

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE

TRABALHO DE CONCLUSÃO FINAL DE CURSO DO MESTRADO
PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE



PROPOSTA DE MELHORIA DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO PARA A AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE ENVOLTÓRIAS DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

TÁSSIO LUIZ DOS SANTOS

**CAMPO GRANDE
JUNHO/2019**

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**PROPOSTA DE MELHORIA DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO PARA
A AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE ENVOLTÓRIAS
DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

TÁSSIO LUIZ DOS SANTOS

CAMPO GRANDE
JUNHO/2019

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**PROPOSTA DE MELHORIA DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO PARA
A AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE ENVOLTÓRIAS
DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

TÁSSIO LUIZ DOS SANTOS

Trabalho de Conclusão Final do Curso do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

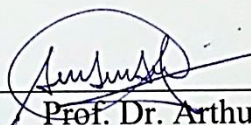
Orientador: Prof. Arthur Santos Silva, Dr. Eng.

CAMPO GRANDE

JUNHO/2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

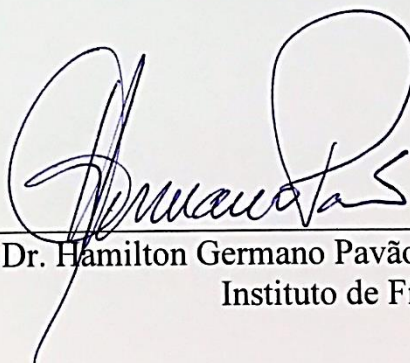
Redação final da qualificação de Curso defendida por **TÁSSIO LUIZ DOS SANTOS**, aprovada pela Comissão Julgadora em 28 de Junho de 2019, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



Prof. Dr. Arthur Santos Silva – Orientador
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia – FAENG/UFMS



Prof. Dr. Marcio José Sorgato – Membro Titular
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia – FAENG/UFMS



Prof. Dr. Hamilton Germano Pavão – Membro Titular
Instituto de Física – INFI/UFMS

DEDICATÓRIA

*À minha família, que acreditou em mim mesmo
quando eu não encontrava mais forças.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu agradeço a Deus, pois acredito que sem ele eu não teria capacidade de iniciar e terminar esta etapa. Agradeço aos meus pais, familiares e amigos, que sempre me apoiaram desde o início deste mestrado.

Agradeço ao professor Wagner Augusto Andreasi, por acreditar em mim e me incentivar a investir no conhecimento científico. Agradeço também ao professor Arthur Santos Silva, que além de orientador e companheiro de trabalho, foi um grande amigo nesta fase e sempre me apoiou nas tomadas de decisões. Agradeço aos amigos que conquistei após minha entrada no laboratório, principalmente ao Fernando e à Natacha, que me deram muita força, compartilhando experiências e conhecimento nos temas de minhas pesquisas.

Agradeço a todos que participaram da minha vida durante esta etapa, me apoiando e confiando em mim nos momentos difíceis.

EPÍGRAFE

“...não vos conforteis com este mundo, mas transformai-vos pela renovação do vosso entendimento, para que experimenteis qual seja a boa, agradável e perfeita vontade de Deus.”

(Ep. aos Romanos 12:2)

RESUMO

O Brasil ainda possui um déficit habitacional grande para ser superado, o que incentiva o aumento na demanda da construção de habitações de interesse social, provenientes de programas sociais ou não. Diante desta realidade, prezar pela qualidade das edificações tornou-se uma obrigação das instituições responsáveis, proporcionando a criação de normas e regulamentos de desempenho e qualidade para as habitações de interesse social. A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece critérios para o desempenho de edificações residenciais para vários de seus sistemas. O método de avaliação de desempenho térmico por simulação, apresentado nessa norma técnica, é questionado na literatura científica no quesito de conforto térmico dos usuários e na imparcialidade dos resultados por proporcionar indevida liberdade ao usuário do programa de simulação na fase de configuração do modelo computacional. O objetivo deste trabalho é elaborar uma proposta de método de simulação computacional compatível com o método apresentado pela NBR 15575 (ABNT, 2013), com base no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e no modelo adaptativo da Standard 55 da ASHRAE (2017). Utilizando quatro modelos de layout dos projetos de habitação de interesse social do Programa Minha Casa Minha Vida do Governo Federal, foram variadas algumas características físicas da edificação, seu funcionamento e clima, sendo analisados apenas os climas presentes no estado do Mato Grosso do Sul. As variações possibilitaram observar o comportamento dos projetos em diversas situações, criando assim um banco de resultados de simulações para o método proposto. Com este banco de dados, foi possível elaborar tabelas de classificação de acordo com cada clima e ambiente a ser avaliado. Em paralelo a estas simulações, foram realizadas as simulações dos mesmos projetos seguindo o método estabelecido pela NBR 15575 (ANBT, 2013), o que possibilitou uma análise de correlação entre estes dois métodos, bem como uma análise de variância das variáveis de entrada de ambos os métodos analisados. Os resultados mostraram que as variáveis mais influentes são similares e que devido à esta semelhança há uma correlação entre elas, demonstrando a viabilidade de se criar um método de avaliação de desempenho térmico de habitações baseado no conforto térmico dos usuários da edificação e não somente nas temperaturas do ar interno.

Palavras-chaves: Desempenho Térmico; NBR 15575; Simulação computacional; Habitação de interesse social; Conforto térmico.

ABSTRACT

Brazil still has a high housing deficit to be surpassed, which encourages the increase in the demand for the construction of housing of social interest, coming from social programs or not. Therefore, within this reality, caring for the quality of buildings has become an obligation of the responsible institutions in providing the creation of standards and regulations of performance and quality for social housing. The NBR 15575 (ABNT, 2013) establishes criteria for the performance of residential buildings for several of their systems. The method of evaluation of thermal performance by simulation, presented in this technical standard, is often questioned by the scientific literature in terms of the thermal comfort of users and impartiality in the results, as it provides undue freedom to the user of the simulation program in the configuration phase of the computational model. The objective of this work is to elaborate a proposal of a computer simulation method compatible with the method presented by NBR 15575 (ABNT, 2013), based on the Technical Regulation of Quality for the Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R) and the ASHRAE Standard 55 (2017) adaptive model. By using four models of the layout of social housing projects of the Program of the Federal Government "Minha Casa Minha Vida", some physical characteristics of the building, its operation and climate were varied, being analyzed only the climates present in the state of Mato Grosso do Sul. The variations allowed to observe the behaviour of the projects in different situations and the development of a large number of results of simulations for the proposed method. With this database, it was possible to elaborate classification tables according to each climate and environment to be evaluated. In parallel to these simulations, other simulations of the same projects were carried out by following the method established by NBR 15575 (ANBT, 2013), which made possible a correlation analysis between these two methods, as well as a variance analysis of the variables of the two simulation methodologies. The results show that the most influent variables for the two cases are very similar and that due to this similarity there is a correlation between them, demonstrating the feasibility of creating a method of evaluating the thermal performance of dwellings based on the thermal comfort of the users of the building.

Keywords: Thermal Performance; NBR 15575; Simulation; Social Housing; Thermal comfort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Zoneamento bioclimático brasileiro segundo a ABNT NBR 15220-3:2005	32
Figura 2: Intervalos de aceitabilidade da temperatura operativa em ambientes ventilados naturalmente	42
Figura 3: Fluxograma do processo de modelagem e simulação computacional.....	45
Figura 4: Modelagem da geometria do projeto da tipologia I	47
Figura 5: Modelagem da geometria do projeto da tipologia II.....	48
Figura 6: Modelo de ajuste de componente de seção paralela para seção em série	51
Figura 7: Zonas bioclimáticas do Mato Grosso do Sul.....	56
Figura 8: Médias mensais das variáveis climáticas das cidades analisadas: a) Campo Grande; b) Corumbá; c) Dourados; e d) Sidrolândia.....	57
Figura 9: Variação anual da temperatura do solo a 0,50m de profundidade	59
Figura 10: Taxa de ocupação dos ambientes de permanência prolongada	62
Figura 11: Taxa de uso da iluminação nos ambientes de permanência prolongada	63
Figura 12: Variação mensal das temperaturas médias e os limites superior e inferior para o conforto adaptativo de cada cidade: a) Campo Grande; b) Corumbá; c) Dourados; e d) Sidrolândia.....	65
Figura 13: Disposição das tipologias e modelos simulados	67
Figura 14: Separação das classes de desempenho – exemplo	68
Figura 15: Frequência absoluta do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto por calor e frio nos quartos e salas, para o método proposto.	71
Figura 16: Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e salas para a zona bioclimática de Campo Grande (ZB 6).....	72
Figura 17: Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e salas para a zona bioclimática de Corumbá (ZB 8)	73
Figura 18: Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e salas para a zona bioclimática de Dourados (ZB 3).....	74
Figura 19: Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e salas para a zona bioclimática de Sidrolândia (ZB 5).....	75
Figura 20: Proporção dos resultados de desempenho térmico nas faixas de classificação para a cidade de Campo Grande conforme o método de simulação da NBR 15575-1	76
Figura 21: Proporção dos resultados de desempenho térmico nas faixas de classificação para a cidade de Corumbá conforme o método de simulação da NBR 15575-1.....	77

Figura 22: Proporção dos resultados de desempenho térmico nas faixas de classificação para a cidade de Dourados conforme o método de simulação da NBR 15575-1.....	77
Figura 23: Proporção dos resultados de desempenho térmico nas faixas de classificação para a cidade de Sidrolândia conforme o método de simulação da NBR 15575-1.....	77
Figura 24: Correlação dos resultados de desempenho da cidade de Campo Grande pela norma e o método proposto nos (a) quartos e (b) salas.....	79
Figura 25: Correlação dos resultados de desempenho da cidade de Corumbá pela norma e o método proposto a) quartos; b) salas.....	79
Figura 26: Correlação dos resultados de desempenho da cidade de Dourados pela norma e o método proposto a)quartos(verão); b)salas(verão); c)quartos(inverno); d)salas(inverno).	80
Figura 27: Correlação dos resultados de desempenho da cidade de Sidrolândia pela norma e o método proposto a)quartos(verão); b)salas(verão); c)quartos(inverno); d)salas(inverno).....	81
Figura 28: Análise de sensibilidade das variáveis independentes no: a) desempenho no verão; b) desempenho no inverno; c) desconforto no calor; d) desconforto no frio	83
Figura 29: Planta e fachada da tipologia I.....	95
Figura 30: Planta e fachadas da tipologia II.....	97
Figura 31: Taxa de correlação de desempenho NBR 15575 x Método Proposto (ZB 6)	107
Figura 32: Taxa de correlação de desempenho NBR 15575 x Método Proposto (ZB 8)	107
Figura 33: Taxa de correlação de desempenho NBR 15575 x Método Proposto (ZB 3)	109
Figura 34: Taxa de correlação de desempenho NBR 15575 x Método Proposto (ZB 5)	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critérios de avaliação de desempenho térmico mínimo para condições de verão e inverno	33
Tabela 2: Indicadores de desempenho utilizados no estudo de caso de Silva (2016) ..	41
Tabela 3: Critério de avaliação de desempenho térmico NBR 15575-1 (2013).....	42
Tabela 4: indicadores característicos das tipologias	48
Tabela 5: Componentes das paredes utilizados na modelagem das tipologias.....	50
Tabela 6: Componentes das coberturas utilizados na modelagem das tipologias	51
Tabela 7: Representação dos componentes construtivos com materiais equivalentes .	53
Tabela 8: Componentes da envoltória com materiais equivalentes	54
Tabela 9: Principais pontos de divergência entre o método proposto e a norma	55
Tabela 10: Características dos dias típicos adotados para as simulações de desempenho térmico	58
Tabela 11: Taxas de abertura para ventilação.....	59
Tabela 12: Tipos de janelas e taxa de abertura	60
Tabela 13: Coeficientes de fluxo de ar das aberturas	61
Tabela 14: principais parâmetros adotados como constantes nas simulações	61
Tabela 15: Variáveis dependentes das simulações	63
Tabela 16: Variáveis dependentes das simulações de desempenho	66
Tabela 17: Variáveis independentes e seus respectivos valores	67
Tabela 18: Classificação do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e sala para a zona bioclimática 6	72
Tabela 19: Classificação do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e sala para a zona bioclimática 8	73
Tabela 20: Classificação do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e sala para a zona bioclimática 3	74
Tabela 21: Classificação do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e sala para a zona bioclimática 5	75
Tabela 22: Classificação de casos em que há pouca correlação entre os métodos	82
Tabela 23: Características físicas dos casos com pouca correlação no desempenho ...	82
Tabela 24: Variáveis climáticas dos arquivos na extensão epw.	93

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Ar-condicionado
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BPE	Building Performace Evaluation
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
C_T	Capacidade Térmica ($\text{kJ/m}^2\text{K}$)
E+	Energy Plus
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
HIS	Habitação de Interesse Social
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	International Organization for Standardization
LADE	Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PODc	Porcentagem de horas Ocupadas em Desconforto por Calor
PODf	Porcentagem de horas Ocupadas em Desconforto por Frio
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para Avaliação da Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para Avaliação da Eficiência Energética de Edificações Residenciais
U	Transmitância Térmica ($\text{W/m}^2\text{K}$)
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
ZB	Zona Bioclimática

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Unidade de medida de temperatura em graus Celsius
Cm	Unidade de medida de comprimento em centímetro
h	Unidade de medida de tempo em horas
kg	Unidade de medida de massa em quilograma
kg/m ³	Unidade de densidade aparente em quilograma por metro cúbico
kg/sm	Unidade de infiltração em quilograma por segundo metros
kJ/(m ² K)	Unidade de capacidade térmica de componentes em quilojoule por metro quadrado kelvin
m	Unidade de medida de comprimento em metro
m/s	Unidade de medida de velocidade em metros por segundo
m ²	Unidade de medida de área em metro quadrado
met	Unidade de medida de taxa metabólica
mm	Unidade de medida de comprimento em milímetro
W/(m ² K)	Unidade de transmitância térmica de componentes em watt por metro quadrado kelvin
W/m ²	Unidade de medida de energia em watt por metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Objetivos	29
1.1.1	Objetivo geral.....	29
1.1.2	Objetivos específicos	29
1.2	Estrutura do trabalho	30
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1	Contextualização.....	31
2.2	Desempenho térmico de edificações.....	32
2.3	Desenvolvimento de métodos de avaliação de desempenho térmico e energético de envoltória e métodos vigentes	35
2.3.1	Arquivo climático	39
2.3.2	Tipologias.....	40
2.3.3	Indicadores de desempenho	41
2.4	Considerações finais sobre a revisão da literatura	43
3	MÉTODO	45
3.1	Programa de simulação computacional	46
3.2	Definição dos modelos de simulação.....	46
3.2.1	Modelagem da geometria.....	47
3.2.2	Características térmicas dos componentes da envoltória.....	48
3.2.3	Condições de contorno.....	55
3.2.4	Ganhos internos.....	62
3.2.5	Dados de saída do método de simulação proposto	63
3.2.6	Dados de saída para as simulações pelo método da ABNT NBR 15575-1	65
3.3	Experimento computacional	66

3.4	Classificação de desempenho proposto	68
3.5	Testes do método de avaliação de desempenho	69
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
4.1	Disposição dos resultados das simulações do método proposto	71
4.2	Resultados pelo método da ABNT/NBR 15575-1:2013	76
4.3	Análise de correlação entre os métodos analisados.....	78
4.4	Análise de sensibilidade das variáveis independentes	82
5	CONCLUSÕES	85
5.1	Comparação entre os indicadores de desempenho	85
5.2	Viabilidade de revisão do método da NBR 15575 (ABNT, 2013)	86
5.3	Limitações do trabalho	87
5.4	Sugestões para futuros trabalhos	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
	ANEXO A - Variáveis climáticas dos arquivos climáticos.....	93
	ANEXO B - Plantas dos projetos simulados.....	95
	APÊNDICE A - Configuração da simulação	99
	APÊNDICE B - Correlação de desempenho dos métodos.....	107

1 INTRODUÇÃO

A construção de Habitações de Interesse Social (HIS) em países em desenvolvimento vem crescendo durante as últimas décadas, fazendo com que surjam questionamentos relacionados à qualidade das edificações por parte de diferentes setores da sociedade. No entendimento de que as habitações devem proporcionar conforto e segurança aos usuários da edificação, e baseado nos conceitos de BPE (*Avaliação de Desempenho de Edificações/Building Performance Evaluation*), de que quanto maior é a aproximação entre o ambiente desejado e o ambiente real em que um indivíduo habita, mais bem-sucedido o indivíduo é (GIBSON, 1982), diversos países da Europa, Ásia e América, têm desenvolvido estudos científicos e normas técnicas de desempenho das edificações.

Os programas sociais habitacionais lançados pelo Governo Federal no Brasil, como o Programa Minha Casa Minha Vida, instituído pela Lei nº 11.977/09, que já atingiu 95% dos municípios brasileiros (BRASIL, 2014), têm impulsionado a produção de Habitações de Interesse Social pelo país. Entre sua primeira e segunda fase, de 2009 até 2014, foram mais de 2,8 milhões de unidades habitacionais financiadas (BRASIL, 2017). Mesmo com programas dessa magnitude, o déficit habitacional brasileiro ainda vem crescendo nos últimos anos, chegando a atingir a casa dos 6 milhões (FUNDAÇÃO..., 2018), considerando todo território brasileiro.

Na expectativa de que o aumento na construção de edificações seguirá na tentativa de suprir parte do déficit habitacional do país, os órgãos normativos observaram a necessidade de estabelecer parâmetros para a garantia de desempenho das edificações, seguindo também a tendência mundial de elaboração de normas de desempenho (AGÊNCIA CBIC, 2010). No Brasil, a NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho tem tido grandes repercussões no setor da construção civil desde sua primeira versão, publicada em 2008, necessitando ser revisada, devido à grande pressão do setor da construção de civil, sendo sua revisão publicada novamente em 2013.

Algumas organizações, como o Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR) e a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), já lançaram manuais de entendimento a respeito da NBR 15575 para auxiliar na interpretação das exigências apresentadas por ela. É importante ressaltar que a norma citada segue em estudo para outra revisão, desde setembro de 2018 (AGÊNCIA CBIC, 2018).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece os requisitos de desempenho de edificações por sistema. O seu objetivo é atender às necessidades do usuário da edificação nos seguintes

aspectos: segurança estrutural, contra o fogo, no uso e na operação; habitabilidade, que inclui estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade, acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico; e sustentabilidade, nos quesitos durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental.

A parte 1 da NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, como um todo, bem como a serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos. O item 11 trata do desempenho térmico, indicando os três métodos de avaliação para determinar o nível de classificação das edificações: simplificado, simulação computacional e medição *in loco*.

O método de medição *in loco* tem apenas função informativa para a avaliação, e quando comparada aos outros métodos, retrata as condições reais da edificação, pois as medições são feitas na própria edificação (ou protótipo em escala real) em um dia com características do dia típico de projeto de verão ou inverno. Essa análise *in loco* possibilita uma comparação entre os resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação em projeto e após construída.

Segundo Chvtal (2014), o método simplificado é uma ferramenta de aplicação rápida para a avaliação do desempenho térmico da edificação; todavia, não representa de forma correta os impactos da transmitância térmica e da absorptância solar da envoltória, constatando que a simulação é mais indicada para a análise destes fatores.

Segundo Sorgato *et al.* (2014), o método de simulação proposto pela NBR 15575 (ABNT, 2013) atua de forma mais abrangente que o método simplificado. No entanto algumas variáveis de entrada, como as condições de contato com o solo e os parâmetros de ventilação natural, não são consideradas no método proposto, necessitando de um devido aperfeiçoamento.

As variáveis desconsideradas pela norma exercem grande influência no nível de classificação do desempenho térmico, o que causa falta de precisão no resultado final (SILVA *et al.*, 2014). Desta maneira, isso possibilita ao usuário do programa a manipulação de alguns parâmetros da simulação não fixados pela norma, de forma que os resultados alcancem a melhor classificação de desempenho possível ou almejado.

Tendo em vista que é possível manipular os resultados das avaliações de desempenho térmico de acordo com algumas variáveis de entrada do programa de simulação que são definidas pelo usuário do programa, sem parâmetros estabelecidos pela norma, o método de simulação não se torna efetivo no quesito confiabilidade (SILVA *et al.*, 2014).

No Brasil, a simulação computacional de edificações é indicada pelo principal regulamento brasileiro para a avaliação de eficiência energética de edificações, o RTQ (Regulamento Técnico da Qualidade para Avaliação da Eficiência Energética de Edificações).

Atualmente, o método proposto por este regulamento estabelece mais parâmetros de entrada do que a NBR 15575, tornando a avaliação mais imparcial.

Neste momento, a referida norma se encontra em revisão (AGÊNCIA CBIC, 2018) e diante das atuais críticas sobre o método de simulação proposto na norma, nota-se a possibilidade de discussões para a melhoria do mesmo. Hoje, a simulação é um recurso para a avaliação do desempenho de projetos proposto por diversos regulamentos e normas em âmbito global. Para uma norma ou regulamento, é importante que o método de avaliação proposto consiga abranger o máximo de particularidades possíveis, colaborando para uma análise mais concisa e imparcial.

Este trabalho apresenta um estudo sobre simulação termoenergética de edificações residenciais que, por meio de uma amostra de simulações, analisa a interação das variáveis de entrada na simulação para estabelecer parâmetros para uma avaliação com menos interferência possível do usuário que está realizando a modelagem da simulação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é propor a melhoria do método de simulação computacional para a avaliação do desempenho térmico da NBR 15575 (ABNT, 2013) de Habitações de Interesse Social para o clima tropical com estação seca (cf. INMET).

1.1.2 Objetivos específicos

- Propor um método de simulação alternativo para avaliar o desempenho térmico das Habitações de Interesse Social das zonas bioclimáticas do Mato Grosso do Sul;
- Criar um banco de dados com resultados de desempenho térmico das simulações realizadas para o método desenvolvido;
- Comparar os resultados das simulações realizadas pelo método vigente da norma de desempenho (NBR 15575) versus o método alternativo proposto.

1.2 Estrutura do trabalho

A estrutura do trabalho está dividida em cinco Capítulos. O Capítulo 1 é a introdução, para situar o trabalho e restringir o tema, abordando as problemáticas e justificativas desta pesquisa. O Capítulo 2 é a revisão bibliográfica, e é apresentado o estado da arte, analisando os estudos já realizados nesta linha de pesquisa; neste capítulo também são abordados os conceitos de desempenho térmico e eficiência energética de edificações, as metodologias de avaliação da NBR 15575 e do RTQ-R. O método do trabalho é apresentado no Capítulo 3, que descreve todos os procedimentos para a realização da pesquisa, desde o programa utilizado para a simulação computacional até os métodos para a criação das classes de desempenho. No Capítulo 4 são apresentados os resultados, no qual são discutidas as diferenças entre os métodos analisados e a criação das classes de desempenho térmico, a comparação entre o método atual da norma e o proposto neste trabalho e a análise de sensibilidade das variáveis no experimento de simulação. As conclusões do trabalho são apresentadas no Capítulo 5, descrevendo de forma ampla as conclusões da pesquisa, suas limitações e propostas para trabalhos futuros. Por fim, têm-se as referências bibliográficas, os anexos e os apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é retratado um breve histórico dos principais regulamentos e normas vigentes na área de desempenho térmico e eficiência energética de edificações. Também são apresentadas algumas das principais pesquisas mais recentes que discutem sobre o tema, para o devido embasamento teórico.

2.1 Contextualização

O desempenho térmico e a eficiência energética da envoltória de edificações vêm sendo pesquisados e desenvolvidos no Brasil há algum tempo por vários grupos de pesquisa. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), de São Paulo, o grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) e, atualmente, o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) são os principais grupos que dissertam sobre o tema no país.

Em parceria com o antigo Banco Nacional da Habitação (BNH), o IPT iniciou suas pesquisas em 1981, com o trabalho *Formulação de Critérios para Avaliação de Desempenho de Habitações*. Foi publicado em 1998 o trabalho *Elaboração de Critérios Mínimos para Avaliação de Desempenho de Habitações de Interesse Social para a FINEP/CEF*, com uma seção específica sobre conforto térmico (BARBOSA *et al.*, 2003).

Desde 1993, o grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da ANTAC vem publicando trabalhos relacionados com o tema, como: 1 – *Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação* (SILVA; LAMBERTS ; SATTTLER, 1993); 2 – *Avaliação Térmica de Edifícios: Subsídios para a Normalização Brasileira* (BARBOSA; LAMBERTS, 1993); e 3 – *Metodologias de Tratamento de Dados Climáticos para Análises Térmicas de Edificações* (GOULART; LAMBERTS, 1993). Os trabalhos mais recentes, publicados pelo grupo, fomentam discussões sobre propostas de melhorias nos métodos brasileiros de avaliação de desempenho e eficiência energética de edificações.

O CB3E foi criado com o objetivo de dar suporte técnico e científico ao Programa Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (PBE-Edifica), interagindo com a indústria e exercendo o papel de observatório tecnológico nas áreas afins. Dessa forma, pretendem se tornar um centro de referência internacional de medição de propriedades ópticas e térmica (CB3E, 2018).

