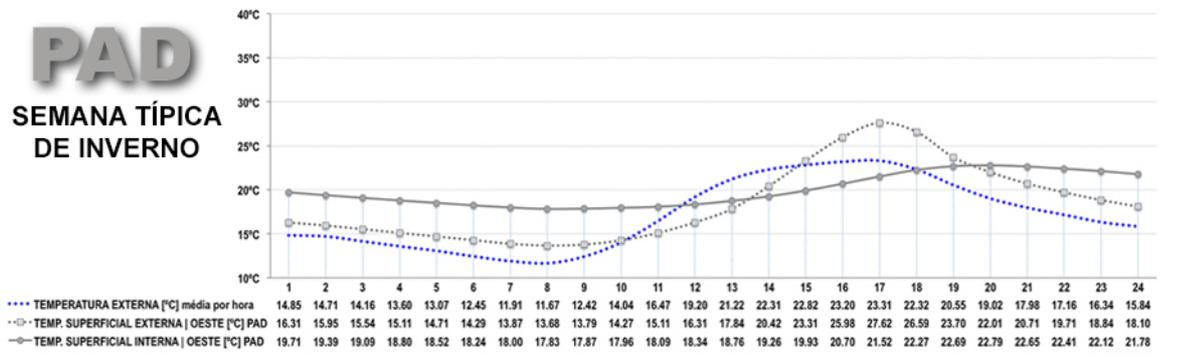
TOTAL [ren / 24h]
398.18

MÉDIA TODAS AS HORAS [ren / dia]
16.59

MÉDIA HORAS OCUP. [ren / dia]
27.27

PAD

SEMANA TÍPICA DE INVERNO

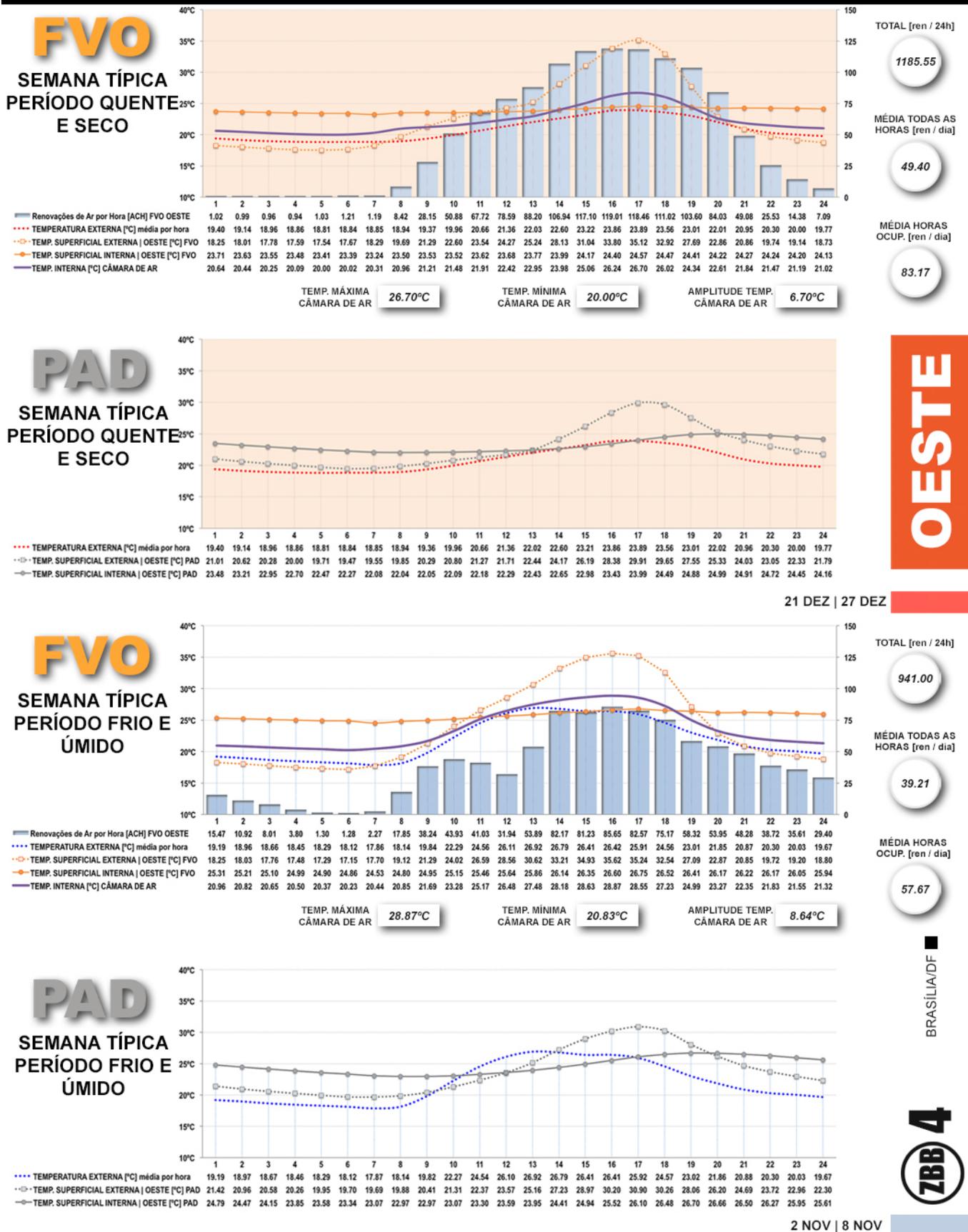


SÃO PAULO/SP



10 AGO | 16 AGO

Figura 82 – Temperatura Superficial Sala 401 | Oeste, Brasília/DF



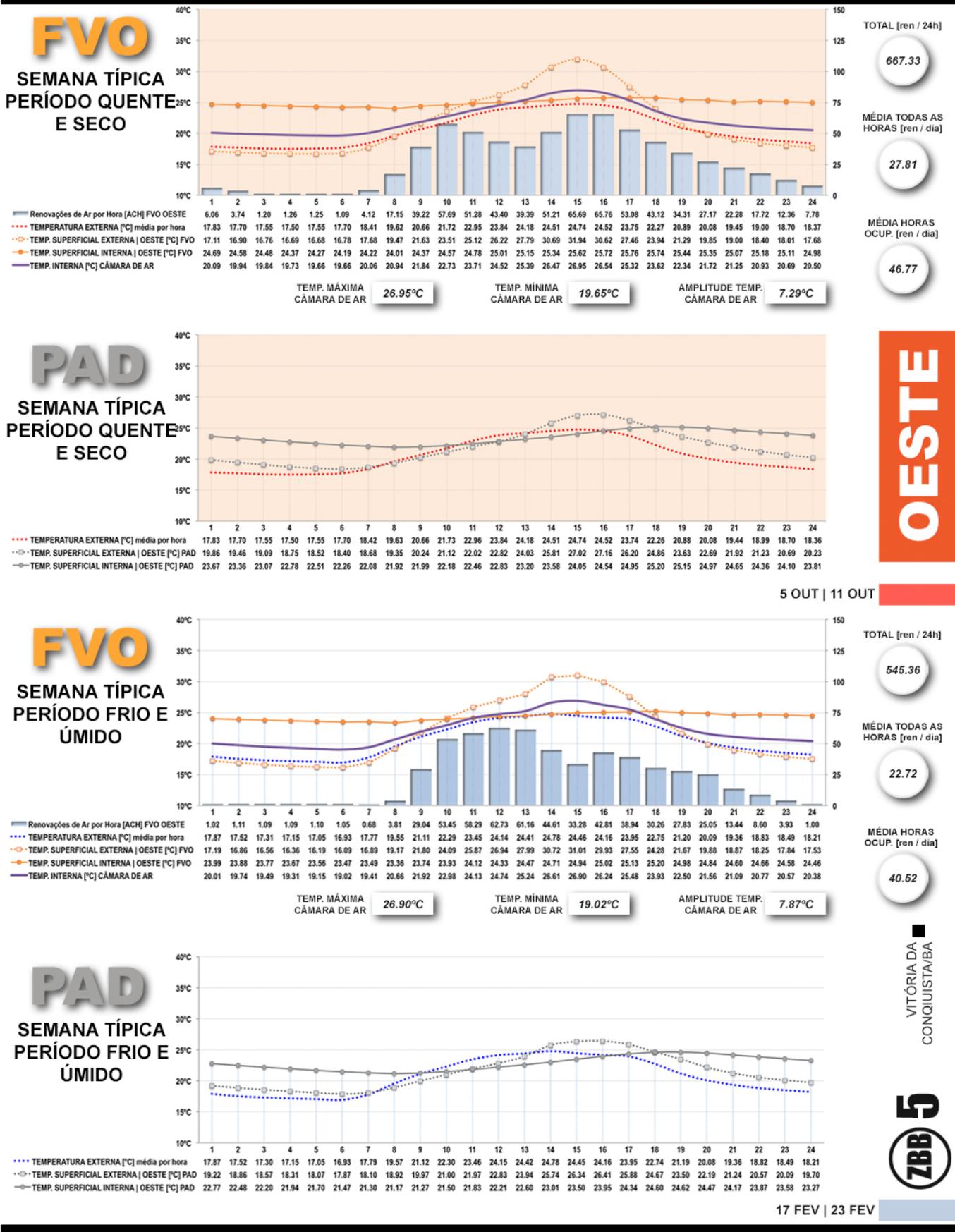
Fonte: Pelo autor, 2016

OESTE

BRASILIA/DF

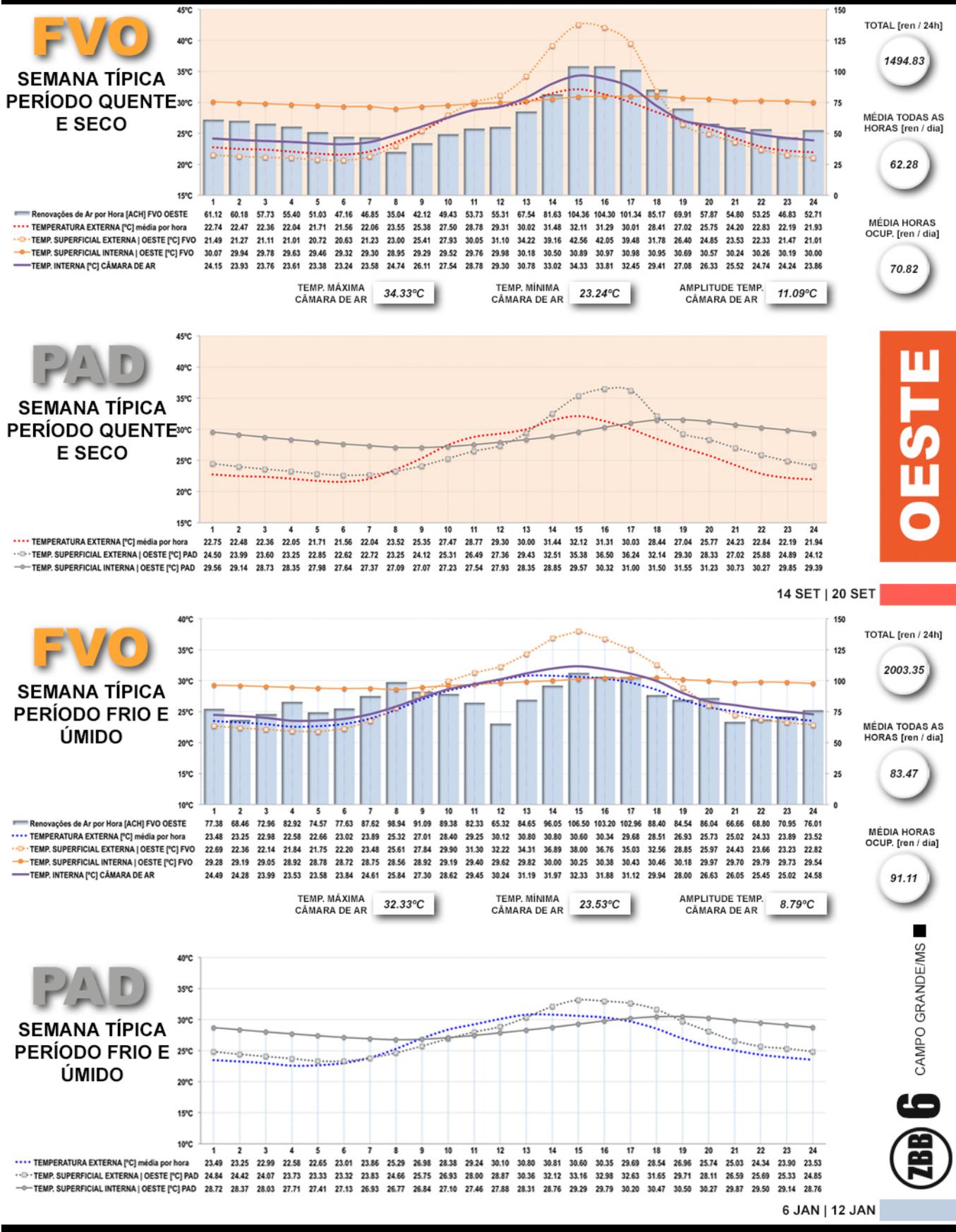


Figura 83 – Temperatura Superficial Sala 401 | Oeste, Vitória da Conquista/BA



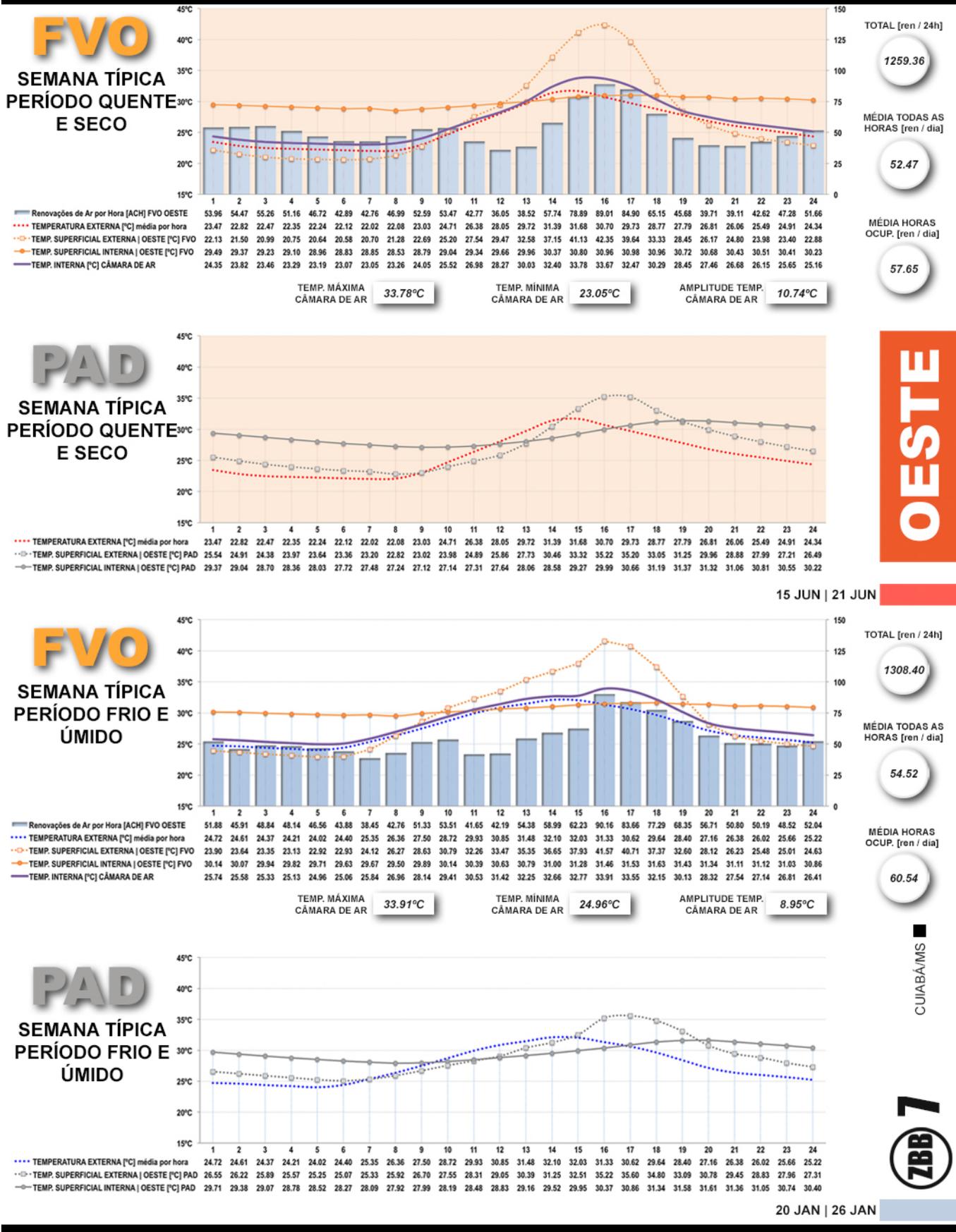
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 84 – Temperatura Superficial Sala 401 | Oeste, Campo Grande/MS



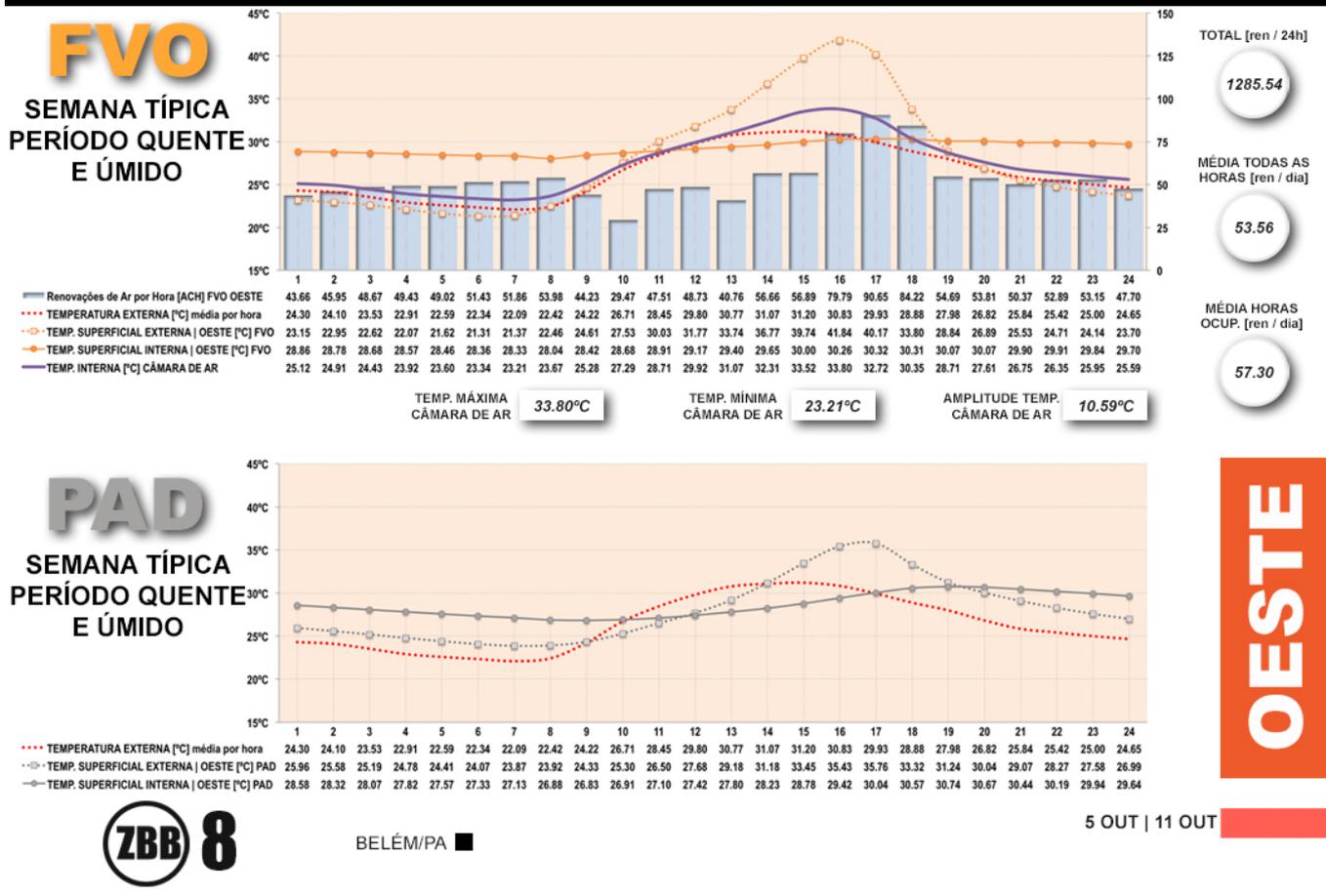
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 85 – Temperatura Superficial Sala 401 | Oeste, Cuiabá/MT



Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 86 – Temperatura Superficial Sala 401 | Norte, Belém/PA



Fonte: Pelo autor, 2016

Os gráficos nas figuras mostram a temperatura do ar externo (linhas pontilhadas na cor **VERMELHO** para o período mais quente e na cor **AZUL** para o período mais frio) da mesma forma nas duas situações (PAD e FVO) em cada ZBB, porque o período de análise é sempre o mesmo.

Observando-se as médias de 24 horas das semanas simuladas, a amplitude na temperatura superficial externa, independente da ZBB, do período do ano ou da orientação, é sempre maior na situação FVO, onde diz respeito apenas ao elemento de revestimento da fachada, descolado dos componentes de vedação. Os menores destes valores oscilam entre 8,53°C (face Norte da ZBB4 no verão) e 22,25°C (face Oeste da ZBB3 no inverno). Em todas as ZBBs a temperatura superficial externa da situação proposta FVO é inferior à temperatura do ar externo fora do horário das atividades, ultrapassando-a em momentos de pico, e eleva-se a valores extremos que oscilam entre 26,02°C (face Norte da ZBB4 no período quente/seco) e 42,56°C (face Oeste da ZBB6 no período quente/seco). Entre uma e duas horas após o término das atividades, a temperatura superficial externa torna a apresentar-se com valores inferiores aos do ar externo.

O envoltório tradicional na situação PAD apresenta-se de forma geral com a temperatura superficial externa superior à temperatura do ar externo ao longo de todo o dia na face Norte (exceto na ZBB 8) no período mais quente analisado. Este comportamento repete-se nas ZBBs 1, 2 e 3 com maior diferença no período mais frio. A ZBB8 não apresenta período frio, mas nas ZBBs 4, 5, 6 e 7, com maior proximidade entre as curvas da temperatura do ar externo e da temperatura superficial externa, esta ultrapassa a primeira na faixa mais central do horário de atividades. O comportamento na face Oeste, independente do período analisado, apresenta como padrão a temperatura superficial externa superior à temperatura do ar externo até o início das atividades. Uma inversão disso ocorre deste momento até o início da incidência solar na fachada Oeste, provocando novamente a ultrapassagem desta curva pela da temperatura superficial externa. Algo que se acentua ao longo da tarde, tornando a cair no início da noite, mas mantendo-se sempre superior à curva da temperatura do ar externo. Além da diferença entre os valores de pico superior entre estas duas curvas, há diferença entre duas e três horas entre a ocorrência da maior temperatura do ar externo e da maior temperatura superficial externa na Face Oeste.

O quesito da temperatura superficial interna é apresentado nos gráficos com a linha cheia com círculos preenchidos na cor **LARANJA** para a FVO, e com a linha cheia com círculos na cor **CINZA** para a PAD. Independente da ZBB, do período do ano ou da orientação, o valor é sempre maior na situação PAD. A amplitude, observando-se as médias de 24 horas das semanas simuladas, apresenta-se entre 0,90°C (face Norte da ZBB4) e 4,51°C (face Norte da ZBB3). As médias da temperatura superficial interna, entretanto, apresentam o oposto: independente da ZBB ou do período do ano, o valor é sempre maior na FVO, oscilando de 0,01°C (face Norte da ZBB7) a 3,28°C (face Norte da ZBB3).

Correlacionando os gráficos analisados das temperaturas superficiais com os percentuais de conforto anteriores, observa-se que quanto maior a diferença nas curvas do período mais frio entre as temperaturas superficial interna e externa e a temperatura do ar externo do envoltório padrão, pior seu desempenho. Isto ocorre tanto na face Norte quanto na Oeste. E evidencia que a situação proposta tem melhores resultados nas zonas bioclimáticas onde há uma quantidade maior de frio ao longo do ano.

Os gráficos do envoltório da situação proposta FVO ainda apresentam dois outros quesitos: a temperatura da câmara de ar interna e a quantidade de renovações ar por hora que ocorre neste interstício entre o revestimento externo e a vedação interna.

A temperatura na cavidade da fachada ventilada opaca tem uma silhueta que acompanha de forma mais próxima a temperatura do ar externo, ocasionada em parte pela menor resistência térmica do elemento unitário de revestimento (a cerâmica extrudada de 15mm) aliada à radiação solar incidente neste, em relação ao conjunto de componentes da vedação (bloco de concreto de 90mm mais argamassa de revestimento 25mm) . Os picos superiores entre a temperatura da superfície externa e a temperatura da câmara de ar, independente do período do ano, ocorrem com intervalos de diferença de até uma hora. Estão concentrados entre às 14:00 e 15:00h no período mais quente (considerando-se que nas ZBBs 5 a 8 não há horário de verão) e entre 13:00 e 14:00h no período mais frio analisados.

As maiores diferenças entre os extremos da temperatura superficial externa e a temperatura interna da cavidade da FVO estão na ZBB7, com 8,20°C na face Norte e 8,57°C na face Oeste, durante a semana típica do período mais quente.

Observa-se que esta zona bioclimática apresenta, em números absolutos, a maior quantidade anual de graus-hora do sistema de envoltório proposto FVO. As menores diferenças entre as temperatura superficial externa e a temperatura interna da cavidade da FVO concentram-se na face Norte das ZBBs 3 e 4 no período mais quente analisado, e na face Oeste das ZBBs 4 a 7 da semana típica do período mais frio. Nessas ocasiões, o maior valor encontrado é de 3,64°C na face Norte da ZBB4 no período mais frio analisado.

As renovações de ar apresentam grande variação quando observadas as 32 ocorrências das quatro séries simuladas: FVO Norte Verão/Quente_Seco (8 ZBBs); FVO Oeste Verão/Quente_Seco (8 ZBBs); FVO Norte Inverno/Frio_Úmido (7 ZBBs); FVO Oeste Inverno/Frio_Úmido (7 ZBBs). Embora as maiores médias de renovações ocorram na semana típica do período mais quente do ano, independente da orientação selecionada da fachada, o maior valor absoluto ocorre na face Norte da ZBB6 no período mais frio do ano, com um valor total de 2301,30 em 24 horas (ou 95,89 ren/h). A menor quantidade encontrada são de 342,65 renovações em 24 horas na face Oeste da ZBB2 durante a semana típica de inverno.

A quantidade de renovações não significa o mesmo que o volume de ar renovado, pois a área superficial da sala 401 na face Oeste é de 17,70m², enquanto na face Norte é de 15,36m². Desta forma, convertendo os valores apresentados anteriormente para volume, têm-se, para os mesmas faces e períodos, a maior vazão com 0,1636m³/seg e a menor vazão com 0,0140m³/seg.

A previsão para o acionamento da ventilação na câmara de ar está condicionada às seguintes condições: **SE** a temperatura interna da zona térmica for maior que a temperatura do ar externo **E** a temperatura interna da zona for maior que a temperatura de *setpoint* estabelecida (21,5°C) **E** se a programação para ventilação permitir. A câmara de ar terá o fator de abertura pleno (100%) para a **MENOR** diferença entre a temperatura da zona e a temperatura externa (**E** desde que a temperatura da zona esteja acima do *setpoint*); terá o fator mínimo (10%) para a **MAIOR** diferença entre a temperatura da zona e a temperatura externa (**E** desde que a temperatura da zona esteja acima do *setpoint*).

De forma geral (embora não como regra absoluta) a quantidade de renovações é incrementada com o aumento da temperatura externa ao longo das horas do dia. Isto ocorre também durante o horário com atividades na edificação. Ao

final da jornada de trabalho, seria crível que a fachada Oeste mantivesse uma quantidade maior de renovações pelo acúmulo das cargas internas ao longo das horas com atividades e da absorção de calor ocorrida na segunda metade do dia. Entretanto, a cavidade de ar na face Norte apresenta um total maior em seis das oito zonas bioclimáticas na semana típica do período mais quente, e em sete das oito na semana típica do período mais frio. E a quantidade de renovações decresce de forma menos gradual na face Norte em relação à face Oeste na maior parte das ZBBs, independente do período analisado.

4.2. Consumo Energético

A discrepância quantitativa nos graus-hora observada pela situação proposta FVO em Curitiba/PR – ZBB1 (melhor desempenho anual, com 7.827,96GH) e o envoltório tradicional PAD Cuiabá/MT – ZBB7 (melhor desempenho anual, com 226.556,36GH) explica e reforça a necessidade de que se projete de acordo com características bioclimáticas locais. Um mesmo modelo replicado em todas as regiões facilita a compreensão sobre determinados itens de projeto, diminuindo o grau de variáveis que atuam nas respostas. Por outro lado, impede que se generalize as observações. Assim, o que aqui se aponta é que '...determinado-modelo-em-determinada-circunstância...' apresenta-se melhor ou pior ao seu similar nas mesmas condições.

