CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Lucas Thadeu da Silva Ramos

ANÁLISE DO AMORTECIMENTO TÉRMICO DE PAREDES VERDES EM EDIFICAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO PARA O CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO COM INVERNO SECO E VERÃO QUENTE OU TEMPERADO

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Cabral de Azevedo
Co-orientadora: Profª. Drª. Raquel Diniz Oliveira

Belo Horizonte, novembro de 2021

Ramos, Lucas Thadeu da Silva
R175a Análise do amortecimento térmico de paredes verdes em edificações: um estudo de caso para o clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente ou temperado / Lucas Thadeu da Silva Ramos. – 2021.
193 f. : il., gráfs, tabs., fotos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil.
Orientador: Rogério Cabral de Azevedo.
Coorientadora: Raquel Diniz Oliveira.
Bibliografia: f. 119-125.
Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil

1. Construção sustentável – Avaliação – Teses. 2. Materiais de construção – Aspectos ambientais – Teses. 3. Arquitetura sustentável – Teses. 4. Arquitetura e clima – Teses. I. Azevedo, Rogério Cabral de. II. Oliveira, Raquel Diniz. III. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD 691.2

Elaboração da ficha catalográfica pela bibliotecária Jane Marangon Duarte, CRB 6º 1592 / Cefet/MG

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da Instituição, do autor e dos orientadores.

Lucas Thadeu da Silva Ramos

Possui graduação em Engenharia de Produção Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - (2017). Participou do Programa de Estudos em Engenharia, Sociedade e Tecnologia (PROGEST) como formador no curso de Gestão de Obras – (2016). Participou do Grupo de Desempenho e Eficiência Energética (GruDEE) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) do CEFET-MG (2019/2020). Participou do Grupo de Estudos de Estatística Aplicada à Engenharia (GEEAE) do PPGEC (2019/2020). Estagiário em docência no curso de Engenharia de Produção Civil do CEFET-MG (2019/2020). Mestrando em Engenharia Civil, área de Construção Sustentável, pelo PPGEC CEFET-MG (2019-2021).

Lucas Thadeu da Silva Ramos

ANÁLISE DO AMORTECIMENTO TÉRMICO DE PAREDES VERDES EM EDIFICAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO PARA O CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO COM INVERNO SECO E VERÃO QUENTE OU TEMPERADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Prof. Dr. Rogério Cabral de Azevedo
Orientador
Departamento de Engenharia Civil (DEC)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

Profª. Drª Raquel Diniz Oliveira
Co-orientadora
Departamento de Engenharia Civil (DEC)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

Profª. Drª Hersilia de Andrade e Santos
Membro avaliador interno
Departamento de Engenharia Civil (DEC)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

Profª. Drª Silvana Elinor Flores Larsen
Membro avaliador externo
Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta (UNSa)
Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO – UNSa-CONICET)

Belo Horizonte, novembro de 2021

Dedicado à minha família.
Minha razão de permanecer na luta!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a todos da minha família. Sem eles eu, definitivamente, não estaria aqui hoje. À família de sangue: que vou encurtar falando apenas de: meu pai, Carlos Alberto, homem humilde e simples que trabalhou a vida inteira a base do próprio suor; minha mãe, Cláudia Maria, mulher paciente e penitente - especialmente por minha causa. Se existe um Deus, saiba que o lugar dessa mulher é nos Céus; meu irmão, Fábio Henrique, o primeiro a ousar pôr a cara a tapa neste mundão cabuloso. À família de alma e de estrada que, apesar de tantos, destaco Victor Machado e Patrick Sommerfeld: iniciamos no CEFET-MG em 2006 e continuamos juntos, nos ajudando e nos apoiando na empreitada de viver. Saúde, guerreiros.

Agradeço, também, aqueles que ingressaram em minha vida por meio da academia. Ao Prof. Dr. Rogério Cabral que, além de meu orientador e supervisor de estágio em docência, me ensinou muito sobre a difícil profissão que planejo seguir. À Profª. Drª. Raquel Oliveira, minha coorientadora, que é um grande exemplo e uma inspiração de dedicação à pesquisa e ao ensino. À Profª. Drª. Hersília Santos, coordenadora do programa de pós-graduação e membro da minha banca, uma inspiração para muitos. Foi extremamente gratificante vê-la liderar a pós-graduação e se doando para que, em tempos difíceis, o programa continuasse evoluindo. À Profª. Drª.Silvana Larsen, pesquisadora da *Universidad Nacional de Salta* e membro de minha banca, que teve grande influência em minha pesquisa desde a graduação, quando tivemos o primeiro contato. A todos os professores e professoras do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e da Graduação em Engenharia de Produção Civil do CEFET-MG, que ajudaram a pavimentar meu caminho nessa jornada.

Agradeço aos amigos pesquisadores e alunos que estão nessa batalha comigo em busca do reconhecimento da academia, que tem sido tão árdua no nosso país: Fernanda Mourão, Lorena Cachuit, Leo Maia, Tathiana Caetano, Camila Gomes e Bruno Athaide. Além deles, a todos os servidores e funcionários do CEFET-MG: vocês tiveram um papel importante na minha formação, bem como da própria instituição. Não haveria CEFET sem vocês.

Um agradecimento aos artistas e criadores de conteúdo do Brasil e do mundo. Esta caminhada seria inviável sem vocês. Foram diversas vozes e rostos que me entretiveram em momentos de lazer e em diversos momentos difíceis nesse período. A vocês - especialmente aos invisíveis - que mostraram, em 2020, o quão importantes são para todas as pessoas.

Agradeço a todos os cientistas e pesquisados que tornaram a vida acadêmica e meu projeto de pesquisa possíveis, por terem construído os conhecimentos que me permitiram estar nessa posição hoje. Afinal de contas, "*Se vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes*" (Sir Isaac Newton, 1676).

Por fim, agradeço ao Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-MG) e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (CAPES) pelo apoio financeiro e pela estrutura disponibilizada para meus estudos.

E a todas as pessoas que ousaram me apoiar.

Muito obrigado.

“It is a mistake to consider any belief more liberated than another.
It is the possibility of change which is important.”
Peter J. Carroll

RESUMO

O aumento da população e sua concentração em regiões urbanas pode ocasionar, entre outros efeitos, elevações de temperatura do ar nessas áreas, especialmente nos trechos mais adensados. Esta relação se dá por fatores como mudança do uso do solo, aumento da área construída, redução da área permeável, redução da reflexão das superfícies e emissão de gases estufa. Dentre as alternativas encontradas na literatura, visando a redução de temperatura em ambientes edificados, destaca-se a reintrodução de elementos verdes em regiões urbanas. O Brasil ainda apresenta um pequeno desenvolvimento de pesquisas nessa área. Neste contexto, o presente trabalho analisou o impacto da aplicação de um Sistema Vegetado Vertical (SVV) em uma edificação por meio do método de simulação numérica. Como referência, foi considerada uma edificação escolar naturalmente ventilada na cidade de Belo Horizonte e, para tanto foram desenvolvidos dois modelos termoenergéticos, sendo um contemplando as características originais da edificação e, o outro, com o SVV. Como resultado da simulação da foi verificada redução das temperaturas operativas no modelo com SVV em comparação com a condição original da edificação em uma média de 1°C para a temperatura operativa e de 2°C para a superfície da envoltória, sendo esta a mesma ordem de grandeza pontuada no estado da arte. Adicionalmente, foi confirmada a importância do sombreamento propiciado pelo SVV em fachadas cegas quanto à capacidade de redução das temperaturas ambientais, bem como o da correta definição da orientação para a instalação deste sistema. Como contribuição, espera-se que os resultados obtidos neste trabalho possam auxiliar a tomada de decisão dos projetistas e responsáveis quanto ao impacto que a inserção de elementos verdes pode ter na melhora das características térmicas das envoltórias de edificações bem como nas condições ambientais no seu interior.

Palavras-chave: Sistema Vegetado Vertical; Parede Verde; Simulação computacional; Amortecimento térmico; Edifícios escolares.

ABSTRACT

The growth of human population crowding urban areas lead to temperature increase on those regions. This climate change can be traced to increase of the constructed areas, the reduction of green areas and the emission of greenhouse gases. The literature presents alternatives to reduce the temperature into buildings, among them there is the reintroduction of nature into urban areas. This research aimed at assessing a Vertical Greenery System (VGS) in a building throughout computational simulation. The case study was a school building at Belo Horizonte city, from which were developed different thermal models, one as the building stands and another with the VGS. As results, the simulations with the VGS application revealed a decrease into temperature of the building rooms, from 1°C for the operative temperature and 2°C for wall surface. These values are comparable to the state of the art of the academic literature, showing that the used method can lead into reliable results. Also, the shading effect of VGS was confirmed as a major factor to allow temperature decrease at the simulations. It is hoped that the results of this research would help the decision making related to the adoption of similar systems in order to improve the thermal characteristics of buildings.

Keywords: Vertical Greenery System; Green Wall; Computational simulation; Thermal damping; School buildings.