Por meio de convênios entre a ELETROBRAS e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), o CB3E desenvolveu os regulamentos para a Etiqueta Nacional de

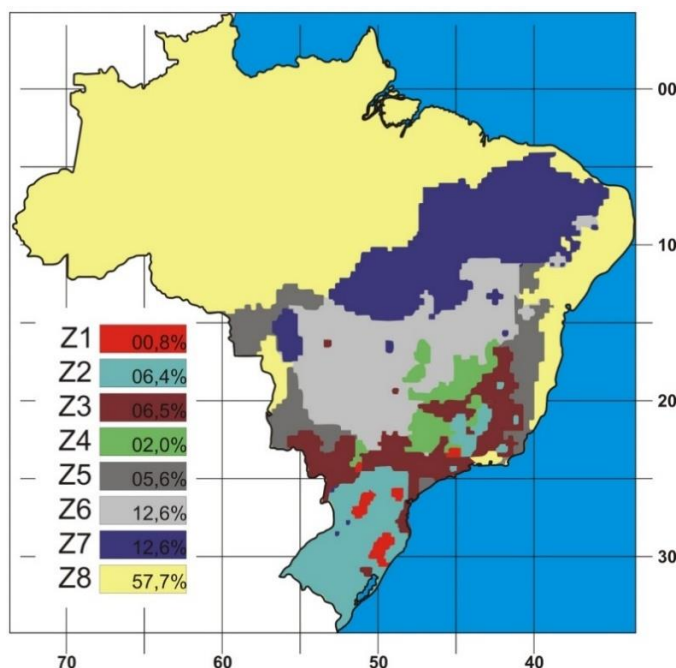
Conservação de Energia (ENCE) para Edificações. Atualmente, trabalha na atualização e melhorias nos regulamentos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações. Durante o desenvolvimento destes regulamentos, diversos manuais, relatórios e notas técnicas já foram publicadas para sanar questionamentos técnicos e fomentar discussões sobre o assunto no meio acadêmico.

2.2 Desempenho térmico de edificações

No Brasil, historicamente, o desempenho térmico de habitações aparece com o surgimento da norma brasileira NBR 15220-3 (ABNT, 2005). A referida norma tem dois objetivos, sendo o primeiro deles estabelecer o zoneamento bioclimático brasileiro, abrangendo recomendações e estratégias construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. O segundo objetivo é estabelecer recomendações e diretrizes construtivas para a adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, para edificações com até três pavimentos, baseadas na Carta Bioclimática adaptada à partir do diagrama de Givoni (1992).

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) divide o território do Brasil em 8 zonas bioclimáticas relativamente homogêneas quanto ao clima, conforme é apresentado na Figura 1. A norma também estabelece recomendações não compulsórias para características geométricas das edificações, como já citado anteriormente.

Figura 1: Zoneamento bioclimático brasileiro segundo a ABNT NBR 15220-3:2005



Fonte: ZBBR (2018)

A NBR 15220-2 (ABNT, 2005) estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas dos componentes e elementos de envoltória das edificações. Além de servir de amparo para a parte 3 desta mesma norma, ela também contribui para outras normas regulamentos de desempenho de edificações, como o RTQ (Regulamento Técnico da Qualidade para Avaliação da Eficiência Energética de Edificações) e a NBR 15575 (ABNT, 2013).

Em 2013 foi republicada a NBR 15575 (ABNT, 2013), norma que estabelece requisitos e critérios de desempenho de edificações habitacionais, inclusive o desempenho térmico, objeto de estudo desta pesquisa. Pode-se dizer que é a norma que trata mais diretamente deste assunto, apresentando três metodologias para a análise de desempenho térmico das habitações, sendo uma delas, como já citada, a simulação computacional, com função normativa.

A avaliação pelo método de simulação da NBR 15575 (ABNT, 2013) propõe que o usuário do programa realize a simulação para os dias típicos de projeto de verão e inverno do local onde será executado o projeto. A modelagem não considera as cargas internas como ocupação, iluminação e equipamentos, devendo-se considerar 1 ou 5 renovações de ar por hora (h^{-1}), de acordo com a necessidade do ambiente. O nível mínimo de aceitação no verão se dá quando a temperatura máxima diária do ar no interior do ambiente for menor que a temperatura máxima diária do ar exterior da edificação. No caso do inverno, o nível mínimo se dá quando a temperatura mínima diária do ar no interior do ambiente for maior ou igual a 3 °C em relação à mínima externa, não sendo verificada esta análise de inverno no caso das zonas bioclimáticas 6, 7 e 8. A Tabela 1 apresenta um resumo dos critérios de desempenho térmico estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Tabela 1: Critérios de avaliação de desempenho térmico mínimo para condições de verão e inverno

Dia típico	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
Verão	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
Inverno	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})$	Este critério não pode ser verificado.
$T_{i, mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e, mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i, máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e, máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.		

Fonte: ABNT (2013)

Para Santo, Alvarez e Nico-Rodrigues (2014) a NBR 15575 (ABNT, 2013) representou um grande avanço nas questões de melhorias na qualidade da construção civil brasileira; contudo, seus critérios relativos ao desempenho térmico do usuário da habitação não são

levados em consideração. Outro levantamento na literatura constatou que, para os usuários da habitação, o conforto térmico é o propósito mais importante entre os pilares do conforto ambiental (YANG *et al.*, 2014; FRONTCZAK; WARGOCKI, 2011). A abordagem do método de simulação vigente na norma não é apropriada para avaliar o conforto térmico dos ocupantes e o atendimento aos requisitos normativos nem sempre garante condições de conforto térmico (PEREIRA; FERREIRA, 2014; FERREIRA *et al.*, 2017).

Em sua análise sobre o método de avaliação de desempenho térmico proposto pela norma, Oliveira, Souza e Da Silva (2017) observam que os critérios são insuficientes para garantir condições adequadas de conforto térmico humano. Dessa forma, sugerem que sejam consideradas informações mais detalhadas sobre o uso da edificação. Oliveira *et al.* (2015) ratificam, dizendo que os requisitos adotados não permitem condições adequadas para o conforto do usuário do programa, pois o dia típico não é um dia real e as taxas de renovação do ar previstas pela norma podem não ocorrer em várias cidades brasileiras.

O método de simulação da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) também foi criticado por Sorgato *et al.* (2012) por recomendar a simulação computacional apenas para o dia de projeto, que apresenta temperaturas extremas que podem ocorrer apenas uma vez a cada trinta anos. Dessa forma, o método não realiza uma análise anual do desempenho térmico da edificação.

Sorgato *et al.* (2014) comentam que a norma deveria estipular a condição do piso para as simulações, para que todos os casos fossem avaliados com o mesmo critério. Silva *et al.* (2014), ao realizar uma análise de incertezas, observaram que além da condição do piso, outras variáveis que não são parametrizadas têm grande influência no desempenho térmico da edificação. Sendo assim os usuários do programa, que realizam a modelagem da simulação, possuem liberdade para definir tais valores que não são indicados pela norma, podendo realizar avaliações imparciais.

O Regulamento Técnico da Qualidade para Avaliação da Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (INMETRO, 2012) também propõe a simulação da edificação para a análise de sua eficiência energética. Entretanto, diferentemente do método de simulação da NBR 15575-1 (ABNT, 2013), o RTQ-R estabelece parâmetros para padronizar as avaliações. O método do referido Regulamento determina que o usuário do programa deve modelar todo o sistema de ventilação natural de cada zona térmica, utilizar os padrões de ganhos internos pré-estabelecidos e define abordagens possíveis para considerar a temperatura do solo abaixo da edificação. A classificação final da eficiência energética se dá na comparação entre o indicador de graus-hora de resfriamento e o consumo relativo de energia com aquecimento

anual para edificação, comparando com a tabela disponibilizada pelo Procel, para cada zona bioclimática do Brasil.

Em um dos relatórios de desenvolvimento do RTQ-R, Sorgato e Lamberts (2011) realizaram a simulação de 187.200 ambientes, sendo 112.320 de permanência prolongada ventilados naturalmente e 74.880 condicionados artificialmente, variando algumas características das edificações analisadas. Este trabalho resultou em um banco de dados para o desenvolvimento das equações de regressão linear multivariada para a avaliação da eficiência energética de edificações habitacionais no Brasil.

Sorgato *et al.* (2012) apresentaram a proposta de um procedimento de simulação para avaliar o desempenho térmico da envoltória de edificações residenciais. O procedimento proposto busca avaliar o desempenho térmico, considerando a realidade de uso das edificações residenciais.

O termo “desempenho térmico” da envoltória tem grande relação com a eficiência energética das edificações, uma vez que a taxa de ganho ou perda de calor está ligado às propriedades de transmitância e capacidade térmica das envoltórias da edificação; por sua vez, as propriedades térmicas das envoltórias influenciam na carga térmica a ser retirada/adicionada pelos sistemas de resfriamento ou aquecimento artificiais. Mediante tal importância, por exemplo, o RTQ-C (INMETRO, 2010) considera na pontuação total um peso de 30% para o desempenho da envoltória. Devido à influência da absorvância solar, calor específico e condutividade térmica das envoltórias, Silva, Almeida e Ghisi (2017) recomendam que se investigue o material a ser utilizado, mediante a medições e ensaios técnicos dos mesmos, para que sejam estimados com maior precisão.

2.3 Desenvolvimento de métodos de avaliação de desempenho térmico e energético de envoltória e métodos vigentes

Em uma crítica à NBR 15575-1 (ABNT, 2013), Sorgato *et al.* (2012) propõem uma nova metodologia de avaliação de desempenho térmico da envoltória de edificações residenciais. A proposta diverge da norma em vários pontos, como:

- utilizar um arquivo climático e modelar a simulação computacional para as 8.760 horas do ano;
- empregar ganhos de calor internos para a simulação de ambientes de permanência prolongada, como ocupação e iluminação;

- utilizar processadores de temperatura de solo como o *Slab* (um objeto do programa EnergyPlus), cadastrando a média de temperatura mensal do ano de referência;
- modelar uma edificação de referência (com mesma geometria da edificação avaliada).

Nesta proposta o critério de avaliação de desempenho é feito baseando-se em indicadores de graus-hora de resfriamento e graus-hora de aquecimento, sendo o de resfriamento para avaliar o desempenho no verão e o aquecimento para avaliar o desempenho no inverno. A avaliação é feita na comparação entre o desempenho da edificação real com o desempenho da edificação de referência. Os indicadores de graus-hora devem ser iguais ou menores que o da edificação modelada como referência.

O método de simulação do RTQ-R não poderia deixar de ser citado, pois hoje é o regulamento vigente mais detalhado para este tipo de simulação. O procedimento de avaliação se diverge da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) em diversos pontos, e se aproxima do método proposto por Sorgato *et al.* (2012). Os principais pontos destacados para a modelagem das simulações são:

- utilizar um arquivo climático e modelar a simulação computacional para as 8.760 horas do ano;
- empregar ganhos de calor internos para a simulação de ambientes de permanência prolongada, como ocupação, iluminação e equipamentos eletroeletrônicos para cada dia de semana e feriados;
- modelar efeitos de inércia térmica e de multi-zonas térmicas;
- utilização de processadores de temperatura de solo como *Slab*, cadastrando a média de temperatura mensal do ano de referência.

Os indicadores de eficiência do ambiente deste método são os Equivalentes Numéricos da Envoltória dos Ambientes para resfriamento e aquecimento ($EqNumEnvAmb_{Resfr}/EqNumEnvAmb_A$). Estes equivalentes são obtidos de acordo com os indicadores graus hora (GH_R) e consumo relativo para aquecimento (C_A), de forma que o usuário do programa deverá comparar estes indicadores com os valores de referência das tabelas de classificação dos níveis de eficiência disponibilizadas pelo Procel.

Soares e Silva (2017) propõem uma metodologia de compatibilização entre os métodos simplificado e simulação da NBR 15575 (ABNT, 2013). Para atingir o objetivo, os autores realizaram 300 simulações da geometria de um mesmo projeto variando algumas características térmicas. As principais configurações da modelagem foram:

- simular o modelo para os dias típicos de inverno e verão, de forma distinta;
- não empregar ganhos de calor internos para nenhum dos ambientes, seguindo as recomendações da NBR 15575-1 (ABNT, 2013);
- para a ventilação natural, as simulações foram consideradas com taxa de uma renovação de ar por hora (1 ren/h) do ambiente, e caso a unidade habitacional não atendesse, considerou-se a configuração de taxa de ventilação de 5 renovações de ar por hora (5 ren/h);
- utilização de processadores de temperatura de solo como *Slab*, cadastrando a média de temperatura mensal do ano de referência.

O resultado de sua pesquisa possibilitou a definição de alguns parâmetros para limites de classificação pelo método simplificado e de simulação. Para estabelecer a compatibilidade entre os métodos, Soares e Silva (2017) utilizou o critério de graus-hora de desconforto, que se mostrou mais coerente para seu objetivo.

Koo *et al.* (2014) propuseram um método de avaliação da eficiência energética de unidades habitacionais já construídas. Em seu trabalho, os autores comentam sobre as normas da União Europeia, Alemanha e Coreia do Sul. Os autores também citam a dificuldade de normas que relacionam o consumo energético da edificação com a sua área útil, pois esta variável não tem relação proporcional ao consumo da edificação.

O método proposto por Koo *et al.* (2014) utiliza como indicador de eficiência as emissões de CO₂. O trabalho foi realizado em 5 etapas:

- coleta de dados e análise;
- análise de correlação entre área útil da habitação e a emissão de CO₂;
- divisão dos *clusters* de acordo com a análise de correlação;
- definição dos grupos de classificação de eficiência das edificações já construídas;
- programa de incentivos e penalidades para edificações já construídas.

O trabalho de Koo *et al.* (2014) resulta em uma classificação de eficiência entre A a G, sendo A mais eficiente e G menos eficiente. Sua proposta ainda divide esta classificação em três grandes grupos, o *Cluster 1*, classificando as pequenas habitações, o *Cluster 2*, classificando as médias habitações e o *Cluster 3*, para a classificação das grandes habitações. Para finalizar o trabalho, os autores propõem que as habitações que consigam atingir bons níveis de eficiência recebam incentivos governamentais; as com piores classificações poderiam ser penalizadas. Nessa vertente, o trabalho propõe também um método estatístico para estabelecer os incentivos e as penalidades aplicáveis.

Melo (2012) desenvolveu um método para estimar o consumo de energia de edificações não residenciais empregando a ferramenta de redes neurais artificiais. Diferente dos métodos apresentados nos trabalhos citados anteriormente, a autora apresenta um método estatístico, baseado em um banco de resultados de simulação termoenergética, para avaliar o consumo de energia das edificações. A autora realizou simulações termoenergéticas paramétricas, referenciadas em dezesseis tipologias de edificações com características geométricas e atividades diferentes, criando assim uma base de dados para comparar com os resultados obtidos pelo método desenvolvido. O indicador para a avaliação de eficiência foi quilowatt hora por metro quadrado de área útil (kWh/m²).

O trabalho de Melo (2012) constatou que o método prescritivo dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) possui limitações, e propõe um método estatístico baseado em redes neurais para a avaliação e obtenção de uma estimativa de consumo de energia da edificação.

Bavaresco *et al.* (2017) testaram o “metamodelo” (oriundo das redes neurais artificiais) proposto por Melo (2012) utilizando cinco tipologias de edificações de escritório para três cidades brasileiras. Detendo como base 75 simulações termoenergéticas paramétricas, os autores compararam os resultados do metamodelo proposto e o método de simulação do RTQ-C, constatando que as cargas térmicas obtidas para ambos eram semelhantes, porém suscetíveis a incertezas, devido à extremos de eficiência no frio e ineficiência em clima quente, sendo as maiores variações em edificações menores.

Métodos que abordam o uso de energia primária com relação à área de piso para a análise de desempenho são uma desvantagem para edificações menores, por possuírem uma superfície de perda de calor maior quando comparadas a edificações maiores (BRACKE *et al.*, 2018). Os mesmos autores ainda concluem que a combinação entre referências de projeto e edificação construída tem grande influência no consumo de energia primária. Em seu estudo, Koo *et al.* (2014) também ressalta que a simples relação entre área útil e desempenho é negativa, pois edificações pequenas possuem uma densidade maior de consumo, no seu estudo de caso, pelo fato de ser uma área pequena quando comparada a áreas maiores.

Estes estudos deixam claro que é necessário que um regulamento ou norma técnica de desempenho devem levar em consideração vários detalhes no momento da modelagem computacional de uma edificação, pois correlacionar apenas às áreas da edificação pode não ser o método mais eficiente para tal análise, deixando as edificações menores (como Habitações de Interesse Social) sem uma avaliação justa.

2.3.1 Arquivo climático

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) recomenda que seja utilizado o dia típico de projeto para a avaliação. (SILVA *et al.*, 2014) ressaltam que a nomenclatura “dia típico” utilizada pela norma pode ter significado diferente de “dia de projeto”. A palavra “típico” pode ser interpretada como uma condição convencional de determinada probabilidade de ocorrência, enquanto a palavra “projeto” se refere, geralmente, às condições de dimensionamento, ou seja, condições extremas. Essa situação possibilita ao usuário do programa utilizar de métodos diferentes para definir as características deste “dia”, sendo que a norma não cita nenhum método estatístico para se estimar este “dia típico de projeto”. Soares e Silva (2017), por exemplo, precisaram determinar os dias típicos para o local em que realizaram a avaliação de seus projetos. Para tal, utilizaram o método de tratamento da Akutsu e Vittorino (1991), o mesmo utilizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

Scheller *et al.* (2015) destacam que o arquivo climático é um parâmetro de grande importância para uma simulação termoenergética de uma edificação, pois pode afetar a adequação da arquitetura ao clima. Segundo os autores, no Brasil, dentre os diferentes tipos de arquivos climáticos destacam-se: *Test Reference Year (TRY)*, *Typical Meteorological Year (TMY)*, *Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)*, *International Weather for Energy Calculations (IWECC)* e INMET (dados medidos nas estações automáticas do INMET).

Roriz (2012) reuniu os dados climáticos de 411 estações climatológicas do INMET, cujos dados foram coletados entre os anos de 2000 e 2010. Em seu trabalho, o autor elaborou arquivos climáticos na extensão “epw” (i.e., EnergyPlus weather), para a utilização em simulações computacionais com o programa EnergyPlus. Os arquivos originais das estações continham 8 variáveis de interesse disponíveis; porém, os arquivos processados em “epw” possuem outras 27 variáveis, que no trabalho foram estimadas por cálculo por meio do aplicativo Weather-Converter, plataforma distribuída juntamente com o EnergyPlus para a conversão de arquivos climáticos. A Tabela 24, apresentada no ANEXO A mostra as variáveis presentes nos arquivos “epw”.

Os métodos propostos por INMETRO (2012), Sorgato *et al.* (2014) e grande parte dos pesquisadores no tema, recomendam que seja utilizado o arquivo climático da cidade onde o projeto será localizado. Caso não exista arquivo climático disponível, recomenda-se a utilização de dados de uma região próxima com características climáticas semelhantes. Os arquivos climáticos utilizados nas simulações do programa EnergyPlus são em formato “epw”, e possuem informações para realizar a simulação computacional para as 8.760 horas do ano.

2.3.2 Tipologias

A definição de tipologias para a criação de um método de avaliação por simulação termoenergética é uma fase complexa, que exige uma seleção sistemática de tipologias que representem um grupo de edificações que serão avaliadas possivelmente pelo referido método. Grande parte dos trabalhos referenciam suas pesquisas em edificações multi-residenciais, de forma que se avalie um mesmo projeto em várias possíveis orientações e condições de entorno.

Soares e Silva (2017), em sua proposta de compatibilização dos métodos de avaliação da NBR 15575-1 (ABNT, 2013), fizeram a análise de um projeto simples de uma unidade habitacional em uma edificação multi-residencial, a qual atende às especificações do Programa Minha Casa Minha Vida 2. O mesmo projeto, adotado como tipologia para a análise, gerou 300 simulações que possibilitaram a realização das análises de divergência entre os métodos avaliados. Oliveira *et al.* (2015), para realizar uma análise de conforto térmico do método de simulação da NBR 15575-1(ABNT, 2013), utilizaram o projeto de uma edificação multi-residencial com 4 pavimentos e 4 apartamentos por pavimento. Neste caso, os apartamentos, independentes de orientação, foram as tipologias adotadas para a análise do autor.

No caso do RTQ-R, Teixeira *et al.* (2015) realizaram uma pesquisa em 48 cidades brasileiras com 167 empreendimentos, totalizando 11.499 unidades habitacionais, para a elaboração de um banco de dados de plantas cujas as informações ajudam a ilustrar o cenário imobiliário brasileiro. O estudo serviu de parâmetro para a elaboração de quatro *layouts* que visam dar suporte a um novo método de análise de envoltória de edificações residenciais.

Triana (2016), em sua tese “Abordagem integrada no ciclo de vida de HIS considerando mudanças climáticas”, realizou um levantamento de projetos das regiões do Brasil, analisando as tipologias de projetos contratadas pela Caixa Econômica Federal para o PMCMV. O método da autora baseou-se na elaboração de projetos representativos frente aos parâmetros nacionais, adotando assim dois níveis de projetos divididos em faixas de acordo com a renda familiar dos moradores. Na análise realizada pela autora, é possível observar que prevalecem a tipologia de projetos de casas unifamiliares térreas.

Rosa (2014) determinou modelos de referência (tratado com o termo “tipologias” neste trabalho) de habitações de interesse social para a cidade de Florianópolis, para o uso em estudos de desempenho termoenergético. Seu trabalho foi baseado no agrupamento de tipologias de 120 projetos levantados *in loco* para a criação dos modelos, de acordo com suas características físicas e áreas úteis. A autora realizou testes de hipóteses sobre as médias de desempenho térmico dos grupos e comprovou igualdade estatística para a maioria das variáveis dos projetos, o que comprova que seus modelos representavam bem os agrupamentos definidos.

Desta forma é possível observar que a maior parte das pesquisas realizadas ou até mesmo regulamentos de análise de desempenho baseiam-se em tipologias de projetos pré-definidos, que por sua vez representam um grupo específico a ser avaliado.

2.3.3 Indicadores de desempenho

O método utilizado para a análise da eficiência energética de edificações em vários países da Europa, como Alemanha e países do Reino Unido, bem como países asiáticos como Coreia do Sul, baseiam-se nas taxas de emissão de CO₂ (KOO *et al.*, 2014). Este indicador é um fator importante nestes países devido à suas matrizes energéticas serem baseadas em usinas termelétricas que queimam derivados de petróleo.

O desempenho térmico de uma edificação corresponde à resposta da habitação, em termos de parâmetros térmicos ambientais, ao clima local (GONÇALVES *et al.*, 2004). Silva (2016) identificou e utilizou 9 indicadores de desempenho, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Indicadores de desempenho utilizados no estudo de caso de Silva (2016)

Índice	Descrição
GHA _{amb}	Graus-hora de aquecimento de cada ambiente
GHA _{eq}	Graus-hora equivalente de aquecimento da edificação
GHR _{amb}	Graus-hora de resfriamento de cada ambiente
GHR _{eq}	Graus-hora equivalente de resfriamento da edificação
CA _{amb}	Consumo de energia com aquecimento de cada ambiente
CA _t	Consumo de energia com resfriamento da edificação
CR _{amb}	Consumo de energia com resfriamento de cada ambiente
CR _t	Consumo de energia com resfriamento da edificação
I _{eq} e I _{eq} *	Índices equivalentes de desempenho da edificação

Fonte: Silva (2016)

A NBR 15575-1 (ABNT 2013) adota como indicador de desempenho a temperatura do ar interno do ambiente em graus Celsius (°C), utilizando como parâmetro a temperatura do ar externo. Neste caso a norma determina três possíveis níveis de desempenho: o Mínimo (M), o Intermediário (I) e o Superior (S). A Tabela 3 apresenta os critérios e níveis de desempenho estabelecidos pela norma.

Sorgato *et al.* (2012) recomendam que a avaliação de desempenho térmico de edificações com ventilação natural seja feita considerando a realidade de uso da edificação e

utilizando os indicadores de graus-hora de resfriamento para o verão e graus-hora de aquecimento para inverno.

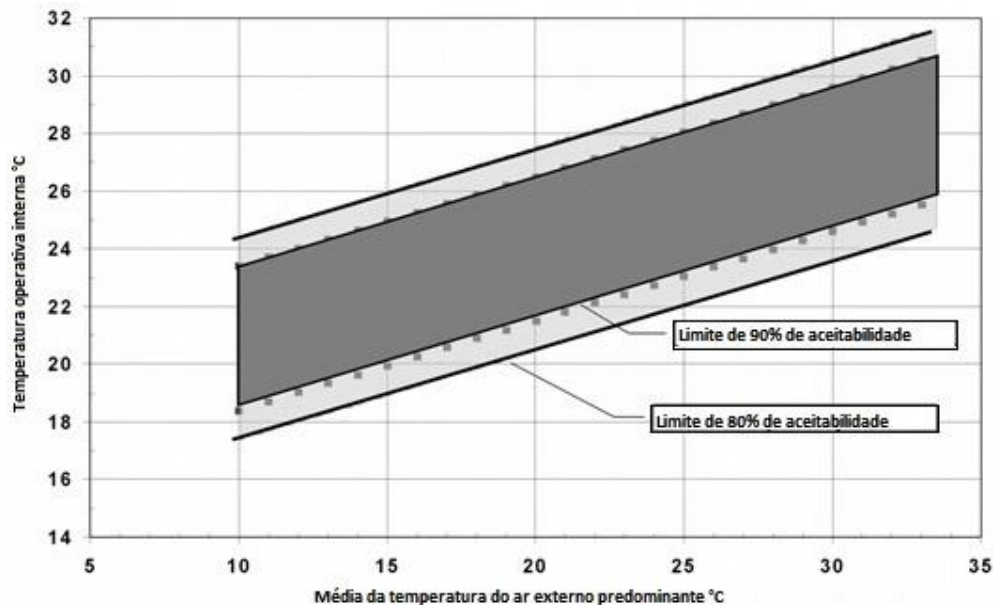
Tabela 3: Critério de avaliação de desempenho térmico NBR 15575-1 (2013)

Níveis	Verão (ZB1 ZB7)	Verão (ZB8)	Inverno (ZB1 a ZB5)
Mínimo	$T_{i, \text{máx.}} \leq T_{e, \text{máx.}}$		$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 3^{\circ}\text{C})$
Intermediário	$T_{i, \text{máx.}} \leq (T_{e, \text{máx.}} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \text{máx.}} \leq (T_{e, \text{máx.}} - 1^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 5^{\circ}\text{C})$
Superior	$T_{i, \text{máx.}} \leq (T_{e, \text{máx.}} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \text{máx.}} \leq (T_{e, \text{máx.}} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 7^{\circ}\text{C})$
$T_{i, \text{mín.}}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e, \text{mín.}}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i, \text{máx.}}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e, \text{máx.}}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. Obs.: Nas zonas ZB6 a ZB8 nenhum critério de inverno precisa ser verificado.			