Os custos energéticos do empreendimento em estudo **estão centrados na quantificação do consumo anual**. A moeda trabalhada para este apontamento é o quilowatt-hora. A série das **Tab. 27 a 30** apresenta os dados comparativos da previsão de consumo anual de eletricidade nas oito zonas bioclimáticas, discriminando os usos finais em equipamentos e iluminação (faixas fixas em cada ZBB), aquecimento, refrigeração e ventiladores (faixas variáveis). A indicação de consumo com a climatização artificial aparece integralizada, bem como a diferença desse valor na FVO pela PAD (sempre em kW.h). O menor cômputo anual total indica melhor desempenho, e está destacado na última linha com a borda mais grossa na cor **VERMELHO** (ou **CINZA ESCURO**).

Tabela 27 – Consumo de energia nas ZBBs 1 e 2

ZBB1	USOS FINAIS	FVO	PAD	ZBB2	USOS FINAIS	FVO	PAD
		equipamentos	92236.98			92236.98	equipamentos
iluminação	53965.67	53965.67	iluminação	53611.75	53611.75		
aquecimento	11943.17	20311.60	aquecimento	6516.08	10904.75		
refrigeração	9271.38	6435.19	refrigeração	27687.50	25140.44		
ventiladores	3376.75	2913.96	ventiladores	4003.51	4354.93		
SUB-TOTAL CLIMATIZAÇÃO	24591.30	29660.75	SUB-TOTAL CLIMATIZAÇÃO	38207.09	40400.12		
		-5069.45			-2193.03		
TOTAL	170793.95	175863.40	TOTAL	183492.70	185685.73		

Tabela 28 – Consumo de energia nas ZBBs 3 e 4

ZBB3	USOS FINAIS	FVO	PAD	ZBB4	USOS FINAIS	FVO	PAD
		equipamentos	91673.86			91673.86	equipamentos
iluminação	53611.75	53611.75	iluminação	53965.67	53965.67		
aquecimento	1885.20	4843.31	aquecimento	145.81	659.73		
refrigeração	17366.12	12974.23	refrigeração	28916.63	23753.28		
ventiladores	4305.99	4236.80	ventiladores	4140.31	4183.24		
SUB-TOTAL CLIMATIZAÇÃO	23557.31	22054.34	SUB-TOTAL CLIMATIZAÇÃO	33202.75	28596.25		
		1502.97			4606.50		
TOTAL	168842.92	167339.95	TOTAL	178405.40	173798.90		

Tabela 29 – Consumo de energia nas ZBBs 5 e 6

ZBB5	USOS FINAIS	FVO	PAD	ZBB6	USOS FINAIS	FVO	PAD
		equipamentos	91673.86			91673.86	equipamentos
iluminação	53611.75	53611.75	iluminação	53434.79	53434.79		
aquecimento	73.80	540.31	aquecimento	172.51	450.27		
refrigeração	27083.25	20134.15	refrigeração	63180.31	58486.43		
ventiladores	3561.24	3507.14	ventiladores	4144.61	4542.30		
SUB-TOTAL CLIMATIZAÇÃO	30718.29	24181.60	SUB-TOTAL CLIMATIZAÇÃO	67497.43	63479.00		
		6536.69			4018.43		
TOTAL	176003.90	169467.21	TOTAL	212324.51	208306.08		

Tabela 30 – Consumo de energia nas ZBBs 7 e 8

ZBB7	USOS FINAIS	FVO	PAD	ZBB8	USOS FINAIS	FVO	PAD
		equipamentos	91955.42			91955.42	equipamentos
iluminação	53788.71	53788.71	iluminação	53611.75	53611.75		
aquecimento	148.27	310.96	aquecimento	0.00	0.00		
refrigeração	104857.57	105308.47	refrigeração	100195.25	100175.68		
ventiladores	4340.29	4837.27	ventiladores	3569.14	3810.76		
SUB-TOTAL CLIMATIZAÇÃO	109346.13	110456.70	SUB-TOTAL CLIMATIZAÇÃO	103764.39	103986.44		
		-1110.57			-222.05		
TOTAL	255090.26	256200.83	TOTAL	249050.00	249272.05		

De uma forma geral, a situação proposta FVO obtém melhor desempenho energético nas ZBB1 – Curitiba/PR, ZBB2 – Santa Maria/RS, ZBB7 – Cuiabá/MT e ZBB8 – Belém/PA. A ZBB1 apresenta a diferença mais significativa a favor da situação proposta FVO, com 2,97% da menor previsão de consumo anual em eletricidade.

O envoltório tradicional PAD apresenta melhor desempenho energético nas ZBB3 – São Paulo/SP, ZBB4 – Brasília/DF, ZBB5 – Vitória da Conquista/BA e ZBB6 – Campo Grande/MS. Destas, a ZBB5 apresenta a diferença mais significativa a favor da situação PAD (em termos relativos, mas também absolutos quando analisadas as oito zonas bioclimáticas), com 27,03% da menor previsão de consumo anual entre as duas situações estudadas.

Quando postos lado a lado os resultados do cômputo de graus-hora (VN) e o consumo de eletricidade (CA), observa-se a inversão de resultado pró envoltório tradicional PAD em São Paulo/SP: onde a FVO apresentara um cômputo de GH 19,53% menor (melhor desempenho), agora a versão PAD apresenta um menor consumo anual, com desempenho 6,81% superior. Entretanto, ainda que de forma ínfima, nas duas últimas ZBBs ocorre o contrário: se o envoltório tradicional PAD apresentara um cômputo de GH 7,59 e 11,22% menor em Cuiabá/MT e Belém/PA, respectivamente, agora as diferenças pró sistema proposto FVO perfazem 0,43 e 0,09% do menor cômputo total.

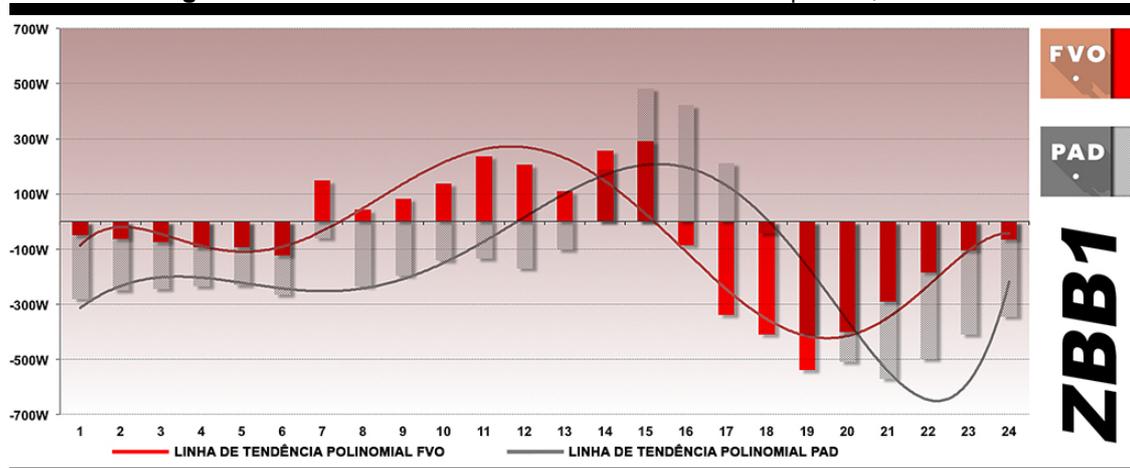
4.2.1. Fluxos Térmicos

Similar ao que ocorrera no **item 4.1.2 – Temperaturas Superficiais**, a partir dos resultados obtidos com a simulação, fez-se um recorte específico para análise comparativa da taxa de transferência de calor por condução nas superfícies externas (com faces para o Norte – com esquadria, Leste e Oeste) na Sala 401 entre o sistema proposto (FVO) e o envoltório tradicional (PAD). Os gráficos das **Figs. 87 a 101** apontam estes valores horários médios de forma sobreposta, divididas pelas semanas típicas de projeto.

As marcas no eixo Y variam conforme a amplitude em watts dos valores observados em cada zona bioclimática. As barras acima de zero indicam que o fluxo

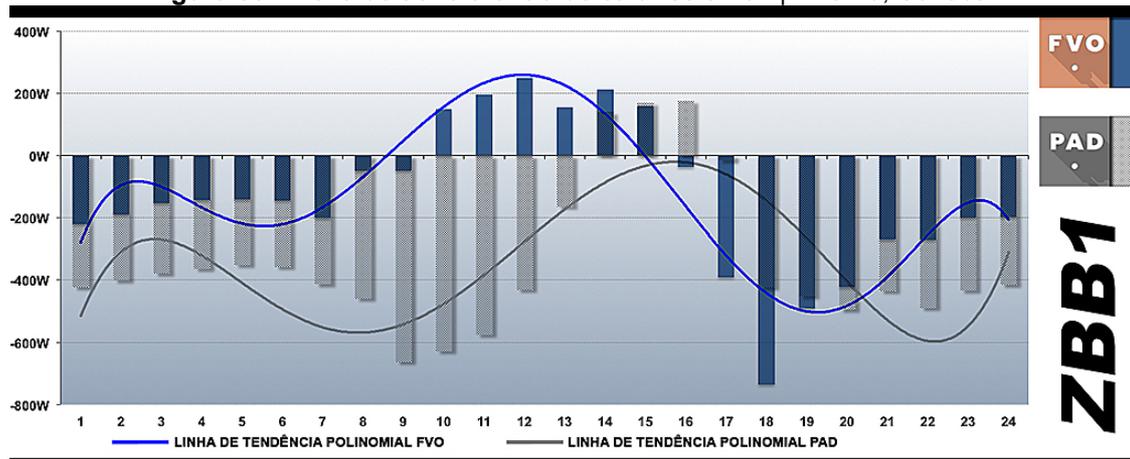
vem do meio externo para o interno (ganho de calor no ambiente), enquanto as que estiverem abaixo indicam o sentido oposto.

Figura 87 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | verão, Curitiba/PR



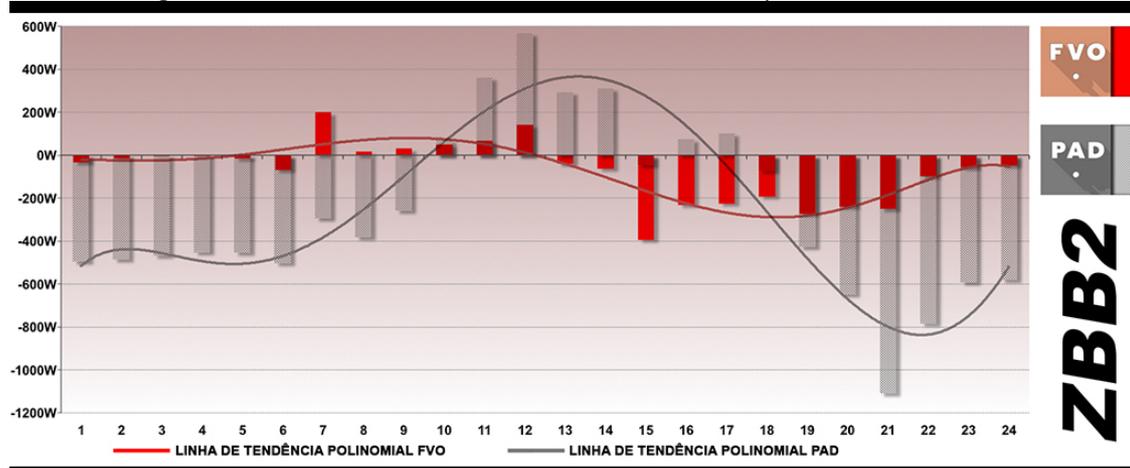
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 88 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | inverno, Curitiba/PR



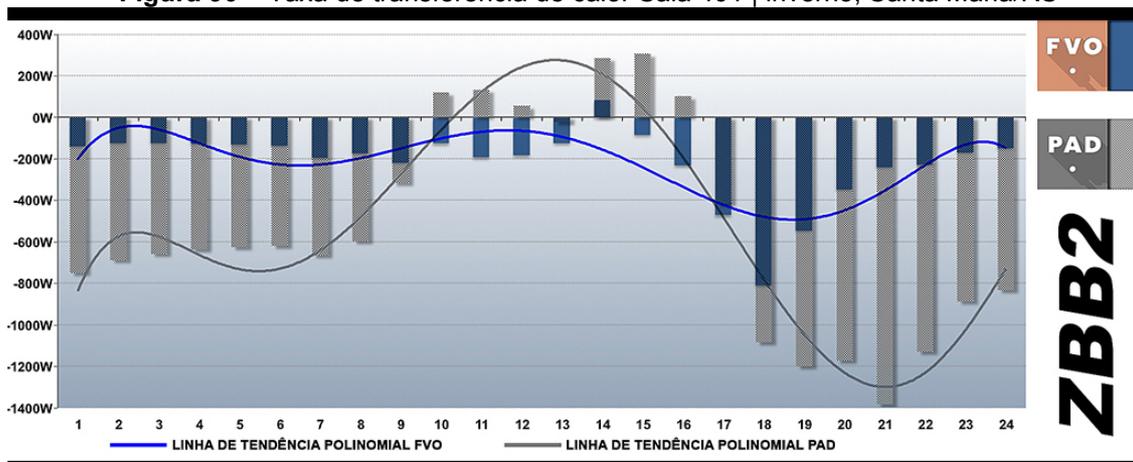
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 89 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | verão, Santa Maria/RS



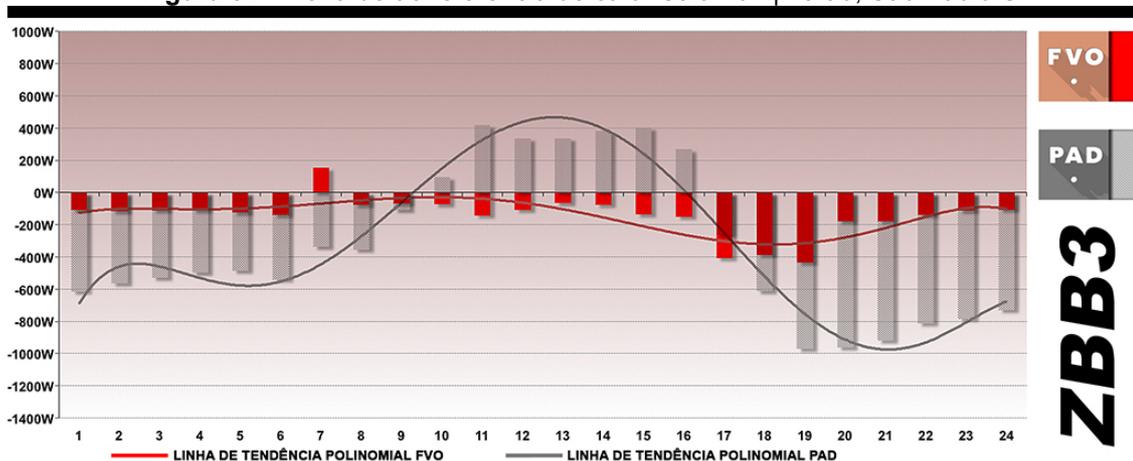
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 90 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | inverno, Santa Maria/RS



Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 91 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | verão, São Paulo/SP



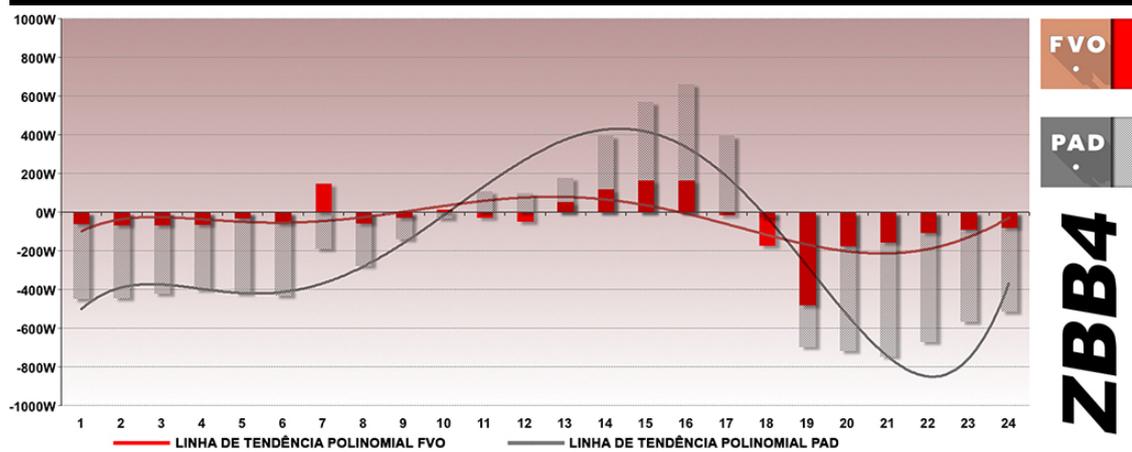
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 92 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | inverno, São Paulo/SP



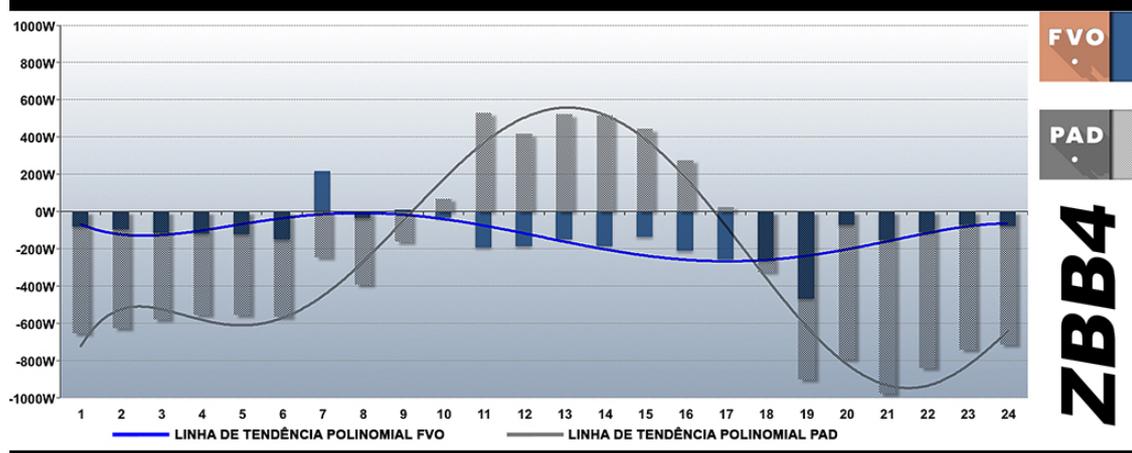
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 93 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | quente e seco, Brasília/DF



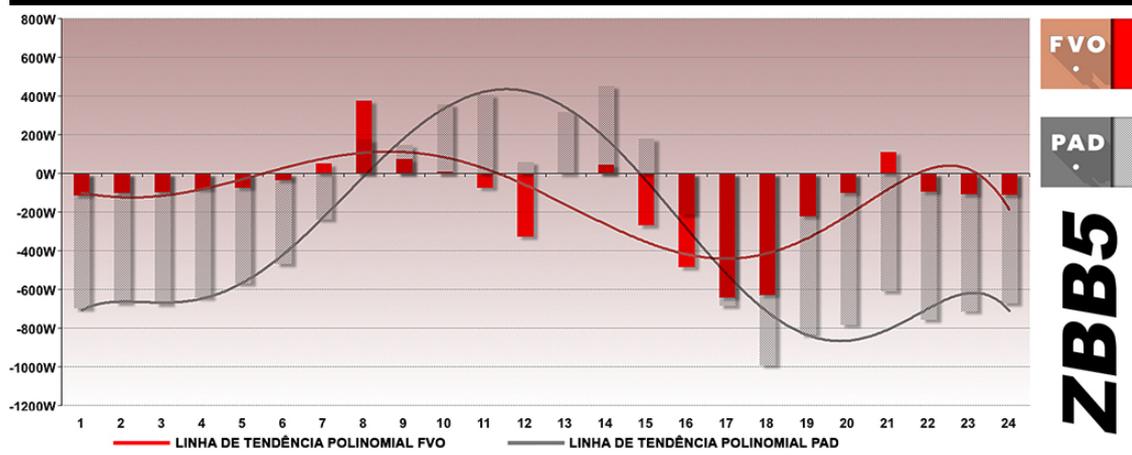
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 94 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | frio e úmido, Brasília/DF



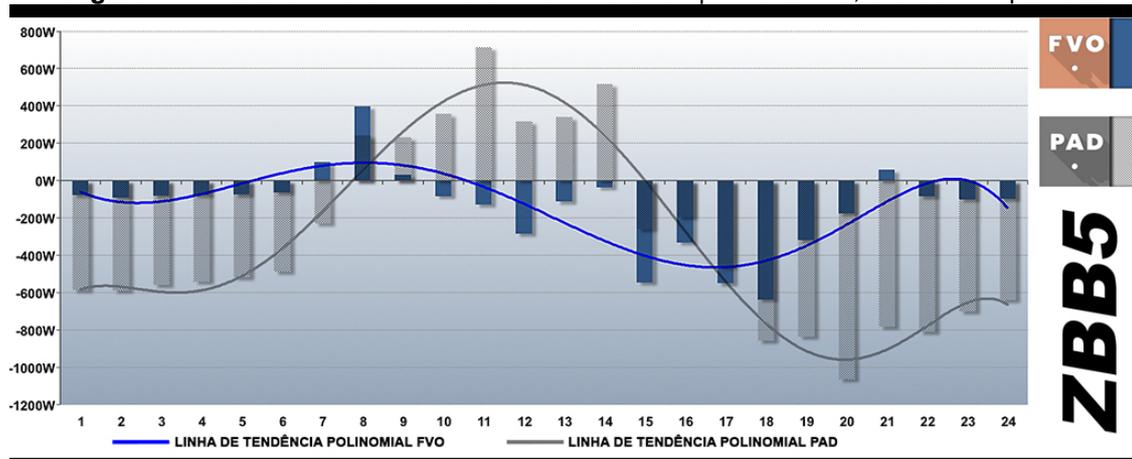
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 95 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | quente e seco, Vit. da Conquista/BA



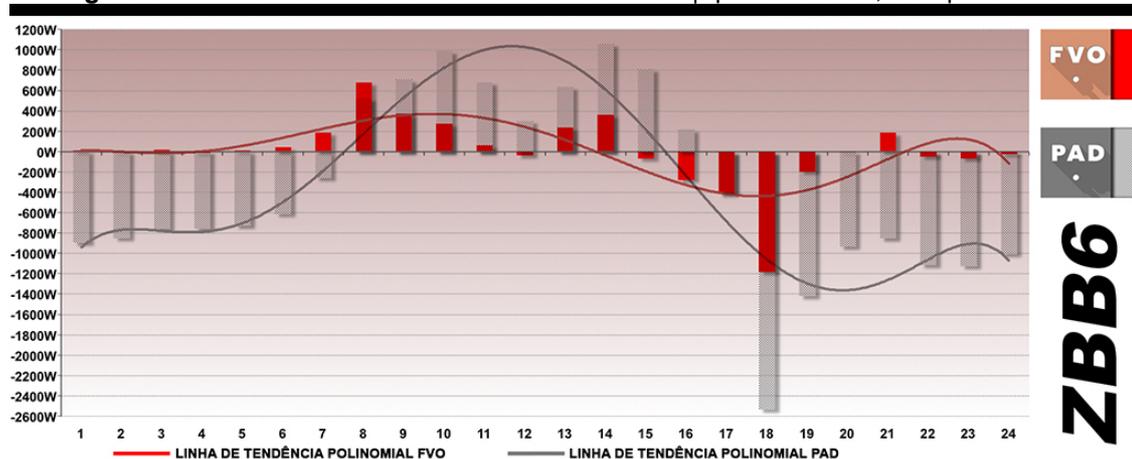
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 96 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | frio e úmido, Vit. da Conquista/BA



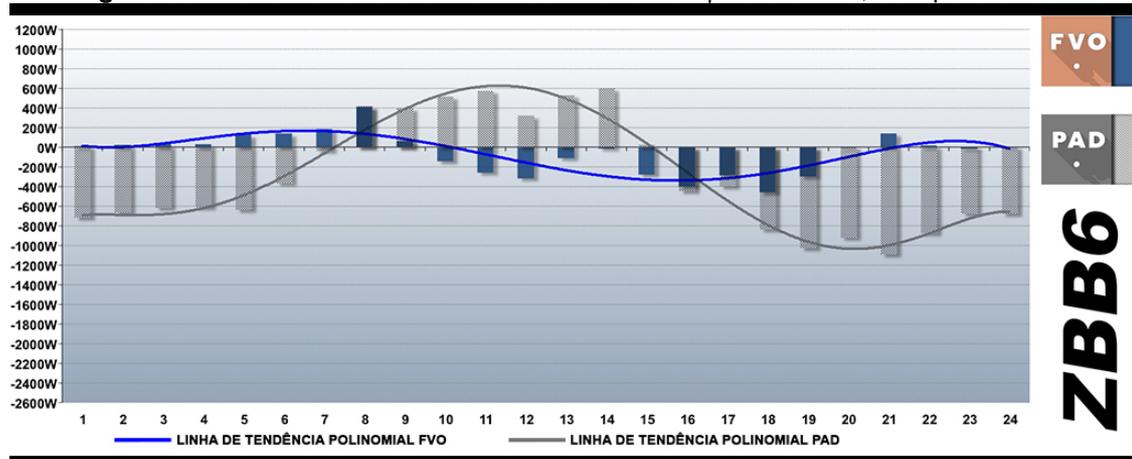
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 97 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | quente e seco, Campo Grande/MS



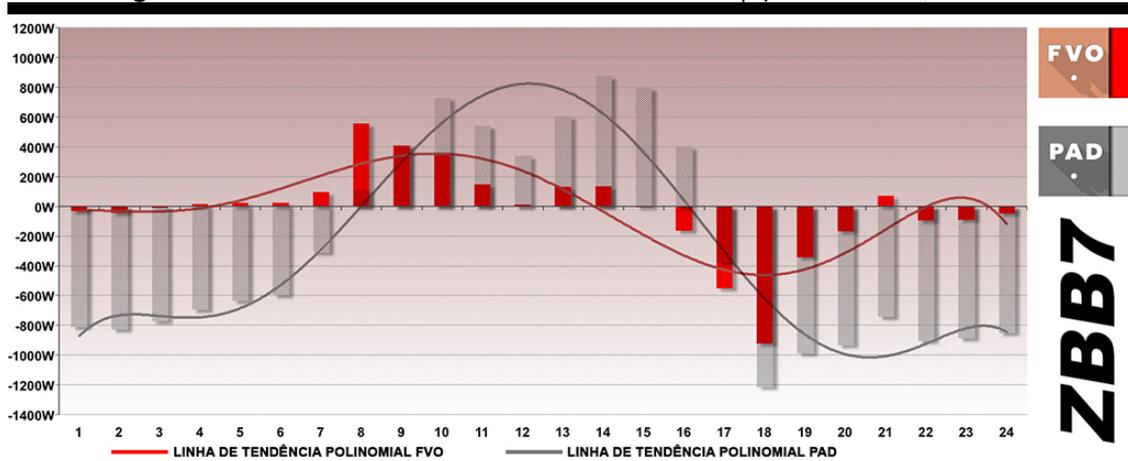
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 98 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | frio e úmido, Campo Grande/MS



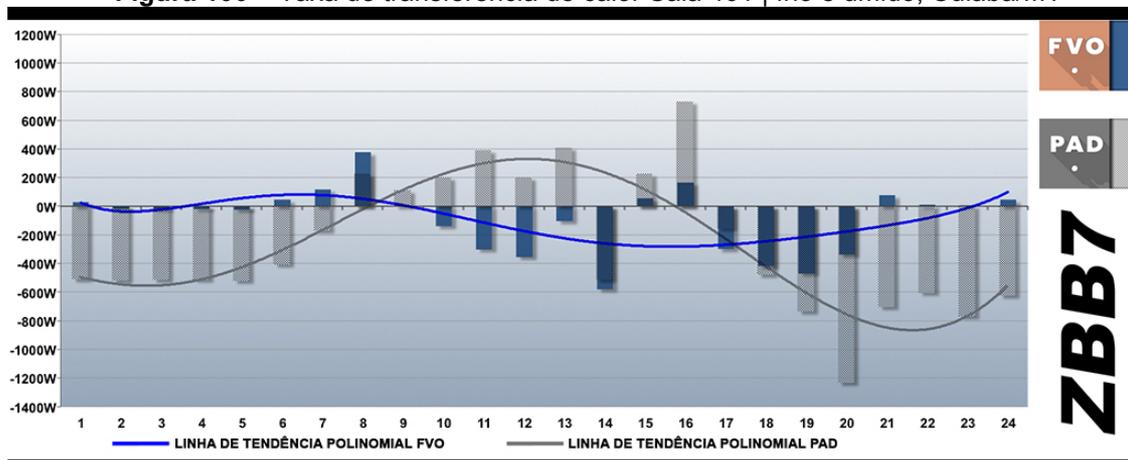
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 99 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | quente e seco, Cuiabá/MT



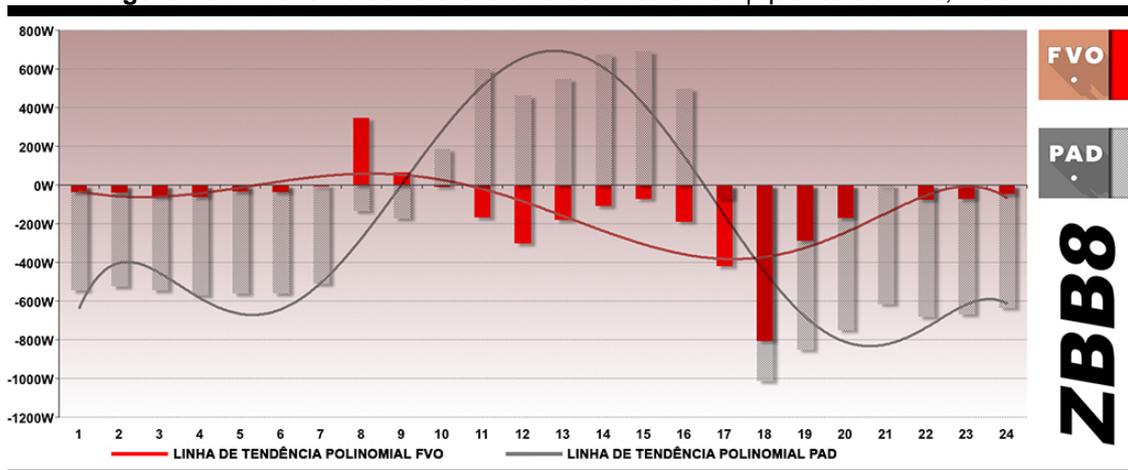
Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 100 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | frio e úmido, Cuiabá/MT



Fonte: Pelo autor, 2016

Figura 101 – Taxa de transferência de calor Sala 401 | quente e úmido, Belém/PA



Fonte: Pelo autor, 2016

Nos resultados, de forma geral, em todas as zonas bioclimáticas, é observada uma menor amplitude no fluxo de calor do sistema proposto da fachada ventilada opaca (FVO) em relação ao envoltório tradicional (PAD). Entra e sai menor

quantidade de calor na situação FVO, que se explica pela sucessão de camadas com a interposição de uma cavidade aberta. Por esta cavidade ocorrem as renovações de ar (apresentadas na sequência de gráficos entre as **Figs. 71 a 85**) responsáveis pela parte convectiva do fluxo de calor, portanto é lógico que ocorram em menor intensidade as trocas térmicas por condução na FVO.