LISTA DE ABREVIATURAS

BSO – Método de simulação com uso de sombreamento por objetos (*Building Shading Object*)

CAD – Desenho Assistido por Computador (*Computer-Aided Design*)

DDP – Diferença de Potencial

EPW – *EnergyPlus Weather File*

EV – Envoltória Verde

IC – Ilhas de Calor

IVU – Infraestrutura Verde Urbana

JV – Jardim Vertical

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

ONU – Organização das Nações Unidas

PV – Parede Verde

RSL – Revisão Sistemática da Literatura

SVH – Sistema Vegetado Horizonta

SVV – Sistema Vegetado Vertical

TBS – Temperatura de Bulbo Seco

TMY2 – *Typical Meterological Year*

TO – Temperatura Operativa

TRY – *Test Reference Year*

WSD – Método de simulação com uso de dispositivos de sombreamento em janelas (Window Shading Device)

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 29
Equação 2 39
Equação 3 39
Equação 4 40
Equação 5 41
Equação 6 41
Equação 7 41
Equação 8 – Valor de diferença média 84
Equação 9 – Coeficiente de variação da raiz quadrada do erro quadrático médio ... 84
Equação 10 – Erro absoluto médio 85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Organograma de enquadramento da simulação de sistemas 33
Figura 2 – Confiança na validade do modelo 34
Figura 3 – Versão simplificada do processo de desenvolvimento de modelos 35
Figura 4 – Descrição dos nós para Modelo de Condução por Diferenças Finitas 41
Figura 5 – Organograma do enquadramento metodológico 51
Figura 6 – Método de procedimento.....52
Figura 7 – Zonas bioclimáticas brasileiras: NBR15.220 (Belo Horizonte em detalhe) 59
Figura 8 – Classificação climática de Köppen–Geiger para o Brasil (Belo Horizonte em detalhe) 60
Figura 9 – Carta solar da cidade de Belo Horizonte.....61
Figura 10 – Posicionamento dos data loggers 67
Figura 11 – Modelo tridimensional do Prédio 18 via *SketchUp* 72
Figura 12 – Entorno do modelo do objeto de estudo.....86
Figura 13 – Imagem de satélite do entorno 86
Figura 14 – Fachada Norte.....128
Figura 15 – Planta do 1° Andar 130
Figura 16 – Planta do 2° Andar 132
Figura 17 – Planta do 3° Andar 134
Figura 18 – Planta do 4° Andar 136
Figura 19 – Detalhe de impermeabilização da cobertura 138
Figura 20 – Esquema de um SVV 175

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Número de artigos publicados nas principais bases a partir do ano 2000 26
Gráfico 2 – Número de artigos por país catalogado nas bases 26
Gráfico 3 – Tendência de pesquisas sobre os assuntos Meio ambiente e Parede Verde nos últimos 5 anos no Brasil e no mundo 27
Gráfico 4 – Distribuição das médias horárias de TO medidas com o *data logger* B (segundo andar) 69
Gráfico 5 – Gráfico *BoxPlot*: TemperaturaxAndar 70
Gráfico 6 – Temperaturas medidas entre 26 e 29 de novembro 79
Gráfico 7 – Gráfico *Boxplot*: Comparativo de temperaturas do 2° andar 82
Gráfico 8 – Dispersão da TBS medida e simulada (arquivo climático Ajustado) 83
Gráfico 9 – Dispersão da diferença entre TBS medida e simulada (arquivo climático Ajustado) 84
Gráfico 10 – Temperaturas medida e simulada no 2° andar entre 26 e 29 de novembro 89
Gráfico 11 – Dispersão das diferenças de temperatura no 2° andar entre 26 e 29 de novembro 89
Gráfico 12 – Radiação global simulada e sombreamento calculado via Energyplus. 91
Gráfico 13 – Temperatura Operativa (TO) medidas e simuladas para o Cenário 1 - 2° andar 97
Gráfico 14 – Temperatura da face interna da envoltória simulada para o Cenário 1 - 2° andar 98
Gráfico 15 – Resultados de simulação da TO pós e pré aplicação do SVV no modelo do Cenário 1 99
Gráfico 16 – Temperatura média simulada por andar – Cenário 1 100
Gráfico 17 – Temperaturas Operativas (TO) medidas e simuladas para o Cenário 2 - 2° andar 103
Gráfico 18 – Resultados de simulação da TO pós e pré aplicação do SVV no modelo do Cenário 2 104
Gráfico 19 – Temperatura média simulada por andar - Cenário 2 105
Gráfico 20 – *Boxplot* das análises de sensibilidade para a TO 111

Gráfico 21 – Quantidades de pesquisas de SVV por continente e país 171
Gráfico 22 – Número de ocorrências dos climas do portfólio 172
Gráfico 23 – Número de estudos por tipo de experimentação no portfólio selecionado 176
Gráfico 24 – Quantidade de artigos do portifólio por utilização principal de *software* 183
Gráfico 25 – Dados de temperatura e umidade do *data logger* A (Externo).....189
Gráfico 26 – Dados de temperatura e umidade do data *logger* B (2° andar) 190
Gráfico 27 – Dados de temperatura e umidade do *data logger* C (3° andar) 191
Gráfico 28 – Dados de temperatura e umidade do *data logger* D (4° andar) 192

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Localização do Prédio 18 no Campus II do CEFET-MG 62
Imagem 2 – Fachada voltada para noroeste do Prédio 18 (objeto de estudo).....63
Imagem 3 – Abrigo interno 67
Imagem 4 – Abrigo externo 67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos tipos de SVV's 31
Quadro 2 – Resumo das técnicas de validação de modelos 36
Quadro 3 – Componentes do fluxo de calor e suas variáveis de *input* a serem tratadas 38
Quadro 4 – Processos de validação selecionados para a pesquisa (Excerto do Quadro 2) 56
Quadro 5 – Resumo da Lente de pesquisa: Aquisição 65
Quadro 6 – Resumo da Lente de pesquisa: Aquisição 66
Quadro 7 – Teste ANOVA para avaliação dos parâmetros de influência da temperatura 69
Quadro 8 – Teste de T-Student entre temperaturas medidas nos ambientes do objeto de estudo 71
Quadro 9 – Dados alterados na criação do novo arquivo climático 73
Quadro 10 – Composição dos sistemas construtivos 74
Quadro 11 – Resumo dos ambientes da edificação 75
Quadro 12 – Resumo das rotinas de uso (*Energyplus* – *Schedule:Compact*) 77
Quadro 13 – Dados alterados na criação do novo arquivo climático ajustado 80
Quadro 14 – Teste Wilcoxon entre temperaturas simuladas via *EnergyPlus* dos arquivos climáticos do LabEEE e da estação F501 80
Quadro 15 – Teste de T-Student entre temperaturas medida e simuladas com os arquivos climáticos LABEEE e Ajustado 81
Quadro 16 – Resumo dos cenários de simulação 95
Quadro 17 – Análise das médias de TO simulada pré e pós SVV – Cenário 1 101
Quadro 18 – Análise das médias de TO simulada pré e pós SVV – Cenário 2 106
Quadro 19 - Análise das médias de TO simulada pré e pós SVV do 2° andar - Cenários 1 e 2 107
Quadro 20 – Comparação de médias da análise de sensibilidade 109
Quadro 21 – Artigos selecionados para o portfólio bibliográfico para avaliação de SVV's como estratégia passiva de condicionamento ambiental 156
Quadro 22 – Lentes de pesquisa aplicados à análise bibliométrica 157

Quadro 23 – Resultados do método Proknow-C para avaliação de SVV's como estratégia passiva de condicionamento ambiental 159
Quadro 24 – Resumo da Lente de pesquisa: Aquisição 162
Quadro 25 – Finalidade das análises estatísticas encontradas no portfólio 169
Quadro 26 – Classificação climática das cidades do portfólio 172
Quadro 27 – Resumo da Lente de pesquisa: Aquisição 173
Quadro 28 – Artigos selecionados para o portfólio bibliográfico para aplicação de SVV's em simulações de desempenho térmico de edificações 180
Quadro 29 – Resultados do método Proknow-C para aplicação de SVV's em simulações de desempenho térmico de edificações 181
Quadro 30 – Lentes de pesquisa aplicados à análise bibliométrica 182
Quadro 31 – Utilização do método por *software* no portfólio 184
Quadro 32 – Utilização do método no portfólio 186

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 21
1.1. PERGUNTA DE PESQUISA 23
1.2. OBJETIVOS 24
1.2.1. Objetivo Geral 24
1.2.2. Objetivos específicos 24
1.3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA 24
1.4. RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA 28
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 29
2.1. AMORTECIMENTO TÉRMICO 29
2.2. SISTEMA VEGETADO VERTICAL (svv) 30
2.2.1. Tipos de SVV's 30
2.3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL 33
2.3.1. Calibração de Simulação 34
2.3.2. Validação de Simulação 34
2.3.3. Simulação Térmica de Edificações 36
2.3.4. Simulação Térmica de SVV 42
2.4. Estatística Aplicada 43
2.4.1. Teste de Hipótese 43
2.4.2. Testes Estatísticos 44
2.4.2.1. Teste de Shapiro-Wilk 44
2.4.2.2. Teste de ANOVA (Analysis of Variance) 44
2.4.2.3. Teste de T-Student 45
2.4.2.4. Teste de Wilcoxon 45
2.5. ARQUIVOS CLIMÁTICOS 46
2.5.1. Formato TMY2 (*Typical Meteorological Year*) 46
2.5.2. Formato TRY (*Test Reference Year*) 46
3. MATERIAIS E MÉTODOS 47
3.1. MATERIAIS 47
3.2. MÉTODO DE ABORDAGEM 49
3.3. MÉTODO DE PROCEDIMENTOS 52
4. RESULTADOS 58
4.1. Resultados da Seleção do Objeto de Estudo 58
4.1.1. Localização do empreendimento 58
4.1.2. Descrição do empreendimento 61
4.2. Resultados da REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL) 64