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013)

Silva, Almeida e Ghisi (2017) em sua análise de incertezas físicas, utilizou o total de graus-hora de resfriamento ou aquecimento para o conforto térmico do morador, de acordo com o modelo adaptativo da norma internacional Standard 55 (ASHRAE, 2017). O modelo adaptativo citado estabelece limites superior e inferior, de acordo com a Figura 2.

Figura 2: Intervalos de aceitabilidade da temperatura operativa em ambientes ventilados naturalmente



Fonte: ASHRAE 55 adaptado pelo autor (2019)

Estes limites inferior e superior também podem ser estabelecidos, para 80% de aceitabilidade, pelas equações (2.1) e (2.2) respectivamente.

$$Ls = 0,31 \cdot t_{pma(out)} + 21,3 \quad (2.1)$$

$$Li = 0,31 \cdot t_{pma(out)} + 14,3 \quad (2.2)$$

Sendo:

Ls = Limite de aceitabilidade superior a 80% (°C)

Li = Limite de aceitabilidade inferior a 80% (°C)

$t_{pma(out)}$ = Temperatura média externa predominante

Silva, Ghisi e Lamberts (2016) realizaram uma análise de índices de desempenho de conforto térmico ao usuário de uma edificação. Os autores recomendam a utilização paralela dos índices de temperatura operativa e graus-hora de desconforto dos ocupantes para a avaliação de conforto térmico em um ambiente.

Analizando conceitos de desempenho e eficiência energética em edificações e trabalhos realizados nessa linha de pesquisa, pode-se concluir que para uma habitação ter um bom desempenho térmico sua envoltória, junto a outros fatores, deve proporcionar conforto aos usuários da residência. Dessa forma, indicadores que sejam baseados neste conceito podem representar de forma mais íntegra o desempenho térmico das edificações.

2.4 Considerações finais sobre a revisão da literatura

A revisão da literatura apresentou os referenciais teóricos, baseados em artigos científicos de revistas e anais de congressos, dissertações e teses de autores especialistas na linha de pesquisa deste trabalho. Foi possível, assim, analisar o estado da arte e observar os métodos aplicados na área de desempenho térmico em edificações.

Considerando o objetivo deste trabalho, foram apresentados estudos com métodos aplicados para a avaliação de desempenho termoenergético de edificações, bem como regulamentos e normas vigentes para tal análise. O conceito de arquivo climático possibilitou o conhecimento dos tipos de arquivos que representam as características climáticas locais, disponíveis para a aplicação em simulações computacionais. Sobre as tipologias, foram apresentados métodos de trabalhos já realizados para a definição de tipologias arquitetônicas que representam grupos específicos de edificações.

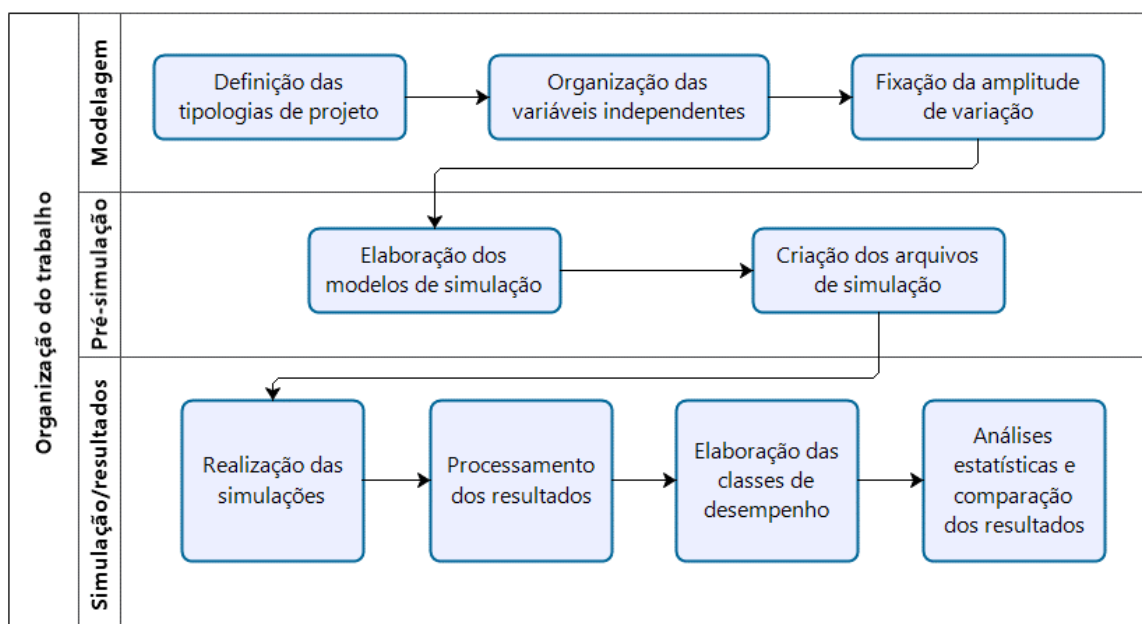
Na revisão de literatura, também foram apontados os indicadores de desempenho já utilizados para a avaliação e classificação do desempenho termoenergético de edificações. Este item serviu para destacar a importância desta variável dependente em um processo de avaliação, bem como o que pode ser representado, de acordo com o indicador adotado.

Com base nos conceitos desta revisão bibliográfica foi possível desenvolver o método deste trabalho e dissertar sobre os resultados obtidos na pesquisa. A conclusão deste trabalho também veio confrontar e corroborar com os resultados e conceitos de autores apresentados nesta revisão.

3 MÉTODO

Este capítulo descreve as etapas de desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente é apresentado o modelo computacional, bem como as variáveis a serem analisadas nas simulações termoenergéticas e os métodos utilizados para isso. Na segunda etapa são elaborados os modelos de simulação e os arquivos que serão processados no programa. Na terceira etapa são realizadas as simulações e elaborados os quadros de classificação dos modelos. Por fim, na quarta etapa o método alternativo e o da NBR 15575-1 são comparados e analisados. Na Figura 3 é apresentado o fluxograma do processo.

Figura 3: Fluxograma do processo de modelagem e simulação computacional.



Fonte: Autor (2019)

O método de simulação proposto é baseado na modelagem descrita neste capítulo; no APÊNDICE A é apresentado um resumo do *script* do arquivo criado para a simulação. Deve-se ressaltar que também é descrito neste capítulo a modelagem da simulação baseada na NBR 15575-1. Os resultados então obtidos são utilizados para comparação com o método proposto e as análises a serem feitas.

Foram utilizados projetos de edificações com *layouts* diferentes e áreas semelhantes, o que possibilitou ampliar a quantidade de tipologias que esta proposta poderá abranger para classificar o desempenho térmico das Habitações de Interesse Social. As características térmicas, as condições de entorno e os ganhos de calor internos também foram variados para

representar as possíveis alterações nas particularidades das edificações, como as cores das paredes externas e os tipos de parede utilizadas no mercado da construção civil.

Para a manipulação e tratamento dos resultados das simulações, foi utilizado o programa R-Studio^{TM1}, plataforma onde foi desenvolvido um *script* que automaticamente coletou os resultados gerados pelas simulações e cadastrou os dados em apenas uma tabela. Com os resultados obtidos foi determinado o método para a definição das classes de desempenho e a elaboração da tabela de classificação do desempenho térmico das edificações, objetivo principal deste trabalho. O tratamento estatístico foi feito com outro *script*, também desenvolvido no R-StudioTM, que realizou a análise de sensibilidade das variáveis independentes, correlação de Pearson e ainda gerou os gráficos pelo pacote *ggplot2*².

3.1 Programa de simulação computacional

O programa utilizado para realizar as simulações computacionais das edificações foi o EnergyPlusTM versão 8.9.0. Este programa está em constante atualização desde 1997, pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), a partir dos programas DOE-2 e BLAST. A finalidade do programa é realizar simulações de carga térmica e consumo energético de edificações. O programa dispõe de várias classes de objetos que possibilitam ao usuário, que está modelando, configurar o processamento de cada sistema e característica da edificação.

Além da modelagem de projetos da edificação, o objeto *Parametric:SetValueForRun* do programa permite que o responsável pela simulação varie características específicas da edificação, possibilitando uma análise mais ampla de um mesmo modelo. Este objeto foi utilizado para o desenvolvimento do trabalho, o que possibilitou a variação das características de orientação solar e de componentes construtivos dos projetos analisados.

3.2 Definição dos modelos de simulação

Para cada um dos projetos de edificações selecionados foi criado um modelo computacional que, dentro de suas características geométricas, possibilitou a variação dos dados de entrada das simulações. Os modelos computacionais, após definidos, foram simulados para todas as zonas bioclimáticas da região de Mato Grosso do Sul.

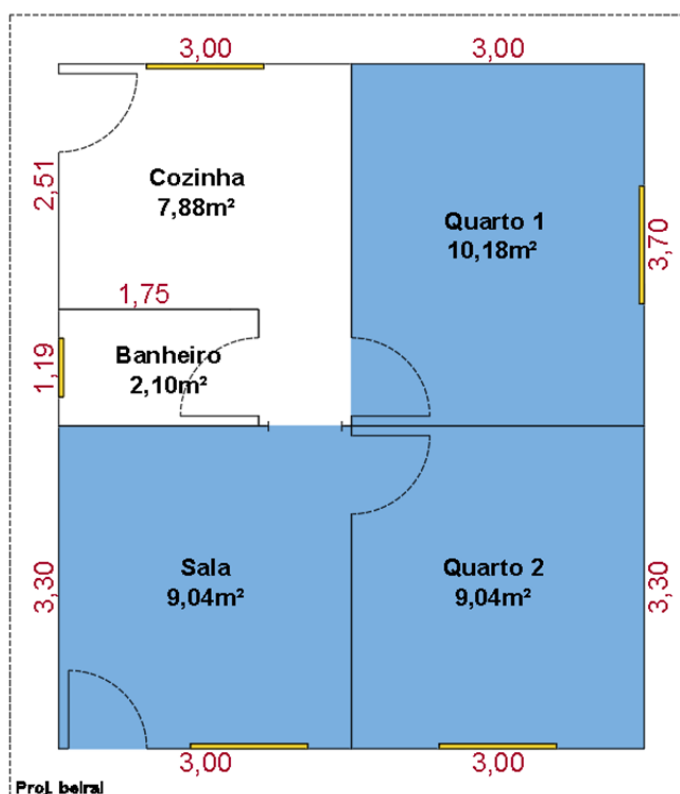
¹ Programa disponível em <<https://www.rstudio.com/>> acesso em 05/06/2019 às 19h00

² Pacote disponível em <<https://ggplot2.tidyverse.org/>> acesso em 05/06/2019 às 19h00

3.2.1 Modelagem da geometria

Na modelagem da geometria foram consideradas duas tipologias de projetos de Habitação de Interesse Social, que são disponibilizados pelo Programa Minha Casa Minha Vida no site da Caixa Econômica Federal³, como projetos já executados no país. Estes projetos são apresentados no ANEXO B. A tipologia I é um projeto com área de 41,87m², a modelagem para a simulação computacional da sua geometria é apresentada na Figura 4.

Figura 4: Modelagem da geometria do projeto da tipologia I

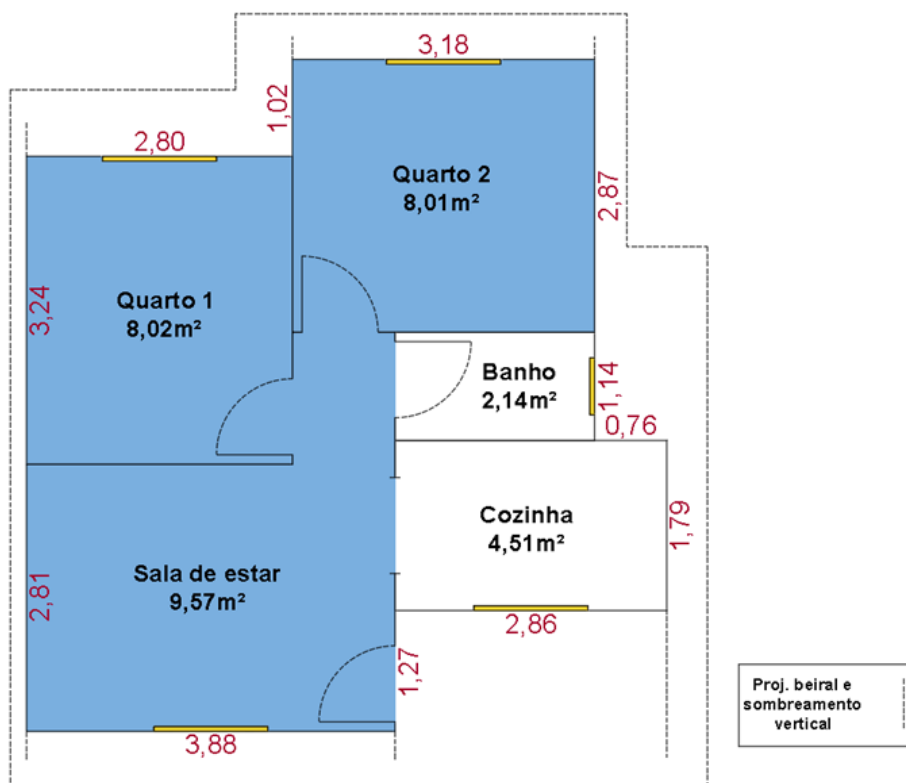


Fonte: Autor (2019)

A tipologia II é um projeto com área útil de 38,12m², o seu *layout* diverge da tipologia 1 na disposição dos ambientes e por possuir maior quantidade de elementos para sombreamento das aberturas. A modelagem para a simulação computacional da sua geometria é apresentada na Figura 5. A Tabela 4 apresenta alguns indicadores característicos de cada um dos projetos.

³ A Caixa Econômica Federal disponibiliza um banco de projetos de HIS no site < <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx> > para o público.

Figura 5: Modelagem da geometria do projeto da tipologia II



Fonte: Autor (2019)

Tabela 4: indicadores característicos das tipologias

Indicador	Tipologia I	Tipologia II
Área de projeção da cobertura (m²)	55,85	55,84
Área de projeção da edificação (m²)	41,87	38,12
Área de fachada (m²)	64,9	74,57
Índice de compactidade (%)	88,20	79,22

Fonte: Autor (2019)

3.2.2 Características térmicas dos componentes da envoltória

A envoltória da edificação é o termo utilizado para nomear o conjunto de planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, tais como fachadas, empenas, cobertura, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem (RTQ-R, 2012). Para determinar os valores de transmitância e capacidade térmica foi utilizado o método de cálculo definido pela NBR 15220 parte 2 (ABNT, 2006).

No caso de componentes com seções de transferência de calor paralelas, pelo fato dos programas de simulação fazerem suas análises apenas em componentes com camadas em série, os componentes foram transformados em seções únicas de camadas em série. O método utilizado para tal feito é apresentado pelo relatório do LABEEE por Ordenes *et al* (2003). É importante ressaltar que a NBR 15220-2 (ABNT, 2006) desconsidera o efeito de camada isolante no cálculo da capacidade térmica dos componentes construtivos. A modelagem no

programa de simulação foi realizada adequadamente, dividindo todo o componente, com camadas equivalentes, por uma camada isolante.

3.2.2.1 Transmitância e capacidade térmica

A transmitância térmica e capacidade térmica dos componentes das envoltórias foram calculadas de acordo com o método definido pela NBR 15220 (ABNT, 2005) parte 2. Portanto, as composições foram adotadas de acordo com as especificações do ANEXO GERAL V do RAC (INMETRO, 2013). Na intenção de abranger o maior número de sistemas construtivos, foram selecionados quatro tipos de paredes e cinco tipos de coberturas que são disponibilizados no catálogo de propriedades térmicas apresentado neste documento. Os componentes de paredes e coberturas selecionados são apresentados na Tabela 5 e Tabela 6, respectivamente.

A parede de concreto (P1) é o item 21 da lista de paredes deste catálogo, considerada sem revestimento interno e externo e com uma espessura total de 12cm. Esse sistema construtivo foi bastante utilizado para a execução de HIS unifamiliares em Mato Grosso do Sul, por ser um sistema que possibilita uma alta produtividade. A transmitância térmica deste componente é de $4,19\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ e sua capacidade térmica é de $240\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$.

A parede de placa cimentícia (P2) é o item 34, composta com placa cimentícia de 1cm, lâ de rocha de 9cm e placa de gesso de 1,25cm. Este sistema foi adotado para representar a envoltória com a característica de baixa transmitância e baixa capacidade térmica na amostra do trabalho. A transmitância térmica deste componente é de $0,45\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ e sua capacidade térmica é de $33\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$.

A parede dupla com lâ de rocha entre blocos de concreto (P3) é o item 39, composta por blocos nas dimensões de $14\times 19\times 39\text{cm}$, lâ de rocha de 4cm e reboco externo e interno de 2,5cm. O componente foi adotado para representar envoltórias com a característica de baixa transmitância térmica e alta capacidade térmica. A transmitância térmica deste componente é de $0,90\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ e sua capacidade térmica é de $441\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$.

A parede de bloco cerâmico de oito furos assentado em meia vez (P4) é o item 41, com blocos nas dimensões de $9\times 19\times 19\text{cm}$, argamassa de assentamento de 1,5cm e argamassa de revestimento de 2,5cm, tanto no lado externo quanto interno do ambiente. Este sistema construtivo é bastante utilizado no Estado de MS, seja para obras de HIS ou outros tipos de edificações. A transmitância térmica deste componente é de $2,39\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ e sua capacidade térmica é de $151\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$.

Tabela 5: Componentes das paredes utilizados na modelagem das tipologias

Parede	Anexo V RAC	Descrição	U [W/(m²K)]	CT [kJ/m²K]
P1	21	- Concreto (12cm)	4,19	240
P2	34	- Placa de gesso (1,25cm); - Lã de rocha (9cm); - Placa cimentícia (1cm)	0,45	33
P3	39	- Argamassa interna (2,5cm) - Bloco de concreto (14cm×19cm×39cm) - Lã de rocha (4cm) - Bloco de concreto (14cm×19cm×39cm) - Argamassa externa (2,5cm)	0,90	441
P4	41	- Argamassa interna (2,5cm); - Bloco cerâmico (9×19×19cm); - Argamassa externa (2,5cm)	2,39	151

Fonte: Anexo Geral V do RAC adaptada pelo autor (2019)

A laje maciça foi considerada como um sistema construtivo de cobertura (C1). Esta é o item 1 da parte de coberturas do catálogo do Anexo Geral V (INMETRO, 2013). A espessura da referida laje é de 10cm, possui uma transmitância térmica de 3,73W/(m²K) e capacidade térmica de 220kJ/(m²K).

A cobertura de laje pré-moldada com lajota (C2) é o item 2, a sua espessura final é de 12cm, possuindo 4cm de concreto, 7cm de lajota e na face interna possui 1cm de argamassa para revestimento. A transmitância deste componente é de 2,95W/(m²K) e a capacidade térmica de 167kJ/(m²K).

A cobertura de telha cerâmica com laje maciça (C3), como forro, é o item 4, a primeira camada deste sistema é de telha cerâmica, posteriormente a câmara de ar maior que 5cm e por fim a laje de concreto maciço com 10cm de espessura. A transmitância térmica do componente é de 2,05W/(m²K) e a capacidade térmica é de 238kJ/(m²K).

A cobertura de telha e forro PVC (C4) é o item 6, constituído de telha cerâmica, câmara de ar com espessura maior que 5cm e para fechamento interno do ambiente o forro de PVC com 1cm de espessura. A transmitância térmica deste componente é de 1,75W/(m²K) e a capacidade térmica é de 21kJ/(m²K).

A cobertura de telha cerâmica apenas (C5) não é apresentada na tabela, pois neste caso o objetivo foi representar as HIS que ainda são construídas sem forro. A transmitância térmica deste sistema é de 1,75W/(m²K) e a capacidade térmica é de 21kJ/(m²K).

Tabela 6: Componentes das coberturas utilizados na modelagem das tipologias

Cobertura	Anexo V RAC	Descrição	U [W/(m²K)]	CT [kJ/m²K]
C1	1	- Laje maciça (10cm)	3,73	220
C2	2	- Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm)	2,95	167
C3	4	- Laje maciça (10cm); - Câmara de ar (>5cm); - Telha cerâmica	2,05	238
C4	6	- Forro PVC (1cm); - Câmara de ar (>5cm); Telha cerâmica	1,75	21
C5	X	- Telha cerâmica	4,41	20,01

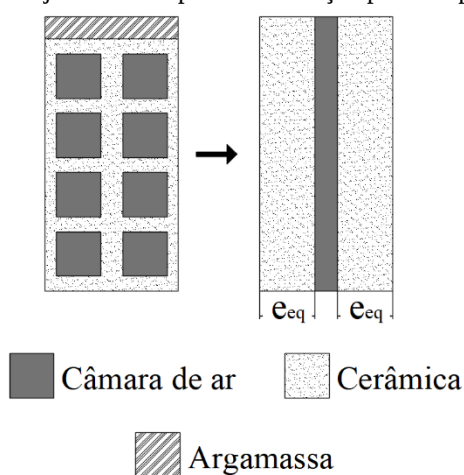
Anexo Geral V do RAC adaptada pelo autor (2019)

3.2.2.2 Espessura equivalente: Método para componentes com seções paralelas

Conforme citado anteriormente, os componentes com seções de fluxos de calor paralelos precisaram ser transformados em seções únicas de camadas em série. O método elaborado por Ordenes *et al.* (2003) estabelece que o componente possua as mesmas camadas em série que o componente já possuía anteriormente, caso o tivesse, e as camadas em série sejam transformadas em camadas com espessuras equivalentes.

A Figura 6 apresenta um dos componentes que foram ajustados para este trabalho, a fim de representar a transformação para camadas em série.

Figura 6: Modelo de ajuste de componente de seção paralela para seção em série



Fonte: Autor (2019)

Para o ajuste citado, foi necessário que se determinassem os valores de espessura equivalente e massa específica dos materiais adaptados; em todos os casos o material com espessura equivalente era composto por mais de um tipo de material. No caso das câmaras de

ar, pelo fato das suas espessuras serem pequenas, os modelos ajustados foram definidos com apenas uma câmara de ar com espessura menor que 5cm e maior que 2cm (conforme Tabela B.1 da NBR 15220-2).

O método utiliza duas fórmulas para determinar os valores da espessura equivalente e da massa específica deste material ajustado. A primeira delas é a fórmula da resistência térmica de superfície a superfície, sendo possível isolar a variável da espessura equivalente, desde que se adote valor constante para a condutividade térmica deste material. O valor da condutividade adotado foi o valor do material com maior volume representativo no modelo a ser ajustado, no caso do exemplo da Figura 6 é a cerâmica. A fórmula com a espessura equivalente isolada segue na Equação (3.1).

$$e_{eq} = \frac{(R_t - R_{ar}) \cdot \lambda_c}{2} \quad (3.1)$$

Sendo:

e_{eq} = Espessura equivalente [m];

R_t = Resistência térmica de superfície à superfície [$\text{m}^2\text{K/W}$];

λ_c = Condutividade térmica adotada [W/mK];

R_{ar} = Resistência térmica da câmara de ar [$\text{m}^2\text{K/W}$].

Para o ajuste da massa específica do material foi utilizada a fórmula da Capacidade térmica deste componente, de forma tal que é isolada a variável ρ e adotado um valor constante do calor específico do material. Assim como a condutividade térmica, no caso da fórmula da espessura equivalente, para este trabalho, a condutividade térmica adotada foi o valor do material com maior volume representativo no modelo ajustado. A fórmula com a massa específica isolada segue na Equação (3.2).

$$\rho_{eq} = \frac{C_t}{e_{eq} \cdot c_c} \quad (3.2)$$

Sendo:

ρ_{eq} = Densidade de massa aparente equivalente [kg/m^3];

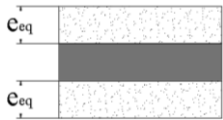
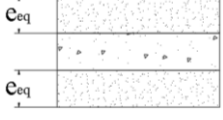
C_t = Capacidade térmica do componente [$\text{kJ/m}^2\text{K}$];

E_{eq} = Espessura equivalente [m];

c_c = Calor específico adotado [$\text{kJ}/(\text{kgK})$].