Ainda assim, algumas informações podem ser verificadas com a leitura desses gráficos. As linhas de tendência, formadas pelo desenho das barras a cada hora, indicam que os picos na situação FVO ocorrem com 1,5 a 4,5 horas de antecedência na semana típica de verão/quente e seco em relação ao PAD, enquanto no período de inverno/frio e úmido oscila entre 1,5 a 6 horas.

Os ápices de ingresso de calor nas superfícies externas da FVO ocorrem sempre pela manhã (exceto na semana típica quente/seca em Brasília-DF, na ZBB4, que acontece às 13:00h). Isto indica que o escoamento de ar pela cavidade da FVO começa a atuar quase que concomitantemente ao início das atividades, e que quando ocorre a incidência solar na face Oeste o sentido já fora revertido. Ou seja, ele tende a ser menos dependente da irradiação solar do que da geração interna de calor.

No envoltório tradicional PAD, onde a retirada de calor por convecção está restrita à ação nas superfícies externas expostas, o diagrama em formato senoidal assume um desenho mais correlato entre as horas de atividade e o caminho solar. Há ingresso durante o período diurno, e retirada no período noturno. Em todas as semanas típicas os pontos de ápice circundam a metade do dia (exceto em Curitiba-PR, na ZBB1, onde isto ocorre às 16:00h, no inverno). Em geral, após o meio da tarde o fluxo passa a ser de perda de calor, indicando que a incidência solar ficando restrita à menor face Oeste faz com que a sala deixe de sobreaquecer.

Por outro lado, a menor sinuosidade da versão FVO mostra que ela libera calor para o meio externo em menor quantidade, mesmo durante o período noturno. Isto ajuda a explicar o melhor desempenho desse sistema proposto nas zonas bioclimáticas mais frias, e no período mais frio do ano em qualquer ZBB. Ainda que já não haja mais fontes geradoras de calor interna ou externamente, as paredes atuam como acumuladores ao longo do dia, irradiando calor para o meio externo de forma desacelerada. Isto acontecendo por um maior período de tempo ao longo de um ano acaba beneficiando edificações localizadas nessas áreas mais frias.

O mesmo ocorre nas ZBBs em que o período mais frio seja menor (ou inexistente) e onde a cavidade permaneça completamente aberta ao longo do ano, embora o efeito não seja favorável ao sistema proposto. A menor intensidade de trocas térmicas na FVO tende a fazer com que as cargas internas – geradas na mesma quantidade que no envoltório PAD – tenham maior dificuldade de dissiparem-se. E, pelos resultados apurados, sequer a grande quantidade de renovações horárias do volume de ar existente na câmara de ar será capaz de retirar o calor gerado internamente, ou aquele oriundo da incidência solar na superfície externa do revestimento da fachada.

Estabelece-se nessas situações um paradoxo: se para que ocorram as desejadas renovações torna-se necessário o aquecimento da cavidade de ar, então como explicar que uma grande quantidade de renovações acabe prejudicando o desempenho? Considerando ambientes ventilados naturalmente, se a média externa for elevada, não adianta trazer este ar de fora para dentro dos ambientes, assim como não adianta fazê-lo passar por um "duto aquecido", porque isto não diminuirá as temperaturas internas. Nos ambientes climatizados artificialmente, onde as cargas são atenuadas pelo uso de condicionadores de ar, a ventilação atuando exclusivamente na câmara de ar da FVO demonstra que eventualmente o sistema proposto é capaz de ser competitivo em relação ao envoltório tradicional, conforme apurado anteriormente para Cuiabá-MT e Belém-PA.

Ainda que se possa imaginar que o emprego dos valores *default* aplicados nesta pesquisa diminuam o real potencial convectivo do sistema proposto FVO, os dados apresentados demonstram sua influência no fluxo térmico. O trabalho aqui desenvolvido parte de pressupostos idealizados, onde ocupação e operabilidade são expressos quase que como um interruptor liga/desliga. Em situações reais os usuários tem um poder difícil de mensurar em modelos virtuais, e uma compilação comportamental que pudesse ser aplicada aos programas de simulação tornariam seus resultados de saída muito mais palpáveis. Um esquema de programação mais ajustado ao "fator humano" poderia auxiliar quando combinado com processos automatizados.

4.2.2. Avaliação Econômica

Os resultados da expectativa de consumo de energia nos modelos estudados estão apresentados na **Tab. 31**, com sua monetarização a partir de valores regionalizados, de acordo com o custo apresentado em planilhas de acesso *online* pelas distribuidoras de energia em cada uma das cidades representativas. Apresenta-se o preço final cobrado ao consumidor pelo kW.h para empreendimentos de baixa tensão no grupo Comercial e Serviços, incluindo as tarifas TE, TUSD, os impostos e taxas²⁵.

Tabela 31 – Custo anual de energia nas oito zonas bioclimáticas

CONCESSIONÁRIA	CIDADE	F V O		P A D	
		total de energia baseado nos resultados das simulações para o período de um ano			
 COPEL <i>Pura Energia</i>	ZBB1 Curitiba/PR	170793.95 kWh ao ano		175863.40 kWh ao ano	
		CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	14.40%	CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	16.87%
		R\$0.650617000 por kWh	R\$111,121.45	R\$0.650617000 por kWh	R\$114,419.72
 EFLSM SANTA MARIA	ZBB2 Santa Maria/RS	183492.70 kWh ao ano		185685.73 kWh ao ano	
		CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	20.82%	CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	21.76%
		R\$0.558238830 por kWh	R\$102,432.75	R\$0.558238830 por kWh	R\$103,656.98
 AES Eletropaulo	ZBB3 São Paulo/SP	168842.92 kWh ao ano		167339.95 kWh ao ano	
		CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	13.95%	CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	13.18%
		R\$0.533690000 por kWh	R\$90,109.78	R\$0.533690000 por kWh	R\$89,307.66
 CEB COMPANHIA ENERGÉTICA DE BRASÍLIA	ZBB4 Brasília/DF	178405.40 kWh ao ano		173798.90 kWh ao ano	
		CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	18.61%	CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	16.45%
		R\$0.568846000 por kWh	R\$101,485.20	R\$0.568846000 por kWh	R\$98,864.81
 coelba Grupo Neoenergia	ZBB5 Vitória da Conquista/BA	176003.90 kWh ao ano		169467.21 kWh ao ano	
		CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	17.45%	CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	14.27%
		R\$0.645053950 por kWh	R\$113,532.01	R\$0.645053950 por kWh	R\$109,315.49
 energisa LUZ, IMAGINAÇÃO, REALIZAÇÃO	ZBB6 Campo Grande/MS	212324.51 kWh ao ano		208306.08 kWh ao ano	
		CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	31.79%	CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	30.47%
		R\$0.746874000 por kWh	R\$158,579.66	R\$0.746874000 por kWh	R\$155,578.40
 energisa LUZ, IMAGINAÇÃO, REALIZAÇÃO	ZBB7 Cuiabá/MT	255090.26 kWh ao ano		256200.83 kWh ao ano	
		CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	42.87%	CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	43.11%
		R\$0.651084000 por kWh	R\$166,085.19	R\$0.651084000 por kWh	R\$166,808.26
 celpa energia para transformar	ZBB8 Belém/PA	249050.00 kWh ao ano		249272.05 kWh ao ano	
		CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	41.66%	CLIMATIZAÇÃO no CONSUMO	41.72%
		R\$0.786748000 por kWh	R\$195,939.59	R\$0.786748000 por kWh	R\$196,114.29

Esta tabela parte dos totais apurados de expectativa de consumo ao longo de um ano, multiplicados pela tarifa comercial convencional. O menor valor em Reais entre FVO e PAD (destacado a cada faixa, na cor **VERMELHO** sobre fundo

25 Apesar do Operador Nacional de Energia Elétrica – ONS (<http://www.ons.org.br/home/>) indicar a queda da bandeira tarifária (que permite às distribuidoras o repasse aos consumidores do custo da aquisição de energia produzida em fontes mais caras por meio de um adicional na tarifa) até a data de apresentação desta pesquisa, optou-se por adotar os valores cobrados em janeiro de 2016.

AMARELO, ou **CINZA ESCURO** sobre fundo **CINZA CLARO**), além de indicar o melhor desempenho, precifica-o. Em cada ZBB há o destaque para a fatia percentual correspondente à climatização artificial em relação ao kW.h totais (que ainda consideram os gastos com iluminação e equipamentos) dos modelos.

Entre os valores apurados, nas zonas bioclimáticas onde a climatização alcança os maiores percentuais relativos no consumo anual previsto (Cuiabá-MT e Belém-PA, respectivamente) o sistema com fachada ventilada opaca (FVO) mostrou-se competitivo em relação ao envoltório tradicional (PAD), embora a diferença seja mínima. A máxima diferença percentual na relação com o maior valor anual total foi apresentada pelo PAD em Vitória da Conquista-BA, com 3,71%. Das quatro ZBBs onde a FVO demonstrou melhor desempenho, a diferença mais expressiva está em Curitiba-PR, com 2,88%. Entretanto, a fatia da climatização artificial é de apenas 14,40% nessa cidade, enquanto em Cuiabá-MT ela atinge 42,87%.

O percentual relativo menos significativo, com 13,18 a 13,95% – São Paulo-SP, na ZBB3) – coincide com o menor preço final ao consumidor apurado, onde a ELETROPAULO cobra R\$0,53369 pelo kW.h. Em Belém-PA, na ZBB8 (o segundo maior percentual relativo, entre 41,66 a 41,72% para os modelos simulados), encontra-se o maior preço final ao consumidor, com a tarifa comercial convencional cobrada pela CELPA atingindo R\$0,786748 pelo kW.h.

Do ponto de vista do proprietário em empreendimentos comerciais, o levantamento de custos realizado para este estudo confirma a lógica que naquelas ZBBs que onde há expectativa de maior percentual de horas em desconforto, o consumo anual com climatização seja mais significativo. Assim, a preocupação com envoltório, pelos índices encontrados neste estudo, decresce de importância em relação à definição do equipamento de climatização artificial.

4.2.3. Valores de Implementação

Conforme preconizado por Goldman (2004), a discussão sobre a viabilidade de um empreendimento envolve principalmente três setores: setor de Promoção e Comercialização, setor Financeiro e setor Arquitetônico. Segundo o autor é este último o responsável por fornecer o apoio básico para a avaliação e para o empreendimento em si, com o desenvolvimento do projeto e das especificações técnicas. Ou seja, enquanto os dois primeiros preocupam-se com o "quê" e com o "quanto", é o setor Arquitetônico que indicará o "como". Apresenta-se neste item da pesquisa, o auxílio no atendimento aos subsídios econômicos que permitam a discussão da viabilidade econômica do objeto proposto.

Seguindo os preceitos apresentados no **item Avaliação Econômica**, em **3.5.2 Salas Climatizadas Artificialmente (AC)** da metodologia desta pesquisa, seguir-se-á o Método do Valor Líquido Atual (*Net Present Value*) na indicação do potencial econômico (ou não) do sistema proposto de fachadas ventiladas opacas FVO a partir da comparação em relação ao envoltório tradicional PAD. Dentre as possibilidades de aplicação do VLA, optou-se por empregar o Método da Anuidade, também conhecido por Método da Energia Economizada. A divisão em horizontes de 10, 30 e 50 anos permite a observação de que, independente da taxa de juros aplicada, tenha-se um potencial decrescente sobre a remuneração do valor inicial diretamente proporcional ao alargamento do prazo de observação. Acreditando-se que investidores tenham interesse em obter retorno do investimento no prazo mais curto possível, enquanto proprietários e usuários apresentariam uma tolerância maior quanto a isto, a análise foi dividida nestas três faixas.

Tomando-se como exemplo a cidade de Curitiba (ZBB1), onde obtém-se a maior diferença monetária entre o sistema proposto FVO e o envoltório tradicional PAD, tem-se:

$$K = A_{365} \times \frac{1 - (1 + Tx_{Poupança\ ou\ INCC})^{-T_{PER}}}{Tx_{Poupança\ ou\ INCC}} \quad (Eq. 7)$$

Onde:

K = valor total futuro [unidade monetária]

A_{365} = valor da energia economizada em um ano [unidade monetária]

T_{PER} = período de análise [ano, meses]

Tx = taxa de juros adotada [percentual]

Assim, para os juros da poupança no ano base 2015, em um período de 10 anos, tem-se:

$$K = 2145,91 \times \frac{1 - (1 + 7,90)^{-10}}{7,90}$$

O que totaliza K com R\$14.464,41. Repetindo-se a equação para 30 anos e 50 anos, obtém-se para K os valores de R\$24.387,92 e R\$26.556,81, respectivamente. Considerando-se uma remuneração de capital menor, ou uma taxa de desoneração menor da economia gerada anualmente, como a do INCC (aplicado em correções do saldo devedor em financiamentos imobiliários), para os mesmos períodos de 10, 30 e 50 anos, obtém-se para K os valores de R\$15.127,87, R\$26.844,10 e R\$29.917,42, respectivamente.

Para concluir a outra etapa deste cálculo, faltaria discriminar o custo de implementação do sistema proposto FVO em relação à tecnologia tradicional PAD. Para isto, é adotado o parâmetro mais reconhecido dentro do mercado da construção civil: o valor do custo unitário básico da construção por metro quadrado (CUB) de cada cidade nas ZBBs analisadas. Além disso, seria interessante ou necessário o emprego de pressupostos orientados às perspectivas futuras mais imediatas da economia nacional, com base em avaliações de risco, mercado futuro, etc. Entendendo-se que a aplicabilidade de determinados conceitos e valores seguiria muito além dos conhecimentos abarcados neste trabalho de pesquisa (sendo tarefa para especialistas da área econômica), justifica-se o uso de cenários mais simples e com variáveis reduzidas.

O uso do CUB como parâmetro do valor de construção, e o custo da previsão do consumo energético como perspectiva de redução (ou não) nos custos de operação dos modelos simulados, serão os subsídios principais destes tópicos. Além destes, buscou-se os dados de insumos e preços de composição baseados nas planilhas *online* do SINAPI²⁶ (CEF e IBGE, 2016) no intuito de atribuir valor para elementos fundamentais para esta comparação: o revestimento externo do envoltório tradicional PAD (argamassa e reboco), os blocos de concreto que

²⁶ SINAPI é o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, originado no Decreto 7983/2013, e que estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União. Tem sua gestão compartilhada entre CEF e IBGE, onde a primeira é responsável pela base técnica de engenharia (especificação de insumos, composições de serviços e orçamentos de referência) e pelo processamento de dados, e o segundo, pela pesquisa mensal de preço, tratamento dos dados e a formação dos índices.

compõem a vedação nesta mesma tecnologia (bloco de concreto vazado 19x19x39cm), o bloco empregado na vedação da situação proposta FVO (bloco de concreto vazado 9x19x39cm), e o elemento de isolamento usualmente empregado neste sistema, que vem incorporado no custo fechado do produto.

Baseado nos resultados apresentados por Brandalise (2015), evitou-se o emprego de qualquer material isolante na face externa da vedação (junto à câmara de ar) do sistema proposto de fachada ventilada opaca para que o sistema não apresentasse um valor menor ainda para a transmitância térmica. Caso contrário, o U_{value} passaria de 1,97W/m².K para 1,00W/m².K, o que aumentaria a dificuldade em perder o calor interno acumulado para o meio externo.

Os modelos PAD e FVO tem em comum a metragem superficial de fachadas para uso de um sistema ou outro equivalentes a **1.393,02m²**. Tomando-se por base a cidade de Curitiba/PR, o emprego do revestimento vinculado à vedação no envoltório tradicional PAD, de acordo com as planilhas SINAPI em jan/2016 – custos desonerados, tem o valor para insumos e serviços incorporados para reboco (item 74001/001), limpeza e preparo (item 73948) e pintura (item 88429) totalizando R\$118,94/m². Acrescentando a este montante a diferença entre o emprego do bloco vazado de concreto com 19cm de largura (item 87563) em relação aquele aplicado na situação proposta FVO de 9cm de largura (item 84459), de R\$25,15/m², tem-se um total de custo **PAD igual a R\$200.720,25**.

O sistema de fachadas ventiladas opacas são vendidos pelos fornecedores no Brasil como um pacote fechado, incluindo custos com o projeto, o produto e a instalação. Deste pacote foi retirado o custo (somado ao BDI) do material isolante, totalizando R\$336,60/m². Com isto, obtém-se para mesma metragem de planos verticais um total de custo **FVO igual a R\$468.890,53**.

De uma forma geral, trocando-se A por B, e considerando-se padrões bem básicos na atribuição de valor ao metro quadrado dos modelos desenvolvidos nesta pesquisa, partiria-se de um custo inicial maior do sistema proposto FVO em relação à situação tradicional PAD na ordem de **R\$268.170.28** na cidade de Curitiba/PR, em janeiro de 2016. É este **valor que será comparado ao valor total futuro com a economia de energia** (dentro dos três horizontes de análises) na ZBB1.

Essa síntese registra a expectativa de valor que estaria disponível no início do empreendimento para investimento na etapa de execução visando atender a meta proposta. A ideia é de que o valor anual não gasto com energia, capitalizado a

uma determinada taxa de juros por um determinado período de tempo, seja capaz de custear a proposição em melhorias de desempenho sugeridas em projeto.

As **Tab 32** e **33** a seguir são apresentadas utilizando exclusivamente a economia energética (ou a falta de). A este valor seria possível acrescentar-se a economia gerada pelo potencial encurtamento no ciclo de execução do empreendimento, mas não há informações concretas que possam comprovar isto. Segundo dados obtidos por informação verbal²⁷, o emprego do sistema de fachadas ventiladas opacas pode diminuir o período de execução em até três meses, desonerando o empreendedor/incorporador dos custos referentes a manutenção de um canteiro de obras mobilizado por este tempo.

Tabela 32 – Método da Anuidade para as ZBBs 1 a 4

MÉTODO DA ANUIDADE (OU ENERGIA ECONOMIZADA)				
ITENS	ZBB1	ZBB2	ZBB3	ZBB4
	Curitiba/PR	Santa Maria/RS	São Paulo/SP	Brasília/DF
custo unitário de energia (R\$/kWh)	R\$ 0.650617000	R\$ 0.558238830	R\$ 0.533690000	R\$ 0.568846000
consumo anual PAD (kWh ao ano)	114,419.72	103,656.98	89,307.66	98,864.81
consumo anual FVO (kWh ao ano)	111,121.45	102,432.75	90,109.78	101,485.20
diferença anual com energia	R\$ 2,145.91	R\$ 683.41	-R\$ 428.08	-R\$ 1,490.60
juros Poupança (jan2015 a jan2016)	7.90%	7.90%	7.90%	7.90%
economia ou gasto em energia em um horizonte de 10 anos	14,464.41	4,606.51	-2,885.48	-10,047.31
economia ou gasto em energia em um horizonte de 30 anos	24,387.92	7,766.87	-4,865.10	-16,940.41
economia ou gasto em energia em um horizonte de 50 anos	26,556.81	8,457.60	-5,297.77	-18,446.97
juros INCC (jan2015 a jan2016)	6.92%	6.92%	6.92%	6.92%
economia ou gasto em energia em um horizonte de 10 anos	15,127.87	4,817.81	-3,017.83	-10,508.16
economia ou gasto em energia em um horizonte de 30 anos	26,844.10	8,549.10	-5,355.08	-18,646.52
economia ou gasto em energia em um horizonte de 50 anos	29,917.42	9,527.87	-5,968.17	-20,781.32

²⁷ Segundo declaração do arquiteto Fábio Lunardelli, diretor da FAVEGRUP no Brasil, em palestra sobre a tecnologia de fachadas ventiladas no auditório da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, em 16 de maio de 2014.

Tabela 33 – Método da Anuidade para as ZBBs 5 a 8

MÉTODO DA ANUIDADE (OU ENERGIA ECONOMIZADA)				
ITENS	ZBB5	ZBB6	ZBB7	ZBB8
	Vitória da Conquista/BA	Campo Grande/MS	Cuiabá/MT	Manaus/AM
custo unitário de energia (R\$/kWh)	R\$ 0.655053950	R\$ 0.746874000	R\$ 0.651084000	R\$ 0.786748000
consumo anual PAD (kWh ao ano)	109,315.49	155,578.40	166,808.26	196,114.29
consumo anual FVO (kWh ao ano)	113,532.01	158,579.66	166,085.19	195,939.59
diferença anual com energia	-R\$ 2,762.05	-R\$ 2,241.56	R\$ 470.78	R\$ 137.44
juros Poupança (jan2015 a jan2016)	7.90%	7.90%	7.90%	7.90%
economia ou gasto em energia em um horizonte de 10 anos	-18,617.45	-15,109.15	3,173.27	926.44
economia ou gasto em energia em um horizonte de 30 anos	-31,390.23	-25,475.00	5,350.33	1,562.04
economia ou gasto em energia em um horizonte de 50 anos	-34,181.85	-27,740.56	5,826.15	1,700.96
juros INCC (jan2015 a jan2016)	6.92%	6.92%	6.92%	6.92%
economia ou gasto em energia em um horizonte de 10 anos	-19,471.41	-15,802.19	3,318.82	968.94
economia ou gasto em energia em um horizonte de 30 anos	-34,551.62	-28,040.66	5,889.18	1,719.36
economia ou gasto em energia em um horizonte de 50 anos	-38,507.37	-31,250.97	6,563.42	1,916.20

Seguindo o que aponta Liu (2010), onde a relação entre a área para comercialização – área *BOMA*²⁸, e a área construída nos pavimento-tipo – indicativo de eficiência nas áreas – deva ser a mais alta possível, o empreendimento aqui estudado encontraria dificuldades para concluir suas vendas... Enquanto a autora apresenta dados de empreendimentos entre 87,5% e 94% para a área *BOMA*, os modelos simulados apresentam o percentual bruto de apenas **72,1%**.

A justificativa para isso encontra-se na simplificação e diminuição quantitativa do modelo para melhor compreensão do real objeto deste estudo: a verificação da viabilidade na aplicação de um sistema de fachada ventilada opaca. O que, de forma alguma, é impeditivo que sejam valorados os modelos estudados; apenas ressalva-se que, para uma situação focada na inserção mercadológica do empreendimento, outros quesitos seriam destacados.

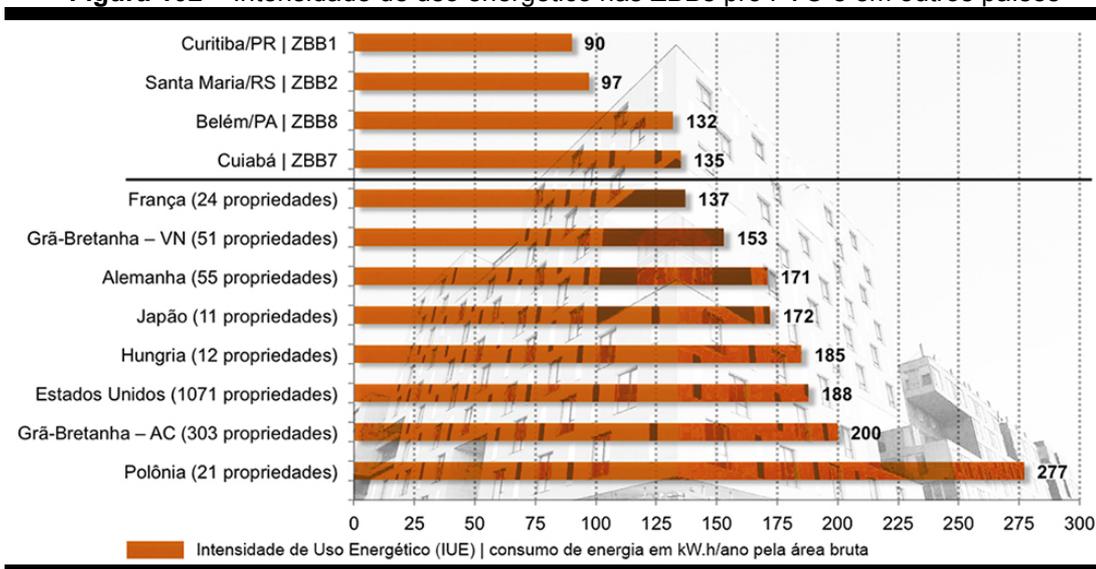
²⁸ *BOMA* é o acrônimo em inglês para a Associação Internacional de Gerentes e Proprietários de Prédios (*Building Owners and Managers Association International*). Em 1915 esta associação publicou o primeiro método padrão de medição das áreas de prédios comerciais. A iniciativa foi bem recebida pela *ANSI* (*American National Standards Institute*), e desde então vem sendo atualizado para refletir eventuais mudanças no mercado imobiliário e a natural evolução dos empreendimentos comerciais. É empregado para o cômputo na comercialização de áreas de lajes corporativas, principalmente no mercado de ambientes para locação, onde as relações entre as áreas de cada unidade autônoma e aquelas de suporte geral do condomínio assume elevada importância.

Segundo os valores das **Tab. 32 e 33** – Método da Anuidade para as ZBBs 1 a 8, para uma taxa menor de juros aplicada, maior será o montante final com a energia economizada, independente do período de análise. Este montante é o valor potencial para investimento em quesitos de eficiência energética que auxiliem a obtenção da meta estipulada.

Para os empreendimentos simulados, quando são comparados o valor da energia economizada pelo emprego da FVO em relação à situação tradicional PAD, há potencial de economia para as ZBBs 1, 2, 7 e 8. Entretanto, com o custo de alavancagem de R\$268.170.28, em **nenhuma destas ZBBs há economia que permita a instalação do sistema proposto apenas com a energia economizada.**

Com base nos valores totais de previsão de consumo onde o sistema proposto teve um escore positivo, determinou-se a intensidade de uso energético (IUE). O gráfico da **Fig.102** mostra uma comparação destes valores com dados internacionais de IUE em prédios de escritórios com bom desempenho ambiental, compilados anualmente pelo *Urban Land Institute*²⁹ (ULI, 2015).