4.2.1. Uso de Sistemas Vegetados Verticais como Estratégia Passiva de Condicionamento Ambiental 64
4.2.1.1. Resumo da RSL 64
4.2.2. Uso de Sistemas Vegetados Verticais em Simulações de Desempenho Térmico de Edificações 65
4.2.2.1. Resumo da RSL 65
4.3. Coleta de dados 66
4.4. Modelagem do Objeto de Estudo 71
4.4.1. Modelagem Geométrica 71
4.4.2. Modelagem Paramétrica 72
4.5. Calibração do modelo 78
4.5.1. Seleção do período de calibração 78
4.5.2. Criação do arquivo climático ajustado para calibração 80
4.5.3. Calibração do modelo: Ajuste dos parâmetros físicos 85
4.6. Validação do modelo 90
4.7. Cenário 0 – Introdução do SVV 93
4.7.1. Método *BuildingShadingObject* (BSO) 93
4.8. Simulação Computacional 94
4.8.1. Cenário 1 95
4.8.2. Cenário 2 102
4.8.3. Comparação entre Cenários 106
4.9. Análise de Sensibilidade-Variabilidade 107
4.10. DISCUSSÃO 112
4.10.1. Adequação da base de dados 112
4.10.2. Efeito dos andares nas TO's observadas 113
4.10.3. Comparação entre os cenários 114
4.10.4. Redução de temperatura 115
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 117
5.1. CONCLUSÃO 117
5.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS 118
REFERÊNCIAS 119
ANEXOS E APÊNDICES 126
ANEXO A. FACHADA NORTE 127
ANEXO B. PRIMEIRO ANDAR 129
ANEXO C. SEGUNDO ANDAR 131
ANEXO D. TERCEIRO ANDAR 133
ANEXO E. QUARTO ANDAR 135
ANEXO F. DETALHE DE IMPERMEABILIZAÇÃO DA COBERTURA 137

ANEXO G. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE STRESS TÉRMICO 139

APÊNDICE A. ARTIGO PUBLICADO NO XV ENCAC - 2019 142

APÊNDICE B. USO DE SISTEMAS VEGETADOS VERTICAIS COMO ESTRATÉGIA PASSIVA DE CONDICIONAMENTO AMBIENTAL 153

APÊNDICE C. USO DE SISTEMAS VEGETADOS VERTICAIS EM SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES 178

APÊNDICE D. DADOS DE TEMPERATURA E UMIDADE COLETADOS VIA DATA LOGGER188

1. INTRODUÇÃO

No novo milênio o crescimento populacional apresentou uma alteração em sua dinâmica, cujo volume da população urbana passou a superar a rural por volta dos anos 2000. Esta mudança demonstra que a evolução da população urbana apresenta uma tendência de aumento vertiginoso prevista para o ano de 2050 (UNITED NATIONS, 2019).

O crescimento da população em ambientes urbanos comumente implica no adensamento populacional destas áreas, resultando em uma maior intervenção humana no meio ambiente. Consequentemente, tem-se um incremento no processo de edificação e expansão de cidades que alteram drasticamente o ambiente original em relação aos aspectos de cobertura vegetal, regime de ventos, chuva, temperatura, umidade, entre outros (MOHAJERANI; BAKARIC; JEFFREY-BAILEY, 2017; PERES et al., 2018).

As atividades de produção humana geram impactos no meio ambiente, tais como: alterações nas dinâmicas populacionais das espécies; poluição atmosférica, hídrica e do solo; e mudanças dos padrões climáticos de regiões inteiras. Ademais, o crescimento da população acarreta em maior demanda de produtos e serviços, o que por sua vez fomenta o desenvolvimento da produção industrial. Este ciclo gera grandes impactos ambientais, sendo o mais claro deles o aquecimento global, além das demais decorrências das mudanças climáticas (GUPTA; GREGG, 2012; YU; ZHAI; CHEN, 2018; ANDRIĆ; KOC; AL-GHAMDI, 2019).

Um dos efeitos da ação antrópica, intrinsicamente relacionado às atividades de construção civil predial, é o fenômeno das Ilhas de Calor (IC). As IC's afetam cidades por todo o mundo, especialmente àquelas de maior porte, impactando a vida de milhares de pessoas. Este cenário tende a piorar com o crescimento e concentração da população em áreas urbanas. Prospecções futuras para a influência e os problemas causados pelas IC's revelam dados alarmantes, tais como: aumento da demanda energética urbana; degradação da qualidade do ar devido à formação de zonas de poluentes; elevação do stress térmico das estruturas e seus usuários; e o aumento do risco e nível de morbidade e doenças devido ao calor (MOHAJERANI; BAKARIC; JEFFREY-BAILEY, 2017).

O setor da construção civil tem uma relação intrínseca com o fenômeno das IC's, tanto positiva, quanto negativamente. Os impactos que a construção civil gera com a alteração do meio ambiente são elevados, contudo, a própria construção civil permite possibilidades de mitigação tanto dos impactos gerados pela sua ação atual quanto de atividades pregressas (COSTANZO; EVOLA; MARLETTA, 2016).

O enfrentamento à elevação de temperaturas ambientais conta com novas tecnologias aplicáveis ao setor da construção civil, como a intervenção na absorção da radiação solar pelos edifícios, que pode ser protagonizada por materiais refrigeradores, estratégias de resfriamento pensadas geograficamente e projetos mais adequados ao enfrentamento desse fenômeno (COSTANZO; EVOLA; MARLETTA, 2016; ALCHAPAR et al., 2017; MOHAJERANI; BAKARIC; JEFFREY-BAILEY, 2017).

Dentre essas tecnologias, a reinserção de elementos verdes na infraestrutura urbana, como a inserção de plantas na envoltória das edificações por meio de Sistemas Vegetados Verticais (SVV's) e Horizontais (SVH's) apresentam vantagens. Neste sentido destaca-se a atenuação dos efeitos das IC's, filtragem de poluentes presentes no ar, redução da demanda energética das edificações e melhoria do seu potencial de sequestro de carbono (OLIVIERI; OLIVIERI; NEILA, 2014; BEVACQUA et al., 2018; ZAID et al., 2018).

O crescimento da população nos ambientes urbanos implica em uma maior densidade populacional nas cidades. Esta elevação da densidade populacional é um fator preponderante para o fenômeno de verticalização das edificações no cenário urbano. Assim, uma cidade mais adensada tende a ser, também, mais verticalizada, e consequentemente, pode sofrer maiores impactos de fenômenos climáticos como as IC's. Nesse contexto, a aplicação de estratégias verdes como SVV's ganha destaque devido à grande disponibilidade de área para a implantação deste tipo de solução em ambientes adensados (MORAKINYO et al., 2019).

Contudo, o campo de pesquisas experimentais nessa área ainda tem espaço para se desenvolver, devido às necessidades construtivas dos SVV's, como os materiais usados, método construtivo, tempo de construção, manutenção, automatização, dentre outros. Além disso as diferenças de resultados térmicos proporcionados por espécies e climas diferentes, juntamente do tempo de retorno necessário para se obter resultados nos experimentos (SAFIKHANI et al., 2014). A alternativa aplicada no campo de pesquisa para transpor a barreira da ausência de

objetos de estudo é a simulação térmica computacional (DAHANAYAKE; CHOW, 2017).

As simulações computacionais se destacam como uma possibilidade de desenvolvimento de pesquisa sobre os SVV's, apesar de também apresentarem entraves, como a necessidade de simplificação do processo de amortecimento térmico, a ausência de parâmetros que representem a grande variedade de plantas e climas existentes, variações e diversidades de métodos e *softwares* disponíveis para este fim (DAHANAYAKE; CHOW, 2017; SAFIKHANI *et al.*, 2014b; CRAWLEY *et al.*, 2005; RAMOS; OLIVEIRA; AZEVEDO, 2019a; WESTPHAL; LAMBERTS, 2005).

Os impactos negativos da expansão urbana podem ser mitigados por tecnologias e ações relacionadas ao setor da construção. Desta forma é relevante entender como conciliar essas questões.

Este trabalho visa desenvolver uma pesquisa sobre desempenho e comportamento térmico de edificações, associada à implementação de sistemas vegetados verticais em empreendimentos verticalizados. A pesquisa se propõe a selecionar uma edificação que seja viável para a instalação de um SVV. De posse deste que será o objeto de estudo, o mesmo será medido por um curto período e seus dados de temperatura operativa (TO) e temperatura de bulbo seco (TBS) serão registrados e analisados. Estas análises contarão com o desenvolvimento e calibração de um modelo computacional para a simulação térmica do empreendimento, visando replicar as características reais medidas deste e do SVV simulado. Este processo permitirá o desenvolvimento de análises prévias da capacidade de amortecimento dos SVV's na operação de edifícios para outros cenários permitindo avaliações dos benefícios proporcionados pela implementação de tais sistemas.

1.1. PERGUNTA DE PESQUISA

Qual a eficácia da aplicação de um SVV em uma fachada cega, por meio do *retrofit*, de um edifício situado em Belo Horizonte?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar os impactos térmicos (diferença média e amortecimento) oriundos da aplicação de SVV's como estratégia passiva de condicionamento ambiental térmico em edifícios.

1.2.2. Objetivos específicos

Para atender o objetivo principal foi necessário o cumprimento dos objetivos específicos abaixo propostos.

a) Selecionar, a partir de uma revisão sistemática da literatura (RSL):
   - Um tipo de SVV que seja viável para implementação no objeto de estudo;
   - Um método de modelagem, calibração e simulação computacional que permita a representação do edifício e do SVV;
   - Métodos de obtenção de dados em conformidade com o método de simulação computacional selecionado.

b) Avaliar os dados climáticos e dados coletados quanto à sua capacidade de representar o objeto de estudo desta pesquisa;
c) Simular o cenário da edificação com a implementação do SVV;
d) Comparar as simulações com e sem a aplicação do SVV:
e) Avaliar a efetividade de outros cenários simulados, por meio da reorientação do objeto de estudo;
f) Realizar análise de sensibilidade-variabilidade do SVV simulado, visando avaliar a influência dos parâmetros utilizados nesta simulação.

1.3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Os sistemas construtivos usualmente aplicados no Brasil não são otimizados para as diferentes condições climáticas de todo o território nacional. As elevadas temperaturas da região intertropical (situadas entre os trópicos de Câncer, no hemisfério norte, e de Capricórnio, no hemisfério sul) são geralmente enfrentadas por meio de sistemas de resfriamento instaladas nas edificações (AL-TAMIMI; FADZIL, 2011).