Dessa forma, foi possível obter componentes apenas com seções em série e assim inserir as informações de paredes e coberturas no programa de simulação computacional. A Tabela 7 apresenta os componentes construtivos que necessitaram de transformação para componentes com materiais equivalentes e as representações gráficas destas composições.

Tabela 7: Representação dos componentes construtivos com materiais equivalentes

Componente	Composição no E+	Representação
P3	Mat. Equivalente + Câmara de ar + Mat. Equivalente	 Eq Câmara de ar Eq
P4	Mat. Equivalente + Câmara de ar + Mat. Equivalente	 Eq Câmara de ar Eq
C2	Mat. Equivalente + Concreto normal + Mat. Equivalente	 Eq Concreto Eq

Fonte: Autor (2019)

3.2.2.3 Componentes equivalentes utilizados no trabalho

As características térmicas dos componentes foram calculadas novamente, obtendo valores um pouco diferentes dos apresentados pelo Anexo V do RAC. Conforme descrito no item 3.2.2.2 os componentes com fluxo de calor em paralelo foram transformados em componentes equivalentes, para assim ser configurado no programa EnergyPlus. Dessa forma, algumas características específicas dos componentes foram redefinidas para a simulação do componente. Os componentes com materiais que foram modificados com materiais equivalentes foram: P1; P5; C2; e C3.

Na Tabela 8 são apresentadas as características térmicas de todos os componentes, calculadas de acordo com NBR 15220-2 (ABNT, 2005), bem como os valores de espessura e massa específica do material equivalente obtidos.

Tabela 8: Componentes da envoltória com materiais equivalentes

Componente	Composição no E+	e_{eq} (m)	ρ_{eq} (kg/m ³)	U [W/(m ² K)]	CT [kJ/m ² K]
P1	Concreto	-	-	4,19	252,00
P2	Placa de gesso + Lã de rocha + Placa cimentícia	-	-	0,45	38,68
P3	Mat. Equivalente + Câmara de ar + Mat. Equivalente	0,0251	8520,58	0,69	320,80
P4	Mat. Equivalente + Câmara de ar + Mat. Equivalente	0,0363	2316,74	2,44	154,74
C1	Laje maciça	-	-	3,74	210,00
C2	Mat. Equivalente + Concreto normal + Mat. Equivalente	0,0402	1157,12	3,10	177,59
C3	Laje maciça + Câmara de ar + Telha cerâmica	-	-	2,03	230,01
C4	Forro PVC + Câmara de ar + Telha cerâmica	-	-	2,05	41,46
C5	Telha cerâmica	-	-	4,41	20,01

Fonte: Autor (2019)

3.2.2.4 Absortância solar

A absortância à radiação solar é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2006). O item 11.5.1 da NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece que a absortância, tanto de paredes quanto de coberturas, deve ser adotada de acordo com as cores e características destas superfícies externas. No caso das paredes, a norma recomenda que caso as cores não estejam definidas, que se faça a simulação com três alternativas de cores: cor clara, com $\alpha = 0,3$; cor média, com $\alpha = 0,5$; e cor escura, com $\alpha = 0,7$.

Para este trabalho, as paredes externas foram simuladas com as três cores estabelecidas no item 11.5.1 da referida norma. No caso das coberturas, foram simuladas apenas três cores, sendo elas a cor média e escura, considerando que em grande parte de Habitações de Interesse Social há predominância de coberturas com telhas cerâmicas e de fibrocimento.

3.2.3 Condições de contorno

As condições de contorno correspondem a alguns métodos de referência para a simulação térmica dos modelos, como as condições de contato com o solo, os arquivos climáticos, os dias típicos, o modelo de ventilação natural e as trocas de ar dos ambientes.

As diferenças, no quesito das condições de contorno, entre o método proposto e o método da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) são: na proposta o clima local é simulado utilizando o arquivo climático, levando em consideração as 8.760 horas do ano; a ventilação natural é modelada por um objeto do programa de simulação que considera a infiltração em todas as aberturas dos ambientes e a troca de ar entre eles; são considerados para todos os ambientes os ganhos internos de ocupação, iluminação e equipamentos. A Tabela 9 faz uma breve comparação da modelagem entre os métodos.

Tabela 9: Principais pontos de divergência entre o método proposto e a norma

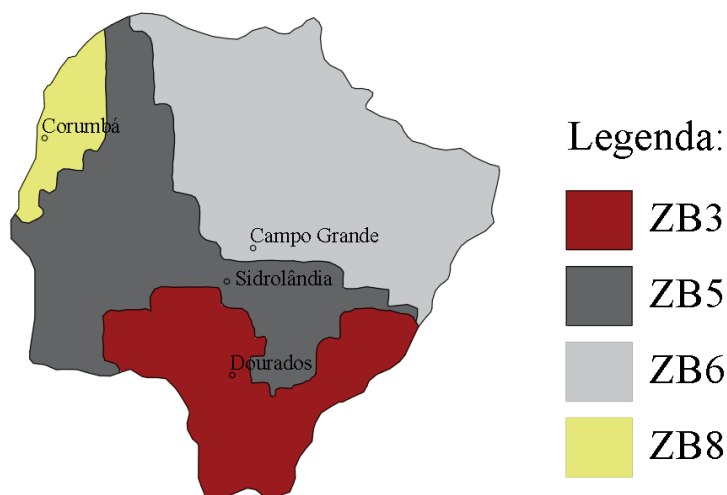
	Proposta	NBR 15575-1
Clima local	Utiliza o arquivo climático do local, simulando para as 8.760 horas do ano.	Avalia apenas as 24 horas para os dias típicos escolhidos
Ventilação	A ventilação considera as infiltrações e trocas entre ambientes (objeto AirFlowNetwork do E+)	Considera apenas as trocas de ar horárias dos ambientes com o ar externo (ZoneVentilation:DesignFlowRate do E+)
Ganhos internos	Considera ganhos internos de pessoas, iluminação e equipamentos	Não considera ganhos internos

Fonte: Autor (2019)

3.2.3.1 Arquivo climático

Conforme mostrado no item anterior, no método proposto a simulação é realizada com um arquivo climático. Como o trabalho retrata apenas a região de Mato Grosso do Sul, foram consideradas somente as zonas bioclimáticas do Estado, sendo elas as zonas 3, 5, 6 e 8, representadas pelas cidades de Dourados, Sidrolândia, Campo Grande e Corumbá, respectivamente. Essas são as maiores cidades, em número populacional, de cada zona bioclimática. A disposição das zonas bioclimáticas sul mato-grossenses são apresentadas na Figura 7.

Figura 7: Zonas bioclimáticas do Mato Grosso do Sul

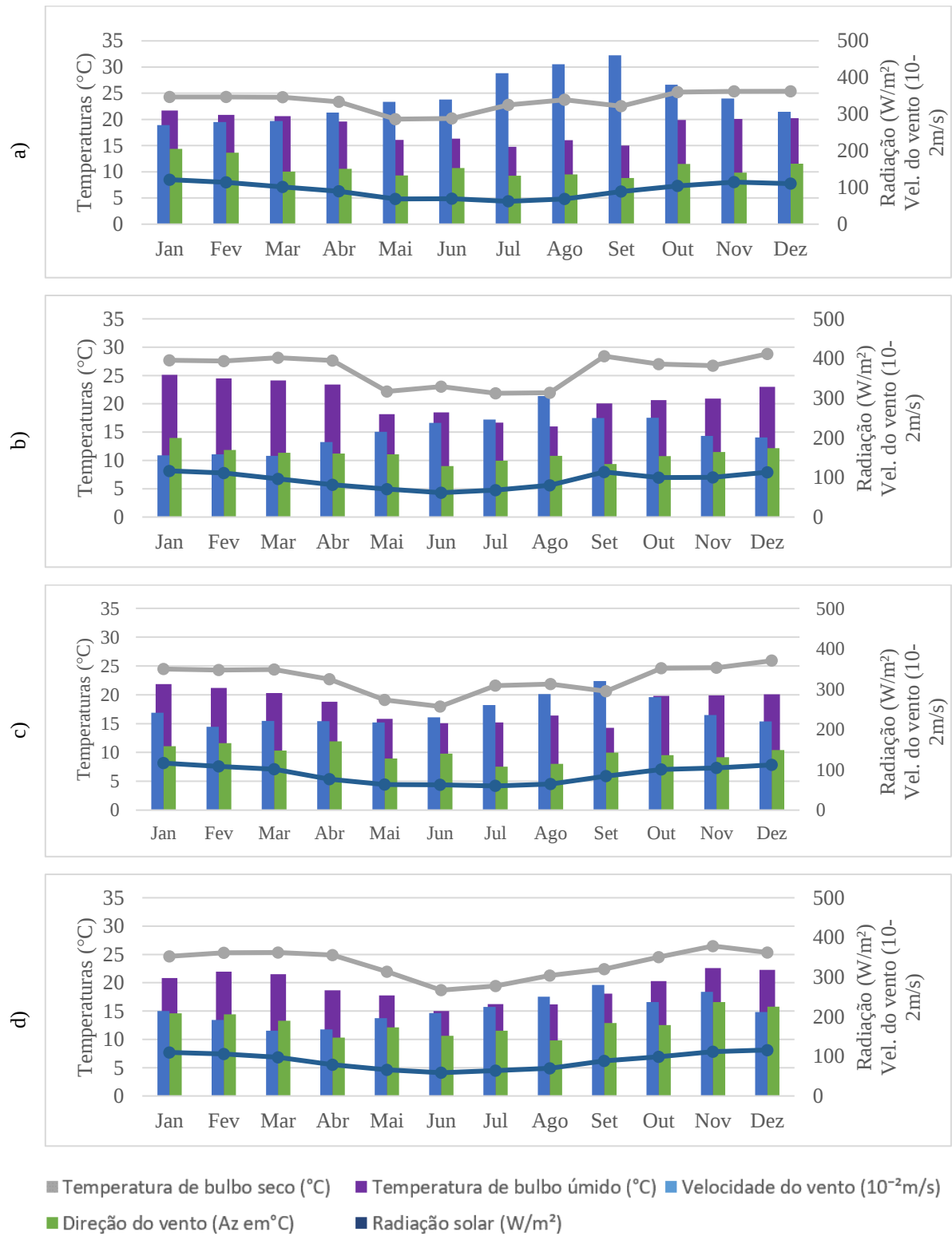


Fonte: Autor (2019)

Os arquivos climáticos das cidades foram baixados do *Weather Data*⁴, site oficial do EnergyPlus, onde são disponibilizados os arquivos climáticos de vários locais do mundo. As simulações foram realizadas para as 8.760 horas do ano, considerando o ano de referência disponibilizado no arquivo climático. Na Figura 8 é possível visualizar as principais variáveis climáticas das cidades simuladas, retiradas dos arquivos climáticos de cada uma delas. Para a elaboração dos gráficos foram calculadas as médias mensais de cada cidade.

⁴ O site do EnergyPlus < <https://energyplus.net/> > disponibiliza um banco de arquivos climáticos de várias cidades do mundo para os usuários utilizarem nas simulações computacionais.

Figura 8: Médias mensais das variáveis climáticas das cidades analisadas: a) Campo Grande; b) Corumbá; c) Dourados; e d) Sidrolândia



Fonte: Autor (2019)

3.2.3.2 Dia típico

O método aplicado para a definição do dia típico é o descrito pelo *Handbook of Fundamentals* (ASHRAE, 1993 apud GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, 1998). Porém, os dias típicos adotados foram dos arquivos climáticos de cada cidade, sendo que cada arquivo climático apresenta apenas um ano de referência. As frequências de ocorrência das temperaturas, para esta definição, foram as mais próximas de 2,5%, para verão, e 97,5% para inverno, pois a literatura seleciona as frequências de 1%, 2,5% e 5% para verão, e 99% e 97,5% para inverno. Na Tabela 10 são descritas as principais características climáticas dos dias típicos utilizados.

Tabela 10: Características dos dias típicos adotados para as simulações de desempenho térmico

	Unidade	Campo Grande	Corumbá	Dourados	Sidrolândia	
Nível de Frequência	%	2,47	2,47	2,47	2,47	Verão
Data	-	10/12	10/12	28/10	2/11	
Temp. Máx. B. Seco	°C	36,1	38,5	35,6	33,4	
Amplitude Tér. B. Seco	°C	8,6	10,1	13,4	8,6	
Ponto de Orvalho	°C	23,8	22,1	21,4	21,7	
Pressão At.	Pa	98989	98989	95622	95522	
Vel. do Vento	m/s	1,70	1,70	2,12	2,21	
Dir. do Vento (Az.)	graus	131	131	123	269	
Clareza do céu	%	50	50	50	50	
Nível de Frequência	%	-	-	97,53	97,53	Inverno
Data	-	-	-	3/5	23/7	
Temp. Máx. B. Seco	°C	-	-	16,3	14,9	
Amplitude Tér. B. Seco	°C	-	-	7,4	6,2	
Ponto de Orvalho	°C	-	-	11,9	14,0	
Pressão At.	Pa	-	-	96501	96118	
Vel. do Vento	m/s	-	-	2,28	3,14	
Dir. do Vento (Az.)	graus	-	-	199	164	
Clareza do céu	%	-	-	50	50	

Fonte: Autor (2019)

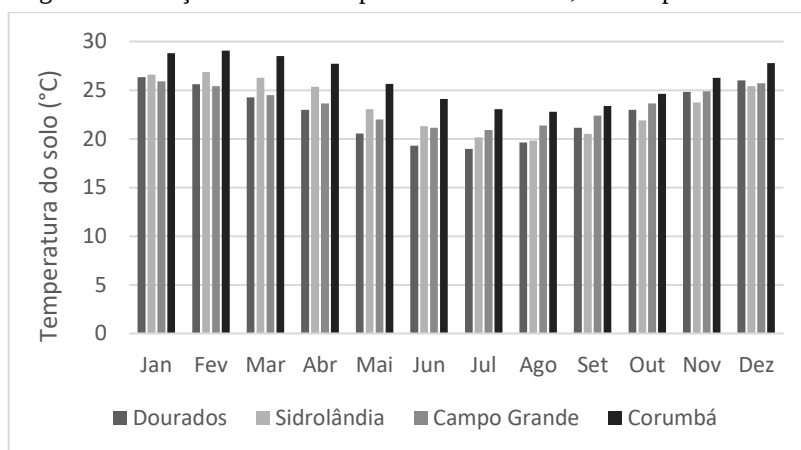
3.2.3.3 Contato com o solo

A simulação do contato com o solo foi feita com o objeto *Site:GroundDomain:Slab* do EnergyPlus, pelo fato da zona térmica possuir contato direto com o solo através de uma laje. Para o funcionamento do objeto é necessário inserir as temperaturas médias do solo do local.

As informações de solo inseridos no objeto foram retiradas dos arquivos climáticos de cada cidade; para isto, foram utilizadas as temperaturas médias mensais a 0,50m de

profundidade. A Figura 9 apresenta a variação de temperatura anual do solo das cidades analisadas.

Figura 9: Variação anual da temperatura do solo a 0,50m de profundidade



Fonte: Autor (2019)

3.2.3.4 Aberturas e ventilação natural

As dimensões das aberturas para ventilação seguiram as diretrizes definidas pela NBR 15220-3, que variam as taxas de aberturas de acordo com a área de piso do ambiente. Para conter a quantidade de amostras a serem analisadas, as taxas adotadas foram apenas os casos extremos da norma, como o mínimo para aberturas pequenas, e o valor máximo para áreas grandes. Os valores são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Taxas de abertura para ventilação

Aberturas	Taxa de abertura (em % da área de piso)
Mínimo (de aberturas pequenas)	10
Máximo (de aberturas grandes)	40

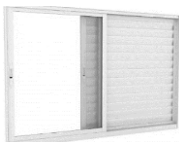
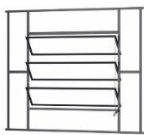
Fonte: NBR 15220-3 adaptado pelo autor (2019)

Os tipos de esquadrias seguiram as disposições dos memoriais descritivos do projeto. Para as salas e quartos da tipologia I, as esquadrias das janelas foram de correr com duas folhas, sendo uma delas fixa. Para as cozinhas e os banheiros foram janelas tipo Maxim-ar. Para a tipologia II, as esquadrias das salas e quartos foram de correr com quatro folhas, onde duas são fixas, no caso de cozinhas e banheiros foi a basculante.

Para representar os casos de habitações com sombreamento nas aberturas, como recomendado pela NBR 15575-1, foram simulados dois casos, um deles sem sombreamento nenhum nas aberturas e outro com um dispositivo de proteção de 50% da radiação solar direta. Para este feito foram utilizados os objetos *WindowProperty:ShadingControl* e *WindowMaterial:Shade* do programa de simulação.

As taxas de abertura para ventilação natural, por tipo de abertura, foram adotadas de acordo com o ANEXO II do RQT-R. A Tabela 12 apresenta os tipos de janelas adotadas para este trabalho, bem como a disposição de taxa de abertura para ventilação natural segundo o anexo agora citado.

Tabela 12: Tipos de janelas e taxa de abertura

Tipo de janela	Imagem	Taxa de abertura para ventilação natural (%)
Correr com 2 folhas		45
Correr com 4 folhas (2 fixas e 2 móveis)		40
Basculante		70 (se inclinar 45°) ou 90 (se inclinar 90°)
Maxim-ar		80

Fonte: RTQ-R adaptado pelo autor (2019)

A modelagem de toda ventilação natural no programa de simulação, para o método proposto, foi feita no objeto *AirflowNetwork*. A configuração dos valores de infiltração foi feita de acordo com Pereira *et al.* (2013), que além de descrever as configurações indicadas para a utilização do objeto *AirflowNetwork*, dispõe de tabelas de infiltração para o tipo de abertura e seu material correspondente. A Tabela 13 apresenta os coeficientes de infiltração utilizados no trabalho.

Tabela 13: Coeficientes de fluxo de ar das aberturas

Abertura	Tipo de abertura	Infiltração (kg/s.m)
Portas internas	Madeira – 1 folha pivotante	0,00187
Portas externas	Metálica – Pivotante E. Vertical	0,00005
Janelas quartos e sala	2 folhas - Deslizamento vertical	0,0023
Janelas cozinha	Pivotante - eixo horizontal superior	0,0014

Fonte: PEREIRA *et al.* (2013) adaptado pelo autor (2019)

No caso das simulações feitas de acordo com a norma, foi adotada uma taxa de renovação de ar, para todos os ambientes, de 1 h^{-1} , conforme precrito pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013). A modelagem dessa troca foi feita por meio do objeto *ZoneVentilation:DesignFlowRate*.

3.2.3.5 Outras configurações

Como o processo de simulação depende de muitas variáveis, alguns parâmetros foram tratados como constantes no programa EnergyPlus™, como as considerações acerca do entorno, os algoritmos de transferência de calor, e o funcionamento da simulação. A

Tabela 14 apresenta os objetos e valores adotados para todas as simulações realizadas. Destaca-se que foi adotada a constante “*Suburbs*” considerando que nesta região as habitações de interesse social unifamiliares não são construídas em grandes centros urbanos, com muitas edificações verticais, mas sim em subúrbios, junto a edificações baixas.

Tabela 14: principais parâmetros adotados como constantes nas simulações

Classe	Objeto	Valor
Building	Terrain	Suburbs
Building	Solar Distribution	FullExterior
SurfaceConvectionAlgorithm:Inside	Algorithm	TARP
SurfaceConvectionAlgorithm:Outside	Algorithm	DOE-2
Timestep	Number of Timesteps per Hour	6
Site:GroundDomain:Slab	Soil Thermal Conductivity {W/m-K}	0,52
Site:GroundDomain:Slab	Soil Density {kg/m3}	1700
Site:GroundDomain:Slab	Soil Specific Heat {J/kg-K}	840
Site:GroundDomain:Slab	Soil Moisture Content Volume Fraction {percent}	30
Site:GroundDomain:Slab	Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation {percent}	50

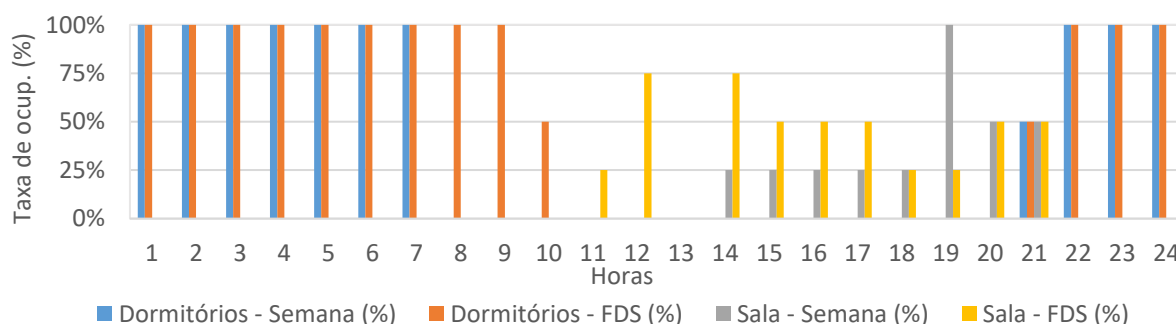
Fonte: Autor (2019)

3.2.4 Ganhos internos

A NBR 15575 (ABNT, 2013), em seu método de simulação, não estabelece nenhum padrão de ocupação pelo fato de não considerar ganhos internos na avaliação. Portanto, os ganhos internos do modelo deste trabalho, tratado no geral como método proposto, seguem de acordo com a metodologia proposta por INMETRO (2012) que estabelece as rotinas de ocupação, uso de iluminação e uso de equipamentos eletroeletrônicos.

Para representar os ganhos internos por ocupação dos ambientes também foram utilizadas as recomendações do INMETRO (2012). Para os dormitórios, foi considerado que o ambiente seja ocupado por 2 pessoas, cada qual com a taxa metabólica de 81W, o que representaria a pessoa dormindo ou descansando. No caso das salas, foi considerado que o total de pessoas seja igual à soma de pessoas nos quartos, com taxa metabólica de 108W, o que representa a pessoa sentada ou assistindo TV. A Figura 10 apresenta as taxas das rotinas de ocupação para os dias de semana e finais de semanas recomendados pelo INMETRO (2012), que foram utilizados.

Figura 10: Taxa de ocupação dos ambientes de permanência prolongada

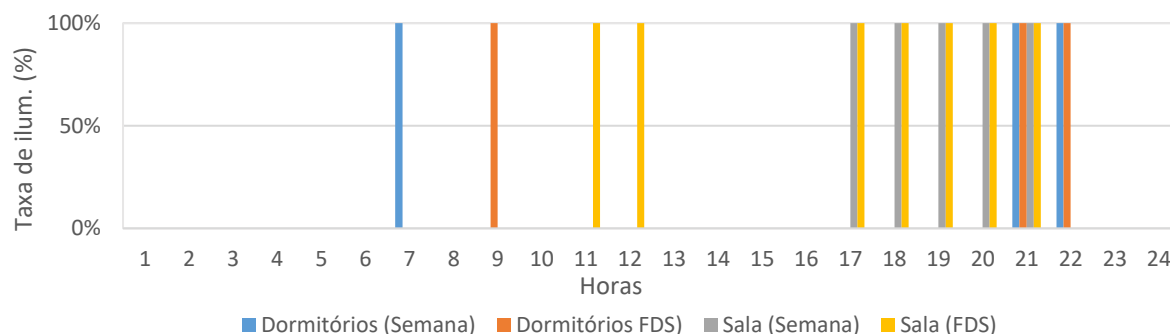


Fonte: RTQ-R adaptado pelo autor (2019)

O RTQ-R (INMETRO, 2012) estabelece dois valores para densidade de potência de iluminação, um que é recomendado para dormitórios e outro para salas. Neste caso foi adotado o valor de 6 W/m², valor estabelecido para sala, o que representaria a pior situação.

A Figura 11 apresenta as taxas dos padrões de utilização da iluminação recomendado pelo RTQ-R (2012) para os dias de semana e finais de semana.

Figura 11: Taxa de uso da iluminação nos ambientes de permanência prolongada



Fonte: RTQ-R adaptado pelo autor (2019)

No caso de cargas internas de equipamentos, foi adotada a recomendação do RTQ-R (2012) para a sala, que estabelece uma densidade de potência de $1,5 \text{ W/m}^2$ para o período de 24h do dia durante todo o período de simulação. É importante deixar claro que para a zona térmica da cozinha não foi considerada nenhuma carga interna.

3.2.5 Dados de saída do método de simulação proposto

No objeto *Output:Variable*, do programa EnergyPlus, foram solicitadas as saídas (i.e. as variáveis dependentes) das simulações. Como o objetivo deste trabalho está relacionado com o conforto das pessoas no ambiente, as saídas foram: a taxa de ocupação dos ambientes, as temperaturas internas dos ambientes, as temperaturas externas da edificação, as temperaturas operativas do ambiente e a umidade relativa do ambiente. A Tabela 15 descreve todas as variáveis dependentes extraídas das simulações termoenergéticas deste trabalho, em escala horária.