Figura 102 – Intensidade de uso energético nas ZBBs pró FVO e em outros países



Fonte: Pelo autor, acrescido da adaptação dos dados do ULI, 2015

29 *Urban Land Institute (ULI)* é uma instituição internacional sem fins lucrativos fundada em 1936 de pesquisa e ensino sobre o mercado imobiliário como um todo. A divisão responsável pelo relatório de onde os dados foram extraídos – *ULI Greenprint Center* – é uma aliança mundial que congrega lideranças entre proprietários de imóveis, investidores, e parceiros empresariais comprometidos com o desempenho ambiental da indústria da construção civil, contabilizando mais de 35.000 membros em 2016. Por meio de levantamentos, *benchmarking*, compartilhamento de conhecimento e educação orientada, o *Greenprint* busca atingir a redução de 50% nas emissões de gases do efeito estufa até o ano de 2030, conforme as metas estipuladas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, vinculado ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Em todas as ZBBs onde a situação proposta FVO apresentou um menor consumo de energia anual que o envoltório tradicional PAD, a IUE apresentou valores menores que os dados médios de quaisquer dos países pesquisados. Entretanto, **isto deve-se à baixa relação de área climatizada (ou área de atividade fim) em relação ao total de área modelada**. Em uma situação de mercado, os índices encontrados seriam maiores pelo simples fato de que o mercado imobiliário tende a construir edificações com maior quantidade (metragem quadrada) de áreas privativas em relação às áreas de uso comum.

Considerando o exposto em trabalho de Ochoa e Capeluto (2008) onde são apresentados índices com redução para apenas 40% na expectativa de consumo de uma edificação em relação a uma determinada situação-base, em climas quente-seco e quente-úmido, o estudo aqui apresentado ficou bem aquém desta margem. No estudo dos autores a intensidade de uso de energia baixou de 60kW.h/m^2 ao ano para 24kW.h/m^2 ao ano. Embora não tenha-se considerando eventuais otimizações no uso da iluminação ou outros quesitos como os autores citados, pois partiu-se de modelos equivalentes onde **apenas o envoltório apresentasse diferenças**, e considerando que realidades climáticas distintas demandem respostas distintas, a melhor relação que se encontrou foi em Curitiba/PR, onde a expectativa da intensidade de uso de energia baixou de $105,95\text{kW.h/m}^2$ ano para $78,94\text{kW.h/m}^2$ ano. Isto representa que o envoltório proposta FVO tenha 81% da expectativa de consumo do que o mesmo modelo utilizando o envoltório tradicional.

Reportando o apresentado por Sadineni, Madala e Boehm (2011), que descrevem que as abordagens de eficiência energética nem sempre exigem um investimento adicional de capital nos projetos, este trabalho de pesquisa aponta que para o quesito envoltório isto não se confirmou. Se um sistema de revestimento independente da vedação teoricamente permite ganho de tempo no ciclo do empreendimento, pode-se inferir que esta eficiência de construção seja estendida a uma operação mais econômica do edifício.

Uma abordagem projetual que reduza o dimensionamento de sistemas mecânicos ou de climatização instalados poderia auxiliar na compensação de qualquer custo adicional através dos recursos economizados pela eficiência energética. Entretanto, com base nos valores encontrados nesta pesquisa, isto não se comprovou apenas pelo desempenho energético. Seria necessária a composição

desta economia (onde ela ocorre), com um maior percentual *BOMA* (devido ao incremento no volume energético), ou com o encurtamento do ciclo do empreendimento (indicando menor tempo de mobilização do canteiro de obras).

5. Conclusões

Tomando-se esta pesquisa como um todo, ela apresenta-se como uma série dupla que discorre e sobre a aplicabilidade do sistema de fachadas ventiladas opacas em empreendimentos comerciais no Brasil. A observação conjunta dos pares analisados – conforto adaptativo mais comportamento físico, e consumo de energia mais impacto financeiro – permite o entendimento sobre o alcance dos modelos aqui propostos.

Para o objetivo principal proposto de exploração da **viabilidade termoenergética no emprego de um sistema de fachada ventilada opaca**, orientado às edificações comerciais, acredita-se que esta pesquisa represente um passo inicial que oriente o emprego da simulação computacional como ferramenta propositiva. Há o entendimento que as expectativas iniciais no comportamento desta solução de envoltório, ainda que aplicada por um mesmo modelo em todas as zonas bioclimáticas, apresentou resultados positivos.

Ressalve-se que esses identificam-se apenas com as características estabelecidas para um prédio-base proposto e replicado identicamente. Mesmo que o modelo físico utilizado não tenha sofrido ajustes projetuais para adequação às esperadas diferenças de cada região, o escore global do sistema proposto foi bom. Com isto, o **problema principal** que origina este estudo – a intenção de saber se a separação entre vedação e revestimento externo seria aplicável, e em que medida, oferecendo contribuição na redução no consumo de energia nos ambientes internos – **pode ser considerado respondido** para os modelos simulados.

Do ponto de vista térmico, a partir do cálculo de graus-hora com nível de 80% de aceitabilidade de usuários, o envoltório proposto apresenta melhores índices de conforto interno em três das oito das Zonas Bioclimáticas Brasileiras. O sistema

proposto FVO saiu-se melhor que o envoltório tradicional PAD no cômputo anual nas ZBBs 1, 2, e 3 – Curitiba/PR, Santa Maria/RS e São Paulo/SP, respectivamente.

Do ponto de vista energético, os totais de consumo em kW.h ao longo do ano demonstraram que o modelo com fachadas ventiladas opacas **apresentou melhores resultados em metade das zonas bioclimáticas** quando comparado aquele com envoltório tradicional. Esse menor valor somado de quilowatts foi encontrado nas ZBBs 1, 2, 7 e 8 – Curitiba/PR, Santa Maria/RS, Cuiabá/MT e Belém/PA, respectivamente. O balanço energético com dados oriundos das simulações, conforme discriminado nas tabelas do **Anexo B**, demonstra o comportamento dos modelos em cada zona bioclimática.

Com base nos valores totais de previsão de consumo para o prédio modelado nas zonas bioclimáticas em que o sistema proposto teve um escore positivo, há uma intensidade de uso energético (IUE) que parte de **90,31kW.h/m²/ano** em Curitiba/PR, atinge **97,02kW.h/m²/ano** em São Paulo/SP, **131,67kW.h/m²/ano** em Belém/PA, e apresenta o valor extremo de **134,88kW.h/m²/ano** em Cuiabá/MT.

Do ponto de vista econômico, embora a tentação de escrever-se sobre a implicação nos custos diretos da opção por um "sistema de montar" em relação a outro mais tradicional – uma "tecnologia de construir", evitou-se abordar a viabilidade econômica utilizando dados que não tivessem meios de aferição disponíveis ou academicamente verificáveis. Com isto, a aplicabilidade da valoração econômica para o sistema proposto veio pelo Valor Líquido Atual, através do Método da Energia Economizada. Com ele, observando-se o custo maior para a implementação do sistema de fachada ventilada opaca (com vedação MAIS revestimento), ao invés da tecnologia do envoltório tradicional (com vedação e revestimento simultâneos), constatou-se que **a FVO não é viável de ser aplicada**, para as condições de controle e limites estabelecidos nesta pesquisa, utilizando-se apenas o valor apurado pela energia economizada.

Agora, diferente do que o estudo-piloto realizado para a qualificação desta pesquisa tinha como resultados para a cidade de Manaus/AM (ZBB8), encontrou-se resultados antagônicos. Naquele momento foi imaginado que os maus resultados fossem oriundos da combinação de alta densidade de carga interna com um envoltório melhor isolada. Isto teria proporcionado um grande elemento retentor de

calor na comparação com o envoltório tradicional. Embora correto como argumento, não era este o responsável pelo mau desempenho.

Ao configurar-se um novo modelo com possibilidades reais de emprego da ventilação natural, atribuindo-se mais de um elemento de abertura nas zonas térmicas (1), configurando-se de forma correta os módulos referentes ao funcionamento do fluxo de ar em rede (2) e, especificamente para a situação FVO, introdução do emprego do módulo de ação do vento e efeito de empilhamento (3), os resultados foram revertidos. Embora a melhoria, ela ocorre muito mais na comparação direta à aplicação de um envoltório tradicional; as duas situações não são capazes de, por si, oferecerem bons índices de conforto interno usando apenas a ventilação natural. Aliás, seguindo-se as orientações do programa *Climate Consultant v6.0*, para a ZBB8, a ventilação deve estar acompanhada da possibilidade de retirar-se a umidade, sem a qual nenhuma ação que envolva estratégias passivas terá sucesso.

De acordo com a revisão sobre envoltórios de edificações que sejam adaptadas ao clima (*CABS – Climate Adaptive Building Shells*), conforme exposto por Loonen *et al* (2013), independente da designação que seja adotada, é importante que se pense em **envoltórios com propriedades dinâmicas**. Seres humanos, além da pele que lhes cobre, não usam a mesma roupa em todas as estações do ano; é crível que as construções devessem seguir esta lógica. Concorda-se com os autores que, em oposição às propriedades normalmente estanques dos envelopes tradicionais – incapazes de se adaptar às variações climatológicas ao longo do dia – devêssemos pensar em alternativas onde a vedação permanecesse estanque enquanto o revestimento fosse mutável.

Assim como a manifesta preocupação de Saelens e Hens (2003) que, citando as fachadas duplas ventiladas em vidro, supõem a pertinência na oferta de condições para que exista uma camada extra – externa e selada – para os períodos frios, aumentando a resistência do prédio. No verão, quando não houver necessidade de incremento da temperatura interna em relação ao meio externo, que se ofereçam mecanismos de controle da radiação. Transpondo uma síntese destes dois trabalhos, e aplicando-a para a proposta de fachadas ventiladas opacas, deve-se imaginar a possibilidade do uso de materiais que apresentassem uma pigmentação mais clara nos períodos mais quentes do ano, e outra mais escura nos

períodos mais frios, como forma de controlar a radiação por absorção. Ou ainda, criar elementos retráteis e automatizados que sombreiem o revestimento nos horários em que seja desfavorável o incremento na temperatura superficial externa pela incidência solar direta.

Dentre as indicações sugeridas pelos resultados das simulações, e que confirmam os resultados do trabalho de Brandalise (2015), é que em prédios comerciais com alta carga interna um envoltório com melhor isolamento oferece um desempenho pior que um outro menos isolado (ainda que outros elementos não tenham variado nesta pesquisa, como o fator de forma ou índice de aberturas nas fachadas). Por isto, considerando-se os números absolutos do envoltório tradicional aqui empregado, com U_{value} de **2,63W/m².K**, e o do sistema proposto sem qualquer elemento isolante interposto, com U_{value} de **1,97W/m².K**, observa-se que a FVO sempre partiu em desvantagem nas simulações. O que seria absoluto, tornou-se relativo pela possibilidade de uso dos efeitos de convecção da massa de ar na cavidade interna, caso contrário, independentemente da zona bioclimática, sempre teria um desempenho pior que o da tecnologia tradicional.

Com isto, supõe-se que o **entendimento do melhor comportamento** proporcionado pela possibilidade de operar o envoltório mecanizada **frente às distintas características climáticas** do território brasileiro foi parcialmente atendido. A análise de sensibilidade feita com simulações para diferentes valores de temperatura para definir pontos ideais de abertura e fechamento de esquadrias, e diversos períodos anuais para os quais a ventilação da fachada estivesse parcial (10%) ou integralmente ofertada, permitiu que se chegasse a um ponto ideal, mas a introdução de um método estatístico combinado aos resultados destas simulações permitiria a investigação de outros dados de forma simultânea e com um grau de correlação ainda maior. Ou mesmo a introdução de outros modelos que concorressem com menor/maior índice de aberturas em relação à área de fachadas, ou ainda, com dimensões/proporções perimetrais distintas daquelas aqui estudadas.

De acordo com a tabela com pontos favoráveis e desfavoráveis para o uso de fachadas de dupla pele de vidro apresentado por Lee *et al* (2002), transposto para a realidade das opacas, observou-se que:

– quanto a energia necessária para aquecimento no inverno, diferente do que fora observado pelos autores, mesmo considerando as altas cargas internas

apresentadas neste estudo, encontrou-se diminuição nas cargas de aquecimento para o período mais frio em relação ao emprego do envoltório tradicional em todas as ZBBs;

– quanto a energia necessária para refrigeração no verão, como eles observaram, é possível que o calor do verão possa ser ventilado pela cavidade do sistema, mesmo que isto não se aplique a todas as ZBBs de forma homogênea;

– quanto aos custos de implementação, concorda-se parcialmente com os autores quando colocam como vantajosa a diminuição nos custos de operação pela redução dos custos energéticos, porque isto só será possível onde o sistema comprovar-se mais eficiente de antemão em relação a outro;

– ainda quanto aos custos, concorda-se com os autores que mencionam o valor extremamente elevado para sua implementação, pois esta pesquisa consegue mostrar que, nas quatro ocorrências para onde o sistema proposto FVO ele não seria viável economicamente, pois não poderia ser pago apenas com a economia de energia gerada anualmente.

Considerando-se as **preocupações e objetivos secundários desta pesquisa**, a definição de um modelo exploratório foi bem sucedida, mas ao mesmo tempo reveladora da necessidades maiores. A intenção de confrontar o sistema proposto FVO com o envoltório tradicional dentro de distintos cenários bioclimáticos brasileiros foi completada na comparação do elemento A versus elemento B. Mas para que isto possa ser generalizado, há uma necessidade maior e premente de que se adote modelos com distintos graus de variabilidade paramétrica. Com isto seria possível a verificação de outros elementos, e qual a sensibilidade de sua influência nos resultados obtidos, no grau de confiabilidade para julgar-se viável ou não, e na diminuição das incertezas.

A própria **ideia de observar o comportamento da temperatura superficial** nas empenas dos modelos propostos, ao mesmo tempo que permite a visualização instantânea de um recorte representado pelas semanas típicas de projeto (para os períodos calor/seco e frio/úmido), abre uma perspectiva para um necessário aprofundamento deste estudo. Ela demonstra que há uma consequência da ação do fluxo de ar pela cavidade intersticial na situação FVO que implica em diferenças com a situação tradicional PAD. Entretanto, o mecanismo físico de transferência de calor

em suas relações meio externo – câmara de ar – meio interno (e o reverso), no modelo do sistema proposto nesta pesquisa indica que não há homogeneidade neste comportamento, e os pontos de ruptura indicam um potencial de melhoria a ser explorado no futuro.

Adaptando-se o já observado por Barbosa e Ip (2014) sobre a evolução das fachadas de dupla pele (*DSF – Double Skin Façades*) desde 2005, e da gama maior de conhecimento adquirido por meio de pesquisas para as regiões com o clima continental Mediterrâneo – quente e seco, seria pertinente a aplicação de ferramentas que abordem a dinâmica dos fluidos computacionais para que as análises do comportamento da massa de ar na cavidade das fachadas possa ser melhor visualizado e compreendido. A pesquisa aqui apresentada é apenas indicativa das possibilidades potenciais que o tema carrega, e que passam por inúmeras áreas de conhecimento anteriores ao momento do canteiro de obras, onde o custo das correções nas decisões projetuais cobra um preço muito mais elevado.

O principal significado de uma análise baseada em conforto adaptativo para os modelos desta pesquisa é o entendimento que **quanto maior for o período frio do ano em relação ao número total de horas analisadas, melhor será o escore geral do sistema com fachada ventilada opaca**, independente da situação: ventilação natural, ou climatização artificial. Nas regiões bioclimáticas mais quentes do país, onde o desempenho do sistema proposto FVO supera o da situação tradicional PAD, a troca do envoltório ainda será insuficiente para prover o conforto a pelo menos 80% dos ocupantes. Servirá apenas como suporte, ou estratégia de apoio a um outro projeto de instalações prediais que preveja ou faça uso de climatização artificial.

5.1. Trabalhos derivados

Resumo publicado em anais de congresso:

1. KREBS, Carlos L. M. ; CUNHA, E. G. . **Comparação do desempenho termoenergético de fachada tradicional com fachada ventilada**. In: Conferência Internacional *Renewable Electricity Generation in South America*, 2014, Florianópolis. Anais da Conferência Final do projeto REGSA, 2014.

2. KREBS, Carlos L. M.; SILVA, A. C. S. B. . **Estudo de Viabilidade do Sistema de Fachada Ventilada em Prédios Comerciais na Zona Bioclimática 1 do Brasil**. In: XVI Encontro de Pós-Graduação – ENPOS. Universidade Federal de Pelotas. 2014.

Disponível em: <http://cti.ufpel.edu.br/cic/arquivos/2014/SA_01741.pdf>

3. KREBS, Carlos L. M. ; CUNHA, E. G. . **Viabilidade das fachadas ventiladas em prédios comerciais para duas situações bioclimáticas extremas no Brasil**. In: XVII Encontro de Pós-Graduação – ENPOS. Universidade Federal de Pelotas. 2015.

Disponível em: <http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2015/SA_01345.pdf>

Capítulo de livro publicado:

1. KREBS, Carlos L. M. ; CUNHA, E. G. . **Comparação do desempenho termoenergético de fachada de alvenaria tradicional com fachada ventilada**. In: José Baltazar Salgueirinho Osório de Andrade Guerra; Walter Leal; Luciano Dutra; Nilzo Ivo Ladwig; Rogério Santos da Costa. (Org.). *Arquitetura e Urbanismo Sustentável – Estratégias e projetos para a promoção da eficiência energética e do conforto ambiental*. 1ed. Florianópolis: Consórcio Projeto REGSA/Parola Editorial, 2014, v. 1, p. 41-64.

5.2. Sugestão de Futuros Trabalhos

Como contribuição para a área da qualidade e tecnologia do ambiente construído a proposta deste estudo é a apresentação de dados sobre o desempenho termoenergético do sistema de fachada ventilada opaca em edifícios comerciais nas oito zonas bioclimáticas brasileiras. Entretanto, o aprofundamento neste estudo permitiu a compreensão de trata-se apenas de uma introdução ao leque de opções que este tipo de sistema permite explorar.

Para trabalhos futuros, dois pontos merecem registro aos que se propuserem a avaliar alternativas: a necessidade de experimentar outros softwares que contenham o módulo da **dinâmica dos fluidos computacionais** (*CFD*, na sigla em inglês), e que permitam uma maior flexibilização quanto à **parametrização** de elementos, características, dimensões e propriedades.

Quanto ao uso de softwares com *CFD*, o objetivo seria compreender melhor o comportamento do ar na cavidade formada entre o elemento de vedação (interno) e o elemento definido para o revestimento (externo). Com isso, seria possível a exploração de forma muito mais profícua das diferentes tipologias de fachadas ventiladas descritos por Sabrina e Ip (2014), as possibilidades de gerenciamento do fluxo de ar nesta câmara, bem como a otimização dos coeficientes de descarga nas esquadrias e nos pontos de infiltração e exfiltração do ar pela cavidade ventilada. Além disso, é provável que estes programas consigam trabalhar de forma otimizada a combinação dos elementos de climatização artificial (nos ambientes internos) ou mecânica e a ventilação natural (através da fachada ventilada).

Em se tratando de parametrização, seu uso permitirá a avaliação de muitos outros quesitos de forma programada, como a profundidade da câmara de ar, ou a velocidade do fluxo da massa de ar por esta cavidade, a relações entre forma, altura e orientação da edificação, as relações de proporção entre áreas de aberturas e fachadas (*window-wall ratio*). Como o que importa não é a simulação em si, mas as informações que ela carrega e as análises que isto possibilita, a otimização do processo com a exploração simultânea de itens que não necessitem de nova modelagem para que sejam aferidos, oferecerá um salto quantitativo nos resultados. A tendência é de que isto ofereça maior segurança na qualidade das análises.

Além destes dois pontos básicos, outros elementos poderão ser experimentados. Assim como utilizou-se a cerâmica extrudada como revestimento externo no conjunto de simulações para a situação proposta FVO, outros materiais poderiam ser avaliados, como os painéis de fibrocimento, as chapas fenólicas, o porcelanato do tipo *slim* (3mm), ou mesmo placas pétreas, todos disponíveis no mercado nacional. Note-se que, apesar da simulação computacional trabalhar com a frieza dos números, ela possibilita o ingresso do argumento econômico nas discussões estéticas do projeto arquitetônico, libertando os envolvidos das questionáveis opções pessoais.

Quanto ao viés econômico proposto nesta pesquisa, outros dados de entrada, diferentes dos aqui mencionados, poderão ser empregados para análises específicas vinculadas ao custo das decisões projetuais. O principal deles seria a mensuração real sobre o valor do potencial encurtamento do ciclo construtivo ou de mobilização de canteiro de obra em que se possa ter com o emprego de fachadas ventiladas sobre uma situação mais convencional.

Esta pesquisa abordou fachadas ventiladas com juntas seladas, com pontos de tomada de ar na parte inferior do plano externo, e extração de ar em pontos superiores deste conjunto. Entretanto, trabalhos que façam uso de fachadas ventiladas de juntas abertas (*open joints ventilated facades*) – como o de Giancola (2012), poderiam ser interessantes como ponto de partida para novas análises onde o sistema aqui proposto não obteve sucesso. Assim, seria interessante que se pensasse em uma alternativa a só um tipo pré-estabelecido de fachada ventilada para as simulações. Uma versão que considerasse a maior necessidade de "respiração" do envoltório, e que contemplasse o balanço térmico de uma forma mais próxima do comportamento funcional apresentado por nossa pele,

poderia ser melhor explorada, combinando simulação e programação computacionais.

6. Bibliografia

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.721 – Avaliação de custos unitários para incorporação de edifícios – Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2006, 59 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005, 23 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013, 63 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.401 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projetos das instalações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008, 60 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.401 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do Ar Interior.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008, 24 p.

AKSAMIIJA, A. *Context based design of double skin facades – Climatic considerations during the design process.* **Perkins + Will Research Journal**, Atlanta, 01.01, 2009, p.54-69.

AMBIWEB | GMBH. Climate Data, 2015. ISSN USt-IdNR: DE814301444. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

ARONS, D. M. M. **Properties and applications of double-skin facades.** Cambridge: MIT, Massachusetts Institute of Technology, 2000. 273 p. Tese submetida para cumprimento parcial dos requisitos do Mestrado Científico em Tecnologia da Construção.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, R. A. A.-C. E. **ASHRAE Handbook – Fundamentals.** Atlanta: ASHRAE, 2009.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, R. A. A.-C. E. **ASHRAE 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Atlanta: ASHRAE, 2010, 54 p. ISSN 1041-2336.

BALOCCO, C. et al. *A simple model to study ventilated facades energy performance*. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 34, 2002, p. 469-475. ISSN: 0378-7788.

BARKKUME, A. *Innovative Building Skins: Double Glass Wall Ventilated Façade*. **Introduction to Sustainable Design in Architecture**, New Jersey, Research Paper, 2007, 26 p.

BARUTI, M. M. **Energy Efficient Building Technologies in Hot And Humid Climates**. Technical University of Delft – TU Delft. Delft, MSc. Thesis Research, 2009, 96 p.

BOIX, J. et al. **Analysis of the energy performance of a bioclimatic ceramic envelope**. *X Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2008, p. 63-79.

BRANDALISE, M. P. **Análise da sensibilidade do RTQ-C quanto à variação da densidade de carga interna**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PROGRAU da Universidade Federal de Pelotas para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo. Pelotas: UFPel, 2015, 173 p.

BUCHANAN, P. **Renzo Piano Building Workshop – Complete Works, Volume One**. 8th. ed. London: Phaidon, 2007, 242 p. ISBN 978-0-7148-3898-4.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL e IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. versão 01/2016. Disponível em <<http://goo.gl/9NGh2H>>. Acessado em 27 mar. 2016.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Florianópolis: UFSC. 2008, 215 p.

CERDÁ, L. R. et al. **Advantages and conditioning factors of ventilated façades with respect to the Basic Building Requirements (TBC)**. *XI Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2010, p. 1-15.

CIAMPI, M.; LECCESE, F.; TUONI, G. *Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings*. **Solar Energy**, Amsterdam, v. 75, n. 6, 2003, p. 491-502.

CIBSE – THE CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. **Technical Memorandum 41 Degree-Days: Theory and Application**. London: CIBSE, 2006, 106 p. ISBN 978-1-903287-76-7

CIULLA, G.; LO BRANO, V.; MORECI, E. **Degree days and building energy demand**. *Third Southern African Solar Energy Conference - SASEC2015 South Africa*. Kruger National Park, 2015, p. 65-70.

COHEN, J. L.; BENTON, T. **Le Corbusier Le Grand**. 1st Edition. ed. Phaidon, New York, 2008. 768 p.

COMARU, F.; WERNA, E. **The health of workers in selected sectors of the urban economy: Challenges and perspectives**. Organization, International Labour. Geneva. 2013, 28 p. (978-92-2-127041-6).

CORRADO, V.; GORRINO, A.; PADUAS, S. **Energy performance characterisation of vented opaque envelope through simplified methodologies**. *Building Simulation Applications BSA 2013 - 1st IBPSA Italy Conference*. Bolzano: Bozen-Bolzano University Press. 2013. p. 323-332.

CRAWLEY, D. B. et al. *Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs*. **Building and Environment**, Amsterdam, v. 43, n. 4, 2008, p. 661-673. ISSN 0360-1323.

FERNANDEZ, J. A. B. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**. IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Brasília, 2012, p. 42.

GOLDMAN, P. **Introdução ao Planejamento e Controle de Custos na Construção Civil Brasileira**. São Paulo: Pini, 4ªEd, 2004, 180 p. ISBN 85-7266-155-7.

GÖSSEL, P.; LEUTHÄUSSER, G. **Arquitetura no Século XX**. Tradução de Paula Reis e Ana Mendes. Köln: Taschen, 2001, 452 p. ISBN 3-8228-1165-3.

GHAFFARIANHOSEINI, A. et al. *Intelligent facades in low-energy buildings*. **British Journal of Environment and Climate Change**, v. 2, n. 4, out. 2012, p. 437-464. ISSN 2231-4784.

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**, Amsterdam, n. 54, 2012, p. 363-375.

GROAT, L.; WANG, D. **Architectural Research Methods**. 2nd Edition. ed. Wiley, 2013, 480 p.

GUARDIGLI, L. **On Environmental Sustainability of Ventilated Façades in Italy**. *Bologna – Delft Seminar, First Meeting for Knowledge Exchange*. Bologna: [s.n.]. 2005, p. 59-72.

HENNINGER, R. H.; WITTE, M. J. **EnergyPlus testing with building thermal envelope and fabric load tests from ANSI/ASHRAE Standard 140-2007**. U. S. Department of Energy. Washington, 2014, p. 132.

HENSEN, J. L. M; DJUNAEDY, E. **Building simulation for making the invisible visible - air flow in particular**. *Conference Proceedings Energy Efficient Technologies in Indoor Environment en in Proc. IBPSA-NVL Conference*. Ed. Z. Popiolek. - Gliwice/Delft: Politechnika Slaska (Ener-Indoor Centre), 2005, p. 312-324.

IBPSA – International Building Performance Simulation Association. **Building Energy Software Tools**. Disponível em <<http://goo.gl/L3zEog>>. Acessado em 17 fev. 2015.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, RTQ-C**. Anexo da Portaria INMETRO n° 372, Eletrobrás, 2010.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS.
Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília, 2012, p. 42.

JAEWAN, J. et al. *Optimal design of a multi-story double skin facade.* **Energy and Buildings**, Amsterdam, n. 76, 2014, p. 143-150. ISSN 0378-7788.

KALYANOVA, O. **Double-Skin Facade: Modelling and Experimental Investigations of Thermal Performance.** Aalborg: Forskningsbasen.Deff.Dk, *PhD Thesis*, 2008, 212 p.

KOKOGIANAKIS, G.; STRACHAN P. **Modelling of double ventilated façades according to the CEN Standard 13790 method and detailed simulation.** *2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century*, Crete Island, 2007, 547-551 p.

LAMBERTS, R.; BORGSTEIN, E. O. **Benchmarking e Etiquetagem Energética em Uso.** Conselho Brasileiro da Construção Sustentável (CBCS), Apresentação, São Paulo, 2013, 56 p. Disponível em <<http://goo.gl/fgLRQK>>. Acessado em 30 mai. 2016.

LBL – Lawrence Berkeley National Laboratory. **Input Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output.** Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 2015, 1776 p.

LBL – Lawrence Berkeley National Laboratory. **Exporting Berkeley Lab WINDOW 4.1 Spectral Data Text Files from Berkeley Lab WINDOW 5.** Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 2014. s/p. Disponível em <<https://goo.gl/PkrzeC>>. Acessado em 10 fev. 2015.

LEE, E. et al. **High-Performance Commercial Buildings Facades.** Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 2002, 134 p.

LIU, A. W. **Diretrizes para projetos de edifícios de escritórios.** Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia São Paulo: USP, 2010, 249 p.

LONCOUR, X. et al. **Ventilated Double Facades – Classification and illustration of facade concepts.** Limelette: Department of Building Physics, Indoor Climate & Building Services, Belgian Building Research Institute, 2004, 49 p.

LÓPEZ, F. P. et al. *Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated facade.* **Building and Environment**. Amsterdam: v. 56, 2012, 265-275 p.

LOONEN, R. C. G. M. et al. *Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges.* **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 25, 2013, p. 483-493.

MÁLIA, M.; BRITO, J. D.; BRAVO, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, 2001, p. 117-130. ISSN 1678-8621.

MARINOSCI, C. et al. *Empirical validation and modelling of a naturally ventilated rainscreen facade building.* **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 43, 2011, p. 853-863.