Estudos realizados em nações de cinco continentes (Alemanha, Itália, Singapura, Austrália, México e Nigéria) mostraram resultados positivos quanto a aplicação de vegetação associada a sistemas construtivos na arquitetura e engenharia civil para a redução de temperatura em ambientes prediais (WONG et al., 2010; AFSHARI, 2017). A introdução de elementos vegetados em estruturas prediais, por meio de projetos inovadores ou de estratégias de *retrofit*[1], mostrou resultados positivos para os ganhos energéticos prediais. Esses ganhos podem ser individuais, tais como a redução da TO dos ambientes cuja envoltória conta com SVV, ou ganhos coletivos, como no aspecto do microclima urbano nos arredores de edificações com envoltória verde, dada a alteração do fluxo de vento, evapotranspiração na área, entre outros efeitos positivos (RIZWAN; DENNIS; LIU, 2008; WONG et al., 2010; AFSHARI, 2017).

Uma busca nas bases de dados científicos, relativas às áreas de engenharia e arquitetura, demonstra uma tendência de publicações sobre o tema. Os termos de pesquisa foram combinados na *string* de busca "***THERMAL*** *AND* ***GREEN WALL*** *AND* ***BUILDING***". Com isso obteve-se um resultado de 1196 artigos, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Número de artigos sobre SVV nas principais bases a partir de 2000

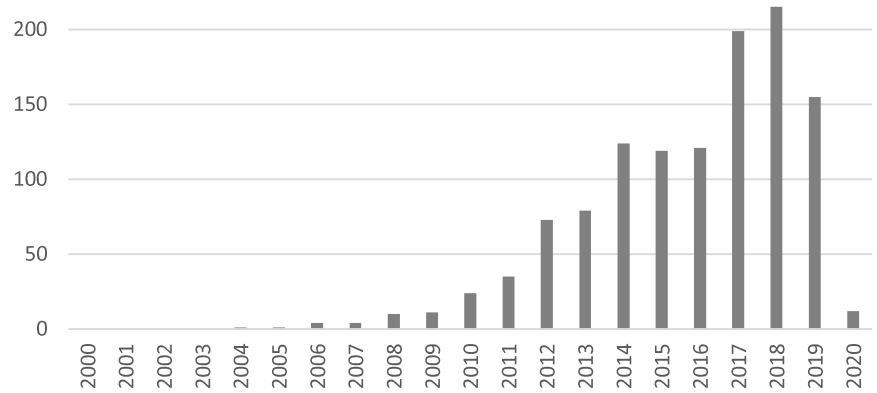
Bases de dados	Busca por palavras chave	% Individual	% Acumulado
Science Direct	483	40%	40%
Hindawi	291	25%	65%
SpringerLink	233	19%	84%
SCOPUS	91	8%	92%
Web of Science	49	4%	96%
Engineering Village	39	3%	99%
AIP Scitation American Institute of Physics	7	1%	100%
Taylor & Francis Online	2	0%	100%
Wiley Online Library	1	0%	100%
TOTAL	**1196**	**100%**	**100%**

Fonte: O autor.

A estratégia de inserção de elementos verdes associados a sistemas construtivos tem ganhado mais atenção. Uma análise temporal dos artigos encontrados demonstra que esse interesse iniciou sua ascensão no ano de 2004, apresentando crescimento nos últimos dez anos, conforme Gráfico 1.

[1] Alteração da edificação ou de seus sistemas constituintes, por meio novas tecnologias e conceitos, objetivando a mudança de uso, extensão da vida útil, aumento de eficiência operacional e energética, ou mesmo a valorização do empreendimento (ABNT, 2013).

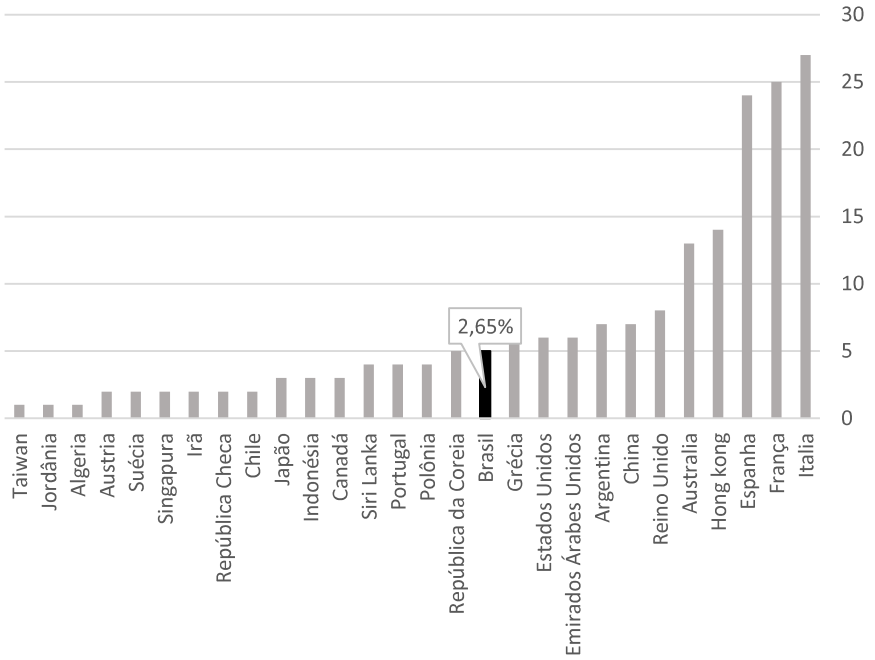
Gráfico 1 – Número de artigos publicados nas principais bases a partir do ano 2000



Fonte: O autor.

Apesar do grande número de publicações ocorridas nos últimos anos, pode-se notar que a produção brasileira ainda é bastante incipiente, conforme Gráfico 2.

Gráfico 2 – Número de artigos por país catalogado nas bases[2]



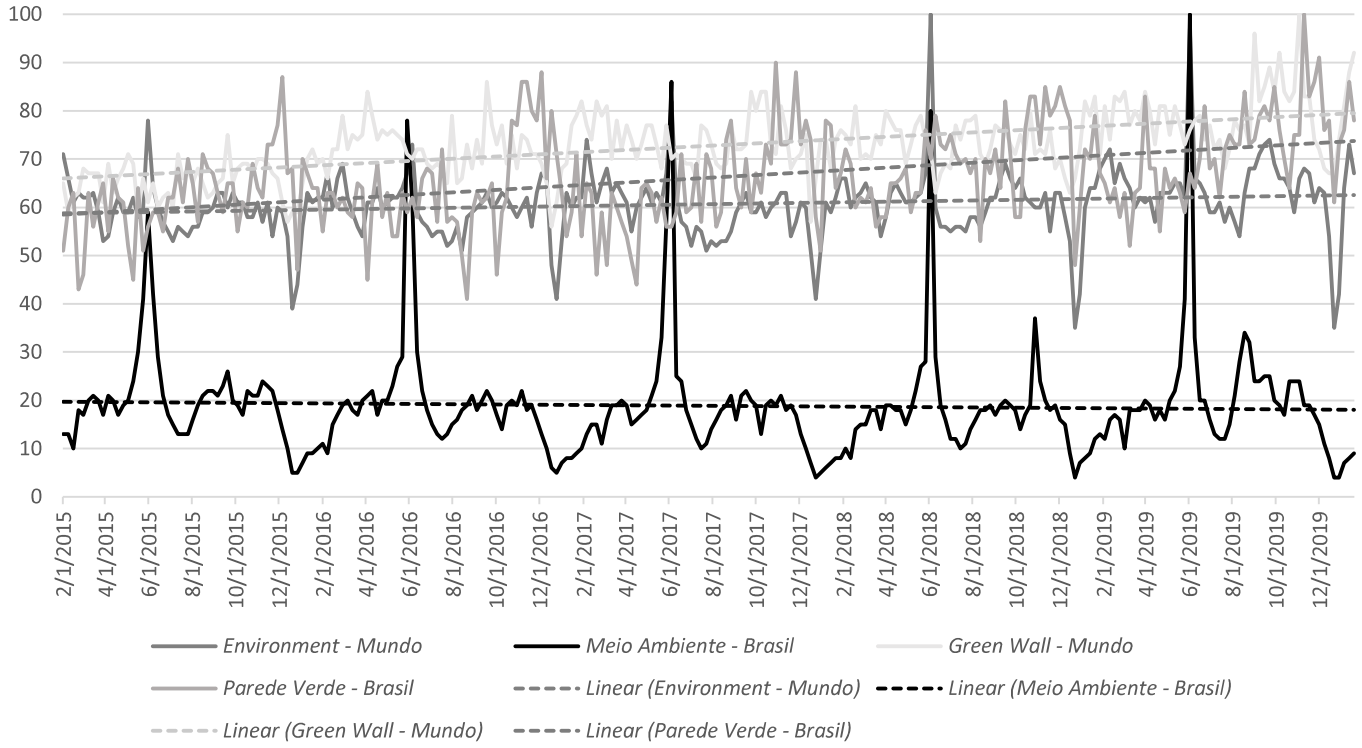
Fonte: O autor.

A pesquisa dessa temática ainda está pouco desenvolvida no Brasil e o ritmo de crescimento de nossas cidades, aliado às necessidades energéticas de um país em desenvolvimento, fornecem um campo favorável para a proliferação desse tema. O interesse pela temática ambiental, de forma geral, e em soluções específicas, como

[2] Das bases catalogadas na Tabela 1, apenas três registram em seus metadados o local de origem do artigo publicado, são essas: *Engineering Village*, *SCOPUS* e *Web of Science*.

SVV's, para os problemas ambientais, tem emergido nas sociedades, conforme apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Tendência de pesquisas sobre os assuntos Meio ambiente e Parede Verde nos últimos 5 anos no Brasil e no mundo



Fonte: *GOOGLE TRENDS*[3], (2019a, 2019b, 2019c, 2019d), adaptado pelo autor.