Tabela 15: Variáveis dependentes das simulações

Variável	Unidade	Abrangência	Objeto no E+
Ocupação	Un.	Zona térmica	<i>Zone People Occupant Count</i>
Temp. dos ambientes	°C	Zona térmica	<i>Zone Air Temperature</i>
Temp. externa	°C	Área externa	<i>Site Outdoor Air Drybulb Temperature</i>
Temp. operativa	°C	Zona térmica	<i>Zone Operative Temperature</i>
Umidade relativa	%	Zona térmica	<i>Zone Air Relative Humidity</i>

Fonte: Autor (2019)

Como já descrito anteriormente, para o tratamento e coleta de todos os resultados foi elaborado um *script* no programa R-Studio™, que manipulou todos os dados em formato “csv”

emitidos nas simulações computacionais. O *script* coletou todos as variáveis dependentes das simulações e calculou os índices de desempenho térmico para cada simulação realizada, reunindo os resultados em apenas um arquivo “csv” por cidade.

3.2.5.1 Índice de desempenho térmico do método proposto

A análise de desempenho foi realizada juntamente com o conforto térmico pelo modelo adaptativo dos usuários, de acordo com a ASHRAE Standard 55 (2017). A função utilizada para estabelecer o indicador de calor dos usuários é apresentada na equação (3.3) e para estabelecer o indicador de frio na equação (3.4). Para a aplicação das funções dos limites de aceitabilidade, foi considerada a média de temperatura mensal dos anos de referência dos arquivos climáticos.

$$POD_c = \frac{\sum HO_c}{\sum HO} \quad (3.3)$$

$$POD_f = \frac{\sum HO_f}{\sum HO} \quad (3.4)$$

Sendo:

POD_c = Porcentagem de horas Ocupadas em Desconforto por calor

POD_f = Porcentagem de horas Ocupadas em desconforto por frio

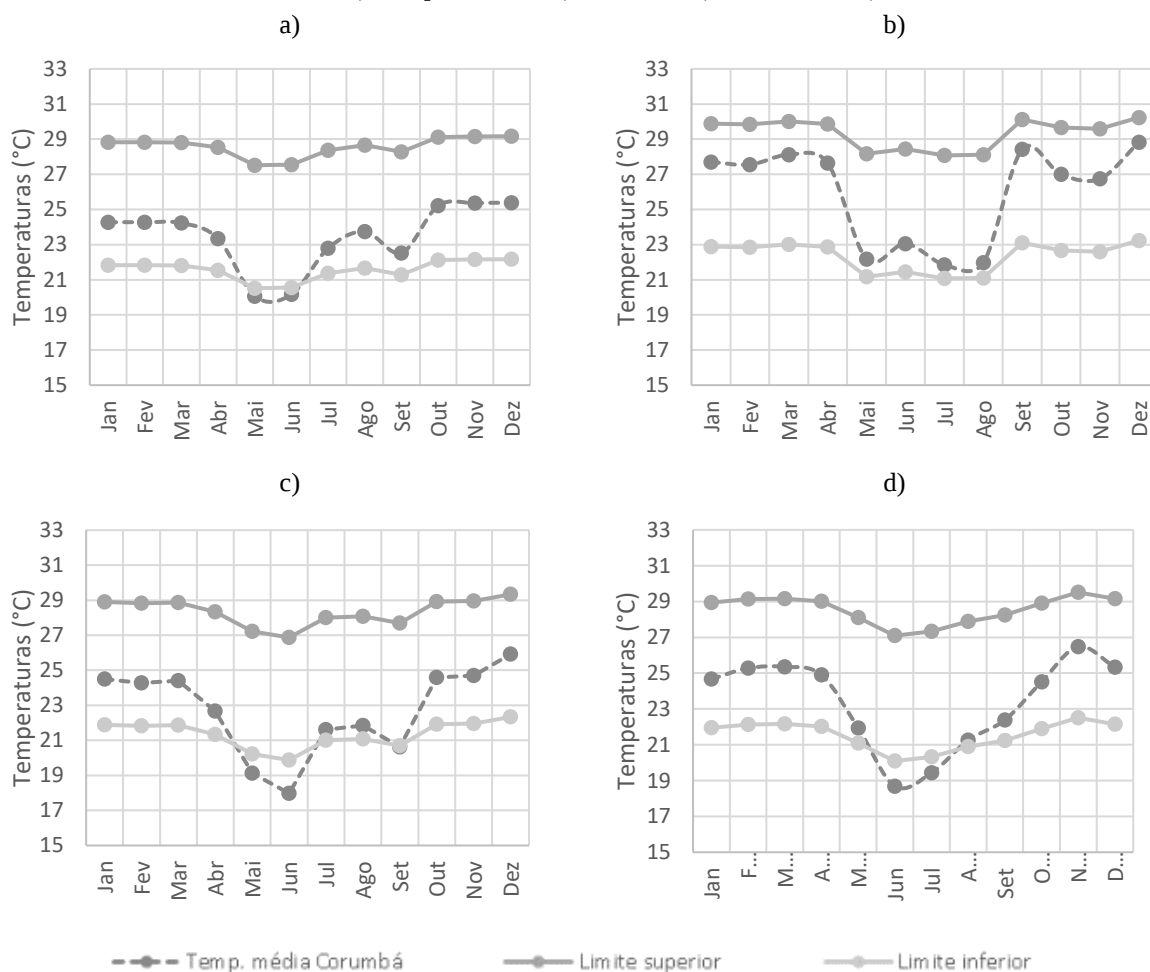
HO_c = Horas ocupadas com temperatura operativa acima do Limite superior (Ls)

HO_f = Horas ocupadas com temperatura operativa abaixo do Limite inferior (Li)

HO = Horas ocupadas

Dentre os procedimentos da ASRAE Standard 55 (2017), adotou-se a média de temperatura do ar mensal, baseado nas informações do arquivo climático, para estabelecer o limite superior e inferior de cada cidade. A média de temperatura do ar mensal e os limites superiores e inferiores mensais de cada cidade podem ser visualizados na Figura 12.

Figura 12: Variação mensal das temperaturas médias e os limites superior e inferior para o conforto adaptativo de cada cidade: a) Campo Grande; b) Corumbá; c) Dourados; e d) Sidrolândia



Fonte: Autor (2019)

As horas de desconforto foram contabilizadas apenas nas horas em que a taxa de ocupação do ambiente era maior que zero, ou seja, apenas nos momentos em que o ambiente estava ocupado. Para o desconforto por calor, quando o ambiente precisa de resfriamento, foi adotado o indicador Porcentagem de horas Ocupadas em Desconforto por Calor (PODc). Para o desconforto por frio, quando o ambiente precisa de aquecimento, foi adotado o indicador Porcentagem de horas Ocupadas em Desconforto por Frio (PODf).

3.2.6 Dados de saída para as simulações pelo método da ABNT NBR 15575-1

No caso da simulação pelo método prescrito pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), a determinação do desempenho é apenas pela diferença de temperatura (ΔT) entre o ambiente interno e externo. Portanto as variáveis de saídas solicitadas foram apenas a temperatura externa e a temperatura interna dos ambientes. A Tabela 16 apresenta as variáveis de saída solicitadas

para a análise de desempenho térmico da norma. A equação (3.5) apresenta cálculo para o desempenho de verão e a equação (3.6) para o cálculo no inverno.

Tabela 16: Variáveis dependentes das simulações de desempenho

Variável	Unidade	Abrangência	Objeto no E+
Temp. dos ambientes	°C	Zona térmica	Zone Air Temperature
Temp. externa	°C	Área externa	Site Outdoor Air Drybulb Temperature

Fonte: Autor (2019)

$$\Delta T(\text{máx}) = \text{Temperatura máx. externa} - \text{Temperatura máx. interna} \quad (3.5)$$

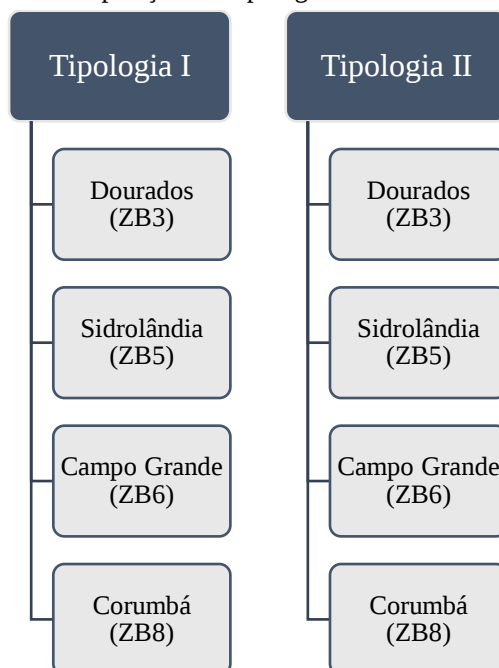
$$\Delta T(\text{mín}) = \text{Temperatura mín. interna} - \text{Temperatura mín. externa} \quad (3.6)$$

3.3 Experimento computacional

Neste item são abordados os métodos para a definição das amostras as variáveis independentes utilizadas para a criação desta amostra e os testes estatísticos aplicados. Como já citado, para criar as amostras analisadas foi utilizado o objeto *Parametric:SetValueForRun* do programa EnergyPlus™, baseando-se em modelos paramétricos que geraram todas as simulações e o programa R-Studio™ para os testes estatísticos do trabalho

Para configurar as simulações, foram criados quatro modelos-base para gerar toda a amostra a ser analisada. Os arquivos se diferenciaram pelas tipologias das edificações, de forma que foram alterados os arquivos climáticos para representar cada uma das quatro zonas bioclimáticas. Tal alteração originou em oito modelos de simulação e cada um deles gerou 2.880 simulações. A disposição das tipologias e dos modelos pode ser visualizada na Figura 13.

Figura 13: Disposição das tipologias e modelos simulados



Fonte: Autor (2019)

Como apresentado nos tópicos anteriores, as variáveis independentes foram consideradas em um espaço amostral discreto, utilizando a abordagem de combinações fatoriais, gerando assim a população que foi utilizada como a verdadeira amostra. Dessa forma, foi possível se chegar a uma população de 23.040 simulações para cada método. O resumo das variáveis independentes do experimento computacional é apresentado na Tabela 17.

Tabela 17: Variáveis independentes e seus respectivos valores

Variável	Unidade	Níveis
Absortância solar das coberturas	-	0,3; 0,5; 0,7
Absortância solar das paredes externas	-	0,3; 0,5; 0,7
Arquivo climático	-	ZB3; ZB5; ZB6; ZB8
Orientação	graus	0; 90; 180; 270
Tipologias (geometria)	-	I; II
Tipos de coberturas	-	C1; C2; C3; C4; C5
Tipos de paredes externas	-	P1; P2; P3; P4
Fração de abertura	-	Máx; Mín (NBR 15220-3)
Sombreamento	%	0,5; 1,0

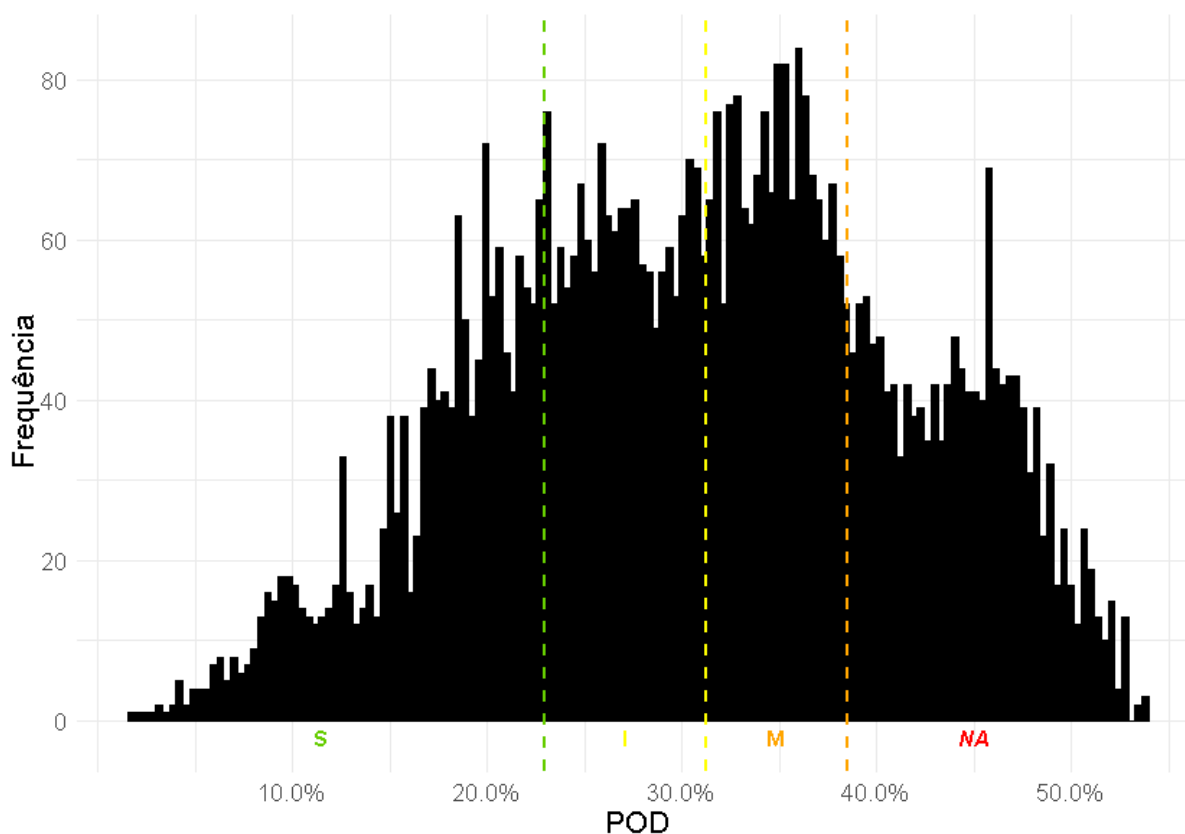
Fonte: Autor (2019)

3.4 Classificação de desempenho proposto

O método de classificação de desempenho proposto dividiu a variação de desempenho em três classes ou níveis, da mesma forma que a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece, sendo assim as classes: Mínimo (M); Intermediário (I); e Superior (S). A proposta diferencia dois tipos de ambientes de permanência prolongada: salas de estar e quartos. Os resultados também são analisados para dois casos, desempenho no calor e desempenho no frio.

As classes foram criadas de acordo com os resultados que foram obtidos nas simulações, separando em quatro grupos de escalas, que representaram as três classes que atendem o desempenho térmico e um grupo que é a pior situação, não atendendo nem mesmo ao desempenho mínimo (NA). A Figura 14 apresenta um modelo de divisão das classes.

Figura 14: Separação das classes de desempenho – exemplo



Fonte: Autor (2019)

O método utilizado para a criação das classes foi a distribuição cumulativa de frequências. Todos os resultados foram ordenados do menor valor de POD para o maior. Nessa sequência, foram separados em quatro grupos em sequência com 25% dos resultados para cada, partindo da classe superior (S), para a classe “Não Atende” (NA).

Com os grupos de níveis (ou classificação) criados, foi possível estabelecer os limites máximos de Porcentagem de horas Ocupadas em Desconforto (POD) para as classes. Dessa forma possibilita ao projetista, após realizar uma simulação computacional de seu projeto com as mesmas diretrizes e parâmetros adotados, avaliar o desempenho térmico da envoltória de uma habitação de interesse social qualquer. Para as zonas bioclimáticas 6 e 8, as classificações foram estabelecidas apenas para as avaliações no calor, tendo em vista que a norma dispensa a avaliação de desempenho no frio.

3.5 Testes do método de avaliação de desempenho

Em paralelo às simulações para a criação do método proposto, foram realizadas as avaliações de desempenho térmico de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), conforme prescrito na metodologia da modelagem das simulações. Essas avaliações de desempenho possibilitaram uma comparação entre os dois métodos.

Para esta comparação de resultados foram elaborados gráficos de dispersão, correlacionando os resultados obtidos pelos dois métodos. O índice para tal correlação foi o coeficiente de correlação de Pearson, calculado de acordo com a Equação (3.7). Este índice mede o grau da correlação entre uma variável x outra variável y .

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.7)$$

Sendo:

r = coeficiente de correlação

x_i = valores da variável x

$\bar{x}$ = média dos valores da variável x

y_i = valores da variável y

$\bar{y}$ = média dos valores da variável y

A análise de sensibilidade foi realizada pela análise de variância (ANOVA). Este método possibilitou testar a influência de cada variável independente sobre a variável dependente. O índice utilizado para tal análise foi a razão entre o quadrado da variância de cada variável e a somatória do quadrado das variâncias de todas as variáveis. Este processo foi utilizado para a análise dos dois métodos, ou das duas variáveis dependentes, a de conforto e a

de desempenho térmico. A Equação (3.8) apresenta a variância, calculada para cada variável independente de acordo com o caso.

$$V(x) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (3.8)$$

Sendo:

$V(x)$ =variância

x_i = valores da variável x

$\bar{x}$ = média dos valores da variável x

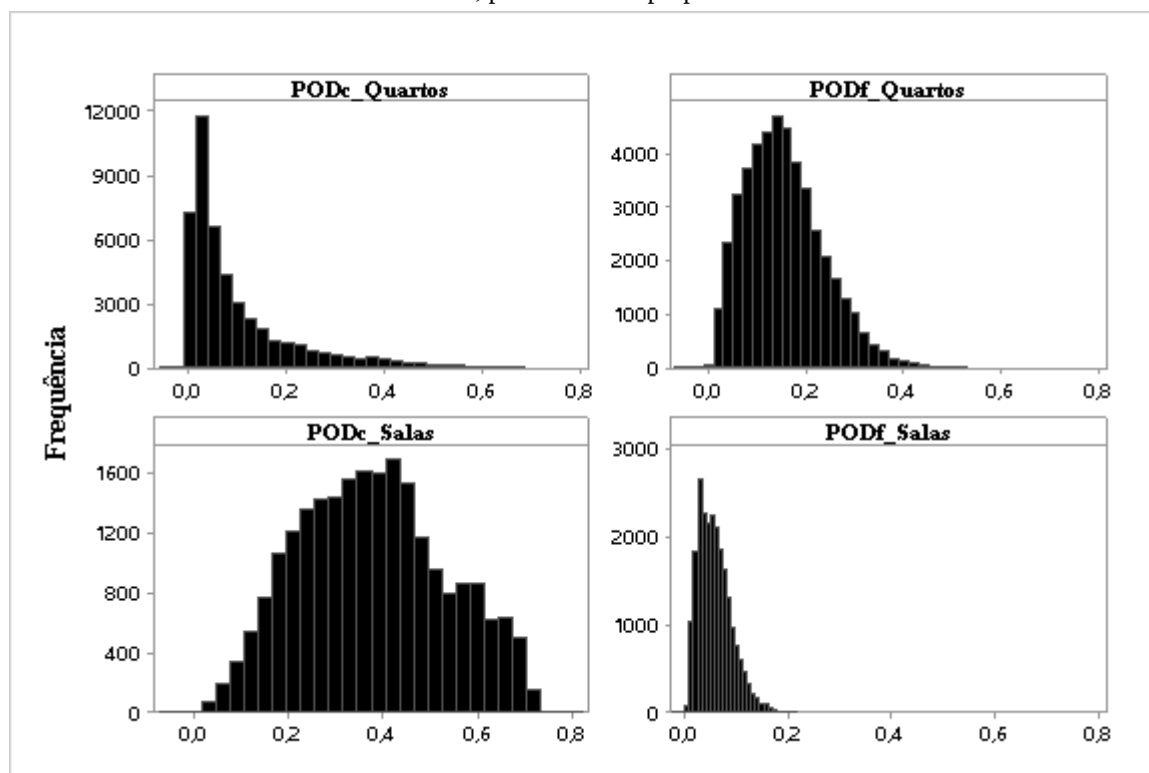
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das simulações atingidos para este trabalho são apresentados e discutidos neste capítulo.

4.1 Disposição dos resultados das simulações do método proposto

Os resultados foram separados de acordo com a utilização do ambiente de permanência prolongada. Seguindo o procedimento de avaliação da NBR 15575 (ABNT, 2013), os ambientes analisados foram os quartos e as salas. Como as tipologias adotadas possuem dois quartos e apenas uma sala, o número de resultados obtidos para os quartos foi o dobro do que o de salas. A Figura 15 apresenta a frequência de ocorrência de POD das simulações do método proposto, para cada ambiente de permanência prolongada.

Figura 15: Frequência absoluta do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto por calor e frio nos quartos e salas, para o método proposto.

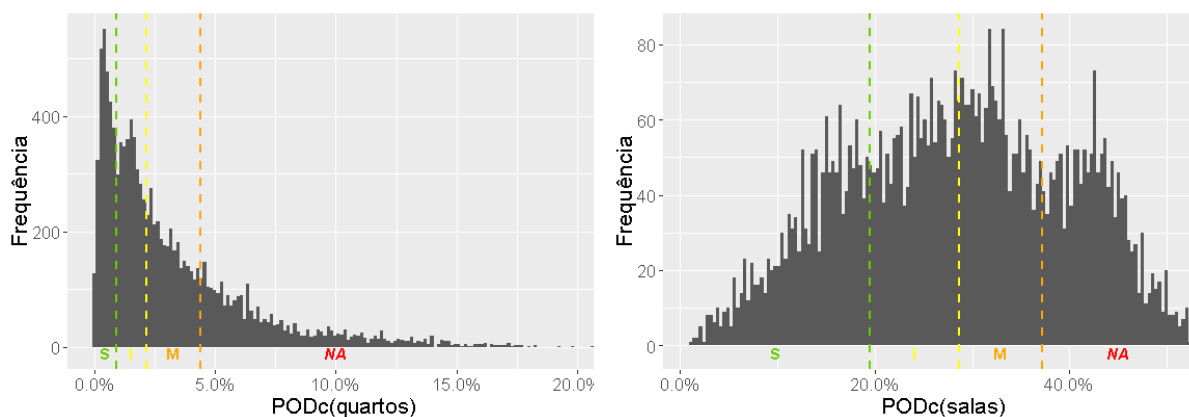


Fonte: Autor (2019)

Dessa maneira, chegou-se à 46.080 resultados para os quartos, tanto para resfriamento (PODc – Porcentagem de horas Ocupadas em Desconforto por Calor) quanto aquecimento (PODf – Porcentagem de horas Ocupadas em Desconforto por Frio). No caso da sala, chegou-se à 23.040 resultados, tanto para resfriamento quanto para aquecimento.

Os resultados do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) para a elaboração das tabelas de classes são apresentados na Figura 16. Para todos os casos os níveis são divididos em quatro: Superior (S), Intermediário (I), Mínimo (M) e Não Atendido (NA).

Figura 16: Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e salas para a zona bioclimática de Campo Grande (ZB 6)



Fonte: Autor (2019)

Os limites de PODc calculados para a cidade de Campo Grande são apresentados na Tabela 18. No caso desta zona bioclimática, não é necessária a avaliação para o desempenho no frio.

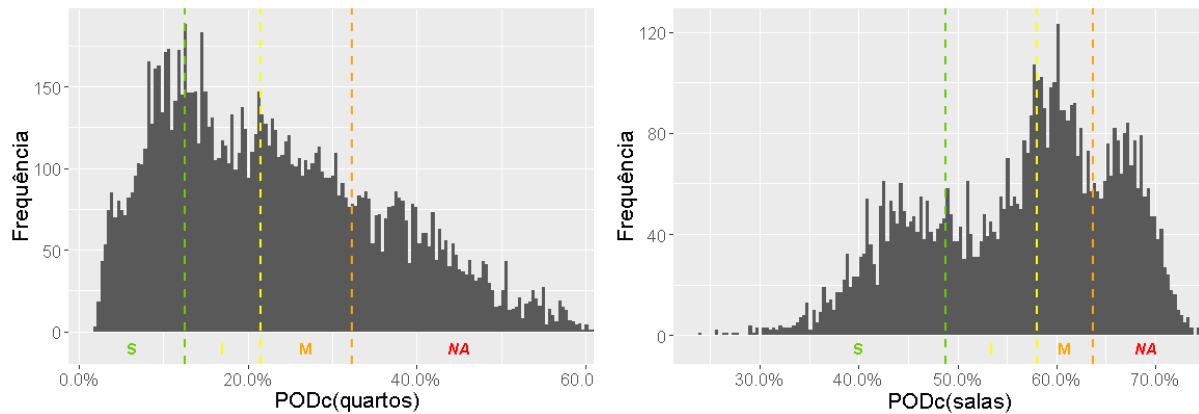
Tabela 18: Classificação do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e sala para a zona bioclimática 6

Classificação	PODc (%)	
	Quartos	Salas
S	$\text{PODc} < 0,92$	$\text{PODc} < 19,52$
I	$0,92 \leq \text{PODc} < 2,15$	$19,52 \leq \text{PODc} < 28,63$
M	$2,15 \leq \text{PODc} < 4,41$	$28,63 \leq \text{PODc} < 37,19$
NA	$\text{PODc} \geq 4,41$	$\text{PODc} \geq 37,19$

Fonte: Autor (2019)

Os resultados para a elaboração das tabelas de classes para a cidade de Corumbá (ZB8) são apresentados na Figura 17.

Figura 17: Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e salas para a zona bioclimática de Corumbá (ZB 8)



Fonte: Autor (2019)

Os limites apresentados para a cidade de Corumbá são apresentados na Tabela 19. Para esta zona bioclimática, a avaliação de desempenho no frio também não é necessária.