MEDEIROS, J. S. ***The Introduction of a ceramic panel ventilated façade system in Brazil: From the idea to the practice.*** XII Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2012, 14 p.

MOE, K. ***Thermally Active Surfaces in Architecture.*** 1st Edition. ed. New York: Princeton Architectural Press, 2010, 244 p. ISBN 978-1-56898-880-1.

NABONI, E. ***Ventilated opaque walls – A performance simulation method and assessment of simulated performance.*** Politecnico di Milano. Berkeley, 2007, 10 p.

NABONI, E.; TARANTINO, S. ***The climate based design of opaque ventilated façades.*** *Advanced Building Skins – Conference Proceedings of the 9th Energy Forum.* Bressanone, 2014, p. 1023-1030. ISBN 978-3-98120537-4.

NIBS – NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. ***High Performance Based Design for the Building Enclosure.*** NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. Washington, 2011, 349 p.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. ***Adaptive Thermal Comfort – Principles and Practice.*** 1st Edition, Ed. Abingdon: Earthscan from Routledge, 2012, 200 p. ISBN 978-0-415-69159-8.

OCHOA, C. E.; CAPELUTO, I. G. ***Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate.*** *Building and Environment*, Amsterdam, v. 43, n. 11, 2008, p. 1829-1839.

OLIVEIRA, L. D. S. ***Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2.*** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PROGRAU da Universidade Federal de Pelotas para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo. Pelotas: UFPEL, 2012, 168 p.

OPENEI – Open Energy Information. ***Meteorology: typical meteorological year data for selected stations in Brazil from NREL.*** Disponível em <<http://goo.gl/IQ8M3T>>. Acessado em 20 mai. 2016.

PIRES, M.O. ***Conforto térmico em ambientes de escritórios naturalmente ventilados:*** Pesquisa de campo na cidade de Florianópolis-SC por meio da abordagem adaptativa. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis: UFSC, 2015, 196 p.

POIRAZIS, H. ***Double Skin Façades for Office Buildings Literature Review.*** 1st Edition. ed. Lund: Institute of Technology, Lund University, 2004, 196 p.

ROCHA, A. P. Fachada Ventilada – Industrial e sem desperdício de resíduos, sistema de fachada com cerâmica extrudada começa a se disseminar em edifícios comerciais. *Téchne*, São Paulo, edição 176, nov. 2011. Disponível em <<http://goo.gl/zf2p2a>>. Acessado em 14 set. 2014.

RUA, M. J.; VIVES, L.; CIVERA, V. ***Approximation to the Calculation of the Energy Efficiency of Ventilated Façades and Their Environmental Impact.*** XI

Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación. 2010. p. 1-15.

SADINENI, S. B.; MADALA, S.; BOEHM, R. F. *Passive building energy savings: A review of building envelope components. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 15, n. 8, out. 2011, p. 3617-3631. ISSN 1364-0321.

SAELENS, D. *Energy performance assessment of single storey multiple-skin facades*. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven, Bouwkunde Laboratorium Bouwfysica, Faculteit Toegepaste Wetenschappen. PhD Thesis, 2002, 286 p.

SAELENS, D.; HENS, H. *Comparison of the energy demand of multiple-skin facades*. *International Building Physics Conference*. Leuven: Swets & Zeitlinger B. V. 2003, p. 503-512.

SIGNOR, R.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. *Regression analysis of electric energy consumption and architectural variables of conditioned commercial buildings in 14 Brazilian cities*. *Seventh International IBPSA Conference - Building Simulation*. Rio de Janeiro: IBPSA, 2001, p. 1373-1380.

SILVA, G. et al. *Study of energy efficiency of ventilated ceramic façades*. XI Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación. 2010, p. 1-14.

SOTO FRANCÉS, V. M. et al. *Modeling of ventilated façades for energy building simulation software*. *Energy and Buildings*, Amsterdam, v. 65, out. 2013, p. 419-428. ISSN 0378-7788.

TOE, D. H. C.; KUBOTA, T. *Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database*. *Frontiers of Architectural Research*, Elsevier, Amsterdam, v. 2, nº 3, set. 2013, p. 278-291. ISSN 2095-2635.

TOM, S. *Managing energy and comfort*. *ASHRAE Journal*, Atlanta: Gale – Academic OneFile, v. 50 (6), jun. 2008, p. 18-26.

TORRES, M.; ALAVEDRA, P.; GUZMÁN, A.; CUERVA, E.; PLANAS, C.; CLEMENTE, R.; ESCALONA, V. *Double skin façades – Cavity and exterior openings dimensions for saving energy on mediterranean climate*. *Tenth International IBPSA Conference - Building Simulation*. Beijing: IBPSA, 2007, p. 198-205.

ULI – URBAN LAND INSTITUTE. *Green Performance Report*. ULI Greenprint Center. Washington, p.70. 2015. Disponível em <<http://goo.gl/jmJ23g>>. Acessado em 1º abr. 2016.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMM. *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. UNEP. Nairobi, p. 631. 2011. (978-92-807-3143-9). Disponível em <<http://goo.gl/QsDyII>>. Acessado em 15 abr. 2015.

VICENTE, Romeu. et al. *Casa Bioclimática NZEB*: Compartilhando experiências para o caso brasileiro, Módulo B1 – Envolvente Opaca e Pontes Térmicas. In: *Disciplina Passive House*, ministrada no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015. Apresentação de slides em format PDF. Disponível em: <<https://goo.gl/kjQ644>>. Acesso em: 16 mai. 2015.

VITRUVIUS, P. **Tratado de Arquitetura**. Tradução de M. Justino Maciel. São Paulo: Martins Fontes, 2007. 556 p. Coleção Todas as Artes.

Anexo A

A1. Fechamentos Verticais Equivalentes

O cálculo do fechamento vertical equivalente pode ser descrito e exemplificado numa sequência bastante simples, e contará com os dados da espessura equivalente e densidade de massa aparente de determinado material heterogêneo convertido em homogêneo neste processo. A partir da transmitância recomendada pela NBR15220-3 (ABNT, 2005), calcula-se a Resistência Total (R_T) e Capacidade Térmica Total (C_T). Descontando-se desta as resistências superficiais interna e externa (ou o duplo valor da interna, conforme a circunstância), obtém-se a Resistência Total do Material (R_t). A partir deste valor, especificando-se os materiais e suas condutividades, calcula-se a espessura equivalente (e_{eq}). Após, utilizando-se as espessura equivalente (e_{eq}) e a Capacidade Térmica (C_T) calculadas, chega-se à densidade equivalente (ρ_{eq}).

A mesma norma brasileira, quando aborda componentes com câmara de ar ventilada, apresenta as condições desta ventilação. Na posição vertical (paredes), as câmaras de ar podem ser muito ou pouco ventiladas. Isso depende da razão adimensional entre a área de aberturas (S , em cm^2) em uma determinada fachada, pelo comprimento desta fachada (L , em m). Se o valor for igual ou maior que 500, diz-se muito ventilada; se for menor, pouco ventilada.

Na condição em que ganha-se calor pela fachada (fluxo de calor é do meio externo em direção ao ambiente), chamada de condição de verão, a resistência térmica na cavidade ventilada (R_{cav}) será igual a da cavidade não ventilada, e obtida por meio de tabela. Na condição em que o fluxo segue o sentido oposto – condição de inverno, perdendo-se calor pela fachada, há dois casos:

– Para a câmara pouco ventilada, a R_{cav} será igual à da câmara não ventilada, e obtida por meio de tabela;

– Para a câmara muito ventilada, desconsidera-se a camada externa à câmara, e a resistência térmica total (R_T) será a soma da resistência do material (R_t) com o valor duplicado da resistência interna (R_{si}).

Calculada a razão S / L , e imaginando-se uma situação onde deve-se atentar apenas para o fluxo de calor ditado por uma das faces do envoltório, é mais simples supor a situação de inverno ou de verão. Entretanto, no estudo aqui realizado há uma fonte interna que contribui de maneira intensa nas condições do balanço térmico ao longo das horas do dia.

O fluxo energético não apresenta uma resposta regular que permita uma análise estanque de que em tal período do ano o fluxo de calor entra no ambiente, noutra este fluxo saia. Isto ocorre de maneira diversa ao longo dos dias, semanas, meses, mesmo em períodos mais quentes ou mais frios. Desta forma, opta-se por determinar um cálculo único para a definição das propriedades físicas dos componentes do sistema proposto de fachada ventilada opaca (FVO), mas empregam-se estes dados no modelo a ser simulado com uma variante que lhe aproxima das condições previstas na norma (ABNT, 2005, parte 3, item 5.3).

A2. Cálculo FVO | Modelo Físico

a) Resistência Térmica da Parede com o sistema FVO

Segundo o item 5.3.1 da NBR 15220 (ABNT, 2005), se a razão $S / L \geq 500$, então a condição de ventilação da câmara de ar é muito ventilada. Em condições de VERÃO (ganho de calor), para a câmara muito ventilada tem-se a R_{ar} igual a da câmara não ventilada (valor obtido na Tab. B.1 da NBR 15220, conforme a profundidade do vão e o sentido do fluxo de calor).

Onde:

S = área total de abertura de ventilação, em cm^2

L = comprimento da parede, em m

Assim, tem-se:

$S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = 22.000,00\text{cm}^2$ (FVO nas faces Norte e Sul)

$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = 7,90\text{m}$

$S_{1...4} / L_{1...4} = 2784,81$, indicando que a fachada é MUITO ventilada, e também,

$S_5 = S_6 = 352.000,00 \text{ cm}^2$ (FVO nas faces Leste e Oeste)

$L_5 = L_6 = 12,20$

$S_{5...6} / L_{5...6} = 28.852,46$, indicando que a fachada é MUITO ventilada (atende a razão $S / L \geq 500$).

Esta informação está empregada no cálculo da versão do modelo geométrico (**Anexo A3**) posteriormente apresentado. Aqui está o cálculo do modelo real independente dos requisitos expressos na NBR 15220.

Seção A (cerâmica extrudada + ar cavidade + barreira de vapor + argamassa assentamento + argamassa revestimento):

$$A_{a1} = 0,01 \times 0,39 = 0,0039$$

$$A_{a2} = 0,01 \times 0,20 = 0,002$$

$$A_a = 0,0059\text{m}^2$$

Então:

$$R_a = R_{cer \text{ ext}} + R_{ar \text{ cav}} + R_{bar} + R_{arg \text{ ass}} + R_{arg \text{ rvst}} =$$

$$R_a = 0,0152 + 0,1700 + 0,0010 + (0,09 / 1,15) + (0,025 / 1,15) = 0,0152 + 0,1700 + 0,0010 + 0,0783 + 0,0217$$

$$R_a = 0,2862\text{m}^2.\text{K/W}$$

Seção B (cerâmica extrudada + ar cavidade + barreira de vapor + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{b1} = 0,025 \times 0,19 \times 3 = 0,01425$$

$$A_b = 0,01425\text{m}^2$$

Então:

$$R_b = R_{\text{cer ext}} + R_{\text{ar cav}} + R_{\text{bar}} + R_{\text{blc}} + R_{\text{arg rvst}}$$

$$R_b = 0,0152 + 0,1700 + 0,0010 + (0,09 / 1,75) + (0,025 / 1,15) = 0,0152 + 0,1700 + 0,0010 + 0,0514 + 0,0217$$

$$R_b = 0,2594\text{m}^2.\text{K/W}$$

Seção C (cerâmica extrudada + ar cavidade + barreira de vapor + bloco de concreto + ar + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{c1} = 0,1575 \times 0,19 \times 2 = 0,05985$$

$$A_c = 0,0599\text{m}^2$$

Então:

$$R_c = R_{\text{cer ext}} + R_{\text{ar cav}} + R_{\text{bar}} + R_{\text{blc}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{blc}} + R_{\text{arg rvst}}$$

$$R_c = 0,0152 + 0,1700 + 0,0010 + (0,025 / 1,75) + (0,16 / 1,00) + (0,025 / 1,75) + (0,025 / 1,15)$$

$$R_c = 0,0152 + 0,1700 + 0,0010 + 0,0143 + 0,1600 + 0,0143 + 0,0217$$

$$R_c = 0,3965\text{m}^2.\text{K/W}$$

Logo, a Resistência Térmica da parede corresponde:

$$R_t = (A_a + A_b + A_c) / (A_a / R_a) + (A_b / R_b) + (A_c / R_c)$$

$$\bullet (A_a + A_b + A_c) = 0,0059 + 0,01425 + 0,05985 = 0,0800\text{m}^2$$

$$\bullet (A_a / R_a) = 0,0059 / 0,1010 = 0,058415842$$

$$\bullet (A_b / R_b) = 0,01425 / 0,0742 = 0,19213215$$

$$\bullet (A_c / R_c) = 0,05985 / 0,2113 = 0,283232415$$

$$R_t = 0,08 / 0,226472703$$

$$\mathbf{R_t = 0,3532\text{m}^2.\text{K/W}}$$

Este é o valor de Resistência do material (R_{mat}). Ao R_{mat} , acrescentam-se as resistências superficial interna (R_{si}) e superficial externa (R_{se}), obtidas por tabelas da Norma, para chegar ao R_T . Como a parede da fachada ventilada opaca é exterior, usam-se os valores combinados de R_{si} e R_{se} .

b) Resistência Térmica Total | R_T = resistência térmica dos componentes
[m².K/W]

Considerando-se, para efeitos do modelo geométrico desenvolvido, tratar-se de uma "parede interna", tem-se:

$$R_{se} = 0,04 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0,04 + 0,1499 + 0,13$$

$$\mathbf{R_T = 0,5232 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

c) Transmitância Térmica Total | U_T = transmitância térmica dos componentes [W/m².K]

Como este valor é o inverso ao da resistência encontrado, tem-se:

$$U = 1 / R_{T \text{ int}}$$

$$\mathbf{U_T = 1,91 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

d) Capacidade Térmica Total da Parede

Seção A (cerâmica extrudada + ar cavidade + barreira de vapor + argamassa assentamento + argamassa revestimento):

$$A_{a1} = 0,01 \times 0,39 = 0,0039$$

$$A_{a2} = 0,01 \times 0,20 = 0,002$$

$$A_a = 0,0059 \text{m}^2$$

Então:

$$C_{Ta} = C_{T \text{ cer ext}} + C_{T \text{ ar cav}} + C_{T \text{ bar}} + C_{T \text{ arg assent}} + C_{T \text{ arg rvst}}$$

$$C_{Ta} = (e \times c \times \rho)_{\text{cer ext}} + 0,00 + (e \times c \times \rho)_{\text{arg}} + (e \times c \times \rho)_{\text{arg rvst}} = 31,40 + 0,00 + 0,00 + 180,00 + 50,00 = 261,40 \text{kJ/m}^2 \cdot \text{K}$$

Seção B (cerâmica extrudada + ar cavidade + barreira de vapor + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{b1} = 0,025 \times 0,19 \times 3 = 0,01425$$

$$A_b = 0,01425 \text{m}^2$$

Então:

$$C_{Tb} = C_{T \text{ cer ext}} + C_{T \text{ ar cav}} + C_{T \text{ bar}} + C_{T \text{ blc}} + C_{T \text{ arg rvst}}$$

$$C_{Tb} = (e \times c \times \rho)_{\text{cer ext}} + 0,00 + 0,00 + (e \times c \times \rho)_{\text{blc}} + (e \times c \times \rho)_{\text{arg rvst}} = 31,40 + 0,00 + 0,00 + 207,00 + 50,00 = 288,40 \text{kJ/m}^2 \cdot \text{K}$$

Seção C (cerâmica extrudada + ar cavidade + barreira de vapor + bloco de concreto + ar + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{c1} = 0,1575 \times 0,19 \times 2 = 0,05985$$

$$A_c = 0,0599\text{m}^2$$

Então:

$$C_{Tc} = C_{T\text{ cer ext}} + C_{T\text{ ar cav}} + C_{T\text{ bar}} + C_{T\text{ blc}} + C_{T\text{ ar blc}} + C_{T\text{ blc}} + C_{T\text{ arg rvst}}$$

$$C_{Tc} = (e \times c \times \rho)_{\text{cer ext}} + 0,00 + 0,00 + (e \times c \times \rho)_{\text{blc par}} + 0,00 + (e \times c \times \rho)_{\text{blc par}} + (e \times c \times \rho)_{\text{arg rvst}}$$

$$C_{Tc} = 31,40 + 0,00 + 0,00 + 57,50 + 0,00 + 57,50 + 50,00 = 165,00\text{kJ/m}^2.\text{K}$$

Logo, a Capacidade Térmica (C_T) da parede corresponde:

$$C_T = (A_a + A_b + A_c) / (A_a / C_{Ta}) + (A_b / C_{Tb}) + (A_c / C_{Tc})$$

$$\bullet (A_a + A_b + A_c) = 0,0059 + 0,01425 + 0,05985 = 0,0800\text{m}^2$$

$$\bullet (A_a / C_{Ta}) = 0,0059 / 261,40 = 0.000022571$$

$$\bullet (A_b / C_{Tb}) = 0,01425 / 288,40 = 0.000049410$$

$$\bullet (A_c / C_{Tc}) = 0,05985 / 196,40 = 0.000304732$$

$$C_T = 0,08 / 0,000376713$$

$$\mathbf{C_T = 212,36/m^2.K}$$

e) Cálculo da Espessura Equivalente (e_{eq})

Se fosse possível manter-se o modelo físico na simulação, a parede externa do sistema proposto FVO seria a conversão de uma parede heterogênea em uma outra com elementos homogêneos, considerando-se:

$$R_t = 0,5232 - 0,04 - 0,13$$

$$R_{t\text{ ext}} = 0,3532\text{m}^2.\text{K/W}$$

$R_{ar} = 0,14\text{m}^2.\text{K/W}$ (o menor valor possível para o núcleo vazado dos blocos, de forma a obter-se um valor acima de zero para a e_{eq})

Seção Única (cerâmica extrudada + ar cavidade + barreira de vapor + bloco de concreto + ar + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$R_t = R_{\text{cer ext}} + R_{\text{ar cav}} + R_{\text{bar}} + R_{\text{blc}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{blc}} + R_{\text{arg rvst}}$$

$$R_t = 0,0152 + 0,1400 + 0,0010 + (e_{eq} / 1,75) + 0,1400 + (e_{eq} / 1,75) + 0.0217$$

$$0,3532 = 0,3138 + 2 \times (e_{eq} / 1,75)$$

$$0,0617 = 2 \times e_{eq}$$

$$e_{eq} = 0,0309m$$

f) Cálculo da Densidade Equivalente (ρ_{eq})

Para efeito da homogeneização do componente "bloco de concreto" na parede externa do sistema proposto FVO, há necessidade da determinação do valor da densidade equivalente no componente "bloco de concreto".

Assim, considerando-se:

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

e – espessura (m)

c – calor específico ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$)

ρ – densidade de massa aparente (kg/m^3)

e_{eq} – espessura equivalente (m)

ρ_{eq} – densidade de massa aparente equivalente (kg/m^3)

Tem-se:

$$C_T = (e \times c \times \rho)_{cer \text{ ext}} + (e \times c \times \rho)_{ar \text{ cav}} + (e \times c \times \rho)_{bar} + [(e_{eq} \times c) \times \rho_{eq}]_{blc} + (e \times c \times \rho)_{ar} + [(e_{eq} \times c) \times \rho_{eq}]_{blc} + (e \times c \times \rho)_{arg \text{ rvst}}$$

$$CT = 31,40 + 0,00 + 0,00 + (0,0309 \times \rho_{eq}) + 0,00 + (0,0309 \times \rho_{eq}) + 50,00$$

$$212,36 = 81,40 + (0,0309 \times \rho_{eq}) \times 2$$

$$65,48 = 0,0309 \times \rho_{eq}$$

$$\rho_{eq} = 2.122,20\text{kg/m}^3$$

A3. Cálculo FVO | Modelo Geométrico E+

a) Resistência Térmica da Parede (Interior Wall) da FVO que faz divisa com as zonas térmicas das salas de escritório

Segundo o item 5.3.1 da NBR 15220 (ABNT, 2005), se a razão $S/L \geq 500$, então a condição de ventilação da câmara de ar é muito ventilada. Em condições de

VERÃO (ganho de calor), para a câmara muito ventilada tem-se a R_{ar} igual a da câmara não ventilada (valor obtido na Tab. B.1 da NBR 15220, conforme a profundidade do vão e o sentido do fluxo de calor).

$$S / L \geq 500$$

Onde:

S = área total de abertura de ventilação, em cm^2

L = comprimento da parede, em m

Seção A (barreira de vapor + argamassa assentamento + argamassa revestimento):

$$A_{a1} = 0,01 \times 0,39 = 0,0039$$

$$A_{a2} = 0,01 \times 0,20 = 0,002$$

$$A_a = 0,0059\text{m}^2$$

Então:

$$R_a = R_{bar} + R_{arg\ ass} + R_{arg\ rvst} = 0,0010 + (0,09 / 1,15) + (0,025 / 1,15) = 0,0010 + 0,0783 + 0,0217$$

$$R_a = 0,1010\text{m}^2.\text{K/W}$$

Seção B (barreira de vapor + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{b1} = 0,025 \times 0,19 \times 3 = 0,01425$$

$$A_b = 0,01425\text{m}^2$$

Então:

$$R_b = R_{bar} + R_{b1c} + R_{arg\ rvst}$$

$$R_b = 0,0010 + (0,09 / 1,75) + (0,025 / 1,15) = 0,0010 + 0,0514 + 0,0217$$

$$R_b = 0,0742\text{m}^2.\text{K/W}$$

Seção C (barreira de vapor + bloco de concreto + ar + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{c1} = 0,1575 \times 0,19 \times 2 = 0,05985$$

$$A_c = 0,0599\text{m}^2$$

Então:

$$R_c = R_{bar} + R_{b1c} + R_{ar} + R_{b2c} + R_{arg\ rvst}$$

$$R_c = 0,0010 + (0,025 / 1,75) + (0,16 / 1,00) + (0,025 / 1,75) + (0,025 / 1,15)$$

$$R_c = 0,0010 + 0,0143 + 0,1600 + 0,0143 + 0,0217$$

$$R_c = 0,2113\text{m}^2.\text{K/W}$$

Logo, a Resistência Térmica da parede corresponde:

$$R_t = (A_a + A_b + A_c) / (A_a / R_a) + (A_b / R_b) + (A_c / R_c)$$

$$\bullet (A_a + A_b + A_c) = 0,0059 + 0,01425 + 0,05985 = 0,0800\text{m}^2$$

$$\bullet (A_a / R_a) = 0,0059 / 0,1010 = 0,058415842$$

$$\bullet (A_b / R_b) = 0,01425 / 0,0742 = 0,19213215$$

$$\bullet (A_c / R_c) = 0,05985 / 0,2113 = 0,283232415$$

$$R_t = 0,08 / 0,533780407$$

$$\mathbf{R_t = 0,1499\text{m}^2.\text{K/W}}$$

Este é o valor de Resistência do material (R_{mat}). Ao R_{mat} , acrescentam-se as resistências superficial interna (R_{si}) e superficial externa (R_{se}), obtidas por tabelas da Norma, para chegar ao R_T . Toma-se o R_{si} duas vezes se parede for interna, e uma vez R_{si} mais uma vez R_{se} se a parede for externa.

b) Resistência Térmica Total | R_T = resistência térmica dos componentes
[$\text{m}^2.\text{K/W}$]

Considerando-se, para efeitos do modelo geométrico desenvolvido, tratar-se de uma "parede interna", tem-se:

$$R_{se} = 0,04\text{m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13\text{m}^2.\text{K/W}$$

$$R_T = R_t + (2 \times R_{si}) = 0,1499 + (2 \times 0,13)$$

$$\mathbf{R_{T\ int} = 0,4099\text{m}^2.\text{K/W}}$$

c) Transmitância Térmica Total | U_T = transmitância térmica dos componentes [$\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$]

Como este valor é o inverso ao da resistência encontrado, tem-se:

$$U = 1 / R_{T\ int}$$

$$\mathbf{U_{T\ int} = 2,44\text{W}/\text{m}^2.\text{K}}$$

Este será o valor considerado para o cálculo da espessura equivalente (e_{eq}) do bloco de concreto para inserção no campo dos materiais no arquivo do *EnergyPlus*, conforme observado mais adiante, no item "e".

d) Capacidade Térmica Total da Parede

Seção A (barreira de vapor + argamassa assentamento + argamassa revestimento):

$$A_{a1} = 0,01 \times 0,39 = 0,0039$$

$$A_{a2} = 0,01 \times 0,20 = 0,002$$

$$A_a = 0,0059\text{m}^2$$

Então:

$$C_{Ta} = C_{T \text{ bar}} + C_{T \text{ arg assent}} + C_{T \text{ arg rvst}}$$

$$C_{Ta} = 0,00 + (e \times c \times \rho)_{\text{arg}} + (e \times c \times \rho)_{\text{arg rvst}} = 0,00 + 180,00 + 50,00 = 230,00\text{kJ/m}^2.\text{K}$$

Seção B (barreira de vapor + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{b1} = 0,025 \times 0,19 \times 3 = 0,01425$$

$$A_b = 0,01425\text{m}^2$$

Então:

$$C_{Tb} = C_{T \text{ bar}} + C_{T \text{ blc}} + C_{T \text{ arg rvst}}$$

$$C_{Tb} = 0,00 + (e \times c \times \rho)_{\text{blc}} + (e \times c \times \rho)_{\text{arg rvst}} = 0,00 + 207,00 + 50,00 = 257,00\text{kJ/m}^2.\text{K}$$

Seção C (barreira de vapor + bloco de concreto + ar + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{c1} = 0,1575 \times 0,19 \times 2 = 0,05985$$

$$A_c = 0,0599\text{m}^2$$

Então:

$$C_{Tc} = C_{T \text{ bar}} + C_{T \text{ blc}} + C_{T \text{ ar blc}} + C_{T \text{ blc}} + C_{T \text{ arg rvst}}$$

$$C_{Tc} = 0,00 + (e \times c \times \rho)_{\text{blc par}} + 0,00 + (e \times c \times \rho)_{\text{blc par}} + (e \times c \times \rho)_{\text{arg rvst}}$$

$$C_{Tc} = 0,00 + 57,50 + 0,00 + 57,50 + 50,00 = 165,00\text{kJ/m}^2.\text{K}$$

Logo, a Capacidade Térmica (C_T) da parede corresponde:

$$C_T = (A_a + A_b + A_c) / (A_a / C_{Ta}) + (A_b / C_{Tb}) + (A_c / C_{Tc})$$

$$\bullet (A_a + A_b + A_c) = 0,0059 + 0,01425 + 0,05985 = 0,0800\text{m}^2$$

$$\bullet (A_a / C_{Ta}) = 0,0059 / 230,00 = 0.000025652$$

$$\bullet (A_b / C_{Tb}) = 0,01425 / 257,00 = 0.000055447$$

$$\bullet (A_c / C_{Tc}) = 0,05985 / 165,00 = 0.000362727$$

$$C_T = 0,08 / 0,000443827$$

$$\mathbf{C_T = 180,25\text{kJ/m}^2.\text{K}}$$

Este será o valor considerado para o cálculo da densidade equivalente (ρ_{eq}) do bloco de concreto para inserção no campo dos materiais no arquivo do *EnergyPlus*, conforme observado mais adiante, no item "f".

e) Cálculo da Espessura Equivalente (e_{eq})

Para efeitos do modelo geométrico da simulação, a parede externa do sistema proposto FVO foi convertida em uma zona térmica (ZT) independente das salas de escritórios. Assim, tem-se um modelo com uma parede externa constituída apenas pelo elemento de revestimento do sistema: a cerâmica extrudada. Os demais componentes do sistema proposto constituem a parede de contato entre a ZT da FVO com as ZTs das salas. Para o programa de simulação ela é uma parede interna, desprovida tanto do revestimento cerâmico como da cavidade de ar.

Retornando à resistência térmica dos componentes ($m^2.K/W$), observa-se que, para obtenção de uma parede heterogênea convertida em uma outra com elementos homogêneos, tem-se:

$$R_t = 0,4099 - 0,04 - 0,13$$

$$R_{t\ ext} = 0,2399m^2.K/W$$

$R_{ar} = 0,14m^2.K/W$ (o menor valor possível para o núcleo vazado dos blocos, de forma a obter-se um valor acima de zero para a e_{eq})

Seção Única (barreira de vapor + bloco de concreto + ar + bloco de concreto + reboco):

$$R_t = R_{bar} + R_{blc} + R_{ar} + R_{blc} + R_{arg\ rvst}$$

$$R_t = 0,0010 + (e_{eq} / 1,75) + 0,1400 + (e_{eq} / 1,75) + 0,0217$$

$$0,2399 = 0,1627 + 2 \times (e_{eq} / 1,75)$$

$$0,1350 = 2 \times e_{eq}$$

$$\mathbf{e_{eq} = 0,0675m}$$

f) Cálculo da Densidade Equivalente (ρ_{eq})

Novamente, para efeitos do modelo geométrico da simulação, há necessidade da inserção do valor da densidade equivalente no componente "bloco de concreto", obtendo-se a conversão de uma parede heterogênea em uma outra com seus elementos constitutivos dispostos de forma homogênea.