Diversos setores poderão se beneficiar dos resultados proporcionados por esta pesquisa. O primeiro, e mais explícito, seria a sociedade civil, uma vez que a implementação de SVV's tem mostrado resultados positivos quanto a melhoria de características térmicas internas e até mesmo externas às edificações.

Outro ponto que afeta positivamente à sociedade civil, mas também tange a esfera governamental brasileira é o potencial de redução do consumo energético das edificações quanto ao gasto despendido com condicionamento de ar, principalmente para resfriamento. A implementação de SVV's poderá, potencialmente, alterar

[3]A ferramenta *Google Trends* permite o acompanhamento de termos pesquisados por meio da principal ferramenta de busca online da atualidade. Segundo os desenvolvedores, seu sistema de medição dos termos buscados é entendido como:

> Os números representam o interesse de pesquisa relativo ao ponto mais alto no gráfico de uma determinada região em um dado período. Um valor de 100 representa o pico de popularidade de um termo. Um valor de 50 significa que o termo teve metade da popularidade. Uma pontuação de 0 significa que não havia dados suficientes sobre o termo (*GOOGLE TRENDS*, 2019).

padrões de consumo energético predial, especialmente em edificações verticalizadas, podendo reduzir o gasto em eletricidade do consumidor final.

Por fim, um terceiro setor que poderá ser beneficiado é o próprio comércio, uma vez que a comprovação da eficácia do SVV poderá subsidiar o desenvolvimento de mercado para este sistema. Desta forma, poderá ser criada uma nova possibilidade de atuação mercadológica.

1.4. RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho se propõe a utilizar um método de simulação computacional para verificar a eficiência do *retrofit* da envoltória de uma edificação existente com a implementação de um SVV. Esperam-se as seguintes limitações no seu desenvolvimento:

- Como o arquivo climático de uma região é construído com dados limitados espacial e temporalmente, podem haver variações entre as informações observadas entre a época da construção desse arquivo e as informações observadas e medidas para o desenvolvimento desta pesquisa;
- Não foi possível obter os dados de temperatura de todas as unidades do objeto de estudo, devido à limitação de recursos para a coleta de dados. Portanto o foco será nos ambientes sob influência direta da implementação do SVV;
- A estação climática mais próxima e utilizada nesta pesquisa está localizada a aproximadamente 5km de distância do local de estudo, em região mais elevada e menos urbanamente adensada. Estes fatores devem ser considerados como limitantes para o desenvolvimento da pesquisa, uma vez que introduzem variações ás análises necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados alguns conceitos necessários para a melhor compreensão da pesquisa. Tais conceitos são relativos às análises interdisciplinares necessárias ao desenvolvimento deste trabalho e advêm de revisões teóricas de artigos, livros e publicações de agências nacionais e internacionais. As informações utilizadas para a elaboração deste capítulo foram obtidas por meio de metodologia de RSL[4], objetivando a obtenção do estado da arte nas áreas de interesse desta pesquisa especificamente. Serão abordados conceitos envolvendo as áreas de eficiência energética de edificações, conforto térmico, sistemas vegetados verticais e simulação computacional de edifícios, de modo a prover um referencial teórico para esta pesquisa.

2.1. AMORTECIMENTO TÉRMICO

A amplitude térmica de um corpo é entendida como sendo a diferença entre a temperatura máxima e a mínima em um instante de tempo definido. Quando um sistema de vedação vertical apresenta a capacidade de reduzir a amplitude térmica de um ambiente da edificação, dá-se a esta característica do sistema o nome de amortecimento térmico (PAPST, 1999; ROTTA, 2009). Esta característica pode ser formulada matematicamente como apresentado na Equação 1 de acordo com Rivero (1986) *apud* Papst (1999):

Equação 1

$$\mu = \frac{\omega_S}{\theta_S}$$

Sendo:

μ : Coeficiente de amortecimento;
ω_S: Amplitude térmica superficial interna de um sistema vertical de vedação externa;
θ_S: Amplitude da temperatura do ambiente externo.

O coeficiente de amortecimento (μ) e a capacidade térmica (C_T) apresentam uma relação de proporcionalidade inversa entre si. Para edificações que apresentam regimes cíclicos no qual se verifica a manutenção das TO's, têm-se que os valores de μ para os ambientes avaliados, serão sempre inferiores a 1 (PAPST, 1999).

[4] Os resultados do estado da arte são apresentados de forma direta no Item 4.2 deste trabalho.

2.2. SISTEMA VEGETADO VERTICAL (SVV)

Os SVV's, apesar de serem mais bem reconhecidos por esta terminologia, podem também ser referenciados na literatura como "Parede Verde" (PV), "Jardim Vertical" (JV), "Infraestrutura Verde Urbana" (IVU), ou "Envoltória Verde" (EV) (VOX et al., 2017a; AKINWOLEMIWA et al., 2018a; BLANCO; SCHETTINI; VOX, 2018a).

Apesar da existência de algumas variações quanto à definição do termo aplicado aos SVV's, entende-se que tais divergências se dão quanto à abrangência da aplicação do termo às superfícies que não sejam verticais. Como é o caso da IVU, ou EV, que por sua abrangência podem cobrir também áreas verdes em coberturas edificadas, além de jardins ou praças. Este trabalho utilizará o termo SVV apenas. Os SVV's podem ser entendidos como sistemas de revestimento vegetal aplicados em superfícies verticais externas das edificações, com ou sem auxílio de suportes (JAAFAR et al., 2013; SCHERER; FEDRIZZI, 2014).

2.2.1. Tipos de SVV's

Os SVV's podem ser divididos em subgrupos a depender de suas características. A literatura apresenta algumas subdivisões distintas, contudo as de maior proeminência são aquelas que classificam os SVV's quanto à instalação dos elementos vegetais, ou seja, relativo às suas características principais, sendo estas: seu posicionamento em relação ao sistema de vedação vertical, seu método de crescimento, ou à composição e porte destes elementos vegetais (SAFIKHANI et al., 2014; YIN et al., 2017; VOX; BLANCO; SCHETTINI, 2018).

Os principais tipos de SVV' s encontrados na literatura, para o desenvolvimento deste trabalho são:

- Tipo árvore-contra-parede;
- Tipo trepadeira;
- Tipo modular;
- Tipo pendurado.

O principal método de diferenciação entre os tipos de SVV's proposto pela literatura compreende, principalmente, o substrato de crescimento dos elementos vegetais, considerando sua fonte de nutrientes e estrutura de suporte (JAAFAR et al., 2013). Esta diferenciação é dada em:

- Sistema portador: fornece todo o substrato (nutrientes e suporte) para a planta, garantindo o ambiente necessário para seu cultivo em uma superfície vertical planejada para o recebimento de uma categoria específica de elementos verticais, geralmente plantas de pequeno porte e mais frágeis quanto a danos físicos;
- Sistema de apoio: funciona apenas como guia de direcionamento para o crescimento das plantas cultivadas na superfície, oferecendo apenas o suporte para tal. Geralmente trabalha com plantas mais robustas e com capacidade de crescimento e espalhamento mais elevado.

Outra forma de divisão, mais recorrente na literatura, e que será adotada neste trabalho, consiste na separação dos SVV's em dois grupos, diferenciando-os por suas características principais, conforme apresentado no Quadro 1. Estes dois grupos são denominados *Fachadas Verdes* e *Paredes Vivas*.

Quadro 1 – Resumo dos tipos de SVV's

Sistema	Características da planta	Posicionamento	Enraizamento	Implementação
Fachada Verde	Plantas maiores Grande capacidade escalatória Menor diversidade	Direto ou Indireto	Direto ou Indireto	Contínua ou Modular
Parede Viva	Plantas menores Grande diversidade Grande complexidade	Direto ou Indireto	Direto	Contínua ou Modular

Fonte: O autor.

Os aspectos do Quadro 1 são discriminados a seguir:

- **Posicionamento –** determina o local em que os elementos vegetais terão seu crescimento, em especial de sua folhagem, responsáveis pelas principais características dos SVV's. O termo "*Direto*" refere-se ao crescimento, se em grande proximidade, ou contato com a fachada ao passo que "*Indireto*" refere-se a um crescimento distanciado da fachada;
- **Enraizamento –** determina onde ocorrerá o desenvolvimento das raízes dos elementos vegetais dos SVV's. O termo "*Direto*" indica que o mesmo ocorre em grande proximidade, ou contato com a fachada e "*Indireto*" refere-se a um enraizamento no solo, ou em grandes jardineiras implementadas na fachada ou lajes;
- **Implementação –** determina a forma de espalhamento dos elementos verticais ao longo da fachada. O termo "*Contínua*" refere-se à capacidade de espalhamento de plantas do tipo trepadeira e "*Modular*" refere-se as plantas de características arbustivas, que por esta razão requerem sua implementação em módulos sobre a superfície de interesse.

2.2.1.1. Fachadas Verdes

Este grupo é tradicionalmente aplicado em soluções arquitetônicas. Os elementos vegetais utilizados neste tipo de SVV apresentam melhor capacidade de suporte e são, normalmente, aplicados verticalmente em frente às superfícies de vedação vertical externas. Comumente este sistema emprega plantas com capacidade escalatória junto à superfície vertical, permitindo seu crescimento sobre a mesma em sentido de subida ou descida, a depender do local no qual o elemento vegetal será plantado. Este grupo ainda pode ser subdividido quanto ao fato de o crescimento ocorrer na superfície vertical em si, denominado *Fachada Verde Direta*, ou se o crescimento ocorrer em uma estrutura independente preparada para tal, denominado *Fachada Verde Indireta* (ou Fachada Verde de Camada Dupla).