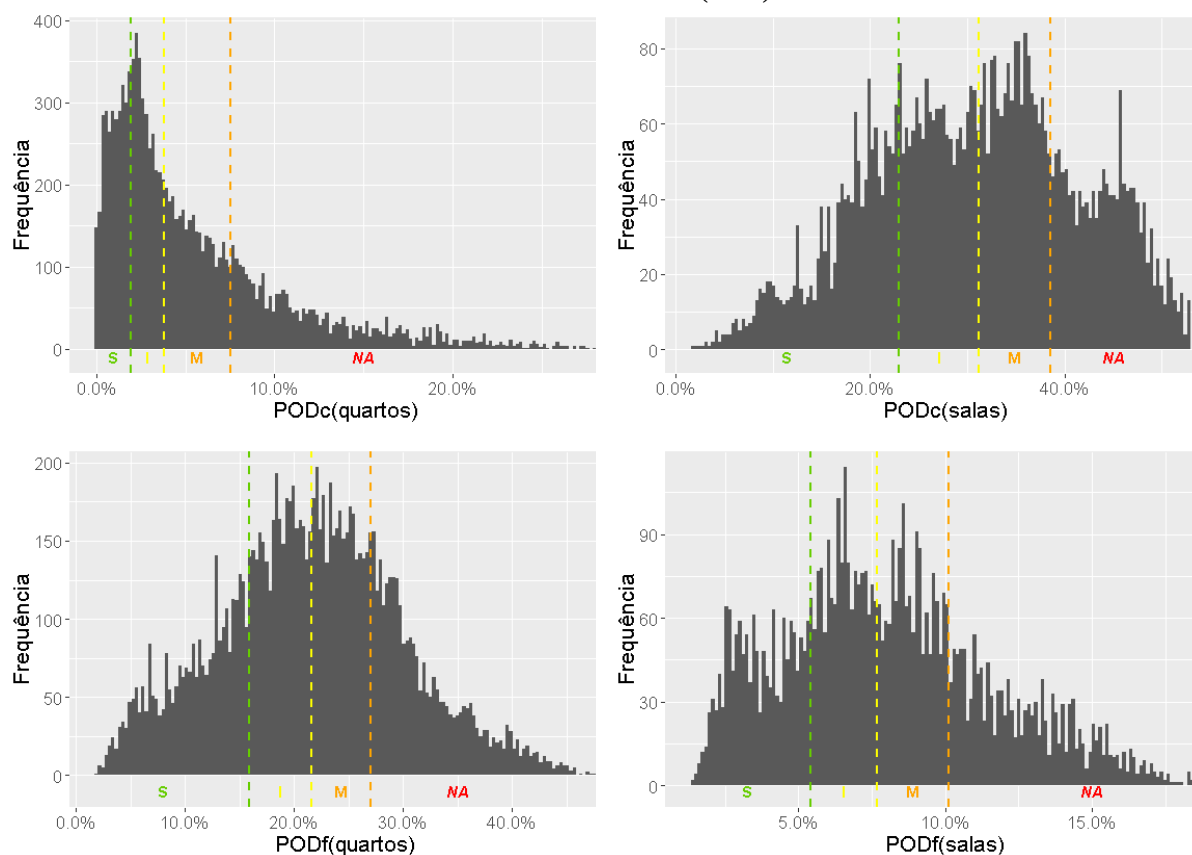
Tabela 19: Classificação do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e sala para a zona bioclimática 8

Classificação	PODc (%)	
	Quartos	Salas
S	$PODc < 12,59$	$PODc < 48,75$
I	$12,59 \leq PODc < 21,50$	$48,75 \leq PODc < 58,05$
M	$21,50 \leq PODc < 32,38$	$58,05 \leq PODc < 63,74$
NA	$PODc \geq 32,38$	$PODc \geq 63,74$

Fonte: Autor (2019)

Os resultados para a elaboração das tabelas de classes para a cidade de Dourados (ZB3) são apresentados na Figura 18.

Figura 18: Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e salas para a zona bioclimática de Dourados (ZB 3)



Fonte: Autor (2019)

Os limites apresentados para a cidade de Dourados são apresentados na Tabela 20.

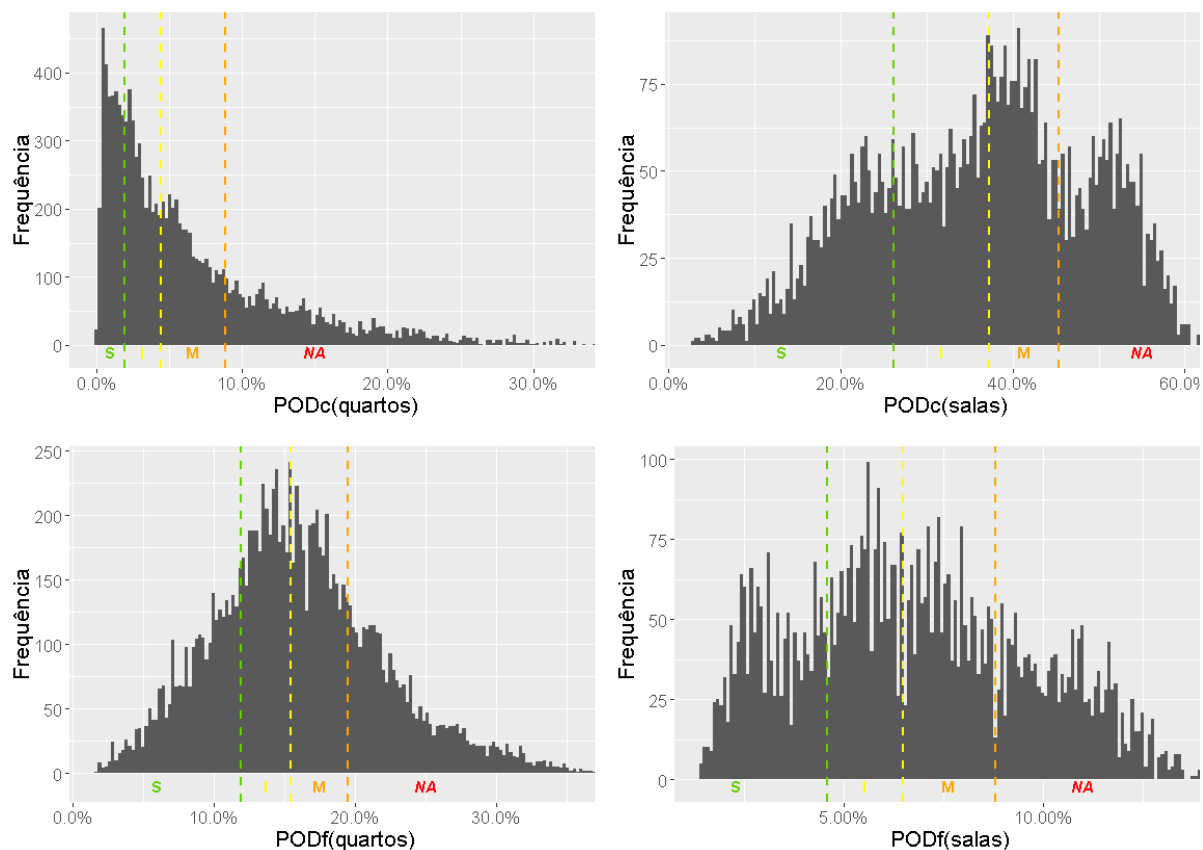
Tabela 20: Classificação do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e sala para a zona bioclimática 3

Classificação	PODc (%)		PODf (%)	
	Quartos	Salas	Quartos	Salas
S	$PODc < 1,92$	$PODc < 22,97$	$PODf < 15,89$	$PODf < 5,43$
I	$1,92 \leq PODc < 3,81$	$22,97 \leq PODc < 31,21$	$15,89 \leq PODf < 21,55$	$5,43 \leq PODf < 7,67$
M	$3,81 \leq PODc < 7,53$	$31,21 \leq PODc < 38,53$	$21,55 \leq PODf < 27,04$	$7,67 \leq PODf < 10,13$
NA	$PODc \geq 7,53$	$PODc \geq 38,53$	$PODf \geq 27,04$	$PODf \geq 10,13$

Fonte: Autor (2019)

Os resultados para a elaboração das tabelas de classes para a cidade de Sidrolândia são apresentados na Figura 19.

Figura 19: Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e salas para a zona bioclimática de Sidrolândia (ZB 5)



Fonte: Autor (2019)

Os limites apresentados para a cidade de Sidrolândia são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21: Classificação do Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto no calor (PODc) nos quartos e sala para a zona bioclimática 5

Classificação	PODc (%)		PODf (%)	
	Quartos	Salas	Quartos	Salas
S	$PODc < 1,94$	$PODc < 26,20$	$PODf < 11,94$	$PODf < 4,57$
I	$1,94 \leq PODc < 4,43$	$26,20 \leq PODc < 37,22$	$11,94 \leq PODf < 15,47$	$4,57 \leq PODf < 6,49$
M	$4,43 \leq PODc < 8,82$	$37,22 \leq PODc < 45,40$	$15,47 \leq PODf < 19,49$	$6,49 \leq PODf < 8,79$
NA	$PODc \geq 8,82$	$PODc \geq 45,40$	$PODf \geq 19,49$	$PODf \geq 8,79$

Fonte: Autor (2019)

Os resultados mostraram que a variação dos valores mínimos e máximos, e a amplitude desta, estão diretamente associadas ao clima local e com o tipo de uso do ambiente, se é um quarto ou sala. Esse comportamento ratifica a necessidade dessa separação de avaliações por clima local, ou cidade. Normalmente os critérios, limites ou índices, para níveis de desempenho

são os mesmos, tanto para envoltórias de quartos ou salas, mas como apresentados nos resultados, é eminente que o comportamento destes ambientes é diferente. Portanto, analisar o desempenho com critérios específicos, pode contribuir para uma avaliação mais eficiente, de acordo com o tipo de uso de cada ambiente.

Resultados com valores de limites extremos, como no caso da cidade de Corumbá (ZB8) para os ambientes de uso como sala, que podem atingir o nível superior com valores de PODc de até 48%, constataam que talvez haja necessidade de associar estratégias de condicionamento passivo a estratégias de condicionamento ativo. Este procedimento contribuiria para a redução de horas em desconforto dos usuários.

4.2 Resultados pelo método da ABNT/NBR 15575-1:2013

As avaliações realizadas pelo método da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) possibilitaram a comparação com o método proposto. Foram realizadas as simulações dos mesmos 23.040 modelos. As classificações foram feitas para cada zona bioclimática e para o dia típico de verão e inverno nos casos que são recomendadas as avaliações pela norma.

Para Campo Grande, a análise foi feita apenas para o verão. Para os quartos, a maior parte dos resultados atenderam ao desempenho mínimo (M) com praticamente 35% dos resultados. No caso das salas 38% dos resultados não atenderam nem ao desempenho mínimo (NA) estabelecido pela norma. A variação dos resultados para a cidade de Campo Grande é apresentada na Figura 20.

Figura 20: Proporção dos resultados de desempenho térmico nas faixas de classificação para a cidade de Campo Grande conforme o método de simulação da NBR 15575-1

Class.	Quartos (verão)		Salas (verão)	
	Contagem	Proporção	Contagem	Proporção
S	599	5,20%	85	1,48%
I	3492	30,31%	1347	23,39%
M	4027	34,96%	2138	37,12%
NA	3402	29,53%	2190	38,02%

Fonte: Autor (2019)

Para Corumbá (ZB 8) a análise de desempenho também é feita apenas para verão. É interessante ressaltar que no desempenho dos quartos, 46% dos resultados atenderam ao desempenho superior. Esse comportamento reflete a menor rigidez da norma para com o desempenho das habitações da ZB 8. Corrobora também com os resultados das pesquisas citadas anteriormente neste trabalho. A variação dos resultados para a cidade de Corumbá é apresentada na Figura 21.

Figura 21: Proporção dos resultados de desempenho térmico nas faixas de classificação para a cidade de Corumbá conforme o método de simulação da NBR 15575-1

Class.	Quartos (verão)		Salas (verão)	
	Contagem	Proporção	Contagem	Proporção
S	5334	46,30%	2007	34,84%
I	2181	18,93%	1144	19,86%
M	1341	11,64%	862	14,97%
NA	2664	23,13%	1747	30,33%

Fonte: Autor (2019)

Dourados é a cidade que representa a zona bioclimática mais fria do Estado; assim, o desempenho é analisado para o período de inverno e de verão. A maior parte dos resultados, para a avaliação no inverno, foi a classificação mínima (M) da norma. No caso do verão, a maior parte dos resultados atendeu à uma classificação, destacando-se a classe intermediária (I). A variação dos resultados para a cidade de Dourados é apresentada na Figura 22.

Figura 22: Proporção dos resultados de desempenho térmico nas faixas de classificação para a cidade de Dourados conforme o método de simulação da NBR 15575-1

Class.	Quartos (verão)		Salas (verão)		Quartos (inverno)		Salas (inverno)	
	Contagem	Proporção	Contagem	Proporção	Contagem	Proporção	Contagem	Proporção
S	3776	32,78%	1267	22,00%	0	0,00%	0	0,00%
I	4362	37,86%	2251	39,08%	1170	10,16%	440	7,64%
M	2598	22,55%	1606	27,88%	7119	61,80%	3477	60,36%
NA	784	6,81%	636	11,04%	3231	28,05%	1843	32,00%

Fonte: Autor (2019)

Para a cidade de Sidrolândia, é interessante ressaltar que os resultados, tanto de inverno quanto de verão, foram concentrados na parte inferior da tabela, entre mínimo (M) e não atendido (NA), tendo um melhor desempenho no verão do que no inverno. A variação dos resultados para a cidade de Sidrolândia é apresentada na Figura 23.

Figura 23: Proporção dos resultados de desempenho térmico nas faixas de classificação para a cidade de Sidrolândia conforme o método de simulação da NBR 15575-1

Class.	Quartos (verão)		Salas (verão)		Quartos (inverno)		Salas (inverno)	
	Contagem	Proporção	Contagem	Proporção	Contagem	Proporção	Contagem	Proporção
S	152	1,32%	7	0,12%	0	0,00%	0	0,00%
I	3312	28,75%	1113	19,32%	534	4,64%	191	3,32%
M	4516	39,20%	2356	40,90%	6127	53,19%	2884	50,07%
NA	3540	30,73%	2284	39,65%	4859	42,18%	2685	46,61%

Fonte: Autor (2019)

Os resultados das avaliações de desempenho térmico pelo método da NBR 15575 (ABNT, 2013), ressaltam as diferenças entre os critérios de desempenho estabelecidos por ela.

Analizando o caso da cidade de Corumbá (ZB8), a maior parte dos resultados alcançam o nível superior, tanto nos quartos quanto nas salas. Diferente dos casos das outras cidades, que o nível superior foi a classe com menos resultados, salvo o caso da cidade de Dourados (ZB3). Esse comportamento enfatiza o quanto o critério de desempenho para a ZB8 é menos rigoroso do que o critério para as outras zonas. Nos casos das outras cidades, é possível observar que quanto mais fria é a zona, melhor é o desempenho das habitações no verão.

Por outro lado, ao analisar os casos de desempenho no inverno, nota-se que nenhum resultado alcançou o nível superior. Isso constata que o método pode ser muito rigoroso, ao exigir que as diferenças de temperatura sejam iguais ou maiores que 7°C, ou até mesmo que habitações de interesse social podem ser edificações que não sejam capazes de alcançar esse desempenho térmico, devido ao seu tamanho ou disposição de ambientes.

4.3 Análise de correlação entre os métodos analisados

Neste item é realizada uma análise de correlação entre os dois métodos, o proposto e da NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Esta análise é possível devido às características dos modelos simulados que se mantiveram, como geometria da edificação, as características térmicas das envoltórias e outras. As correlações foram feitas em cada zona bioclimática, no desempenho no verão (calor) e no inverno (frio), separando os ambientes quartos das salas.

Para todas as análises, o eixo y representa a variação da temperatura interna dos ambientes multiplicada pela constante -1 ($\Delta T'$), para melhor visualização, e o eixo x representa a variável POD (Percentual de Horas Ocupadas em Desconforto). Essa variação é apresentada nos gráficos abaixo, enquanto o APÊNDICE B apresenta a correlação em quadros de porcentagens. Nestes os grupos de correlação estão representados da seguinte forma: DesempenhoNorma $\cap$ DesempenhoProposta. Para os fins deste trabalho, foram chamadas de correlações diretas os casos em que o resultado da faixa de classificação de desempenho foram os mesmos, tanto no método da norma quanto no método proposto.

O caso da cidade de Campo Grande, por se localizar na zona bioclimática 6, apresenta a análise apenas para o desempenho no verão. A Figura 24 apresenta os gráficos de dispersão desta correlação. Para os quartos (verão/calor) 39,08% dos resultados tiveram correlação direta, os resultados para as salas (verão/calor) tiveram 40,72% de correlação direta.

Para a cidade de Corumbá, a análise foi feita também apenas para o desempenho no verão, por estar localizada na ZB 8. A Figura 25 apresenta os gráficos de dispersão desta correlação. Neste caso 37,34% dos resultados para os quartos tiveram correlação direta e 56,96% para as salas. Para a cidade de Dourados, a análise foi feita para o período de verão e de

inverno, pois sua localização é a ZB 3, zona na qual estas avaliações são recomendadas. A Figura 26 apresenta os gráficos de dispersão desta correlação. Para esta zona bioclimática as correlações diretas foram: 28,94% para os quartos (verão/calor), 46,8% para as salas (verão/calor), 39,42% para os quartos (inverno/frio) e 32,57% para as salas (inverno/frio).

A correlação também foi feita para o verão e inverno para a cidade de Sidrolândia, por estar localizada na ZB 5. A Figura 27 apresenta os gráficos de dispersão desta correlação. As correlações diretas para este caso foram de: 37,25% para os quartos (verão/calor), 37,14% para as salas (inverno/frio), 34,61% para os quartos (inverno/frio) e 28,51% para as salas (inverno/frio).

Figura 24: Correlação dos resultados de desempenho da cidade de Campo Grande pela norma e o método proposto nos (a) quartos e (b) salas

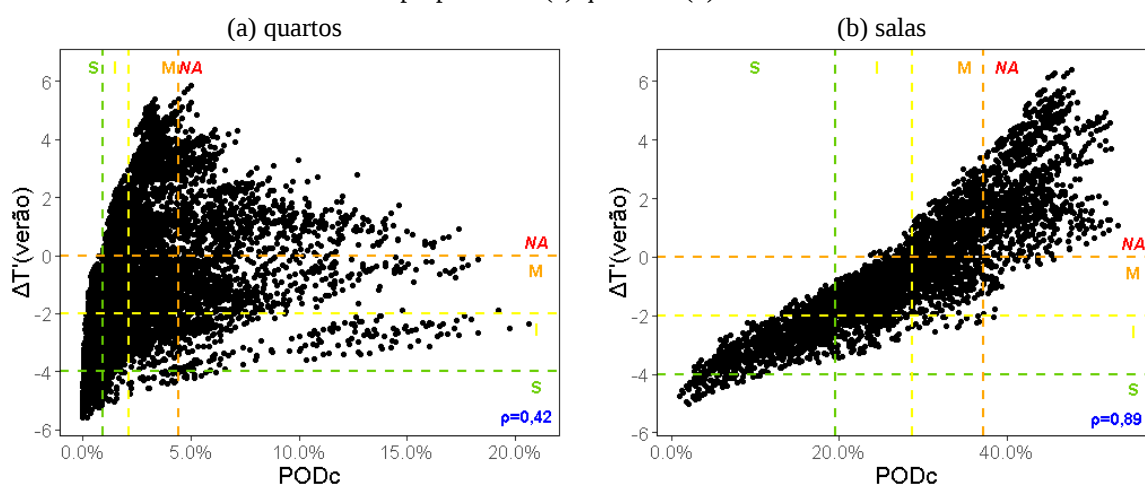


Figura 25: Correlação dos resultados de desempenho da cidade de Corumbá pela norma e o método proposto a) quartos; b) salas

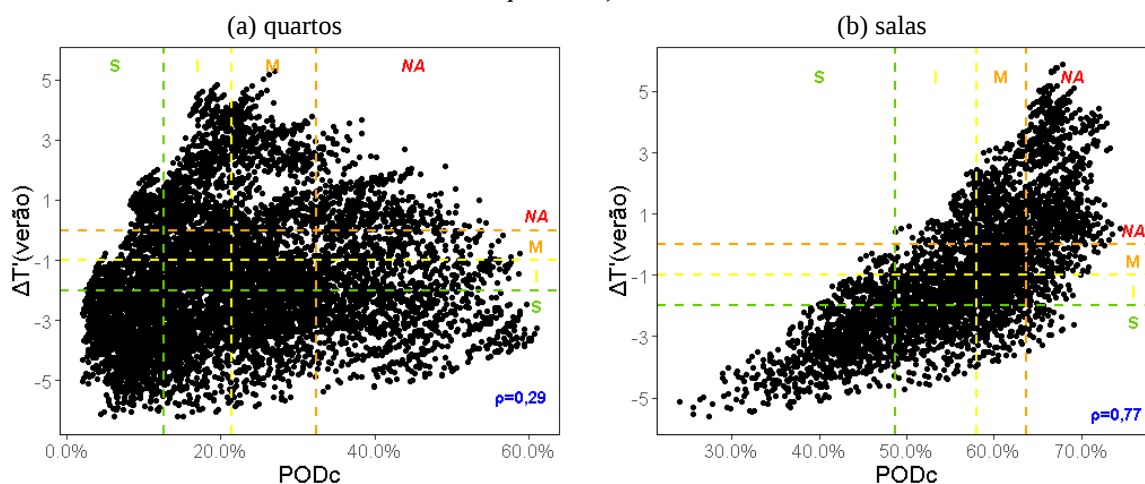


Figura 26: Correlação dos resultados de desempenho da cidade de Dourados pela norma e o método proposto
a)quartos(verão); b)salas(verão); c)quartos(inverno); d)salas(inverno)