Considerando-se:

C_T – Capacidade Térmica do componente ($kJ/m^2.K$)

e – espessura (m)

c – calor específico ($kJ/kg.K$)

ρ – densidade de massa aparente (kg/m^3)

e_{eq} – espessura equivalente (m)

ρ_{eq} densidade de massa aparente equivalente (kg/m^3)

Tem-se:

$$C_T = (e \times c \times \rho)_{bar} + [(e_{eq} \times c) \times \rho_{eq}]_{b1c} + (e \times c \times \rho)_{ar} + [(e_{eq} \times c) \times \rho_{eq}]_{b1c} + (e \times c \times \rho)_{arg \text{ rvst}}$$

$$C_T = 0,00 + (0,0675 \times \rho_{eq}) + 0,00 + (0,0675 \times \rho_{eq}) + 50,00$$

$$180,25 = 50,00 + (0,0675 \times \rho_{eq}) \times 2$$

$$65,13 = 0,0675 \times \rho_{eq}$$

$$\rho_{eq} = \mathbf{964,91 \text{ kg/m}^3}$$

A4. Cálculo PAD | Modelo Geométrico E+

a) Resistência Térmica da Parede (Exterior Wall) da PAD das salas de escritório

Seção A (argamassa revestimento + argamassa assentamento. + argamassa revestimento):

$$A_{a1} = 0,01 \times 0,39 = 0,0039$$

$$A_{a2} = 0,01 \times 0,20 = 0,002$$

$$A_a = 0,0059 \text{ m}^2$$

Então:

$$R_a = R_{arg \text{ rvst}} + R_{arg \text{ ass}} + R_{arg \text{ rvst}} = (0,025 / 1,15) + (0,19 / 1,15) + (0,025 / 1,15) \\ = 0,0217 + 0,1652 + 0,0217$$

$$R_a = 0,2087 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Seção B (argamassa revestimento + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{b1} = 0,032 \times 0,19 \times 3 = 0,01824$$

$$A_b = 0,01824\text{m}^2$$

Então:

$$R_b = R_{\text{arg rvst}} + R_{\text{blc}} + R_{\text{arg rvst}}$$

$$R_b = (0,025 / 1,15) + (0,19 / 1,75) + (0,025 / 1,15) = 0,0217 + 0,1086 + 0,0217$$

$$R_b = 0,1520\text{m}^2.\text{K/W}$$

Seção C (argamassa revestimento + parede do bloco de concreto + ar + parede do bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{c1} = 0,1470 \times 0,19 \times 2 = 0,0599$$

$$A_c = 0,0599\text{m}^2$$

Então:

$$R_c = R_{\text{arg rvst}} + R_{\text{par blc}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{par blc}} + R_{\text{arg rvst}}$$

$$R_c = (0,025 / 1,15) + (0,032 / 1,75) + (0,16 / 1,00) + (0,032 / 1,75) + (0,025 / 1,15)$$

$$R_c = 0,0217 + 0,0183 + 0,1600 + 0,0183 + 0,0217$$

$$R_c = 0,2400\text{m}^2.\text{K/W}$$

Logo, a Resistência Térmica da parede corresponde:

$$R_t = (A_a + A_b + A_c) / (A_a / R_a) + (A_b / R_b) + (A_c / R_c)$$

$$\bullet (A_a + A_b + A_c) = 0,0059 + 0,01824 + 0,05586 = 0,0800\text{m}^2$$

$$\bullet (A_a / R_a) = 0,0059 / 0,2087 = 0,028270833$$

$$\bullet (A_b / R_b) = 0,01824 / 0,1520 = 0,119960784$$

$$\bullet (A_c / R_c) = 0,05586 / 0,2400 = 0,232701822$$

$$R_t = 0,08 / 0,380933439$$

$$\mathbf{R_t = 0,2100\text{m}^2.\text{K/W}}$$

Este é o valor de Resistência do material (R_{mat}). Ao R_{mat} , acrescentam-se as resistências superficial interna (R_{si}) e superficial externa (R_{se}), obtidas por tabelas da Norma, para chegar ao R_T .

b) Resistência Térmica Total | R_T = resistência térmica dos componentes [$\text{m}^2.\text{K/W}$]

No envoltório tradicional PAD, para efeitos do modelo geométrico desenvolvido, trata-se de uma "parede externa" construída de maneira convencional, onde tem-se:

$$R_{se} = 0,04\text{m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13\text{m}^2.\text{K/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0,04 + 0,2100 + 0,13$$

$$\mathbf{R_{T\ ext} = 0,3800\text{m}^2.\text{K/W}}$$

c) Transmitância Térmica Total | U_T = transmitância térmica dos componentes [$\text{W/m}^2.\text{K}$]

Como este valor é o inverso ao da resistência encontrado, tem-se:

$$U = 1 / R_{T\ ext}$$

$$\mathbf{U_{T\ ext} = 2,63\text{W/m}^2.\text{K}}$$

Este será o valor considerado para o cálculo da espessura equivalente (e_{eq}) do bloco de concreto para inserção no campo dos materiais no arquivo do envoltório tradicional PAD no *EnergyPlus*, conforme observado mais adiante, no item "e".

d) Capacidade Térmica Total da Parede

Seção A (argamassa revestimento + argamassa assentamento + argamassa revestimento):

$$A_{a1} = 0,01 \times 0,39 = 0,0039$$

$$A_{a2} = 0,01 \times 0,20 = 0,002$$

$$A_a = 0,0059\text{m}^2$$

Então:

$$C_{Ta} = C_{T\ arg\ rvst} + C_{T\ arg\ assent} + C_{T\ arg\ rvst}$$

$$C_{Ta} = (e \times c \times \rho)_{arg\ rvst} + (e \times c \times \rho)_{arg} + (e \times c \times \rho)_{arg\ rvst} = 50,00 + 380,00 + 50,00 = 480,00\text{kJ/m}^2.\text{K}$$

Seção B (argamassa revestimento + bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{b1} = 0,19 \times 0,032 \times 3 = 0,01824$$

$$A_b = 0,01824\text{m}^2$$

Então:

$$C_{Tb} = C_{T\ arg\ rvst} + C_{T\ blc} + C_{T\ arg\ rvst}$$

$$C_{Tb} = (e \times c \times \rho)_{arg\ rvst} + (e \times c \times \rho)_{blc} + (e \times c \times \rho)_{arg\ rvst} = 50,00 + 437,00 + 50,00 = 537,00\text{kJ/m}^2.\text{K}$$

Seção C (argamassa revestimento + parede do bloco de concreto + ar + parede do bloco de concreto + argamassa revestimento):

$$A_{c1} = 0,19 \times 0,147 \times 2 = 0,05586$$

$$A_c = 0,05586\text{m}^2$$

Então:

$$C_{Tc} = C_{T \text{ arg rvst}} + C_{T \text{ blc}} + C_{T \text{ ar blc}} + C_{T \text{ blc}} + C_{T \text{ arg rvst}}$$

$$C_{Tc} = (e \times c \times \rho)_{\text{arg rvst}} + (e \times c \times \rho)_{\text{blc par}} + 0,00 + (e \times c \times \rho)_{\text{blc par}} + (e \times c \times \rho)_{\text{arg}}$$

rvst

$$C_{Tc} = 50,00 + 73,60 + 0,00 + 73,60 + 50,00 = 247,20\text{kJ/m}^2.\text{K}$$

Logo, a Capacidade Térmica (C_T) da parede corresponde:

$$C_T = (A_a + A_b + A_c) / (A_a / C_{Ta}) + (A_b / C_{Tb}) + (A_c / C_{Tc})$$

$$\bullet (A_a + A_b + A_c) = 0,0059 + 0,01824 + 0,05586 = 0,0800\text{m}^2$$

$$\bullet (A_a / C_{Ta}) = 0,0059 / 480,00 = 1,22917\text{E-}05$$

$$\bullet (A_b / C_{Tb}) = 0,01824 / 537,00 = 3,39665\text{E-}05$$

$$\bullet (A_c / C_{Tc}) = 0,05586 / 247,20 = 0,000225971$$

$$C_T = 0,08 / 0,000272229$$

$$\mathbf{C_T = 293,87\text{kJ/m}^2.\text{K}}$$

Este será o valor considerado para o cálculo da densidade equivalente (ρ_{eq}) do bloco de concreto para inserção no campo dos materiais no arquivo do envoltório tradicional PAD no *EnergyPlus*, conforme observado mais adiante, no item "f".

e) Cálculo da Espessura Equivalente (e_{eq})

Retornando à resistência térmica dos componentes ($\text{m}^2.\text{K/W}$), observa-se que, para obtenção de uma parede externa heterogênea convertida em uma outra com elementos homogêneos, tem-se:

$$R_T = R_{se} + R_{t \text{ ext}} + R_{si}$$

$$R_{t \text{ ext}} = R_T - 0,04 - 0,13 = 0,3800 - 0,04 - 0,13$$

$$R_{t \text{ ext}} = 0,2100\text{m}^2.\text{K/W}$$

$R_{ar} = 0,1400\text{m}^2.\text{K/W}$ (o menor valor possível para o núcleo vazado dos blocos, de forma a obter-se um valor acima de zero para a e_{eq})

Seção Única (argamassa de revestimento + bloco de concreto + ar + bloco de concreto + argamassa de revestimento):

$$R_t = R_{\text{arg rvst}} + R_{\text{blc}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{blc}} + R_{\text{arg rvst}}$$

$$R_t = 0,0217 + (e_{eq} / 1,75) + 0,1400 + (e_{eq} / 1,75) + 0,0217$$

$$0,2100 = 0,1835 + 2 \times (e_{eq} / 1,75)$$

$$0,0464 = 2 \times e_{eq}$$

$$e_{eq} = \mathbf{0,0232m}$$

f) Cálculo da Densidade Equivalente (ρ_{eq})

Novamente, para efeitos do modelo geométrico da simulação, há necessidade da inserção do valor da densidade equivalente no componente "bloco de concreto", obtendo-se a conversão de uma parede externa heterogênea em uma outra com seus elementos constitutivos dispostos de forma homogênea.

Considerando-se:

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

e – espessura (m)

c – calor específico ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$)

ρ – densidade de massa aparente (kg/m^3)

e_{eq} – espessura equivalente (m)

ρ_{eq} densidade de massa aparente equivalente (kg/m^3)

Tem-se:

$$C_T = (e \times c \times \rho)_{arg\ rvst} + [(e_{eq} \times c) \times \rho_{eq}]_{blc} + (e \times c \times \rho)_{ar} + [(e_{eq} \times c) \times \rho_{eq}]_{blc} + (e \times c \times \rho)_{arg\ rvst}$$

$$CT = 50,00 + (0,0232 \times \rho_{eq}) + 0,00 + (0,0232 \times \rho_{eq}) + 50,00$$

$$293,87 = 100,00 + (0,0232 \times \rho_{eq}) \times 2$$

$$96,94 = 0,0232 \times \rho_{eq}$$

$$\rho_{eq} = \mathbf{4175,42\text{kg/m}^3}$$

A5. Cálculo PADeq | Modelo Geométrico E+

Os dados desta parede externa servem de contraprova ao que for apurado pelo arquivo com o sistema proposto FVO. Portanto, partirá dos mesmos valores de transmitância térmica (U_{value}) e densidade equivalente (ρ_{eq}) registrados pelo modelo físico da FVO (e não o geométrico) para o cálculo da espessura equivalente (e_{eq}) e da densidade equivalente (ρ_{eq}) do bloco de concreto, aplicados à versão do envoltório tradicional PAD.

Assim:

$$U_T = 1,91 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \text{ (transmitância térmica da situação proposta FVO)}$$

$$R_T = 1 / U_T$$

$$R_T = 0,5236 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

a) Cálculo da Espessura Equivalente (e_{eq})

Retornando à resistência térmica dos componentes ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$), observa-se que, para obtenção de uma parede externa heterogênea convertida em uma outra com elementos homogêneos, tem-se:

$$R_T = R_{se} + R_{t \text{ ext}} + R_{si}$$

$$R_{t \text{ ext}} = R_T - 0,04 - 0,13 = 0,5236 - 0,04 - 0,13$$

$$R_{t \text{ ext}} = 0,3536 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$R_{ar \text{ pad}} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (desta vez emprega-se o maior valor possível para a resistência do ar de forma que não se obtenha um valor muito exagerado para a espessura equivalente do componente que se deseja encontrar)

Seção Única (cerâmica extrudada + ar cavidade + argamassa de revestimento + bloco de concreto + ar + bloco de concreto + argamassa de revestimento):

$$R_{t \text{ ext}} = R_{arg \text{ rvst}} + R_{blc} + R_{ar} + R_{blc} + R_{arg \text{ rvst}}$$

$$R_{t \text{ ext}} = 0,0217 + (e_{eq} / 1,75) + 0,1700 + (e_{eq} / 1,75) + 0,0217$$

$$0,3536 = 0,2135 + 2 \times (e_{eq} / 1,75)$$

$$0,2451 = 2 \times e_{eq}$$

$$e_{eq} = \mathbf{0,1226 \text{ m}}$$

b) Cálculo da Densidade Equivalente (ρ_{eq})

Novamente, para efeitos do modelo geométrico da simulação, há necessidade da inserção do valor da densidade equivalente no componente "bloco de concreto", obtendo-se a conversão de uma parede externa heterogênea em uma outra com seus elementos constitutivos dispostos de forma homogênea.

Considerando-se:

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

e – espessura (m)

c – calor específico ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$)

ρ – densidade de massa aparente (kg/m^3)

e_{eq} – espessura equivalente (m)

ρ_{eq} – densidade de massa aparente equivalente (kg/m^3)

Tem-se:

$$C_T = (e \times c \times \rho)_{arg\ rvst} + [(e_{eq} \times c) \times \rho_{eq}]_{blc} + (e \times c \times \rho)_{ar} + [(e_{eq} \times c) \times \rho_{eq}]_{blc} + (e \times c \times \rho)_{arg\ rvst}$$

$$C_T = 50,00 + (0,1226 \times \rho_{eq}) + 0,00 + (0,1226 \times \rho_{eq}) + 50,00$$

$$212,36 = 100,00 + (0,1226 \times \rho_{eq}) \times 2$$

$$56,18 = 0,0232 \times \rho_{eq}$$

$$\rho_{eq} = 458,35 \text{ kg/m}^3$$

Anexo B

B1. Balanço Energético

A série com as tabelas a seguir apresenta, de forma numérica (em GJ e kW.h), o balanço energético das situações analisadas (FVO e PAD), discriminando para cada modelo, em cada zona bioclimática:

- A zona térmica;
- Ganhos de calor sensível pelo ar e pelo equipamento de climatização da zona térmica;
- Perdas de calor sensível pelo ar e pelo equipamento de climatização da zona térmica;
- Ganho de calor sensível das pessoas;
- Ganho de calor sensível da iluminação;
- Ganho de calor sensível dos equipamentos;
- Ganho de calor pelas janelas;
- Ganho de calor por infiltração;
- Ganho de calor pelas superfícies opacas e outras fontes, por condução;
- Perda de calor pelas janelas;
- Perda de calor por infiltração;
- Perda de calor pelas superfícies opacas e outras fontes, por condução.

Tabela B1a – Balanço energético FVO | Curitiba/PR (ZBB1)

ZBB1 CURITIBA PR																								
FVO Zona Térmica	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [GJ]		HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [GJ]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]		HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]		HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]		People Sensible Heat Addition [GJ]	Lights Sensible Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Addition [GJ]	Window Heat Addition [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Addition [GJ]	Infiltration Heat Addition [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Removal [GJ]	Window Heat Removal [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Removal [GJ]	Infiltration Heat Removal [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [GJ]
	S101	1.846	-6.566	0	0	0	0	0	0	4.023	4.846	10.377	3.961	0	0.006	0	0	0.006	0	0	-1.593	0	-0.477	-16.522
S102	2.488	-6.048	0	0	0	0	0	0	4.058	4.846	10.377	3.961	0	0.007	0	0	0.007	0	0	-1.593	0	-0.477	-15.726	
S103	1.845	-6.579	0	0	0	0	0	0	4.022	4.846	10.377	3.961	0	0.006	0	0	0.006	0	0	-1.593	0	-0.477	-16.507	
S104	2.189	-6.368	0	0	0	0	0	0	4.058	4.846	10.377	2.051	0	0.007	0	0	0.007	0	0	-1.644	0	-0.476	-15.039	
S201	0.69	-9.049	0	0	0	0	0	0	3.872	4.846	10.377	3.837	0	0.004	0	0	0.004	0	0	-1.713	0	-0.579	-12.284	
S202	0.861	-8.586	0	0	0	0	0	0	3.914	4.846	10.377	1.946	0	0.005	0	0	0.005	0	0	-1.755	0	-0.574	-11.034	
S203	0.685	-9.077	0	0	0	0	0	0	3.871	4.846	10.377	3.836	0	0.004	0	0	0.004	0	0	-1.714	0	-0.579	-12.248	
S204	1.122	-8.474	0	0	0	0	0	0	3.936	4.846	10.377	1.954	0	0.005	0	0	0.005	0	0	-1.752	0	-0.575	-11.44	
S301	0.579	-9.507	0	0	0	0	0	0	3.853	4.846	10.377	3.84	0	0.004	0	0	0.004	0	0	-1.683	0	-0.643	-11.665	
S302	0.72	-9.073	0	0	0	0	0	0	3.89	4.846	10.377	1.916	0	0.005	0	0	0.005	0	0	-1.788	0	-0.637	-10.255	
S304	0.678	-9.224	0	0	0	0	0	0	3.882	4.846	10.377	1.911	0	0.005	0	0	0.005	0	0	-1.796	0	-0.641	-10.038	
S303	0.58	-9.534	0	0	0	0	0	0	3.851	4.846	10.377	3.8	0	0.004	0	0	0.004	0	0	-1.744	0	-0.643	-11.536	
S401	0.58	-9.57	0	0	0	0	0	0	3.849	4.846	10.377	3.78	0	0.004	0	0	0.004	0	0	-1.753	0	-0.692	-11.422	
S402	0.73	-9.079	0	0	0	0	0	0	3.89	4.846	10.377	1.904	0	0.005	0	0	0.005	0	0	-1.795	0	-0.685	-10.193	
S403	0.58	-9.583	0	0	0	0	0	0	3.848	4.846	10.377	3.78	0	0.004	0	0	0.004	0	0	-1.753	0	-0.691	-11.408	
S404	0.707	-9.175	0	0	0	0	0	0	3.885	4.846	10.377	1.9	0	0.005	0	0	0.005	0	0	-1.8	0	-0.687	-10.058	
S501	0.592	-9.545	0	0	0	0	0	0	3.85	4.846	10.377	3.765	0	0.004	0	0	0.004	0	0	-1.758	0	-0.733	-11.398	
S502	0.875	-8.725	0	0	0	0	0	0	3.919	4.846	10.377	1.91	0	0.006	0	0	0.006	0	0	-1.789	0	-0.722	-10.697	
S503	0.592	-9.559	0	0	0	0	0	0	3.849	4.846	10.377	3.765	0	0.004	0	0	0.004	0	0	-1.757	0	-0.733	-11.384	
S504	0.726	-9.132	0	0	0	0	0	0	3.886	4.846	10.377	1.891	0	0.006	0	0	0.006	0	0	-1.804	0	-0.728	-10.067	
S601	0.61	-9.489	0	0	0	0	0	0	3.852	4.846	10.377	3.753	0	0.004	0	0	0.004	0	0	-1.761	0	-0.77	-11.411	
S602	0.771	-8.597	0	0	0	0	0	0	3.893	4.846	10.377	1.886	0	0.006	0	0	0.006	0	0	-1.804	0	-0.762	-10.217	
S603	0.611	-9.504	0	0	0	0	0	0	3.852	4.846	10.377	3.753	0	0.004	0	0	0.004	0	0	-1.76	0	-0.77	-11.408	
S604	0.751	-9.074	0	0	0	0	0	0	3.889	4.846	10.377	1.883	0	0.006	0	0	0.006	0	0	-1.808	0	-0.764	-10.105	
S701	0.664	-9.318	0	0	0	0	0	0	3.861	4.846	10.377	3.746	0	0.005	0	0	0.005	0	0	-1.758	0	-0.801	-11.621	
S702	0.826	-8.878	0	0	0	0	0	0	3.9	4.846	10.377	1.881	0	0.006	0	0	0.006	0	0	-1.804	0	-0.795	-10.359	
S703	0.667	-9.321	0	0	0	0	0	0	3.86	4.846	10.377	3.746	0	0.005	0	0	0.005	0	0	-1.757	0	-0.801	-11.621	
S704	0.823	-8.897	0	0	0	0	0	0	3.899	4.846	10.377	1.88	0	0.006	0	0	0.006	0	0	-1.805	0	-0.796	-10.333	
S801	1.048	-8.388	0	0	0	0	0	0	3.917	4.846	10.377	3.758	0	0.006	0	0	0.006	0	0	-1.722	0	-0.817	-13.025	
S802	1.273	-8.044	0	0	0	0	0	0	3.957	4.846	10.377	1.898	0	0.007	0	0	0.007	0	0	-1.77	0	-0.812	-11.732	
S803	1.052	-8.39	0	0	0	0	0	0	3.917	4.846	10.377	3.758	0	0.006	0	0	0.006	0	0	-1.721	0	-0.817	-13.027	
S804	1.275	-8.051	0	0	0	0	0	0	3.956	4.846	10.377	1.897	0	0.007	0	0	0.007	0	0	-1.77	0	-0.812	-11.724	
NC0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.033	0	0	0.033	0	0	0	0	-0.175	-2.089	
H000	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	8.217	0	0	0.016	0	0	0.016	0	0	-1.522	0	-0.188	-8.399	
NC1	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.033	0	0	0.033	0	0	0	0	-0.293	-1.971	
H100	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.14	0	0	0.011	0	0	0.011	0	0	-1.173	0	-0.377	-3.477	
NC2	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.033	0	0	0.033	0	0	0	0	-0.356	-1.908	
H200	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.039	0	0	0.009	0	0	0.009	0	0	-1.314	0	-0.471	-3.14	
NC3	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.034	0	0	0.034	0	0	0	0	-0.394	-1.871	
H300	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.01	0	0	0.009	0	0	0.009	0	0	-1.346	0	-0.524	-3.027	
H400	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.01	0	0	0.01	0	0	0.01	0	0	-1.35	0	-0.561	-2.966	
NC4	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.036	0	0	0.036	0	0	0	0	-0.422	-1.846	
H500	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.026	0	0	0.01	0	0	0.01	0	0	-1.348	0	-0.591	-2.975	
NC5	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.038	0	0	0.038	0	0	0	0	-0.443	-1.827	
H600	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.071	0	0	0.011	0	0	0.011	0	0	-1.349	0	-0.619	-2.991	
NC6	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.04	0	0	0.04	0	0	0	0	-0.461	-1.811	
H700	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.226	0	0	0.011	0	0	0.011	0	0	-1.35	0	-0.644	-3.121	
NC7	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.043	0	0	0.043	0	0	0	0	-0.472	-1.802	
NC8	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.048	0	0	0.048	0	0	0	0	-0.462	-1.818	
H800	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.922	0	0	0.011	0	0	0.011	0	0	-1.328	0	-0.651	-3.831	
NCRES	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.058	0	0	0.058	0	0	0	0	-0.388	-1.902	
FVO_P02ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.906	0	0	0.38	13.228	0	0	0.38	13.228	0	-0.11	0	-15.404	0
FVO_P02DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.791	0	0	0.475	12.887	0	0	0.475	12.887	0	-0.103	0	-15.051	0
FVO_P04DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.903	0	0	0.423	13.316	0	0	0.423	13.316	0	-0.11	0	-15.531	0
FVO_P04ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.749	0	0	0.46	13.176	0	0	0.46	13.176	0	-0.102	0	-15.283	0
FVO_P01DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.846	0	0	0.05	18.104	0	0	0.05	18.104	0	-0.111	0	-19.889	0
FVO_P01ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.847	0	0	0.064	17.958	0	0	0.064	17.958	0	-0.113	0	-19.756	0
FVO_P0102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.813	0	0	0.406	75.998	0	0	0.406	75.998	0	-0.398	0	-83.819	0
FVO_P01ESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.166	0	0	0.583	24.667	0	0	0.583	24.667	0	-0.137	0	-27.279	0
FVO_P03ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.846	0	0	0.06	18.037	0	0	0.06	18.037	0	-0.111	0	-19.831	0
FVO_P03DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.846	0	0	0.059	18.021	0	0	0.059	18.021	0	-0.112	0	-19.813	0
FVO_P03ESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.054	0	0	0.166	25.932	0	0	0.166	25.932	0	-0.128	0	-28.024	0
FVO_P0304	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.859	0	0	1.061	69.457	0	0	1.061	69.457	0	-0.352	0	-77.985	0
Total (GJ)	30.236	-278.814	0	0	0	0	0																	

Tabela B1b – Balanço energético PAD | Curitiba/PR (ZBB1)

ZBB1 CURITIBA PR																		
P A D Zona Térmica	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [GJ]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [GJ]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]	HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]	People Sensible Heat Addition [GJ]	Lights Sensible Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Addition [GJ]	Window Heat Addition [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Addition [GJ]	Infiltration Heat Addition [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Removal [GJ]	Window Heat Removal [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Removal [GJ]	Infiltration Heat Removal [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [GJ]
	S101	3.717	-5.107	0	0	0	0	4.182	4.846	10.377	4.831	0	0.007	0	0	-1.601	0	-0.467
S102	3.962	-5.032	0	0	0	0	4.206	4.846	10.377	2.415	0	0.009	0	0	-1.648	0	-0.469	-18.666
S103	3.78	-5.102	0	0	0	0	4.178	4.846	10.377	4.828	0	0.007	0	0	-1.591	0	-0.463	-20.858
S104	4.102	-5.006	0	0	0	0	4.2	4.846	10.377	2.411	0	0.009	0	0	-1.636	0	-0.464	-18.838
S201	2.167	-6.609	0	0	0	0	4.069	4.846	10.377	4.73	0	0.006	0	0	-1.672	0	-0.55	-17.363
S202	2.243	-6.543	0	0	0	0	4.087	4.846	10.377	2.327	0	0.007	0	0	-1.722	0	-0.553	-15.069
S203	2.209	-6.593	0	0	0	0	4.066	4.846	10.377	4.727	0	0.005	0	0	-1.661	0	-0.546	-17.431
S204	2.352	-6.496	0	0	0	0	4.083	4.846	10.377	2.324	0	0.007	0	0	-1.707	0	-0.547	-15.237
S301	2.07	-6.786	0	0	0	0	4.059	4.846	10.377	4.699	0	0.006	0	0	-1.686	0	-0.605	-16.979
S302	2.11	-6.755	0	0	0	0	4.074	4.846	10.377	2.304	0	0.008	0	0	-1.738	0	-0.609	-14.616
S303	2.109	-6.77	0	0	0	0	4.056	4.846	10.377	4.696	0	0.006	0	0	-1.674	0	-0.6	-17.045
S304	2.211	-6.7	0	0	0	0	4.07	4.846	10.377	2.301	0	0.007	0	0	-1.723	0	-0.603	-14.787
S401	2.115	-6.746	0	0	0	0	4.061	4.846	10.377	4.681	0	0.006	0	0	-1.698	0	-0.649	-17.003
S402	2.139	-6.731	0	0	0	0	4.075	4.846	10.377	2.293	0	0.006	0	0	-1.742	0	-0.653	-14.612
S403	2.155	-6.73	0	0	0	0	4.058	4.846	10.377	4.679	0	0.006	0	0	-1.677	0	-0.644	-17.066
S404	2.241	-6.677	0	0	0	0	4.071	4.846	10.377	2.29	0	0.008	0	0	-1.727	0	-0.647	-14.782
S501	2.175	-6.683	0	0	0	0	4.065	4.846	10.377	4.666	0	0.006	0	0	-1.69	0	-0.657	-17.075
S502	2.188	-6.672	0	0	0	0	4.078	4.846	10.377	2.284	0	0.008	0	0	-1.744	0	-0.692	-14.674
S503	2.214	-6.67	0	0	0	0	4.062	4.846	10.377	4.663	0	0.006	0	0	-1.679	0	-0.682	-17.138
S504	2.292	-6.621	0	0	0	0	4.074	4.846	10.377	2.281	0	0.008	0	0	-1.729	0	-0.685	-14.844
S601	2.241	-6.619	0	0	0	0	4.07	4.846	10.377	4.653	0	0.007	0	0	-1.691	0	-0.725	-17.163
S602	2.249	-6.606	0	0	0	0	4.082	4.846	10.377	2.277	0	0.009	0	0	-1.745	0	-0.726	-14.762
S603	2.28	-6.609	0	0	0	0	4.067	4.846	10.377	4.651	0	0.006	0	0	-1.681	0	-0.717	-17.22
S604	2.353	-6.556	0	0	0	0	4.078	4.846	10.377	2.274	0	0.009	0	0	-1.731	0	-0.719	-14.93
S701	2.361	-6.513	0	0	0	0	4.078	4.846	10.377	4.644	0	0.007	0	0	-1.69	0	-0.753	-17.358
S702	2.372	-6.481	0	0	0	0	4.091	4.846	10.377	2.274	0	0.009	0	0	-1.744	0	-0.757	-14.987
S703	2.398	-6.507	0	0	0	0	4.075	4.846	10.377	4.642	0	0.007	0	0	-1.682	0	-0.749	-17.407
S704	2.477	-6.437	0	0	0	0	4.087	4.846	10.377	2.27	0	0.009	0	0	-1.73	0	-0.75	-15.149
S801	2.982	-5.996	0	0	0	0	4.121	4.846	10.377	4.645	0	0.006	0	0	-1.673	0	-0.776	-18.534
S802	3.032	-5.959	0	0	0	0	4.137	4.846	10.377	2.283	0	0.011	0	0	-1.726	0	-0.78	-16.223
S803	3.016	-5.994	0	0	0	0	4.118	4.846	10.377	4.643	0	0.008	0	0	-1.667	0	-0.773	-18.573
S804	3.136	-5.942	0	0	0	0	4.132	4.846	10.377	2.279	0	0.01	0	0	-1.714	0	-0.774	-16.35
NC0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0.033	0	0	0	0	-0.174	-2.09
H000	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	8.344	0	0.016	0	0	-1.541	0	-0.188	-8.508
NC1	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0.034	0	0	0	0	-0.288	-1.977
H100	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.274	0	0.012	0	0	-1.163	0	-0.368	-3.631
NC2	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0.034	0	0	0	0	-0.347	-1.919
H200	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.187	0	0.01	0	0	-1.28	0	-0.452	-3.341
NC3	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0.036	0	0	0	0	-0.383	-1.884
H300	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.164	0	0.011	0	0	-1.305	0	-0.501	-3.245
H400	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.165	0	0.011	0	0	-1.307	0	-0.536	-3.21
NC4	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0.038	0	0	0	0	-0.409	-1.861
H500	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.181	0	0.012	0	0	-1.304	0	-0.565	-3.201
NC5	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0.04	0	0	0	0	-0.43	-1.842
H600	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.225	0	0.012	0	0	-1.304	0	-0.591	-3.22
NC6	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0.042	0	0	0	0	-0.447	-1.827
H700	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.367	0	0.013	0	0	-1.305	0	-0.614	-3.337
NC7	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0.045	0	0	0	0	-0.458	-1.818
NC8	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0.05	0	0	0	0	-0.451	-1.831
H800	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	4.002	0	0.013	0	0	-1.291	0	-0.624	-3.977
NCRES	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0.059	0	0	0	0	-0.386	-1.904
Total (GJ)	81.448	-203.248	0	0	0	0	131.01	194.285	332.064	146.873	0	0.761	0	0	-66.009	0	-29.023	-588.149
Total (kWh)	22624.46	-56457.82	0.00	0.00	0.00	0.00	36391.70	53968.10	92240.07	40798.09	0.00	211.39	0.00	0.00	-18335.85	0.00	-8061.95	-163374.85