Em suma, para este grupo, o enraizamento dos elementos vegetais pode ocorrer tanto no solo em si (Enraizamento Direto), quanto em recipientes (Enraizamento Indireto), instalados em diferentes alturas da superfície vertical, que são preparados para tal (SAFIKHANI et al., 2014; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015; YIN et al., 2017; BLANCO; SCHETTINI; VOX, 2018a; VOX; BLANCO; SCHETTINI, 2018).

2.2.1.2. Paredes Vivas

Este grupo é considerado como uma prática mais moderna de SVV. Para esta prática o substrato de crescimento da planta é implementado verticalmente, junto da superfície alvo da estratégia e apresenta um suporte para crescimento, permitindo a utilização de uma grande variedade de plantas em sua aplicação, o que lhe garante maior variabilidade e poder de cobertura da superfície de interesse. São sistemas comumente implementados em painéis (Sistemas Contínuos), ou recipientes independentes próprios para tal (Sistemas Modulares). Este sistema permite uma integração facilitada de SVV's em edificações de alturas elevadas, um recobrimento mais rápido e ágil, além de proporcionar um crescimento mais uniforme junto da superfície vertical. Sua modularidade permite uma melhor adaptação a qualquer tipo de edificação, bem como uma maior integração entre diversas espécies de plantas.

Quanto ao posicionamento, as Paredes Vivas podem ter seu substrato de crescimento instalado diretamente na superfície vertical de vedação (Parede Viva Direta), ou em um elemento estrutural independente (Parede Viva Indireta). Esta prática requer a implementação de um sistema de fertirrigação artificial planejado para cada espécie aplicada. Em comparação com a Fachada Verde, esta técnica é mais complexa e custosa devido ao elevado índice tecnológico agregado às técnicas de

sustentação, manutenção e consumo inerentes (SAFIKHANI et al., 2014; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015; BLANCO; SCHETTINI; VOX, 2018a; VOX; BLANCO; SCHETTINI, 2018).

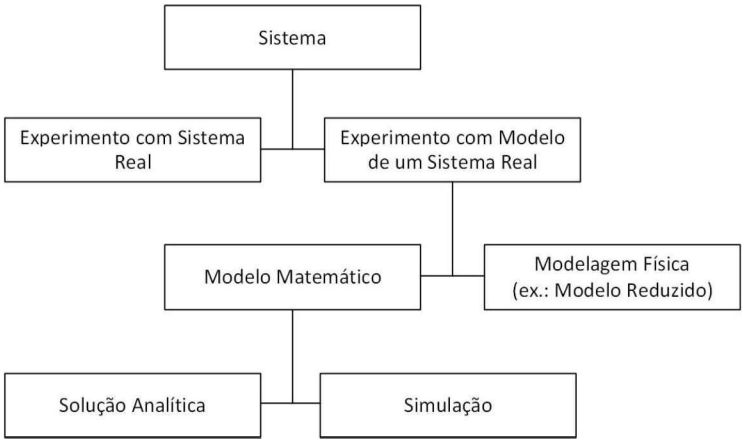
2.3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O termo simulação pode ser compreendido como a mimetização de processos por intermédio de outro método, ou seja, a representação de algo em outro formato distinto do original. Quando este processo ocorre por intermédio de um computador ele é denominado simulação computacional ou númerica. Neste tipo de simulação tem-se o ingresso de parâmetros e características de interesse para o processo, visando obter resultados que sejam aplicáveis ou respondam a questionamentos em situações reais (HIGDON et al., 2004; CHWIF; MEDINA, 2013).

A simulação é realizada comumente com o objetivo de mimetizar um sistema, que vem a ser um conjunto de partes que trabalham associadas entre si gerando um resultado específico, considerando uma relação de causa e efeito (FORRESTER, 1961; BANKS; CARSON II; NELSON, 1996).

O estudo dos sistemas pode ser direcionado de acordo com a Figura 1. Neste contexto verifica-se que as simulações são um subgrupo de sistemas modelados matemáticamente por meio de experimentações com um modelo do sistema real (LAW; KELTON, 2000).

Figura 1 – Organograma de enquadramento da simulação de sistemas



Fonte: Law e Kelton, 2000 (Adaptado pelo autor).

2.3.1. Calibração de Simulação

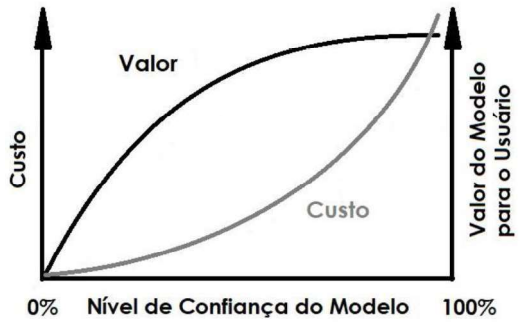
Os processos de simulação computacional implicam na utilização de dados obtidos em campo (situação real) para estimar resultados paramétricos mais precisos nos modelos por meio dos processos de simulação, bem como atualizar os níveis de incerteza associados a estes parâmetros. A redução dessa incerteza a partir das alterações dos dados de entrada (*inputs*) visando à garantia de uma saída (*outputs*) correta, nos parâmetros de interesse, é denominada calibração (HIGDON et al., 2004).

2.3.2. Validação de Simulação

As simulações de situações reais implicam em simplificações dos fenômenos e suas complexidades a um ponto que seja permitido o seu estudo em um ambiente controlado. Estas alterações, inerentes ao processo de simulação, geram distorções que devem ser consideradas quando do desenvolvimento de modelos (LAW; KELTON, 2000; SARGENT, 2013).

No caso de um modelo de simulação é necessário garantir que o mesmo se comporte com precisão satisfatória e que seja condizente com os objetivos do estudo proposto. Isso é relevante, uma vez que garantir a validade plena de um modelo é algo custoso, como se pode notar na Figura 2. A esse processo de garantia dá-se o nome de "Validação do Modelo".

Figura 2 – Confiança na validade do modelo

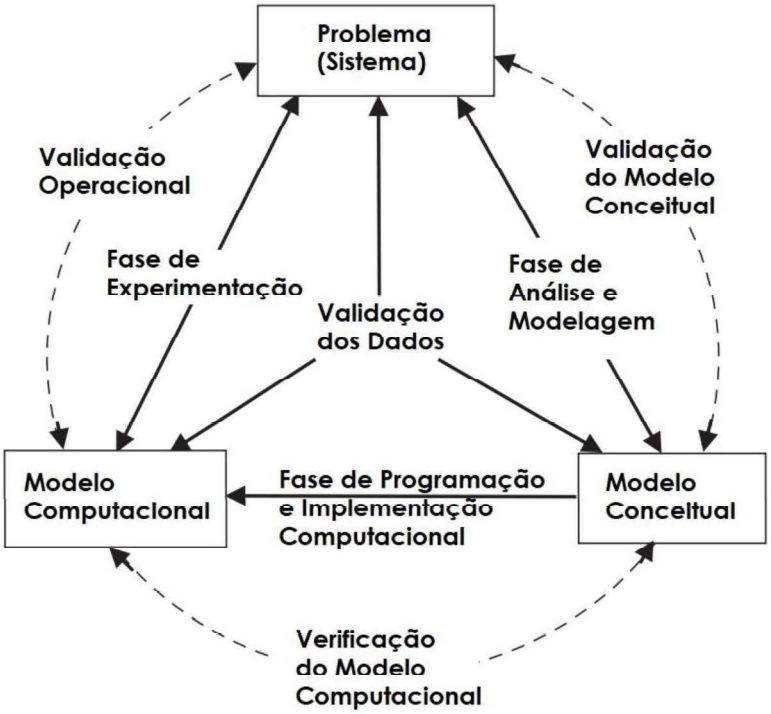


Fonte: Sargent, 2013 (Adaptado pelo autor).

O processo de simulação computacional pode ser resumido conforme se observa na Figura 3. Considerando esta versão simplificada, temos que o *Problema* é o sistema a ser modelado; o *Modelo Conceitual* é a representação deste; o *Modelo Computacional* é a implementação do Modelo Conceitual no computador; a *Fase de Análise e Modelagem* é a ação de desenvolver o Modelo Conceitual; enquanto que a

Fase de Programação e Implementação Computacional é a ação de desenvolver o Modelo Computacional; e a *Fase de Experimentação* é a que permite a obtenção de inferências sobre o Problema a partir de experimentos (simulações) no Modelo Computacional (SARGENT, 2013).

Figura 3 – Versão simplificada do processo de desenvolvimento de modelos



Fonte: Sargent, 2013 (Adaptado pelo autor).

Desta forma, o processo de verificação e validação pode ser simplificado, como demonstrado pela Figura 3. Assim, a *Validação do Modelo Conceitual* é definida como a garantia de que as teorias e considerações aplicadas a esse modelo estão corretas, bem como de que sua representação do Problema é suficiente para o seu propósito; a *Verificação do Modelo Computacional* é a garantia de que a programação e a implementação computacional do modelo estão corretas; a *Validação Operacional* é a garantia de que o *output* do modelo se comporta de forma satisfatória dentro de um limite de aceitabilidade em relação à aplicabilidade pretendida com o modelo; a *Validade dos Dados* é garantia de que os dados necessários para a construção do modelo, seus testes e análises, bem como a trajetória de experimentos que visam solucionar o problema estão corretos HENNINGER et al., 2009; SARGENT, 2013).

O processo de validação é possível por meio de diversas técnicas. Cada técnica pode apresentar uma melhor integração com o problema a ser solucionado, forma de

modelagem do mesmo, disponibilidade e tipo de dados medidos e gerados. É comum que se utilizem combinações entre técnicas para a garantia da validação do modelo de forma satisfatória (WILLIAM; TIMOTHY; CHARLES, 2004; HENNINGER et al., 2009). O Quadro 2 lista as técnicas de validação aplicáveis a modelos de sistemas.