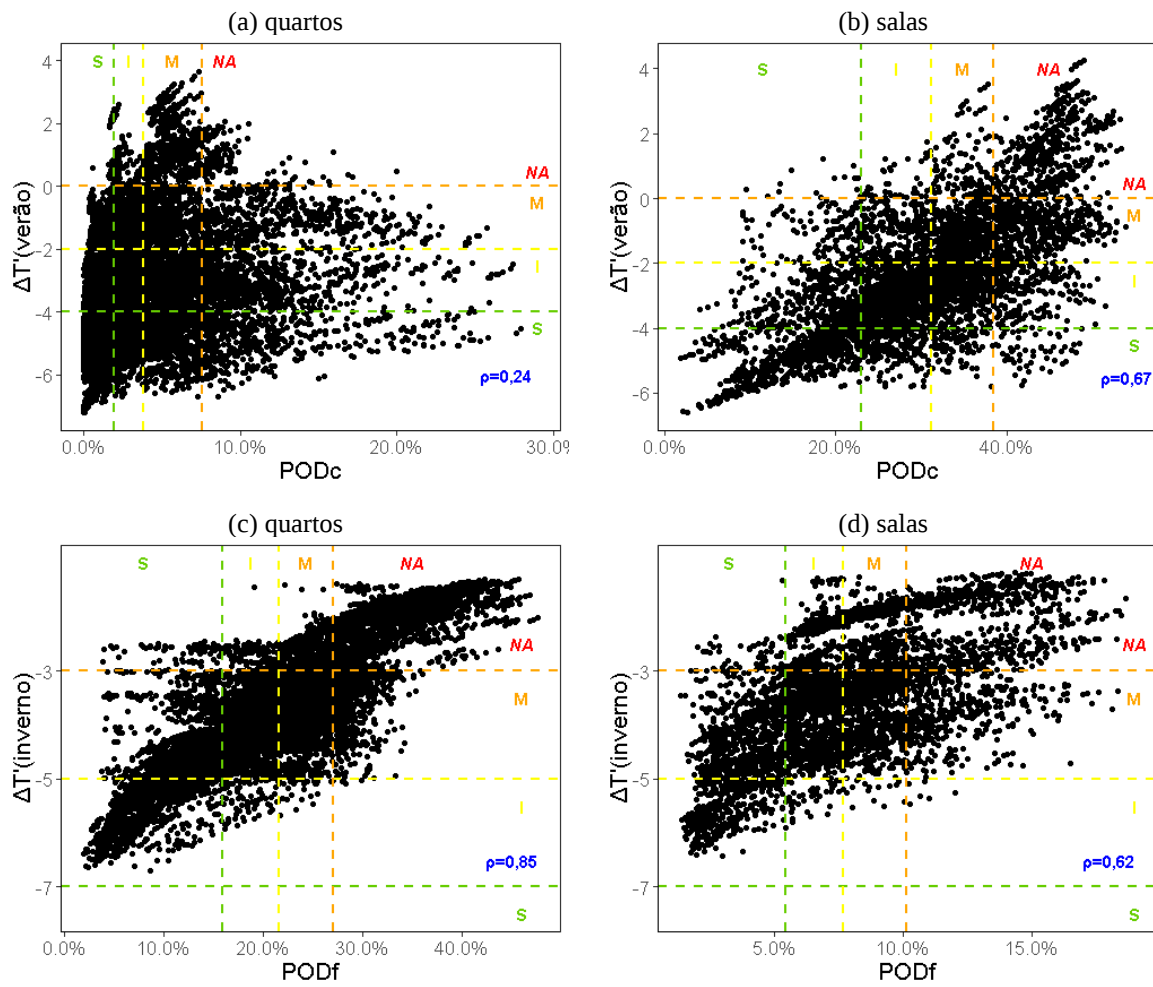
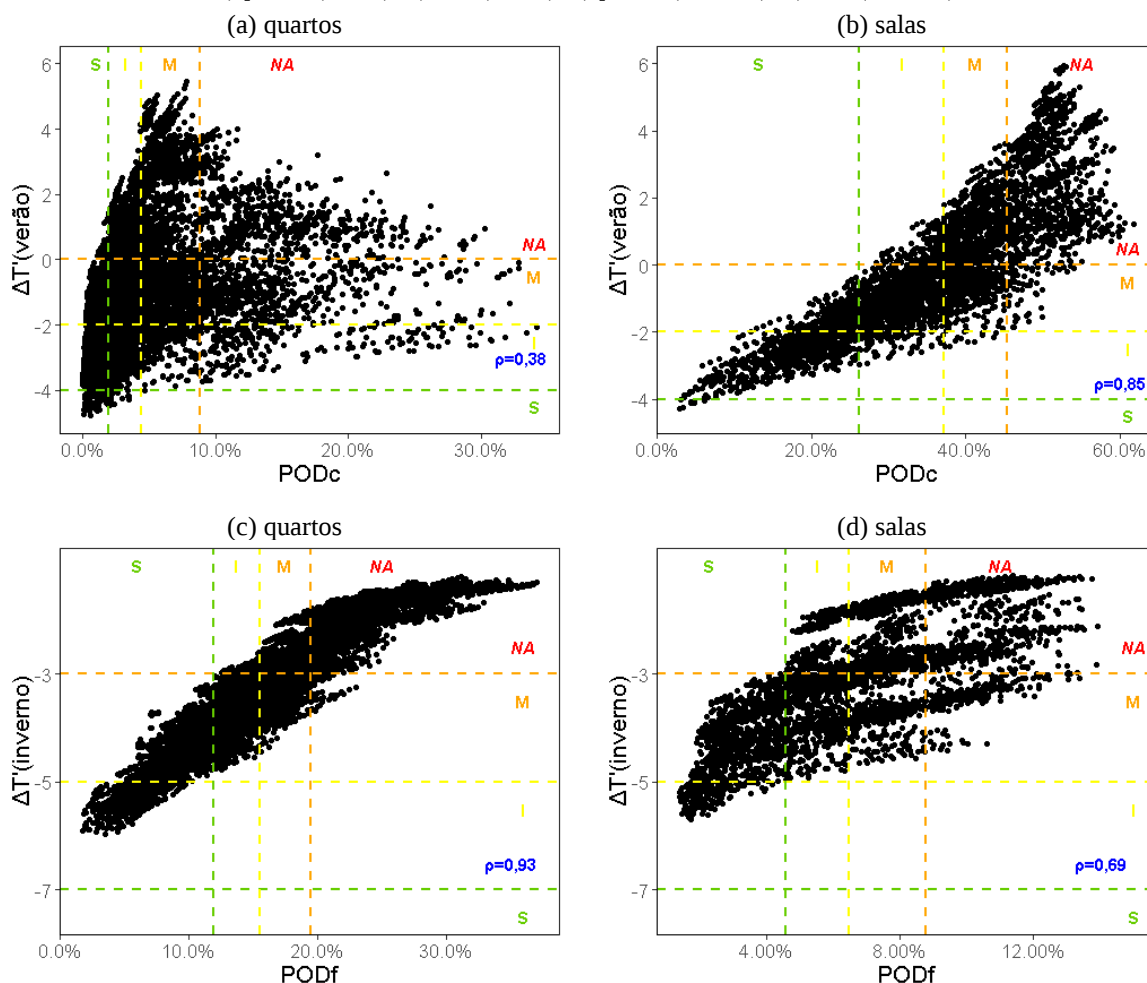


Figura 27: Correlação dos resultados de desempenho da cidade de Sidrolândia pela norma e o método proposto
a)quartos(verão); b)salas(verão); c)quartos(inverno); d)salas(inverno)



Fonte: Autor (2019)

Estes resultados demonstram claramente a diferença entre os dois métodos, pois o método da norma, leva em consideração apenas as características físicas da edificação para um dia típico apenas, enquanto o método proposto leva em consideração as características físicas, ganhos internos da edificação e ainda avalia para todas as horas de um ano de referência.

Na Tabela 22 são apresentados alguns casos extremos, que ocorrem maiores discordâncias, como um bom desempenho por um método e um mal desempenho por outro. A Tabela 23 apresenta as características físicas de cada um destes mesmos casos.

Tabela 22: Classificação de casos em que há pouca correlação entre os métodos

Nº	Class. NBR 15575 (verão)		Class. NBR 15575 (inverno)		Class. met. proposto (calor)		Class. met. proposto (frio)	
1	4,19	S	-	-	4,71%	NA	-	-
2	-0,03	NA	-	-	0,90%	S	-	-
3	2,83	S	-	-	35,31%	NA	-	-
4	-0,16	NA	-	-	8,91%	S	-	-
5	2,46	S	-	-	65,46%	NA	-	-
6	5,10	S	2,55	NA	14,97%	NA	13,33%	S
7	3,93	I	2,69	NA	14,50%	NA	13,58%	S
8	4,53	S	2,67	NA	8,38%	NA	21,62%	M
9	-0,58	NA	4,25	M	0,58%	S	22,01%	M
10	4,14	S	2,67	NA	45,05%	NA	4,47%	S
11	3,65	I	2,93	NA	45,91%	NA	3,64%	S
12	4,86	S	2,46	NA	40,10%	NA	8,08%	M
13	-0,19	NA	4,18	M	17,70%	S	15,05%	NA
14	-0,01	NA	4,06	M	1,71%	S	12,33%	I
15	-2,93	NA	2,97	NA	55,33%	NA	4,56%	S

Fonte: Autor (2019)

Tabela 23: Características físicas dos casos com pouca correlação no desempenho

Nº	Ambiente	AbCob	AbPar	Clima	Ori	Tipologia	Cob	Par	FrAb	Somb
1	Quarto	0,5	0,5	CGR	0	TII	C3	P3	0,5	0
2	Quarto	0,5	0,3	CGR	90	TI	C4	P2	1	0
3	Quarto	0,5	0,7	COR	270	TII	C4	P3	0,5	0
4	Quarto	0,5	0,3	COR	0	TI	C5	P1	1	0
5	Sala	0,7	0,3	COR	180	TI	C3	P2	0,5	0
6	Quarto	0,5	0,3	DDS	180	TI	C1	P1	0,5	1
7	Quarto	0,3	0,3	DDS	180	TI	C1	P1	1	0
8	Quarto	0,3	0,3	DDS	0	TI	C1	P1	1	0
9	Quarto	0,7	0,7	DDS	180	TI	C2	P2	1	0
10	Sala	0,3	0,3	DDS	180	TI	C1	P1	1	0
11	Sala	0,3	0,3	DDS	270	TI	C1	P2	1	0
12	Sala	0,5	0,3	DDS	0	TI	C1	P1	0,5	1
13	Sala	0,3	0,7	DDS	90	TI	C1	P2	1	1
14	Quarto	0,5	0,7	SDR	180	TI	C4	P2	1	1
15	Sala	0,3	0,7	SDR	90	TI	C2	P1	1	0
Legendas: P1-concreto P2-gesso+L. rocha+P. cimentícia P3-argam.+bloco+L. rocha+bloco+argam.				C1-L. maciça C2-L. pré-moldada C3-L. maciça+ar+telha C4-forro+ar+telha				CGR-Campo Grande COR-Corumbá DDS-Dourados SDR-Sidrolândia		

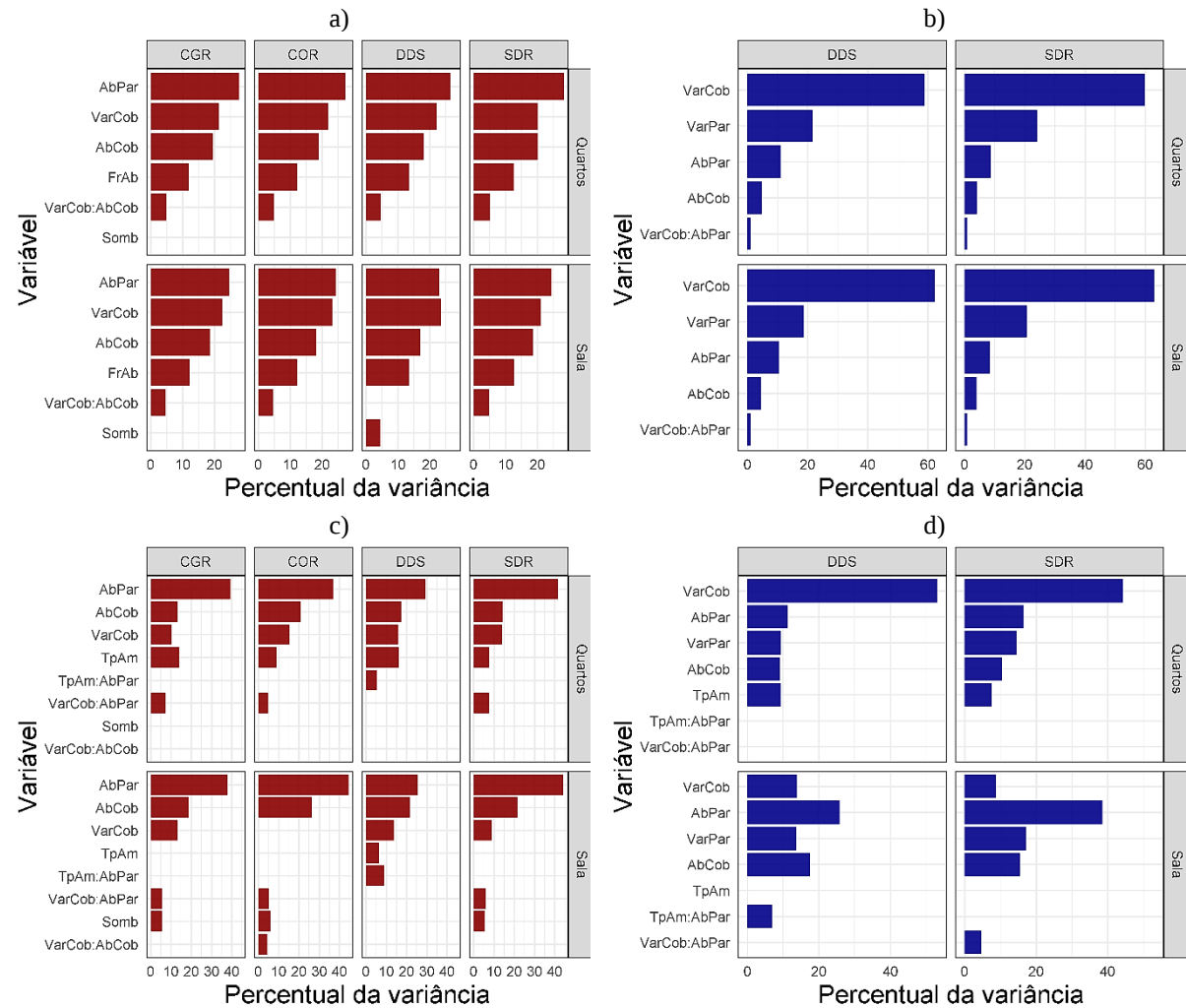
Fonte: Autor (2019)

4.4 Análise de sensibilidade das variáveis independentes

A análise de sensibilidade das variáveis independentes no desempenho térmico é apresentada na Figura 28. É possível observar que para os casos de verão/calor, a absorptância das paredes (AbPar) foi a variável independente que teve mais influência nos resultados, tanto no conforto quanto no desempenho térmico. Para os casos de inverno/frio, o tipo de cobertura (VarCob) e a absorptância das paredes (AbPar) foi a variável que mais influenciou os resultados.

Este comportamento observado na análise de sensibilidade demonstra relação entre estes dois métodos, mesmo com índices e procedimentos de modelagem diferentes.

Figura 28: Análise de sensibilidade das variáveis independentes no: a) desempenho no verão; b) desempenho no inverno; c) desconforto no calor; d) desconforto no frio



Campo Grande (CGR) | Corumbá (COR) | Dourados (DDS) | Sidrolândia (SDR)
Fonte: Autor (2019)

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões referentes ao trabalho realizado. O objetivo foi atendido, sendo a proposta da melhoria do método de simulação computacional para a avaliação do desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) para Habitações de Interesse Social para o clima tropical estação seca (cf. INMET). A proposta apresentada neste trabalho é baseada em comparações entre resultados de desempenho de um grande grupo de simulações computacionais no programa EnergyPlusTM, para um tipo específico de habitação conhecida como habitações de interesse social (HIS). Os resultados demonstraram que a variação de desempenho oscila em grupos coesos, de acordo com a região onde as HIS são implantadas. Dessa forma é possível, principalmente quando visualizamos os resultados em histogramas, criar faixas de grupos de desempenho.

Um dos fatores importantes para a criação dos grupos de desempenho, como considerado neste trabalho, é possuir um grande tamanho amostral, de tal forma que possam ser utilizados como base para comparação e análise de comportamento dos dados. Esses grandes grupos, que variaram de acordo com o tipo de ambiente (sala ou quarto) e clima (zonas bioclimáticas), representaram as variedades de sistemas construtivos de paredes e coberturas, bem como cores, orientações e outras características físicas de habitações, que possivelmente podem ser utilizadas na implantação de projetos de habitações de interesse social, na região analisada.

5.1 Comparação entre os indicadores de desempenho

Ao comparar o método da NBR 15575-1 (ANBT, 2013) com o método alternativo aplicado neste trabalho, é possível notar que o desempenho da norma não é adequado para proporcionar uma análise de conforto real do usuário da habitação. Entretanto, nota-se certa correlação entre os métodos em alguns casos, como salas durante o verão/calor e quartos, durante o inverno/frio, bem como certa tendência de ajuntamento de pontos, em outros casos. É possível dizer que esta similaridade existente está relacionada ao fato de que as variáveis, como a absorvância das coberturas (AbCob), absorvância das paredes (AbPar), variação da cobertura (VarCob) e variação das paredes (VarPar), foram as mais influentes nos dois métodos de simulação. Esse comportamento indica uma possível adoção de um método de análise de desempenho térmico de habitações baseado no conforto térmico dos usuários.

Vale destacar que os quartos no verão/calor possuem uma dispersão de resultados muito maior que no caso do inverno. Esse fato pode estar relacionado à ocupação dos ambientes

porque, para a análise de conforto, o horário de ocupação dos quartos é, em sua maior parte, noturno, e no caso do desempenho pela norma o pico de temperatura ocorre no período da tarde na análise para o verão. Esse comportamento também pode ser notado no caso das salas, mas de forma inversa, pois a ocupação deste ambiente ocorre durante a tarde, tendo uma melhor correlação no verão/calor do que no inverno/frio. Sendo assim, é importante ressaltar que os ganhos internos de calor, como rotinas de ocupação e utilização de equipamentos, são fatores fundamentais para que a simulação computacional possa ser comparada com o funcionamento real de um projeto já implantado.

5.2 Viabilidade de revisão do método da NBR 15575 (ABNT, 2013)

Como já apresentado no início do trabalho, a norma de desempenho (ABNT/NBR 15575:2013) está em estudo para revisão. Dessa forma, como uma parte da comunidade acadêmica da área vem criticando o método avaliado neste trabalho (OLIVEIRA; SOUZA; DA SILVA, 2017; SILVA *et al.*, 2014; SORGATO *et al.*, 2014), há grandes chances de ocorrer a revisão para a melhoria deste.

O modelo de método de avaliação proposto neste trabalho está alinhado com a maior parte dos trabalhos realizados na área de desempenho térmico de habitações, levando em consideração as cargas internas dos ambientes, análises com períodos anuais e o conforto do usuário da edificação, ponto mais importante para a aplicação do método.

A comparação com o comportamento de outras habitações é um fator que possibilita uma análise aplicada do desempenho de um projeto, pois compara este modelo com outros de mesmo porte e com sistemas construtivos semelhantes. Como apresentado nos resultados deste trabalho, a variação dos valores de desempenho obedece a limites característicos para cada tipo de clima, viabilizando a definição de classes reais de desempenho, baseadas em simulações já realizadas. Como as Habitações de Interesse Social são um grupo restrito e característico de edificações, é possível utilizar deste método de comparação entre resultados de projetos já simulados.

Contudo, para a eficácia deste método, é importante que as classes de desempenho sejam baseadas em um grande volume de simulações. Desta forma leva-se em consideração um grande grupo de amostras, com características físicas diferentes, representando dessa maneira as várias tipologias construtivas presentes no mercado.

5.3 Limitações do trabalho

Este estudo foi baseado estritamente em resultados de simulações computacionais para a avaliação de desempenho térmico. Dessa forma, este processo foi realizado com apenas um programa de simulação, conforme apresentado no início deste trabalho. Assim, não foi possível analisar a influência dos algoritmos internos de programas computacionais para este fim, restringindo o método proposto a avaliar simulações realizadas apenas com a utilização do EnergyPlusTM.

A amostra deste estudo foi limitada a 23.040 simulações, sendo 46.080 resultados referentes aos quartos e 23.040 às salas. Estes números foram estipulados devido ao limite de capacidade de processamento dos computadores disponíveis para as simulações dos modelos e não por toda diversidade de características construtivas disponíveis no mercado.

Os projetos avaliados foram apenas de habitações unifamiliares, o que não considera uma outra parte de projetos executados por várias regiões do país. As habitações multifamiliares, modelo não avaliado neste trabalho, possuem disposições térmicas e *layouts* diferentes dos modelos unifamiliares, o que exige uma abordagem diferente desta.

Por fim, este trabalho limitou-se a apenas zonas bioclimáticas presentes no estado de Mato Grosso do Sul. Não foram levadas em consideração as zonas mais frias do país, como ZB 1 e ZB 2, e nem as intermediárias como ZB 4 e ZB 7. Como visto nos resultados, as variações foram limitadas para cada zona bioclimática, o que pode ser bem diferente de uma zona para outra.

5.4 Sugestões para futuros trabalhos

Sugere-se que os trabalhos futuros busquem maneiras de superar os limites deste trabalho. Uma das grandes limitações é a quantidade de simulações, devido ao fato de que depende da capacidade de processamento dos computadores para a simulação. Talvez a utilização de computadores com processadores e memórias mais potentes, ou até mesmo a utilização de *clusters* que viabilizem a realização de muito mais simulações, analisando sistemas construtivos mais complexos e tipologias arquitetônicas diferenciadas para HIS, o que aumentaria o número de variáveis independentes dessa amostra. Complementando ainda, seria interessante realizar análises de sensibilidade com esse grande número de simulações, bem como a frequência de resultados por classes criadas.

A análise em mais zonas bioclimáticas também é sugerida. Desta forma o trabalho não se limitaria a apenas quatro zonas bioclimáticas, mas possivelmente a todas elas, possibilitando

uma amostra que representasse todas as regiões do país. Uma análise mais ampla contribuiria de forma mais direta a uma norma que atua em todo território nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1 2013 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1 : Requisitos gerais Prefácio. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2013
- AGÊNCIA CBIC. Norma sobre desempenho em edifícios habitacionais. Disponível em: <<https://cbic.org.br/norma-sobre-desempenho-em-edificios-habitacionais/>>. Acesso em: 14 mar. 2019.
- AGÊNCIA CBIC. Revisão da norma de desempenho: grupos de trabalhos iniciarão as reuniões na segunda quinzena de outubro. Disponível em: <<https://cbic.org.br/revisao-da-norma-de-desempenho-grupos-de-trabalhos-iniciarao-as-reunioes-na-segunda-quinzena-de-outubro/>>. Acesso em: 14 mar. 2019.
- AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Proposta de Procedimentos para o Tratamento de Dados Climáticos. In: Encontro Nacional Sobre Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Térmico em Edificações. Florianópolis, 1991
- AL, G. ET. Ambiente construído, clima urbano, utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa. Lisboa: INET, 2004
- ASHRAE. Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2017
- ASHRAE. Weather Data and Design Conditions. In: ASHRAE HANDBOOK - FUNDAMENTALS. New York, 1993.
- ABNT. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações. Métodos de cálculo da transmitância, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Abnt. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2005
- BARBOSA, M. J.; CARBONARI B. M. T.; SAKAMOTO J.; ADACHI A. Z.; CORTELASSI, E. M.; SILVA, E. B. J.; ZANON, M. V. Aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos métodos de avaliação de desempenho para subsidiar a elaboração e revisão de normas técnicas. In: ROMAN, H.; BONIN, L. C. (Org.). . Coletânea Habitare. Vol. 3 ed. Porto Alegre, 2003. p. 220.
- BAVARESCO, M. V. *et al.* Análise da precisão de um metamodelo para a avaliação de eficiência energética em edificações. n. 1, p. 1308–1317. Balneário Camburiu: ENCAC, 2017.
- BRACKE, W. *et al.* Building energy performance: sphere area as a fair normalization concept. Building Research and Information, v. 0, n. 0, p. 1–18, 2018.
- BRASIL. SECRETARIA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS. Governo federal e municípios: a força dessa união cria um país de oportunidades. Brasília, 2014. , p. 20.

- CB3E. Sobre o CB3E. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/sobre>>. Acesso em: 30 jul. 2018.
- CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 4, p. 119–134, 2014.
- FERREIRA, C. C. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. *Ambiente Construído*. p. 183–200, 2017.
- FRONTCZAK, M.; WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment*, v. 46, n. 4, p. 922–937, 2011.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, D. DE E. E I. Déficit habitacional no Brasil 2015. . Belo Horizonte, 2018.
- GIBSON, E. J. WORKING WITH THE PERFORMANCE APPROACH IN BUILDING. . Roterdão: CIB, 1982.
- GIVONI B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, v. 18, p. 11–23, 1992.
- GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. DADOS CLIMÁTICOS DE 14 CIDADES BRASILEIRAS. 1. ed. São Paulo: ABRAVA, 1998.
- INMETRO. PORTARIA N.º 372, DE 17 DE SETEMBRO DE 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, Brasil, 2010.
- INMETRO. PORTARIA N.º 18, DE 16 DE JANEIRO DE 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). . Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
- INMETRO. Anexo Geral V – Catálogo De Propriedades Térmicas De Paredes, Coberturas E Vidros. . Brasil, 2013.
- INMETRO. Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações. Brasil, 2013.
- KOO, C. ;HONG, T.; LEE, M.; SEON PARK, H. Development of a new energy efficiency rating system for existing residential buildings. *Energy Policy*, v. 68, n. 2014, p. 218–231, 2014.
- MELO, A. P. Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais. 2012. 189 f. 2012.
- MINISTÉRIO DA TRANSPARÊNCIA, B. Relatório de avaliação da execução de programa de governo no 66 programa minha casa, minha vida - FGTS. Brasília, 2017.
- OLIVEIRA, R. D. *et al.* Thermal Comfort for users according to the Brazilian Housing Buildings

- Performance Standards. *Energy Procedia*, v. 78, n. January 2016, p. 2923–2928, 2015.
- OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G. DE; DA SILVA, R. M. Issues to be Improved on the Thermal Performance Standards for Sustainable Buildings Consolidation: An Overview of Brazil. *Energy Procedia*, v. 111, n. March, p. 71–80, 2017.
- ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LABERTS, R. Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1. UFSC. Florianópolis, 2003.
- PEREIRA, I.; FERREIRA, C. Avaliação dos impactos da ABNT NBR 15575 no conforto térmico e no consumo de energias nas novas edificações habitacionais brasileiras. p. 518–527, 2014.
- RORIZ, M. Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. ANTAC. São Carlos, 2012.
- ROSA, A. S. DA. Determinação de modelos de referência de habitações populares unifamiliares para Florianópolis através de análise de agrupamento. 2014. 198 f. Florianópolis: UFSC, 2014.
- SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E. DE; NICO-RODRIGUES, E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. *Cadernos PROARQ*, v. 20, p. 116–136, 2014.
- SCHELLER, C.; MELO, A. P.; SORGATO, M.; LAMBERTS, R. Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energéticode edificações. Florianópolis: CB3E, 2015.
- SILVA, A. S.; SORGATO, M. J.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; GHISI, E. Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 4, p. 103–117, 2014.
- SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; GHISI, E. Análise de incertezas físicas em simulação computacional de edificações residenciais. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 1, p. 289–303, 2017.
- SILVA, A. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Performance evaluation of long-term thermal comfort indices in building simulation according to ASHRAE Standard 55. *Building and Environment*, v. 102, p. 95–115, 2016.
- SOARES, M. M. .; SILVA, A. C. S. B. S. Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575: zona bioclimática 2. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 1, p. 305–327, 2017.
- SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. Relatório técnico da base de simulações para o rtq-r. Florianópolis:LABEEE, 2011.
- SORGATO, M. J.; MARINOSKI, D. L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública. .Florianópolis:

LABEEE, 2012.

SORGATO, M. J. *et al.* Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 4, p. 83–101, 2014.

TEIXIERA, C. A.; INVIDIATA, A.; SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros. Florianópolis: CB3E, 2015.

TRIANA, M. A. Abordagem integrada no ciclo de vida de Florianópolis. Florianópolis: UFSC, 2016.