Tabela B3b – Balanço energético PAD | São Paulo/SP (ZBB3)

ZBB3 SÃO PAULO SP																								
PAD Zona Térmica	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [GJ]		HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [GJ]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]		HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]		HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]		People Sensible Heat Addition [GJ]	Lights Sensible Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Addition [GJ]	Window Heat Addition [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Addition [GJ]	Infiltration Heat Addition [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Removal [GJ]	Window Heat Removal [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Removal [GJ]	Infiltration Heat Removal [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [GJ]
	S101	0.884	-7.211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.821	4.815	10.313	5.416	0	0.012	0	0	-1.21	0	-0.405	-16.434
S102	1.093	-6.673	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.867	4.815	10.313	2.806	0	0.016	0	0	-1.21	0	-0.4	-14.426	
S103	0.907	-7.189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.82	4.815	10.313	5.415	0	0.011	0	0	-1.198	0	-0.401	-16.493	
S104	1.165	-6.618	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.866	4.815	10.313	2.603	0	0.015	0	0	-1.191	0	-0.394	-14.574	
S201	0.406	-8.908	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.739	4.815	10.313	5.322	0	0.01	0	0	-1.299	0	-0.495	-13.904	
S202	0.5	-8.309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.776	4.815	10.313	2.527	0	0.014	0	0	-1.297	0	-0.488	-11.852	
S203	0.417	-8.876	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.739	4.815	10.313	5.322	0	0.01	0	0	-1.285	0	-0.49	-13.965	
S204	0.543	-8.229	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.777	4.815	10.313	2.526	0	0.014	0	0	-1.275	0	-0.481	-12.003	
S301	0.376	-9.083	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.732	4.815	10.313	5.29	0	0.011	0	0	-1.312	0	-0.546	-13.596	
S302	0.452	-8.522	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.766	4.815	10.313	2.506	0	0.015	0	0	-1.312	0	-0.54	-11.494	
S303	0.387	-9.052	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.732	4.815	10.313	5.289	0	0.011	0	0	-1.298	0	-0.541	-13.657	
S304	0.493	-8.441	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.767	4.815	10.313	2.505	0	0.015	0	0	-1.29	0	-0.532	-11.645	
S401	0.392	-9.023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.735	4.815	10.313	5.27	0	0.012	0	0	-1.311	0	-0.585	-13.617	
S402	0.465	-8.486	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.767	4.815	10.313	2.494	0	0.016	0	0	-1.312	0	-0.579	-11.494	
S403	0.404	-8.993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.735	4.815	10.313	5.289	0	0.011	0	0	-1.297	0	-0.579	-13.677	
S404	0.505	-8.406	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.769	4.815	10.313	2.494	0	0.015	0	0	-1.291	0	-0.57	-11.644	
S501	0.413	-8.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.738	4.815	10.313	5.253	0	0.012	0	0	-1.309	0	-0.619	-13.676	
S502	0.486	-8.414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.77	4.815	10.313	2.486	0	0.017	0	0	-1.311	0	-0.612	-11.549	
S503	0.424	-8.909	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.739	4.815	10.313	5.253	0	0.012	0	0	-1.295	0	-0.613	-13.738	
S504	0.528	-8.336	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.772	4.815	10.313	2.485	0	0.016	0	0	-1.29	0	-0.603	-11.696	
S601	0.435	-8.958	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.742	4.815	10.313	5.239	0	0.013	0	0	-1.307	0	-0.649	-13.743	
S602	0.509	-8.333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.774	4.815	10.313	2.479	0	0.017	0	0	-1.309	0	-0.642	-11.622	
S603	0.447	-8.826	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.742	4.815	10.313	5.238	0	0.013	0	0	-1.294	0	-0.643	-13.805	
S604	0.551	-8.259	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.775	4.815	10.313	2.478	0	0.017	0	0	-1.289	0	-0.633	-11.768	
S701	0.47	-8.739	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.748	4.815	10.313	5.228	0	0.013	0	0	-1.302	0	-0.675	-13.872	
S702	0.551	-8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.78	4.815	10.313	2.475	0	0.018	0	0	-1.305	0	-0.668	-11.78	
S703	0.483	-8.707	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.748	4.815	10.313	5.228	0	0.013	0	0	-1.291	0	-0.67	-13.933	
S704	0.595	-8.134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.781	4.815	10.313	2.474	0	0.018	0	0	-1.285	0	-0.659	-11.918	
S801	0.611	-8.204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.778	4.815	10.313	5.22	0	0.015	0	0	-1.277	0	-0.689	-14.582	
S802	0.725	-7.684	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.812	4.815	10.313	2.478	0	0.02	0	0	-1.281	0	-0.682	-12.516	
S803	0.626	-8.178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.778	4.815	10.313	5.22	0	0.014	0	0	-1.268	0	-0.685	-14.634	
S804	0.774	-7.657	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.811	4.815	10.313	2.476	0	0.019	0	0	-1.264	0	-0.674	-12.613	
NC0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.038	0	0	0	0	-0.18	-2.074	
H000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	8.864	0	0.018	0	0	-1.498	0	-0.204	-9.043		
NC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.041	0	0	0	0	-0.299	-1.958	
H100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.565	0	0.014	0	0	-1.081	0	-0.396	-3.966		
NC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	-0.359	-1.898	
H200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.482	0	0.012	0	0	-1.179	0	-0.485	-3.694		
NC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.044	0	0	0	0	-0.396	-1.864	
H300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.459	0	0.013	0	0	-1.198	0	-0.536	-3.601		
H400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.459	0	0.014	0	0	-1.197	0	-0.572	-3.567		
NC4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.047	0	0	0	0	-0.422	-1.841	
H500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.473	0	0.014	0	0	-1.194	0	-0.603	-3.554		
NC5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	-0.444	-1.822	
H600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.517	0	0.015	0	0	-1.194	0	-0.63	-3.571		
NC6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.052	0	0	0	0	-0.461	-1.807	
H700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.679	0	0.015	0	0	-1.2	0	-0.657	-3.7		
NC7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.055	0	0	0	0	-0.474	-1.797	
NC8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.061	0	0	0	0	-0.468	-1.809	
H800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	4.384	0	0.015	0	0	-1.201	0	-0.672	-4.39		
NCRES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.068	0	0	0	0	-0.403	-1.881	
Total (GJ)	18.015	-266.397	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120.696	193.016	330.016	162.446	0	1.083	0	0	-52.007	0	-27.103	-479.759	
Total (kWh)	5004.17	-73999.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33526.69	53615.60	91671.18	45123.92	0.00	300.83	0.00	0.00	-14446.40	0.00	-7528.62	-133266.50	

Tabela B4b – Balanço energético PAD | Brasília/DF (ZBB4)

ZBB4 BRASÍLIA DF																																				
PAD Zona Térmica	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [G-J]		HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [G-J]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [G-J]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [G-J]		HVAC Input Heated Surface Heating [G-J]		HVAC Input Cooled Surface Cooling [G-J]		People Sensible Heat Addition [G-J]		Lights Sensible Heat Addition [G-J]		Equipment Sensible Heat Addition [G-J]		Window Heat Addition [G-J]		Interzone Air Transfer Heat Addition [G-J]		Infiltration Heat Addition [G-J]		Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [G-J]		Equipment Sensible Heat Removal [G-J]		Window Heat Removal [G-J]		Interzone Air Transfer Heat Removal [G-J]		Infiltration Heat Removal [G-J]		Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [G-J]	
	S101	0.101	-9.701	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.607	4.846	10.377	5.185	0	0.007	0	0	-1.152	0	-0.1	-13.169												
S102	0.177	-9.297	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.637	4.846	10.377	3.198	0	0.009	0	0	-1.157	0	-0.1	-11.691													
S103	0.092	-9.787	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.607	4.846	10.377	5.184	0	0.007	0	0	-1.136	0	-0.088	-13.092													
S104	0.159	-9.434	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.634	4.846	10.377	3.194	0	0.009	0	0	-1.14	0	-0.098	-11.546													
S201	0.039	-11.717	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.567	4.846	10.377	5.122	0	0.006	0	0	-1.246	0	-0.127	-10.867													
S202	0.083	-11.367	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.591	4.846	10.377	3.144	0	0.008	0	0	-1.251	0	-0.126	-9.306													
S203	0.034	-11.787	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.568	4.846	10.377	5.121	0	0.006	0	0	-1.23	0	-0.125	-10.81													
S204	0.071	-11.496	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.589	4.846	10.377	3.141	0	0.008	0	0	-1.236	0	-0.124	-9.175													
S301	0.034	-11.986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.563	4.846	10.377	5.098	0	0.007	0	0	-1.261	0	-0.141	-10.536													
S302	0.074	-11.689	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.586	4.846	10.377	3.128	0	0.009	0	0	-1.268	0	-0.141	-8.923													
S303	0.03	-12.056	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.563	4.846	10.377	5.097	0	0.007	0	0	-1.246	0	-0.139	-10.479													
S304	0.064	-11.819	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.583	4.846	10.377	3.126	0	0.008	0	0	-1.254	0	-0.139	-8.793													
S401	0.034	-11.975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.563	4.846	10.377	5.082	0	0.007	0	0	-1.263	0	-0.151	-10.52													
S402	0.074	-11.692	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.585	4.846	10.377	3.119	0	0.009	0	0	-1.27	0	-0.151	-8.897													
S403	0.03	-12.047	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.564	4.846	10.377	5.082	0	0.007	0	0	-1.248	0	-0.149	-10.461													
S404	0.063	-11.825	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.583	4.846	10.377	3.117	0	0.009	0	0	-1.256	0	-0.149	-8.764													
S501	0.035	-11.932	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.564	4.846	10.377	5.089	0	0.008	0	0	-1.263	0	-0.16	-10.542													
S502	0.075	-11.645	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.586	4.846	10.377	3.112	0	0.01	0	0	-1.271	0	-0.16	-8.929													
S503	0.03	-12.005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.564	4.846	10.377	5.088	0	0.007	0	0	-1.249	0	-0.158	-10.481													
S504	0.064	-11.781	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.583	4.846	10.377	3.108	0	0.009	0	0	-1.257	0	-0.158	-8.793													
S601	0.035	-11.992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.565	4.846	10.377	5.088	0	0.008	0	0	-1.263	0	-0.168	-10.565													
S602	0.077	-11.587	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.587	4.846	10.377	3.106	0	0.01	0	0	-1.27	0	-0.168	-8.977													
S603	0.031	-11.966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.566	4.846	10.377	5.057	0	0.008	0	0	-1.25	0	-0.166	-10.502													
S604	0.065	-11.726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.584	4.846	10.377	3.103	0	0.01	0	0	-1.257	0	-0.166	-8.837													
S701	0.037	-11.835	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.567	4.846	10.377	5.048	0	0.008	0	0	-1.262	0	-0.176	-10.611													
S702	0.08	-11.474	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.59	4.846	10.377	3.102	0	0.011	0	0	-1.267	0	-0.175	-9.088													
S703	0.033	-11.909	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.568	4.846	10.377	5.047	0	0.008	0	0	-1.25	0	-0.174	-10.545													
S704	0.069	-11.623	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.587	4.846	10.377	3.099	0	0.01	0	0	-1.254	0	-0.173	-8.937													
S801	0.049	-11.418	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.581	4.846	10.377	5.035	0	0.009	0	0	-1.246	0	-0.179	-11.053													
S802	0.098	-10.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.604	4.846	10.377	3.097	0	0.012	0	0	-1.248	0	-0.178	-9.648													
S803	0.046	-11.481	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.58	4.846	10.377	5.034	0	0.009	0	0	-1.237	0	-0.178	-10.995													
S804	0.085	-11.159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.6	4.846	10.377	3.093	0	0.011	0	0	-1.237	0	-0.176	-9.439													
NC0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.021	0	0	0	0	-0.058	-2.195													
H000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	8.674	0	0	0.01	0	0	-1.683	0	-0.062	-8.816													
NC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.021	0	0	0	0	-0.091	-2.161													
H100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.39	0	0	0.006	0	0	-1.16	0	-0.114	-3.998													
NC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.021	0	0	0	0	-0.11	-2.142													
H200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.31	0	0	0.005	0	0	-1.259	0	-0.141	-3.792													
NC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.022	0	0	0	0	-0.122	-2.131													
H300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.108	0	0	0.005	0	0	-1.284	0	-0.157	-3.726													
H400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.284	0	0	0.005	0	0	-1.29	0	-0.169	-3.708													
NC4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.023	0	0	0	0	-0.131	-2.124													
H500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.295	0	0	0.006	0	0	-1.293	0	-0.178	-3.706													
NC5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.024	0	0	0	0	-0.138	-2.117													
H600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.346	0	0	0.006	0	0	-1.3	0	-0.188	-3.741													
NC6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.025	0	0	0	0	-0.145	-2.112													
H700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	3.54	0	0	0.005	0	0	-1.319	0	-0.198	-3.905													
NC7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.027	0	0	0	0	-0.149	-2.109													
NC8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	-0.148	-2.113													
H800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.877	0	4.228	0	0	0.005	0	0	-1.342	0	-0.205	-4.563													
NCRES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.232	0	0	0	0	0.037	0	0	0	0	-0.136	-2.132													
Total (GJ)	2.068	-366.068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114.666	194.285	332.064	167.727	0	0.575	0	0	-51.625	0	-7.411	-386.262													
Total (kWh)	574.44	-101685.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31851.69	53968.10	92240.07	46590.87	0.00	169.72	0.00	0.00	-14340.29	0.00	-2058.61	-107295.09													

Tabela B5b – Balanço energético PAD | Vitória da Conquista/BA (ZBB5)

ZBB5 VITÓRIA DA CONQUISTA BA																		
PAD Zona Térmica	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [G-J]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [G-J]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [G-J]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [G-J]	HVAC Input Heated Surface Heating [G-J]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [G-J]	People Sensible Heat Addition [G-J]	Lights Sensible Heat Addition [G-J]	Equipment Sensible Heat Addition [G-J]	Window Heat Addition [G-J]	Interzone Air Transfer Heat Addition [G-J]	Infiltration Heat Addition [G-J]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [G-J]	Equipment Sensible Heat Removal [G-J]	Window Heat Removal [G-J]	Interzone Air Transfer Heat Removal [G-J]	Infiltration Heat Removal [G-J]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [G-J]
	S101	0.145	-8.4	0	0	0	0	3.597	4.815	10.313	4.649	0	0.007	0	0	-1.144	0	-0.23
S102	0.167	-8.389	0	0	0	0	3.613	4.815	10.313	3.151	0	0.007	0	0	-1.143	0	-0.229	-12.306
S103	0.138	-8.52	0	0	0	0	3.597	4.815	10.313	4.647	0	0.006	0	0	-1.139	0	-0.229	-13.628
S104	0.158	-8.524	0	0	0	0	3.611	4.815	10.313	3.149	0	0.007	0	0	-1.138	0	-0.228	-12.162
S201	0.064	-10.026	0	0	0	0	3.554	4.815	10.313	4.584	0	0.006	0	0	-1.239	0	-0.291	-11.78
S202	0.062	-10.115	0	0	0	0	3.564	4.815	10.313	3.092	0	0.006	0	0	-1.241	0	-0.291	-10.205
S203	0.058	-10.144	0	0	0	0	3.554	4.815	10.313	4.583	0	0.006	0	0	-1.234	0	-0.29	-11.661
S204	0.055	-10.261	0	0	0	0	3.563	4.815	10.313	3.09	0	0.006	0	0	-1.236	0	-0.289	-10.055
S301	0.057	-10.227	0	0	0	0	3.55	4.815	10.313	4.56	0	0.006	0	0	-1.253	0	-0.323	-11.498
S302	0.053	-10.366	0	0	0	0	3.558	4.815	10.313	3.073	0	0.006	0	0	-1.258	0	-0.323	-9.87
S303	0.051	-10.339	0	0	0	0	3.55	4.815	10.313	4.559	0	0.006	0	0	-1.248	0	-0.321	-11.386
S304	0.047	-10.506	0	0	0	0	3.557	4.815	10.313	3.071	0	0.006	0	0	-1.252	0	-0.322	-9.729
S401	0.057	-10.201	0	0	0	0	3.551	4.815	10.313	4.545	0	0.007	0	0	-1.254	0	-0.346	-11.486
S402	0.053	-10.352	0	0	0	0	3.558	4.815	10.313	3.061	0	0.007	0	0	-1.259	0	-0.347	-9.849
S403	0.052	-10.307	0	0	0	0	3.551	4.815	10.313	4.544	0	0.006	0	0	-1.249	0	-0.345	-11.381
S404	0.047	-10.483	0	0	0	0	3.557	4.815	10.313	3.06	0	0.007	0	0	-1.253	0	-0.345	-9.717
S501	0.059	-10.151	0	0	0	0	3.552	4.815	10.313	4.532	0	0.007	0	0	-1.253	0	-0.367	-11.508
S502	0.055	-10.295	0	0	0	0	3.559	4.815	10.313	3.052	0	0.007	0	0	-1.259	0	-0.368	-9.881
S503	0.054	-10.249	0	0	0	0	3.552	4.815	10.313	4.532	0	0.007	0	0	-1.248	0	-0.365	-11.41
S504	0.049	-10.42	0	0	0	0	3.559	4.815	10.313	3.051	0	0.007	0	0	-1.252	0	-0.366	-9.756
S601	0.061	-10.104	0	0	0	0	3.554	4.815	10.313	4.521	0	0.007	0	0	-1.252	0	-0.365	-11.53
S602	0.058	-10.229	0	0	0	0	3.561	4.815	10.313	3.045	0	0.007	0	0	-1.257	0	-0.386	-9.927
S603	0.056	-10.193	0	0	0	0	3.554	4.815	10.313	4.521	0	0.007	0	0	-1.247	0	-0.383	-11.442
S604	0.052	-10.348	0	0	0	0	3.56	4.815	10.313	3.043	0	0.007	0	0	-1.251	0	-0.384	-9.808
S701	0.063	-10.036	0	0	0	0	3.557	4.815	10.313	4.512	0	0.007	0	0	-1.249	0	-0.401	-11.582
S702	0.063	-10.123	0	0	0	0	3.564	4.815	10.313	3.039	0	0.008	0	0	-1.254	0	-0.401	-10.024
S703	0.06	-10.114	0	0	0	0	3.557	4.815	10.313	4.512	0	0.007	0	0	-1.245	0	-0.399	-11.505
S704	0.057	-10.241	0	0	0	0	3.563	4.815	10.313	3.038	0	0.007	0	0	-1.247	0	-0.399	-9.906
S801	0.073	-9.699	0	0	0	0	3.57	4.815	10.313	4.5	0	0.008	0	0	-1.232	0	-0.409	-11.94
S802	0.078	-9.731	0	0	0	0	3.579	4.815	10.313	3.034	0	0.008	0	0	-1.234	0	-0.409	-10.453
S803	0.071	-9.761	0	0	0	0	3.57	4.815	10.313	4.5	0	0.008	0	0	-1.229	0	-0.408	-11.878
S804	0.071	-9.88	0	0	0	0	3.577	4.815	10.313	3.032	0	0.008	0	0	-1.229	0	-0.407	-10.3
NC0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0.02	0	0	0	0	-0.135	-2.101
H000	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	7.349	0	0.01	0	0	-1.59	0	-0.139	-7.494
NC1	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0.019	0	0	0	0	-0.219	-2.016
H100	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.237	0	0.007	0	0	-1.108	0	-0.264	-3.735
NC2	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0.019	0	0	0	0	-0.264	-1.972
H200	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.16	0	0.006	0	0	-1.206	0	-0.324	-3.5
NC3	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0.02	0	0	0	0	-0.292	-1.944
H300	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.14	0	0.006	0	0	-1.228	0	-0.36	-3.422
H400	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.143	0	0.006	0	0	-1.232	0	-0.366	-3.396
NC4	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0.021	0	0	0	0	-0.313	-1.925
H500	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.16	0	0.007	0	0	-1.232	0	-0.407	-3.391
NC5	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0.023	0	0	0	0	-0.33	-1.909
H600	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.216	0	0.007	0	0	-1.237	0	-0.428	-3.422
NC6	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0.024	0	0	0	0	-0.344	-1.896
H700	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.391	0	0.007	0	0	-1.25	0	-0.448	-3.564
NC7	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0.025	0	0	0	0	-0.354	-1.887
NC8	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0.028	0	0	0	0	-0.351	-1.893
H800	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	3.927	0	0.007	0	0	-1.268	0	-0.461	-4.068
NCRES	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0.037	0	0	0	0	-0.303	-1.95
Total (GJ)	2.244	-318.734	0	0	0	0	114.073	193.016	330.016	155.605	0	0.518	0	0	-50.829	0	-17.108	-408.799
Total (kWh)	623.33	-88537.29	0.00	0.00	0.00	0.00	31886.97	53615.60	91671.18	43223.65	0.00	143.89	0.00	0.00	-14119.18	0.00	-4752.23	-113555.37

Tabela B6a – Balanço energético FVO | Campo Grande (ZBB6)

ZBB6 CAMPO GRANDE MS																								
FVO Zona Térmica	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [GJ]		HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [GJ]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]		HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]		HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]		People Sensible Heat Addition [GJ]	Lights Sensible Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Addition [GJ]	Window Heat Addition [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Addition [GJ]	Infiltration Heat Addition [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Removal [GJ]	Window Heat Removal [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Removal [GJ]	Infiltration Heat Removal [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [GJ]
	S101	0.028	-17.402	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.454	4.799	10.282	5.97	0	0.035	0	0	0	-0.865	0	-0.338
S102	0.067	-15.387	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.468	4.799	10.282	2.948	0	0.036	0	0	0	-0.845	0	-0.319	-5.048
S103	0.028	-17.409	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.454	4.799	10.282	5.97	0	0.035	0	0	0	-0.865	0	-0.338	-5.965
S104	0.057	-15.563	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.465	4.799	10.282	2.944	0	0.036	0	0	0	-0.85	0	-0.322	-4.849
S201	0.009	-19.543	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.444	4.799	10.282	5.918	0	0.039	0	0	0	-0.929	0	-0.421	-3.597
S202	0.019	-17.267	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.452	4.799	10.282	2.915	0	0.039	0	0	0	-0.91	0	-0.399	-2.931
S203	0.009	-19.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.443	4.799	10.282	5.918	0	0.039	0	0	0	-0.929	0	-0.421	-3.58
S204	0.022	-17.702	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.454	4.799	10.282	2.914	0	0.039	0	0	0	-0.905	0	-0.395	-2.508
S301	0.008	-19.838	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.442	4.799	10.282	5.876	0	0.042	0	0	0	-0.917	0	-0.466	-3.228
S302	0.016	-17.569	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.45	4.799	10.282	2.903	0	0.042	0	0	0	-0.921	0	-0.442	-2.56
S304	0.015	-17.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.45	4.799	10.282	2.902	0	0.042	0	0	0	-0.923	0	-0.444	-2.443
S303	0.008	-19.851	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.442	4.799	10.282	5.889	0	0.042	0	0	0	-0.938	0	-0.466	-3.207
S401	0.008	-19.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.442	4.799	10.282	5.867	0	0.044	0	0	0	-0.94	0	-0.501	-3.152
S402	0.016	-17.549	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.451	4.799	10.282	2.894	0	0.045	0	0	0	-0.922	0	-0.475	-2.541
S403	0.008	-19.851	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.442	4.799	10.282	5.867	0	0.044	0	0	0	-0.939	0	-0.501	-3.152
S404	0.016	-17.599	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.45	4.799	10.282	2.894	0	0.045	0	0	0	-0.923	0	-0.475	-2.489
S501	0.008	-19.813	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.443	4.799	10.282	5.848	0	0.047	0	0	0	-0.941	0	-0.532	-3.142
S502	0.019	-17.395	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.452	4.799	10.282	2.889	0	0.047	0	0	0	-0.918	0	-0.5	-2.676
S503	0.008	-19.816	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.443	4.799	10.282	5.848	0	0.047	0	0	0	-0.94	0	-0.531	-3.139
S504	0.016	-17.559	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.451	4.799	10.282	2.886	0	0.047	0	0	0	-0.923	0	-0.504	-2.495
S601	0.008	-19.779	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.443	4.799	10.282	5.831	0	0.049	0	0	0	-0.941	0	-0.559	-3.132
S602	0.017	-17.487	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.451	4.799	10.282	2.86	0	0.049	0	0	0	-0.923	0	-0.53	-2.636
S603	0.008	-19.777	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.443	4.799	10.282	5.831	0	0.049	0	0	0	-0.941	0	-0.559	-3.135
S604	0.016	-17.526	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.451	4.799	10.282	2.879	0	0.049	0	0	0	-0.924	0	-0.53	-2.497
S701	0.009	-19.722	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.443	4.799	10.282	5.816	0	0.05	0	0	0	-0.941	0	-0.584	-3.153
S702	0.017	-17.491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.451	4.799	10.282	2.873	0	0.051	0	0	0	-0.924	0	-0.554	-2.506
S703	0.009	-19.718	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.443	4.799	10.282	5.816	0	0.05	0	0	0	-0.94	0	-0.583	-3.158
S704	0.018	-17.489	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.451	4.799	10.282	2.873	0	0.051	0	0	0	-0.923	0	-0.553	-2.509
S801	0.01	-19.466	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.445	4.799	10.282	5.792	0	0.052	0	0	0	-0.932	0	-0.598	-3.385
S802	0.021	-17.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.454	4.799	10.282	2.862	0	0.053	0	0	0	-0.916	0	-0.569	-2.574
S803	0.01	-19.462	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.445	4.799	10.282	5.791	0	0.052	0	0	0	-0.931	0	-0.597	-3.39
S804	0.021	-17.407	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.454	4.799	10.282	2.862	0	0.053	0	0	0	-0.915	0	-0.568	-2.579
NC0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.208	0	0	0	0	0.035	0	0	0	0	0	-0.23	-2.014
H000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.857	0	0	9.645	0	0.017	0	0	0	-1.694	0	-0.258	-9.568
NC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.208	0	0	0	0	0.036	0	0	0	0	0	-0.349	-1.895
H100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.857	0	0	3.905	0	0.013	0	0	0	-1.1	0	-0.443	-4.231
NC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.208	0	0	0	0	0.038	0	0	0	0	0	-0.41	-1.835
H200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.857	0	0	3.839	0	0.013	0	0	0	-1.169	0	-0.528	-4.012
NC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.205	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	0	-0.45	-1.798
H300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.857	0	0	3.818	0	0.013	0	0	0	-1.179	0	-0.579	-3.931
H400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.857	0	0	3.815	0	0.014	0	0	0	-1.177	0	-0.618	-3.891
NC4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.208	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	-0.481	-1.77
H500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.857	0	0	3.833	0	0.015	0	0	0	-1.176	0	-0.651	-3.878
NC5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.208	0	0	0	0	0.045	0	0	0	0	0	-0.506	-1.747
H600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.857	0	0	3.883	0	0.015	0	0	0	-1.181	0	-0.684	-3.89
NC6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.208	0	0	0	0	0.047	0	0	0	0	0	-0.529	-1.726
H700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.857	0	0	4.086	0	0.015	0	0	0	-1.203	0	-0.719	-4.036
NC7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.208	0	0	0	0	0.049	0	0	0	0	0	-0.548	-1.709
NC8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.208	0	0	0	0	0.052	0	0	0	0	0	-0.557	-1.703
H800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.857	0	0	5.027	0	0.013	0	0	0	-1.244	0	-0.753	-4.901
NCRES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.208	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	-0.52	-1.748
FVO_P02ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.186	0	0.983	5.208	0	0	-0.101	0	-8.276	0
FVO_P02DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.015	0	1.178	4.93	0	0	-0.094	0	-8.029	0
FVO_P04DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.189	0	1.001	5.198	0	0	-0.101	0	-8.287	0
FVO_P04ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.026	0	1.114	5.064	0	0	-0.093	0	-8.11	0
FVO_P01DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.119	0	0.447	12.129	0	0	-0.104	0	-14.591	0
FVO_P01ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.121	0	0.488	11.974	0	0	-0.105	0	-14.478	0
FVO_P0102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.395	0	2.203	44.171	0	0	-0.362	0	-55.407	0
FVO_P01ESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.562	0	1.104	14.988	0	0	-0.126	0	-18.529	0
FVO_P03ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.119	0	0.459	12.06	0	0	-0.103	0	-14.535	0
FVO_P03DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.119	0	0.473	12.051	0	0	-0.104	0	-14.538	0
FVO_P03OESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.611	0	0.724	15.099	0	0	-0.115	0	-18.319	0
FVO_P0304	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.393	0	2.278	44.67	0	0	-0.347	0	-55.994	0
Total (GJ)	0.649	-686.937	0	0	0																			