Quadro 2 – Resumo das técnicas de validação de modelos

Animação	Representação visual do comportamento operacional do modelo ao longo do tempo.
Comparação	Comparação entre resultados a serem validados com resultados sabidamente já validados.
Correção da relação de dados	Utilização de dados para obter valores próprios considerando as relações que ocorrem entre o mesmo e diferentes tipos de dados.
Testes degenerados	A degeneração do comportamento de modelos é testada por uma seleção apropriada de valores de *input* e parâmetros internos.
Validade de evento	Os 'eventos' de ocorrência do modelo são comparados aos do sistema real para determinar quando eles são similares.
Teste de condição extrema	A estrutura e *outputs* do modelo devem ser plausíveis para quaisquer combinações (extremas ou incomuns) de níveis dos fatores no sistema
Validade de face	Questionamento da razoabilidade do comportamento e/ou do modelo a especialistas no sistema utilizado.
Validação de dados históricos	Quando da existência de dados históricos, pode-se usar parte dos mesmos para avaliar quando o modelo se comporta como o sistema.
Validade interna	Realização de diversas replicações de um modelo estocástico para determinar a variabilidade estocástica interna do modelo.
Validação multi estágio	Desenvolver o modelo; validar seus pressupostos com testes empíricos onde for possível; comparar as relações *input-output* entre modelo e sistema.
Gráficos operacionais	Demonstração gráfica de valores de várias performances de medição do modelo no tempo para garantir o correto desempenho das medições do modelo.
Análise de sensibilidade-variabilidade dos parâmetros	Alteração dos valores de parâmetros internos e de *input* do modelo para determinar seu efeito no comportamento do mesmo, ou seu *output.*
Métodos de filosofia científica	Racionalismo – Modelo deve ser desenvolvido, corretamente, a partir de um conjunto de pressupostos claramente definidos.
	Empirismo – Exige que cada pressuposto e saída do modelo sejam validados empiricamente.
	Economia positiva – Exige que apenas as saídas do modelo estejam corretas, sem se preocupar com os pressupostos ou estrutura.
Validação preditiva	Utilização do modelo para prever o comportamento do sistema, então são feitas comparações entre a previsão e o comportamento efetivo do sistema.
Passo a passo estruturado	Apresentação da entidade a um grupo de pares para que estes determinem o nível de corretude da mesma.
Rastro	O comportamento de uma entidade específica do modelo é rastreado ao longo do modelo para determinar onde a lógica do modelo está correta e se a precisão necessária foi adquirida.
Teste de *Turing*	Indivíduos, conhecedores das operações do sistema modelado, são questionados se conseguem discriminar entre saídas do sistema e do modelo.

Fonte: Sargent, 2013 (Adaptado pelo autor).

2.3.3. Simulação Térmica de Edificações

A estratégia de modelagem de problemas e utilização de simulações para desenvolvimento de estudos e análises possui uma ampla abrangência de aplicações

de forma geral. No âmbito da construção civil existem ainda diversas possibilidades de simulações aplicáveis aos empreendimentos abrangidos pelo setor (HYDE, 2016). Este trabalho pretende aplicar a ferramenta de simulação computacional voltada para empreendimentos de edificações verticalizadas, focando os esforços em análises térmicas da atuação das envoltórias dos edifícios em sua capacidade de amortecimento térmico de ambientes internos.

O processo de simulação computacional de desempenho térmico de edificações segue um roteiro padrão até a ocorrência da simulação, que pode ser realizada de formas distintas. Esse processo constitui-se dos passos (LOMAS; EPPEL, 1992; RIOS, 2015):

a) Modelagem computacional da edificação: com o uso de um *software* de modelagem tridimensional, o empreendimento de interesse será modelado em conformidade com os parâmetros legais e técnicos relativos à edificação, tanto para estudos, projetos ou mesmo empreendimentos existentes. O desenvolvimento do modelo deve permitir a comunicação entre o *software* de modelagem com o de simulação térmica;
b) Alimentação do *software* de simulação térmica: o modelo deverá receber os dados referentes aos componentes construtivos, constituição física dos componentes, rotina de ocupação, parâmetros de iluminação, ventilação, refrigeração artificial e sistemas consumidores de energia;
c) Calibração do modelo: etapa de verificação para assegurar a conformidade dos dados aplicados às predições de modelagem matemática;
d) Simulação: fase de execução das operações computacionais que visam replicar a atuação do sistema real através do modelo computacional;
e) Validação do modelo: etapa de confirmação das informações geradas, visando garantir a confiança dos resultados simulados para as condições reais de uso.

2.3.3.1. Calibração de Simulação Térmica de Edificações

As demandas energéticas dos edifícios implicam em grandes especificidades, principalmente quando estes estão sendo simulados computacionalmente. Esta característica do processo de simulação geralmente torna o processo de calibração difícil e duvidoso. Visando padronizar o processo de simulação foram desenvolvidos métodos de calibração. A seguir apresenta-se o método a ser adotado neste trabalho embasado em Sargent (2013), o mesmo é dividido em seis etapas, sendo:

a) Calibração de potência e carga de equipamentos e sistemas elétricos;
b) Simulação de dias de projeto para análise de carga térmica interna;
c) Análise sensitiva sobre parâmetros de *Input* relacionados aos valores significativos de perdas/ganhos de calor;
d) Ajuste dos valores de *Input* de influência e incerteza elevadas;
e) Simulação considerando o ano inteiro;
f) Ajustes finais.

O Quadro 3 Quadro 3apresenta as características às quais se deve atentar no processo de calibração.

Quadro 3 – Componentes do fluxo de calor e suas variáveis de *input* a serem tratadas

Janelas	Dimensões Valor de U[5] Coeficiente de sombreamento Proteção solar externa
Paredes	Dimensões Valor de U Capacidade térmica Absortância de ondas curtas
Cobertura	Dimensões Valor de U Capacidade térmica Absortância de ondas curtas
Piso	Dimensões Cômodo subterrâneo Valor de U Capacidade térmica
Equipamentos	Potência Rotina de uso
Iluminação	Potência Rotina de uso
Usuários	Quantidade Taxa metabólica Rotina de ocupação
Infiltração	Taxa de infiltração com rotina de uso

Fonte: Westphal; Lamberts, 2005a (Adaptado pelo autor).

2.3.3.2. Processos de simulação via EnergyPlus

O *EnergyPlus* trabalha com ferramentas de análise paramétrica, permitindo a exploração de uma gama de variáveis e avaliar impactos na simulação térmica. Para a geração dos resultados de temperatura o *EnergyPlus* utiliza um algoritmo de Equilíbrio Térmico para o input dos dados. Este algoritmo se vale dos processos e equações que governam a transferência de calor e umidade da superfície do edifício.

[5] Transmitância térmica: medida do calor fluente por unidade de tempo e superfície, transmitido através de um sistema construtivo. U [W/m²K] (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A transferência de calor pelas superfícies existentes no modelo é controlada por uma Condição de Diferenças Finitas. Por default o software utiliza a opção de resolução de diferenças finitas Completamente Implícito (*FullyImplicitFirstOrder*) sendo mais estável, apesar de mais morosa. No processo de resolução do algoritmo, o mesmo se vale de um Constante de Discretização Espacial, sendo esta a contagem de nós, ou intercessões, por cada *layer* de material na construção do modelo (U.S., 2016). O modelo calcula as distâncias entre as intercessões, ou espessura do *layer* de diferenças finitas, Δx, conforme Equação 2 abaixo.

Equação 2

$$\Delta x = \sqrt{C\alpha\Delta t}$$

Onde temos

α: difusividade térmica do material, em m²/s;

Δt: duração dos passos de tempo (*timesteps*) em segundos;

C: é uma constante estabelecida para este processo.

A constante C tem como default o valor 3. São recomendados os valores típicos de 1 a 3 nesse processo. A aplicação de valores menores para essa constante implica em nós menores e uma discretização espacial mais refinada.

O método Completamente Implícito é baseado na abordagem de solução de Adams-Moulton. O algoritmo utiliza o método de diferenças finitas implícito acoplado a uma função de temperatura-entalpia para contabilizar a energia usada na mudança de fase. Este método soluciona a Equação 3 abaixo para formulação de um nó (PEDERSEN, 1972; VERSTEEG; MALALASEKRA, 1996).

Equação 3

$$C_p\rho\Delta x\frac{T_i^{j+1}-T_i^{j}}{\Delta t}=\left(k_W\frac{\left(T_{i+1}^{j+1}-T_i^{j+1}\right)}{\Delta x}+k_E\frac{\left(T_{i-1}^{j+1}-T_i^{j+1}\right)}{\Delta x}\right)$$

Onde temos

i: nó a ser modelado;

$i+1$: nó adjacente ao interior da construção;

$i-1$: nó adjacente ao exterior da construção;

$j+1$: novo passo de tempo;

j: passo de tempo anterior;

Δt: cálculo do passo de tempo;

Δx: espessura do *layer* de diferenças finitas (sempre inferior à espessura do *layer* de construção);

C_p: calor específico do material;

k_W: condutividade térmica para a interface entre os nós i e $i+1$;

k_E: condutividade térmica para a interface entre os nós i e $i-1$;

ρ: densidade do material.

Este método se vale de uma solução de Condução de Diferenças Finitas para simular a mudança de fase dos materiais, ou sua condutividade térmica variável. O método de discretização permite sejam estabelecidos nós e malhas distintas para elementos distintos da construção.

A implementação de Condução de Diferenças Finitas para a avaliar a condutividade térmica na interface entre os nós utiliza uma interpolação entre os pontos nodais, conforme Equação 4 abaixo (PEDERSEN, 1972; VERSTEEG; MALALASEKRA, 1996).