YANG, L.; YAN, H.; LAM, J. C. Thermal comfort and building energy consumption implications - A review. *Applied Energy*, v. 115, p. 164–173, 2014.

ANEXO A - Variáveis climáticas dos arquivos climáticos

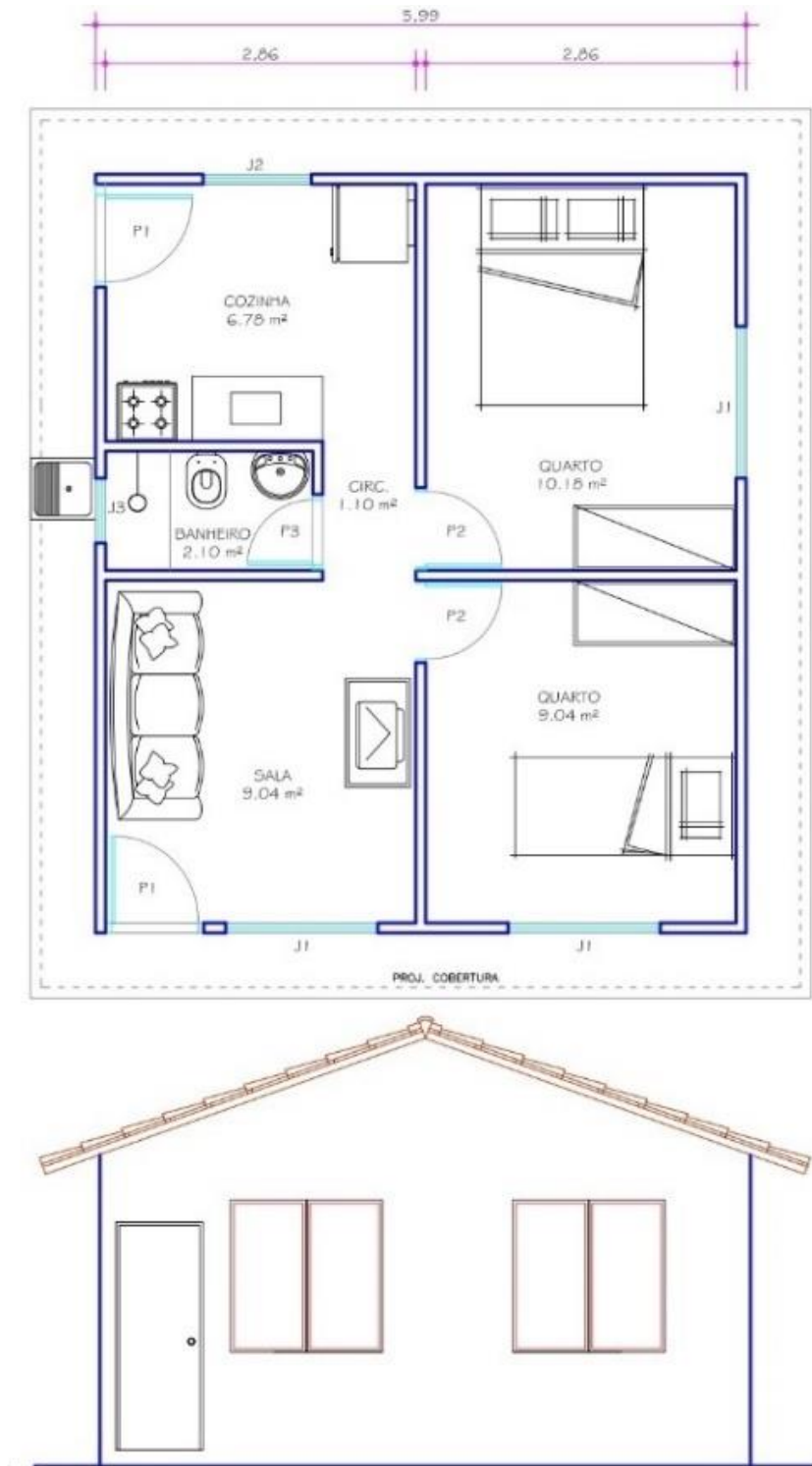
Tabela 24: Variáveis climáticas dos arquivos na extensão epw.

Coluna	Variável	Parâmetros EnergyPlus
1	Ano	year Year - n
2	Mês	month Month - y
3	Dia	day Day - y
4	Hora	hour hour - y
5	Minuto	minute minute - n
6	Fonte	datasource datasource - n
7	TBS	drybulb dry_bulb_temperature C y
8	TOrv	dewpoint dew_point_temperature C y
9	UR	relhum relative_humidity % y
10	AtmPa	atmos_pressure atmospheric_pressure Pa y
11	ETGlbHrz	exthorrad extraterrestrial_horizontal_radiation Wh/m2 n
12	ETdirNrm	extdirrad extraterrestrial_direct_normal_radiation Wh/m2 n
13	InfraVerm	horirsky horizontal_infrared_radiation_intensity_from_sky Wh/m2 y
14	GlbHrz	glohorrad global_horizontal_radiation Wh/m2 n
15	DirNrm	dirnorrad direct_normal_radiation Wh/m2 y
16	DifHrz	difhorrad diffuse_horizontal_radiation Wh/m2 y
17	LuzGlbHrz	glohorillum global_horizontal_illuminance lux n
18	LuzDirNrm	dirnorillum direct_normal_illuminance lux n
19	LuzDifHrz	difhorillum diffuse_horizontal_illuminance lux n
20	LuzZenit	zenlum zenith_luminance lux n
21	DirVen	winddir wind_direction degrees y
22	DirVel	windspd wind_speed m/2 y
23	Nebul	totskycvr total_sky_cover tenths n
24	CeuOpaco	opaqskycvr opaque_sky_cover tenths n
25	Visibil	visibility visibility km n
26	AltCeu	ceiling_hgt ceiling_height m n
27	TempObs	presweathobs present_weather_observation - y
28	TempCod	presweathcodes present_weather_codes - y
29	PrecipWat	precip_wtr precipitable_water mm n
30	Aerosol	aerosol_opt_depth aerosol_optical_depth thousandthsN
31	NeveDepth	snowdepth snow_depth cm Y
32	DiasUltNev	days_last_snow days_since_last_snow - N
33	Albedo	Albedo albedo - N
34	LiqPrecDep	liq_precip_depth liquid_precip_depth mm Y
35	LiqPrecTax	liq_precip_rate liquid_precip_rate Hour N

Fonte: Roriz (2012)

ANEXO B - Plantas dos projetos simulados

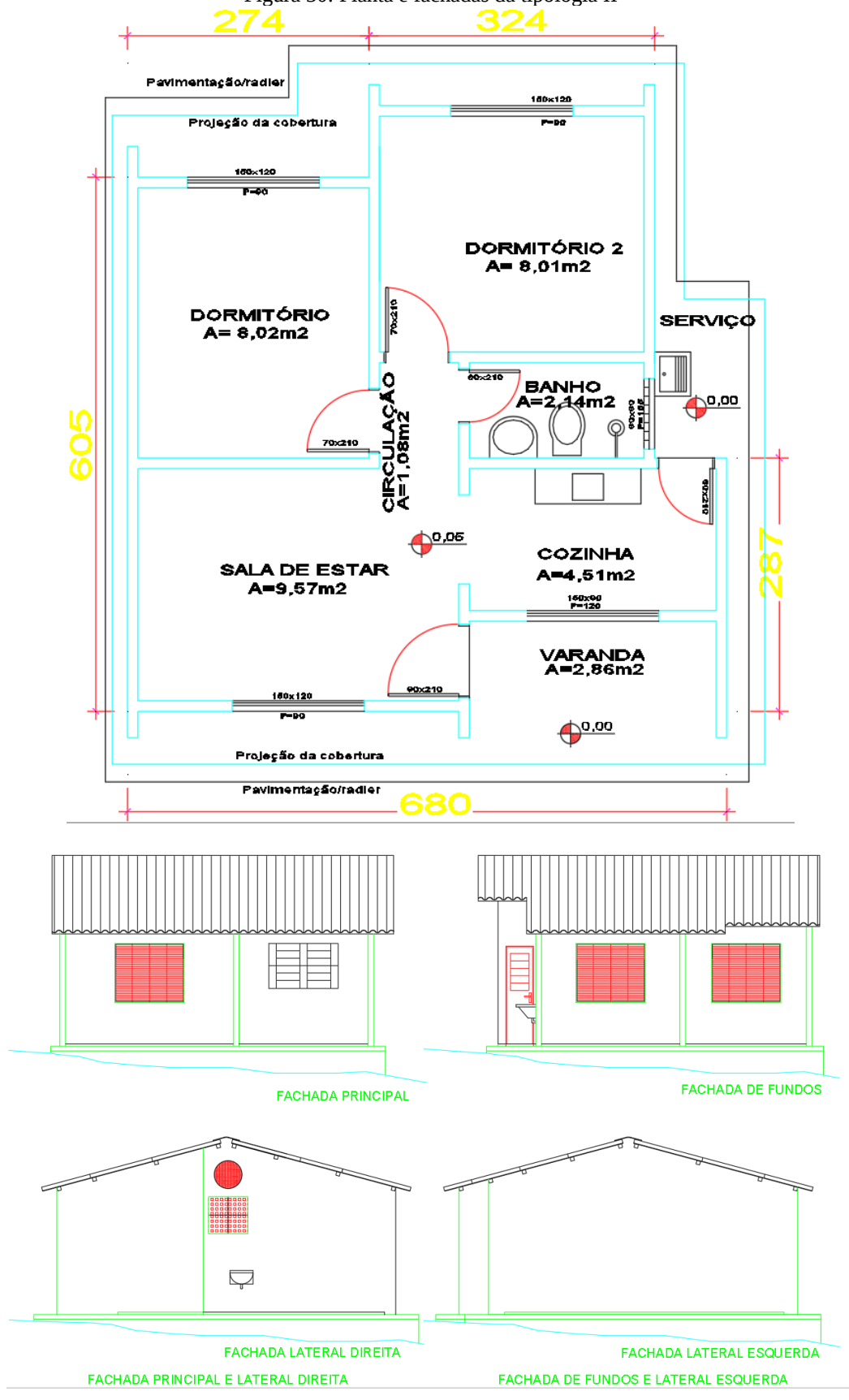
Figura 29: Planta e fachada da tipologia I



Tipologia I (41,87m²)

Fonte: Caixa (2007)

Figura 30: Planta e fachadas da tipologia II



Fonte: Caixa (2006)

APÊNDICE A - Configuração da simulação

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SIMULATIONCONTROL =====

SimulationControl,

No, !- Do Zone Sizing Calculation
 No, !- Do System Sizing Calculation
 No, !- Do Plant Sizing Calculation
 No, !- Run Simulation for Sizing Periods
 Yes, !- Run Simulation for Weather File Run Periods
 No, !- Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods
 1; !- Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDING =====

Building,

ZONA, !- Name
 0, !- North Axis {deg}
 Suburbs, !- Terrain
 0.04, !- Loads Convergence Tolerance Value
 0.40, !- Temperature Convergence Tolerance Value {deltaC}
 FullExterior, !- Solar Distribution
 25, !- Maximum Number of Warmup Days
 6; !- Minimum Number of Warmup Days

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACECONVECTIONALGORITHM:INSIDE
 =====

SurfaceConvectionAlgorithm:Inside,

TARP; !- Algorithm

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACECONVECTIONALGORITHM:OUTSIDE
 =====

SurfaceConvectionAlgorithm:Outside,

DOE-2; !- Algorithm

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: HEATBALANCEALGORITHM =====

HeatBalanceAlgorithm,

ConductionTransferFunction, !- Algorithm

200, !- Surface Temperature Upper Limit {C}

0.1, !- Minimum Surface Convection Heat Transfer Coefficient Value {W/m2-K}

1000; !- Maximum Surface Convection Heat Transfer Coefficient Value {W/m2-K}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: TIMESTEP =====

Timestep,

6; !- Number of Timesteps per Hour

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: RUNPERIOD =====

RunPeriod,

SIMUL, !- Name

1, !- Begin Month

1, !- Begin Day of Month

12, !- End Month

31, !- End Day of Month

UseWeatherFile, !- Day of Week for Start Day

Yes, !- Use Weather File Holidays and Special Days

Yes, !- Use Weather File Daylight Saving Period

No, !- Apply Weekend Holiday Rule

Yes, !- Use Weather File Rain Indicators

Yes, !- Use Weather File Snow Indicators

1, !- Number of Times Runperiod to be Repeated

Yes; !- Increment Day of Week on repeat

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:

SITE:GROUNDTEMPERATURE:UNDISTURBED:FINITEDIFFERENCE =====

Site:GroundTemperature:Undisturbed:FiniteDifference,

FiniteDifference, !- Name

0.52, !- Soil Thermal Conductivity {W/m-K}

1700, !- Soil Density {kg/m3}

840, !- Soil Specific Heat {J/kg-K}

30, !- Soil Moisture Content Volume Fraction {percent}

50, !- Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation {percent}

0.4; !- Evapotranspiration Ground Cover Parameter {dimensionless}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:GROUNDDOMAIN:SLAB =====

Site:GroundDomain:Slab,

Solo, !- Name
 10, !- Ground Domain Depth {m}
 1, !- Aspect Ratio
 5, !- Perimeter Offset {m}
 0.52, !- Soil Thermal Conductivity {W/m-K}
 1700, !- Soil Density {kg/m3}
 840, !- Soil Specific Heat {J/kg-K}
 30, !- Soil Moisture Content Volume Fraction {percent}
 50, !- Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation {percent}

Site:GroundTemperature:Undisturbed:FiniteDifference, !- Undisturbed Ground Temperature Model Type

FiniteDifference, !- Undisturbed Ground Temperature Model Name

0.75, !- Evapotranspiration Ground Cover Parameter

CONDICAO, !- Slab Boundary Condition Model Name

OnGrade, !- Slab Location

Concreto, !- Slab Material Name

No, !- Horizontal Insulation

, !- Horizontal Insulation Material Name

, !- Horizontal Insulation Extents

, !- Perimeter Insulation Width {m}

No, !- Vertical Insulation

, !- Vertical Insulation Material Name

, !- Vertical Insulation Depth {m}

Hourly, !- Simulation Timestep

1.6, !- Geometric Mesh Coefficient

6; !- Mesh Density Parameter

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:GROUNDREFLECTANCE =====

Site:GroundReflectance,

0.2, !- January Ground Reflectance {dimensionless}
 0.2, !- February Ground Reflectance {dimensionless}
 0.2, !- March Ground Reflectance {dimensionless}
 0.2, !- April Ground Reflectance {dimensionless}
 0.2, !- May Ground Reflectance {dimensionless}
 0.2, !- June Ground Reflectance {dimensionless}
 0.2, !- July Ground Reflectance {dimensionless}
 0.2, !- August Ground Reflectance {dimensionless}

```

0.2,          !- September Ground Reflectance {dimensionless}
0.2,          !- October Ground Reflectance {dimensionless}
0.2,          !- November Ground Reflectance {dimensionless}
0.2;          !- December Ground Reflectance {dimensionless}

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: GLOBALGEOMETRYRULES =====

GlobalGeometryRules,

```

UpperLeftCorner,    !- Starting Vertex Position
Counterclockwise,  !- Vertex Entry Direction
Relative;          !- Coordinate System

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: WINDOWPROPERTY:SHADINGCONTROL
=====

WindowProperty:ShadingControl,

```

Sombreamento,      !- Name
ExteriorShade,      !- Shading Type
,                  !- Construction with Shading Name
AlwaysOff,          !- Shading Control Type
,                  !- Schedule Name
,                  !- Setpoint {W/m2, W or deg C}
,                  !- Shading Control Is Scheduled
No,                 !- Glare Control Is Active
Veneziana,          !- Shading Device Material Name
BlockBeamSolar,     !- Type of Slat Angle Control for Blinds
;                  !- Slat Angle Schedule Name

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
SURFACEPROPERTY:OTHERSIDECONDITIONSMODEL =====

SurfaceProperty:OtherSideConditionsModel,

```

CONDICAO,          !- Name
GroundCoupledSurface; !- Type of Modeling

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: PEOPLE =====

People,

```

Quarto Casal,      !- Name

```

ZX, !- Zone or ZoneList Name
 Sch_Pessoas_Dormitorio, !- Number of People Schedule Name
 People, !- Number of People Calculation Method
 2, !- Number of People
 , !- People per Zone Floor Area {person/m2}
 , !- Zone Floor Area per Person {m2/person}
 0.6, !- Fraction Radiant
 autocalculate, !- Sensible Heat Fraction
 Sch_Met_Q, !- Activity Level Schedule Name
 0.0000000382, !- Carbon Dioxide Generation Rate {m3/s-W}
 No, !- Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings
 ZoneAveraged, !- Mean Radiant Temperature Calculation Type
 , !- Surface Name/Angle Factor List Name
 , !- Work Efficiency Schedule Name
 ClothingInsulationSchedule; !- Clothing Insulation Calculation Method

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: LIGHTS =====

Lights,
 Quarto Casal, !- Name
 ZX, !- Zone or ZoneList Name
 Sch_Ilum_Q, !- Schedule Name
 Watts/Area, !- Design Level Calculation Method
 , !- Lighting Level {W}
 2.500000, !- Watts per Zone Floor Area {W/m2}
 , !- Watts per Person {W/person}
 0, !- Return Air Fraction
 0.72, !- Fraction Radiant
 0.18, !- Fraction Visible
 1, !- Fraction Replaceable
 General, !- End-Use Subcategory
 No; !- Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ELECTRIC EQUIPMENT =====

ElectricEquipment,
 Equipamentos, !- Name
 ZX, !- Zone or ZoneList Name
 Sch_Equipamentos, !- Schedule Name
 Watts/Area, !- Design Level Calculation Method

```
,          !- Design Level {W}
0.750000,   !- Watts per Zone Floor Area {W/m2}
,          !- Watts per Person {W/person}
0,          !- Fraction Latent
0.5,        !- Fraction Radiant
,          !- Fraction Lost
General;     !- End-Use Subcategory
```

```
!-  ===== ALL OBJECTS IN CLASS: AIRFLOWNETWORK:SIMULATIONCONTROL
=====
```

```
AirflowNetwork:SimulationControl,
Vent_Geral,      !- Name
MultizoneWithoutDistribution, !- AirflowNetwork Control
SurfaceAverageCalculation, !- Wind Pressure Coefficient Type
OpeningHeight,   !- Height Selection for Local Wind Pressure Calculation
LowRise,         !- Building Type
500,             !- Maximum Number of Iterations {dimensionless}
ZeroNodePressures, !- Initialization Type
0.0001,          !- Relative Airflow Convergence Tolerance {dimensionless}
0.000001,        !- Absolute Airflow Convergence Tolerance {kg/s}
-5,             !- Convergence Acceleration Limit {dimensionless}
0,              !- Azimuth Angle of Long Axis of Building {deg}
0.94805195,      !- Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along Long Axis
No,             !- Height Dependence of External Node Temperature
SkylineLU;       !- Solver
```

```
!-  ===== ALL OBJECTS IN CLASS: AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:ZONE
=====
```

```
AirflowNetwork:MultiZone:Zone,
ZX,            !- Zone Name
Constant,      !- Ventilation Control Mode
,             !- Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule Name
,             !- Minimum Venting Open Factor {dimensionless}
,             !- Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor
{deltaC}
100,          !- Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit for Minimum Venting Open
Factor {deltaC}
```

```

,                !- Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor
{deltaJ/kg}
300000,          !- Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for Minimum Venting Open Factor
{deltaJ/kg}
Sch_On,          !- Venting Availability Schedule Name
Standard,        !- Single Sided Wind Pressure Coefficient Algorithm
10;              !- Facade Width {m}

```

```

!-  =====  ALL OBJECTS IN CLASS: AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:SURFACE
=====

```

```

AirflowNetwork:MultiZone:Surface,

```

```

JX1,             !- Surface Name
JX1,             !- Leakage Component Name
,               !- External Node Name
0.8,             !- Window/Door Opening Factor, or Crack Factor {dimensionless}
NoVent,          !- Ventilation Control Mode
,               !- Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule Name
,               !- Minimum Venting Open Factor {dimensionless}
,               !- Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor
{deltaC}
100,             !- Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit for Minimum Venting Open
Factor {deltaC}
,               !- Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor
{deltaJ/kg}
300000;          !- Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for Minimum Venting Open Factor
{deltaJ/kg}

```

```

AirflowNetwork:MultiZone:Surface,

```

```

JX2,             !- Surface Name
JX2,             !- Leakage Component Name
,               !- External Node Name
0.45,           !- Window/Door Opening Factor, or Crack Factor {dimensionless}
Temperature,     !- Ventilation Control Mode
SetPoint,        !- Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule Name
,               !- Minimum Venting Open Factor {dimensionless}
,               !- Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor
{deltaC}
100,            !- Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit for Minimum Venting Open
Factor {deltaC}

```

, !- Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor
{deltaJ/kg}

300000, !- Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for Minimum Venting Open Factor
{deltaJ/kg}

Sch_Pessoas_Sala; !- Venting Availability Schedule Name

!- ===== **ALL OBJECTS IN CLASS:**
AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:COMPONENT:DETAILEDOPENING =====

AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening,

JX, !- Name

0.00023, !- Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed {kg/s-m}

0.65, !- Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed {dimensionless}

NonPivoted, !- Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)

, !- Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis {m}

2, !- Number of Sets of Opening Factor Data

0, !- Opening Factor 1 {dimensionless}

0.001, !- Discharge Coefficient for Opening Factor 1 {dimensionless}

, !- Width Factor for Opening Factor 1 {dimensionless}

, !- Height Factor for Opening Factor 1 {dimensionless}

, !- Start Height Factor for Opening Factor 1 {dimensionless}

1, !- Opening Factor 2 {dimensionless}

0.6, !- Discharge Coefficient for Opening Factor 2 {dimensionless}

1, !- Width Factor for Opening Factor 2 {dimensionless}

1, !- Height Factor for Opening Factor 2 {dimensionless}

; !- Start Height Factor for Opening Factor 2 {dimensionless}

APÊNDICE B - Correlação de desempenho dos métodos

Figura 31: Taxa de correlação de desempenho NBR 15575 x Método Proposto (ZB 6)

Quartos/Calor - CG	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	0,01%	5,41%	9,90%	14,22%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	5,74%	9,88%	11,26%	8,08%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	14,70%	9,35%	3,59%	2,67%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	4,25%	0,66%	0,21%	0,08%

Salas/Calor - CG	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	0,00%	0,90%	13,25%	23,87%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	4,29%	20,16%	11,55%	1,13%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	19,24%	3,82%	0,31%	0,02%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	1,48%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Autor (2019)

Figura 32: Taxa de correlação de desempenho NBR 15575 x Método Proposto (ZB 8)

Quartos/Calor - CO	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	1,56%	5,73%	6,35%	9,49%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	1,15%	3,20%	3,31%	3,98%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	2,77%	5,10%	6,97%	4,09%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	19,44%	11,05%	8,32%	7,49%

Salas/Calor - CO	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	0,00%	2,83%	7,59%	19,91%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	0,50%	4,22%	7,03%	3,21%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	2,85%	8,37%	7,34%	1,30%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	21,65%	9,50%	3,06%	0,64%

Fonte: Autor (2019)

Figura 33: Taxa de correlação de desempenho NBR 15575 x Método Proposto (ZB 3)

Quartos/Calor - DO	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	0,30%	0,96%	3,95%	1,60%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	2,60%	5,89%	5,45%	8,62%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	8,95%	9,09%	9,76%	10,07%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	12,80%	9,30%	5,90%	4,77%

Salas/Calor - DO	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	0,26%	0,69%	2,07%	8,02%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	2,38%	4,79%	8,99%	11,72%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	7,59%	15,02%	12,14%	4,34%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	14,77%	4,48%	1,79%	0,95%

Quartos/Frio - DO	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	0,66%	1,25%	6,03%	20,10%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	15,15%	23,07%	18,67%	4,90%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	9,19%	0,65%	0,28%	0,03%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Salas/Frio - DO	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	1,01%	5,43%	9,18%	16,37%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	17,26%	18,91%	15,49%	8,72%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	6,56%	0,71%	0,26%	0,10%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Autor (2019)

Figura 34: Taxa de correlação de desempenho NBR 15575 x Método Proposto (ZB 5)

Quartos/Calor - SI	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	0,36%	6,98%	9,17%	14,23%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	8,32%	9,16%	13,28%	8,44%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	15,15%	8,66%	2,60%	2,34%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	1,08%	0,23%	0,01%	0,00%

Salas/Calor - SI	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	0,00%	2,92%	13,23%	23,51%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	7,52%	20,24%	11,65%	1,49%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	17,26%	1,86%	0,21%	0,00%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	0,12%	0,00%	0,00%	0,00%

Quartos/Frio - SI	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	0,00%	2,84%	14,93%	24,41%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	20,36%	22,03%	10,20%	0,59%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	4,64%	0,00%	0,00%	0,00%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Salas/Frio - SI	NA ∩ S	NA ∩ I	NA ∩ M	NA ∩ NA
	0,00%	8,78%	17,36%	20,47%
	M ∩ S	M ∩ I	M ∩ M	M ∩ NA
	21,68%	15,78%	8,04%	4,57%
	I ∩ S	I ∩ I	I ∩ M	I ∩ NA
	3,32%	0,00%	0,00%	0,00%
	S ∩ S	S ∩ I	S ∩ M	S ∩ NA
	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Autor (2019)