Tabela B7a – Balanço energético FVO | Cuiabá (ZBB7)

ZBB7 CUIABÁ MT																								
FVO Zona Térmica	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [GJ]		HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [GJ]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]		HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]		HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]		People Sensible Heat Addition [GJ]	Lights Sensible Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Addition [GJ]	Window Heat Addition [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Addition [GJ]	Infiltration Heat Addition [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [GJ]	Equipment Sensible Heat Removal [GJ]	Window Heat Removal [GJ]	Interzone Air Transfer Heat Removal [GJ]	Infiltration Heat Removal [GJ]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [GJ]
	S101	0.025	-24.695	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.463	4.83	10.345	6.173	0	0.068	0.365	0	-0.495	0	0	-0.09
S102	0.049	-22.588	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.468	4.83	10.345	6.173	0	0.068	0.715	0	-0.494	0	0	-0.078	0
S103	0.025	-24.692	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.463	4.83	10.345	6.173	0	0.068	0.363	0	-0.494	0	0	-0.08	0
S104	0.04	-22.475	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.467	4.83	10.345	3.685	0	0.068	0.614	0	-0.496	0	0	-0.079	0
S201	0.003	-25.553	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.459	4.83	10.345	6.149	0	0.076	1.302	0	-0.515	0	0	-0.096	0
S202	0.008	-23.006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.671	0	0.076	1.226	0	-0.517	0	0	-0.094	0
S203	0.003	-25.556	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.459	4.83	10.345	6.149	0	0.076	1.305	0	-0.515	0	0	-0.096	0
S204	0.011	-23.738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.462	4.83	10.345	3.669	0	0.076	1.952	0	-0.514	0	0	-0.094	0
S301	0.001	-25.689	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.458	4.83	10.345	6.094	0	0.083	1.496	0	-0.512	0	0	-0.106	0
S302	0.004	-23.123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.662	0	0.083	1.364	0	-0.522	0	0	-0.104	0
S303	0.004	-23.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.46	4.83	10.345	3.662	0	0.083	1.432	0	-0.522	0	0	-0.104	0
S303	0.001	-25.669	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.458	4.83	10.345	6.133	0	0.083	1.443	0	-0.518	0	0	-0.106	0
S401	0.001	-25.677	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.458	4.83	10.345	6.12	0	0.088	1.469	0	-0.52	0	0	-0.115	0
S402	0.005	-23.111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.655	0	0.088	1.363	0	-0.523	0	0	-0.112	0
S403	0.001	-25.667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.458	4.83	10.345	6.12	0	0.088	1.459	0	-0.52	0	0	-0.115	0
S404	0.004	-23.127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.655	0	0.088	1.38	0	-0.523	0	0	-0.112	0
S501	0.001	-25.664	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.458	4.83	10.345	6.108	0	0.093	1.472	0	-0.521	0	0	-0.122	0
S502	0.006	-23.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.649	0	0.093	1.507	0	-0.523	0	0	-0.119	0
S503	0.001	-25.659	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.458	4.83	10.345	6.108	0	0.093	1.466	0	-0.521	0	0	-0.122	0
S504	0.005	-23.111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.648	0	0.093	1.374	0	-0.525	0	0	-0.119	0
S601	0.001	-25.667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.459	4.83	10.345	6.097	0	0.097	1.489	0	-0.523	0	0	-0.129	0
S602	0.005	-23.103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.642	0	0.097	1.375	0	-0.526	0	0	-0.126	0
S603	0.001	-25.658	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.458	4.83	10.345	6.097	0	0.097	1.481	0	-0.523	0	0	-0.129	0
S604	0.004	-23.112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.642	0	0.097	1.386	0	-0.526	0	0	-0.126	0
S701	0.001	-25.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.458	4.83	10.345	6.087	0	0.1	1.578	0	-0.525	0	0	-0.135	0
S702	0.005	-23.211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.636	0	0.1	1.495	0	-0.529	0	0	-0.132	0
S703	0.001	-25.732	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.458	4.83	10.345	6.087	0	0.1	1.568	0	-0.524	0	0	-0.135	0
S704	0.004	-23.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.636	0	0.1	1.483	0	-0.528	0	0	-0.132	0
S801	0.003	-26.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.459	4.83	10.345	6.066	0	0.103	2.3	0	-0.525	0	0	-0.141	0
S802	0.006	-24.043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.623	0	0.103	2.342	0	-0.53	0	0	-0.138	0
S803	0.003	-26.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.459	4.83	10.345	6.066	0	0.103	2.29	0	-0.525	0	0	-0.141	0
S804	0.006	-24.034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.461	4.83	10.345	3.623	0	0.103	2.332	0	-0.53	0	0	-0.138	0
NC0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.022	0	0	0	0	0	-0.112	-2.134
H000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	0	8.916	0	0.011	0	-1.612	0	0	0	-0.117	-9.068
NC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.026	0	0	0	0	0	-0.167	-2.084
H100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	0	3.708	0	0.011	0	-0.985	0	0	0	-0.187	-4.417
NC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.028	0	0	0	0	0	-0.193	-2.059
H200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	0	3.667	0	0.012	0	-1.03	0	0	0	-0.218	-4.302
NC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0	-0.211	-2.043
H300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	0	3.656	0	0.013	0	-1.038	0	0	0	-0.238	-4.263
H400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	0	3.66	0	0.014	0	-1.04	0	0	0	-0.255	-4.249
NC4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.032	0	0	0	0	0	-0.226	-2.03
H500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	0	3.676	0	0.014	0	-1.043	0	0	0	-0.27	-4.247
NC5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.034	0	0	0	0	0	-0.238	-2.019
H600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	0	3.732	0	0.014	0	-1.055	0	0	0	-0.285	-4.276
NC6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.035	0	0	0	0	0	-0.25	-2.009
H700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	0	3.965	0	0.014	0	-1.088	0	0	0	-0.304	-4.456
NC7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.036	0	0	0	0	0	-0.261	-1.999
NC8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.037	0	0	0	0	0	-0.27	-1.991
H800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	0	4.869	0	0.011	0	-1.16	0	0	0	-0.328	-5.263
NCRES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.036	0	0	0	0	0	-0.262	-1.998
FVO_P02ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.144	0	1.473	2.321	0	-0.103	0	0	-5.835	0
FVO_P02DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.001	0	1.686	1.967	0	-0.096	0	0	-5.558	0
FVO_P04DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.143	0	1.526	2.262	0	-0.103	0	0	-5.828	0
FVO_P04ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.997	0	1.641	2.094	0	-0.095	0	0	-5.637	0
FVO_P01DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.065	0	0.601	7.905	0	-0.107	0	0	-10.463	0
FVO_P01ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.068	0	0.627	7.727	0	-0.109	0	0	-10.313	0
FVO_P0102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.067	0	2.58	28.027	0	-0.371	0	0	-39.603	0
FVO_P01ESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.489	0	1.589	8.6	0	-0.127	0	0	-12.551	0
FVO_P03ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.066	0	0.609	7.819	0	-0.107	0	0	-10.388	0
FVO_P03DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.065	0	0.615	7.811	0	-0.108	0	0	-10.382	0
FVO_P03OESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.484	0	0.957	8.578	0	-0.119	0	0	-11.9	0
FVO_P0304	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.035	0	3.935	28.583	0	-0.341	0	0	-41.212	0
Total (GJ)	0.238	-781.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110.731												

Tabela B7b – Balanço energético PAD | Cuiabá (ZBB7)

ZBB7 CUIABÁ MT																																									
PAD Zona Térmica	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [GJ]		HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [GJ]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]		HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]		HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]		HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]		People Sensible Heat Addition [GJ]		Lights Sensible Heat Addition [GJ]		Equipment Sensible Heat Addition [GJ]		Window Heat Addition [GJ]		Interzone Air Transfer Heat Addition [GJ]		Infiltration Heat Addition [GJ]		Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [GJ]		Equipment Sensible Heat Removal [GJ]		Window Heat Removal [GJ]		Interzone Air Transfer Heat Removal [GJ]		Infiltration Heat Removal [GJ]		Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [GJ]						
	S101	0.058	-25.748	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.471	4.83	10.345	7.195	0	0.068	0.373	0	-0.516	0	-0.078	0	0.068	0.373	0	-0.516	0	-0.078	0	0.068	0.373	0	-0.516	0	-0.078	0			
S102	0.094	-22.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.477	4.83	10.345	4.111	0	0.069	0.152	0	-0.514	0	-0.074	0	0.069	0.152	0	-0.514	0	-0.074	0	0.069	0.152	0	-0.514	0	-0.074	0				
S103	0.058	-25.776	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.471	4.83	10.345	7.195	0	0.068	0.399	0	-0.515	0	-0.078	0	0.068	0.399	0	-0.515	0	-0.078	0	0.068	0.399	0	-0.515	0	-0.078	0				
S104	0.093	-22.541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.477	4.83	10.345	4.111	0	0.068	0.2	0	-0.509	0	-0.074	0	0.068	0.2	0	-0.509	0	-0.074	0	0.068	0.2	0	-0.509	0	-0.074	0				
S201	0.027	-26.441	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.465	4.83	10.345	7.168	0	0.076	1.152	0	-0.533	0	-0.091	0	0.076	1.152	0	-0.533	0	-0.091	0	0.076	1.152	0	-0.533	0	-0.091	0				
S202	0.048	-22.892	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.469	4.83	10.345	4.094	0	0.076	0.649	0	-0.531	0	-0.089	0	0.076	0.649	0	-0.531	0	-0.089	0	0.076	0.649	0	-0.531	0	-0.089	0				
S203	0.027	-26.464	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.465	4.83	10.345	7.168	0	0.076	1.174	0	-0.531	0	-0.091	0	0.076	1.174	0	-0.531	0	-0.091	0	0.076	1.174	0	-0.531	0	-0.091	0				
S204	0.046	-22.936	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.47	4.83	10.345	4.094	0	0.076	0.69	0	-0.527	0	-0.088	0	0.076	0.69	0	-0.527	0	-0.088	0	0.076	0.69	0	-0.527	0	-0.088	0				
S301	0.025	-26.466	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.465	4.83	10.345	7.15	0	0.083	1.203	0	-0.534	0	-0.1	0	0.083	1.203	0	-0.534	0	-0.1	0	0.083	1.203	0	-0.534	0	-0.1	0				
S302	0.042	-22.921	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.469	4.83	10.345	4.085	0	0.083	0.699	0	-0.534	0	-0.098	0	0.083	0.699	0	-0.534	0	-0.098	0	0.083	0.699	0	-0.534	0	-0.098	0				
S303	0.025	-26.488	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.465	4.83	10.345	7.15	0	0.083	1.223	0	-0.533	0	-0.1	0	0.083	1.223	0	-0.533	0	-0.1	0	0.083	1.223	0	-0.533	0	-0.1	0				
S304	0.04	-22.964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.469	4.83	10.345	4.085	0	0.083	0.738	0	-0.53	0	-0.097	0	0.083	0.738	0	-0.53	0	-0.097	0	0.083	0.738	0	-0.53	0	-0.097	0				
S401	0.025	-26.412	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.465	4.83	10.345	7.135	0	0.088	1.166	0	-0.535	0	-0.108	0	0.088	1.166	0	-0.535	0	-0.108	0	0.088	1.166	0	-0.535	0	-0.108	0				
S402	0.042	-22.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.469	4.83	10.345	4.077	0	0.088	0.668	0	-0.535	0	-0.106	0	0.088	0.668	0	-0.535	0	-0.106	0	0.088	0.668	0	-0.535	0	-0.106	0				
S403	0.025	-26.433	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.465	4.83	10.345	7.135	0	0.088	1.185	0	-0.534	0	-0.108	0	0.088	1.185	0	-0.534	0	-0.108	0	0.088	1.185	0	-0.534	0	-0.108	0				
S404	0.041	-22.922	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.469	4.83	10.345	4.077	0	0.088	0.707	0	-0.531	0	-0.105	0	0.088	0.707	0	-0.531	0	-0.105	0	0.088	0.707	0	-0.531	0	-0.105	0				
S501	0.026	-26.367	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.465	4.83	10.345	7.121	0	0.093	1.136	0	-0.536	0	-0.115	0	0.093	1.136	0	-0.536	0	-0.115	0	0.093	1.136	0	-0.536	0	-0.115	0				
S502	0.044	-22.833	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.469	4.83	10.345	4.07	0	0.093	0.63	0	-0.536	0	-0.112	0	0.093	0.63	0	-0.536	0	-0.112	0	0.093	0.63	0	-0.536	0	-0.112	0				
S503	0.026	-26.386	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.465	4.83	10.345	7.122	0	0.093	1.154	0	-0.534	0	-0.114	0	0.093	1.154	0	-0.534	0	-0.114	0	0.093	1.154	0	-0.534	0	-0.114	0				
S504	0.042	-22.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.469	4.83	10.345	4.07	0	0.093	0.668	0	-0.532	0	-0.111	0	0.093	0.668	0	-0.532	0	-0.111	0	0.093	0.668	0	-0.532	0	-0.111	0				
S601	0.027	-26.346	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.465	4.83	10.345	7.109	0	0.097	1.129	0	-0.536	0	-0.121	0	0.097	1.129	0	-0.536	0	-0.121	0	0.097	1.129	0	-0.536	0	-0.121	0				
S602	0.045	-22.798	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.469	4.83	10.345	4.064	0	0.097	0.603	0	-0.537	0	-0.118	0	0.097	0.603	0	-0.537	0	-0.118	0	0.097	0.603	0	-0.537	0	-0.118	0				
S603	0.027	-26.363	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.466	4.83	10.345	7.109	0	0.097	1.144	0	-0.535	0	-0.121	0	0.097	1.144	0	-0.535	0	-0.121	0	0.097	1.144	0	-0.535	0	-0.121	0				
S604	0.043	-22.841	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.469	4.83	10.345	4.064	0	0.097	0.643	0	-0.533	0	-0.118	0	0.097	0.643	0	-0.533	0	-0.118	0	0.097	0.643	0	-0.533	0	-0.118	0				
S701	0.028	-26.429	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.466	4.83	10.345	7.098	0	0.1	1.226	0	-0.538	0	-0.127	0	0.1	1.226	0	-0.538	0	-0.127	0	0.1	1.226	0	-0.538	0	-0.127	0				
S702	0.046	-22.841	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.469	4.83	10.345	4.057	0	0.1	0.654	0	-0.538	0	-0.124	0	0.1	0.654	0	-0.538	0	-0.124	0	0.1	0.654	0	-0.538	0	-0.124	0				
S703	0.028	-26.444	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.466	4.83	10.345	7.098	0	0.1	1.24	0	-0.536	0	-0.127	0	0.1	1.24	0	-0.536	0	-0.127	0	0.1	1.24	0	-0.536	0	-0.127	0				
S704	0.044	-22.889	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.47	4.83	10.345	4.058	0	0.1	0.7	0	-0.534	0	-0.123	0	0.1	0.7	0	-0.534	0	-0.123	0	0.1	0.7	0	-0.534	0	-0.123	0				
S801	0.03	-27.093	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.466	4.83	10.345	7.073	0	0.103	1.917	0	-0.539	0	-0.133	0	0.103	1.917	0	-0.539	0	-0.133	0	0.103	1.917	0	-0.539	0	-0.133	0				
S802	0.05	-23.532	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.47	4.83	10.345	4.043	0	0.104	1.361	0	-0.541	0	-0.13	0	0.104	1.361	0	-0.541	0	-0.13	0	0.104	1.361	0	-0.541	0	-0.13	0				
S803	0.03	-27.104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.466	4.83	10.345	7.073	0	0.103	1.927	0	-0.538	0	-0.133	0	0.103	1.927	0	-0.538	0	-0.133	0	0.103	1.927	0	-0.538	0	-0.133	0				
S804	0.047	-23.661	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.47	4.83	10.345	4.043	0	0.104	1.49	0	-0.537	0	-0.13	0	0.104	1.49	0	-0.537	0	-0.13	0	0.104	1.49	0	-0.537	0	-0.13	0				
NC0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.022	0	0	0	-0.112	-2.133	0	0.022	0	0	0	0	-0.112	-2.133	0	0.022	0	0	-0.112	-2.133					
H000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	9.164	0	0	0.01	0	-1.643	0	-0.118	-9.283	0	0.01	0	0	-1.643	0	-0.118	-9.283	0	0.01	0	0	-1.643	0	-0.118	-9.283			
NC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.027	0	0	0	-0.167	-2.083	0	0.027	0	0	0	-0.167	-2.083	0	0.027	0	0	-0.167	-2.083	0	0.027	0	0	-0.167	-2.083
H100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	3.897	0	0	0.011	0	-1.013	0	-0.189	-4.576	0	0.011	0	0	-1.013	0	-0.189	-4.576	0	0.011	0	0	-1.013	0	-0.189	-4.576			
NC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.028	0	0	0	-0.193	-2.059	0	0.028	0	0	0	-0.193	-2.059	0	0.028	0	0	-0.193	-2.059	0	0.028	0	0	-0.193	-2.059
H200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	3.856	0	0	0.011	0	-1.055	0	-0.22	-4.462	0	0.011	0	0	-1.055	0	-0.22	-4.462	0	0.011	0	0	-1.055	0	-0.22	-4.462			
NC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.224	0	0	0	0	0.03	0	0	0	-0.211	-2.043	0	0.03	0	0	0	-0.211	-2.043	0	0.03	0	0	-0.211	-2.043	0	0.03	0	0	-0.211	-2.043
H300																																									

Tabela B8a – Balanço energético FVO | Belém/PA (ZBB8)

ZBB8 BELÉM PA																																																						
FVO Zona Térmica	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [GJ]			HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [GJ]			HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [GJ]			HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [GJ]			HVAC Input Heated Surface Heating [GJ]			HVAC Input Cooled Surface Cooling [GJ]			People Sensible Heat Addition [GJ]			Lights Sensible Heat Addition [GJ]			Equipment Sensible Heat Addition [GJ]			Window Heat Addition [GJ]			Interzone Air Transfer Heat Addition [GJ]			Infiltration Heat Addition [GJ]			Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [GJ]			Equipment Sensible Heat Removal [GJ]			Window Heat Removal [GJ]			Interzone Air Transfer Heat Removal [GJ]			Infiltration Heat Removal [GJ]			Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [GJ]		
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
S101	0	0	-20.769	0	0	0	0	0	0	0	0	3.437	4.815	10.313	4.342	0	0.044	0	0	-0.541	0	-0.017	-1.623																															
S102	0	0	-20.721	0	0	0	0	0	0	0	0	3.444	4.815	10.313	4.161	0	0.044	0	0	-0.538	0	-0.017	-1.496																															
S103	0	0	-20.815	0	0	0	0	0	0	0	0	3.437	4.815	10.313	4.342	0	0.044	0	0	-0.541	0	-0.017	-1.577																															
S104	0	0	-20.742	0	0	0	0	0	0	0	0	3.439	4.815	10.313	4.16	0	0.044	0	0	-0.538	0	-0.017	-1.474																															
S201	0	0	-22.444	0	0	0	0	0	0	0	0	3.434	4.815	10.313	4.323	0	0.049	0.076	0	-0.546	0	-0.02	0																															
S202	0	0	-22.275	0	0	0	0	0	0	0	0	3.438	4.815	10.313	4.144	0	0.049	0.079	0	-0.543	0	-0.02	0																															
S203	0	0	-22.503	0	0	0	0	0	0	0	0	3.434	4.815	10.313	4.323	0	0.049	0.135	0	-0.546	0	-0.02	0																															
S204	0	0	-22.894	0	0	0	0	0	0	0	0	3.439	4.815	10.313	4.141	0	0.049	0.7	0	-0.543	0	-0.02	0																															
S301	0	0	-22.619	0	0	0	0	0	0	0	0	3.433	4.815	10.313	4.283	0	0.053	0.285	0	-0.542	0	-0.022	0																															
S302	0	0	-22.457	0	0	0	0	0	0	0	0	3.438	4.815	10.313	4.131	0	0.053	0.274	0	-0.545	0	-0.022	0																															
S304	0	0	-22.615	0	0	0	0	0	0	0	0	3.438	4.815	10.313	4.131	0	0.053	0.433	0	-0.545	0	-0.022	0																															
S303	0	0	-22.66	0	0	0	0	0	0	0	0	3.433	4.815	10.313	4.31	0	0.053	0.306	0	-0.548	0	-0.022	0																															
S401	0	0	-22.619	0	0	0	0	0	0	0	0	3.433	4.815	10.313	4.298	0	0.056	0.277	0	-0.55	0	-0.024	0																															
S402	0	0	-22.443	0	0	0	0	0	0	0	0	3.438	4.815	10.313	4.12	0	0.056	0.271	0	-0.547	0	-0.024	0																															
S403	0	0	-22.662	0	0	0	0	0	0	0	0	3.433	4.815	10.313	4.298	0	0.056	0.32	0	-0.55	0	-0.024	0																															
S404	0	0	-22.519	0	0	0	0	0	0	0	0	3.438	4.815	10.313	4.12	0	0.056	0.348	0	-0.547	0	-0.024	0																															
S501	0	0	-22.611	0	0	0	0	0	0	0	0	3.433	4.815	10.313	4.288	0	0.059	0.28	0	-0.552	0	-0.025	0																															
S502	0	0	-22.531	0	0	0	0	0	0	0	0	3.439	4.815	10.313	4.111	0	0.059	0.369	0	-0.549	0	-0.025	0																															
S503	0	0	-22.657	0	0	0	0	0	0	0	0	3.433	4.815	10.313	4.288	0	0.059	0.326	0	-0.552	0	-0.025	0																															
S504	0	0	-22.498	0	0	0	0	0	0	0	0	3.438	4.815	10.313	4.11	0	0.059	0.338	0	-0.549	0	-0.025	0																															
S601	0	0	-22.613	0	0	0	0	0	0	0	0	3.433	4.815	10.313	4.278	0	0.062	0.293	0	-0.554	0	-0.027	0																															
S602	0	0	-22.422	0	0	0	0	0	0	0	0	3.433	4.815	10.313	4.101	0	0.062	0.272	0	-0.552	0	-0.027	0																															
S603	0	0	-22.657	0	0	0	0	0	0	0	0	3.433	4.815	10.313	4.278	0	0.062	0.336	0	-0.554	0	-0.027	0																															
S604	0	0	-22.493	0	0	0	0	0	0	0	0	3.438	4.815	10.313	4.101	0	0.062	0.343	0	-0.552	0	-0.027	0																															
S701	0	0	-22.655	0	0	0	0	0	0	0	0	3.434	4.815	10.313	4.27	0	0.064	0.344	0	-0.557	0	-0.028	0																															
S702	0	0	-22.477	0	0	0	0	0	0	0	0	3.438	4.815	10.313	4.093	0	0.064	0.336	0	-0.554	0	-0.028	0																															
S703	0	0	-22.697	0	0	0	0	0	0	0	0	3.434	4.815	10.313	4.297	0	0.064	0.387	0	-0.557	0	-0.028	0																															
S704	0	0	-22.526	0	0	0	0	0	0	0	0	3.438	4.815	10.313	4.093	0	0.064	0.385	0	-0.554	0	-0.028	0																															
S801	0	0	-22.995	0	0	0	0	0	0	0	0	3.437	4.815	10.313	4.253	0	0.066	0.701	0	-0.56	0	-0.03	0																															
S802	0	0	-22.746	0	0	0	0	0	0	0	0	3.439	4.815	10.313	4.077	0	0.066	0.623	0	-0.557	0	-0.03	0																															
S803	0	0	-23.034	0	0	0	0	0	0	0	0	3.437	4.815	10.313	4.253	0	0.066	0.74	0	-0.56	0	-0.03	0																															
S804	0	0	-22.806	0	0	0	0	0	0	0	0	3.439	4.815	10.313	4.077	0	0.066	0.683	0	-0.557	0	-0.03	0																															
NC0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.019	0	0	0	0	-0.032	-2.203																															
H000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	0	7.71	0	0.011	0	-1.498	0	-0.031	-8.056																																
NC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	-0.047	-2.188																															
H100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	0	2.625	0	0.01	0	-0.893	0	-0.049	-3.557																																
NC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	-0.056	-2.18																															
H200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	0	2.586	0	0.01	0	-0.932	0	-0.058	-3.47																																
NC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.021	0	0	0	0	-0.061	-2.176																															
H300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	0	2.575	0	0.011	0	-0.941	0	-0.064	-3.444																																
H400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	0	2.579	0	0.011	0	-0.945	0	-0.069	-3.44																																
NC4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.023	0	0	0	0	-0.066	-2.173																															
H500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	0	2.597	0	0.011	0	-0.95	0	-0.073	-3.449																																
NC5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.024	0	0	0	0	-0.069	-2.17																															
H600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	0	2.668	0	0.011	0	-0.961	0	-0.078	-3.504																																
NC6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.025	0	0	0	0	-0.073	-2.168																															
H700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	0	2.87	0	0.011	0	-0.987	0	-0.083	-3.675																																
NC7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.026	0	0	0	0	-0.075	-2.167																															
NC8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.028	0	0	0	0	-0.076	-2.169																															
H800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.864	0	0	3.365	0	0.01	0	-1.037	0	-0.09	-4.113																																
NCRES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.216	0	0	0	0	0.035	0	0	0	0	-0.074	-2.178																															
FVO_P02ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.923	0	0.228	5.311	0	-0.105	0	-7.357	0																															
FVO_P02DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.833	0	0.306	4.922	0	-0.097	0	-6.965	0																															
FVO_P04DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.927	0	0.248	5.309	0	-0.105	0	-7.378	0																															
FVO_P04ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.843	0	0.286	5.036	0	-0.097	0	-7.067	0																															
FVO_P01DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.917	0	0.151	5.835	0	-0.104	0	-7.798	0																															
FVO_P01ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.917	0	0.187	5.609	0	-0.105	0	-7.608	0																															
FVO_P0102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.106	0	0.447	31.466	0	-0.363	0	-40.686	0																															
FVO_P01ESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.307	0	0.796	8.142	0	-0.127	0	-11.12	0																															
FVO_P03ESQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.915	0	0.155	5.796	0	-0.103	0	-7.763	0																															
FVO_P03DIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.917	0	0.17	5.696	0	-0.104	0	-7.678	0																															
FVO_P03OESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.406	0	0.38	8.005	0	-0.115	0	-10.676	0																															
FVO_P0304	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.101	0	0.67	35.171	0	-0.346	0	-44.596	0																															
Total (GJ)	0	-716.176	0	0	0	0	0	0	0	0	109.963	193.016	330.016	202.256	0	6.176	136.688	0	-28.495	0	-168.688	-64.65																																
Total (kWh)	0.00	-198937.66	0.00	0.00	0.00	0.00																																																