Equação 4

$$C_p \rho \Delta x \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{1}{2}\left[\left(k_W \frac{\left(T_{i+1}^{j+1} - T_i^{j+1}\right)}{\Delta x} + k_E \frac{\left(T_{i-1}^{j+1} - T_i^{j+1}\right)}{\Delta x}\right) + \left(k_W \frac{\left(T_{i+1}^{j} - T_i^{j}\right)}{\Delta x} + k_E \frac{\left(T_{i-1}^{j} - T_i^{j}\right)}{\Delta x}\right)\right]$$

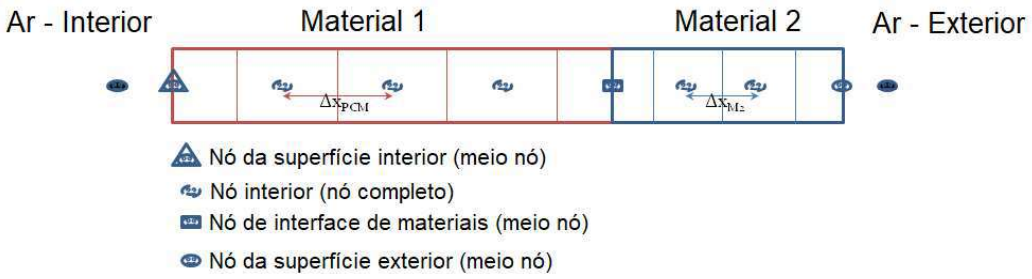
Onde,

$$k_W = \frac{\left(k_{i+1}^{j+1} + k_i^{j+1}\right)}{2}$$

$$k_E = \frac{\left(k_{i-1}^{j+1} + k_i^{j+1}\right)}{2}$$

O *software EnergyPlus* utiliza de quatro tipos de nós (Figura 4) para o desenvolvimento do algoritmo. A malha de cada material é estabelecida com a especificação de meio nó para cada extremo de um material, além de nós de mesmo tamanho ao longo material. Equações como a Equação 3 são resolvidas para a formação de todos os nós na construção do modelo. O algoritmo de Condução de Diferenças Finitas determina a quantidade de nós em cada *layer* de superfície com base no critério de estabilidade de Fourier (PEDERSEN, 1972; VERSTEEG; MALALASEKRA, 1996).

Figura 4 – Descrição dos nós para Modelo de Condução por Diferenças Finitas



Fonte: BIG LADER, 2013 (Adaptado pelo autor).

Esse algoritmo pode apresentar como saída o fluxo de calor de cada nó e a capacitância calorífica de cada meio nó. Durante a solução do algoritmo essa capacitância é armazenada, conforme Equação 5. Para nós que estejam internos ou externos à superfície, estes são considerados como apenas meio nó. Após a solução do algoritmo, dado um passo de tempo, o fluxo de calor é calculado a partir da face interna da superfície, conforme Equação 6, os demais nós são calculados conforme Equação 7 (TABARES-VELASCO; GRIFFITH, 2011).

Equação 5

$$HC_i = Cp_i \times \Delta_{xi} \times \frac{\rho_i}{2}$$

Equação 6

$$QD_N = Q_{inside}$$

Equação 7

$$QD_i = QD_{i+1} + HC1_{i+1} \times \frac{\left(T_{i+1,new} - T_{i+1,old}\right)}{\Delta t} - QS_i + HC2_i \times \frac{\left(T_{i,new} - T_{i,old}\right)}{\Delta t}$$

Onde

$HC1_i$: capacitância calorífica associada a um certo meio nó externo;

$HC2_i$: capacitância calorífica associada a um certo meio nó interno;

QD_i: nó i de fluxo de calor de superfície para o algoritmo de Condução de Diferenças Finitas;

QS_i: fluxo de calor de fonte interna no nó i;

Q_{inside}: taxa de transferência de calor por condução de superfície interna da face por área [W/m²];

N: número total de nós em uma superfície, incluindo os nós da face interna.

2.3.4. Simulação Térmica de SVV

Os SVV's, recentemente[6], têm apresentado maior participação em pesquisas acadêmicas e técnicas, sendo utilizados para funções além do quesito estético. Contudo, verifica-se, ainda, uma baixa estruturação quanto a seu processo de desenvolvimento, seleção de componentes e principalmente métodos de simulação. Existem diversos *softwares* utilizados para o desenvolvimento de simulações termoenergéticas de edificações, e alguns destes apresentam meios de se implementar elementos como SVV, muitas vezes de forma simplificada, em seus modelos computacionais. Até o presente momento tem-se que o principal *software* utilizado para a simulação térmica deste tipo de elemento é o *EnergyPlus* (RAMOS; OLIVEIRA; AZEVEDO, 2019b).

As técnicas de simulação, ainda que deficientes e simplificadas, têm sido aplicadas e comparadas a estudos de caso experimentais visando a garantia das validações de seus processos. Tal circunstância tem demonstrado que os métodos de simulação apresentam uma boa taxa de representação do problema real com os métodos que têm sido utilizados até então (LARSEN; FILIPPÍN; LESINO, 2014; FLORES LARSEN et al., 2015; GROS et al., 2016; ANDRIĆ; KOC; AL-GHAMDI, 2019).

Além da inexistência de uma unanimidade da aplicação de *softwares* para a modelagem dos SVV's em simulações computacionais, verificam-se, ainda, divergências quanto ao método ou processo de simulação dos mesmos. Diversos processos são citados na literatura, mas poucos são descritos de forma a permitir um nível de replicação satisfatório em outras pesquisas. Contudo, a RSL[7] apresentou, com capacidade de replicação, um método simplificado de simulação dos SVV's que o converte em um elemento de sombreamento, uma das principais características desse sistema juntamente com a termorregulação proporcionada pela evapotranspiração (LARSEN; FILIPPÍN; LESINO, 2014; FLORES LARSEN et al., 2015; RAMOS; OLIVEIRA; AZEVEDO, 2019b).

Este método apresenta duas possibilidades de conversão do SVV em um elemento do modelo computacional (LARSEN; FILIPPÍN; LESINO, 2014; FLORES LARSEN et al., 2015):

---

[6] Conforme análise exposta nos Gráficos 1 e 3 do Item 1.3 deste trabalho.
[7] Conforme análise exposta no Item 4.2.2 deste trabalho.

- Inserção de um elemento externo ao fechamento vertical externo da edificação que é alvo da aplicação do SVV. Este elemento operará como uma barreira para a radiação solar, simulando um elemento de sombra. O elemento recebe características térmicas que repliquem a ação de um SVV real;
- Adição de um dispositivo de sombreamento fixo em uma esquadria vítrea existente no modelo. Este dispositivo de sombreamento apresenta características específicas para replicar a capacidade de bloqueio da radiação solar proporcionada por um SVV. Este método pode ser utilizado apenas quando o SVV seria implementado cobrindo uma janela.

2.4. ESTATÍSTICA APLICADA

A estatística é uma ciência direcionada ao trabalho de coleta, organização, análise, interpretação e representação de dados, permitindo que decisões possam ser tomadas de forma mais acertiva pelos que a utilizam (MONTGOMERY; RUNGER, 2016).

2.4.1. Teste de Hipótese

Para a estatística o teste de hipótese é um método de inferência estatística, ou seja, é um processo de utilização de análise de dados para inferir propriedades de certa distribuição de probabilidade de uma dada população. O teste de hipótese é constituído de apenas duas hipóteses, que são distintas e mutualmente excludentes, sendo elas as hipóteses alternativa e nula. A hipótese alternativa é a que se associa à teoria a qual se busca comprovar. Enquanto que a hipótese nula é aquela associada à contradição da teoria que se busca comprovar, podendo também ser interpretada como aquela em que se afirma a não existência de relação entre os grupos de dados ou fenômenos observados (RABINOWITZ; RICE, 1989; STUART; ORD; ARNOLD, 2010).

A análise estatística de uma população implica na avaliação de um grupamento de dados tendo uma teoria a ser verificada por meio da interpretação dos resultados do teste de hipótese estatística. Está análise é realizada tendo como ferramenta a análise de probabilidade dos resultados possíveis. Temos que o método estatístico consiste em analisar um p-valor, este sendo a probabilidade de se obter um resultado igual, ou

mais extremo, que o obtido, dado que a hipótese nula seja verdadeira. A análise dos resultados dos testes estatísticos é dada pela avaliação do nível de significância, α, do respectivo teste. Sendo que este α é um limite estabelecido para a rejeição, ou não, da hipótese nula, com base em um p-valor estabelecido com base na confiabilidade que se deseja imprimir ao teste performado (STUART; ORD; ARNOLD, 2010; MONTGOMERY; RUNGER, 2016).

2.4.2. Testes Estatísticos

A ciência da Estatística dispõe de uma série de ferramentas distintas que devem ser utilizadas em conformidade com a necessidade de sua aplicação, considerando-se os tipos de dados, sua natureza, dimensão, ou seja, suas características, bem como a finalidade que se objetiva atingir com as análises desenvolvidas.

Para esta pesquisa foram utilizadas as seguintes ferramentas estatísticas:

2.4.2.1. Teste de Shapiro-Wilk

Este teste é utilizado para avaliar a normalidade de uma amostra, ou seja, avalia o quão os dados que compõe a amostra estão modelados conforme uma distribuição que é simétrica em torno de sua média (distribuição Gaussinana). O uso desse tipo de teste é feito para poder determinar quais testes podem ser aplicados à uma amostra, uma vez que a normalidade dos dados é um fator de influência na seleção da ferramenta estatística a ser utilizada (SHAPIRO; WILK, 1965).

2.4.2.2. Teste de ANOVA (Analysis of Variance)

Este teste é considerado um caso especial de regressão linear, consideram-se as observações como a soma de um modelo (ajuste) e um resíduo (erro) a ser minimizado (MONTGOMERY, 2013).

Existem diversos tipos de ANOVA's, o tipo aplicado a essa pesquisa é o ANOVA de uma via. Este teste é utilizado para avaliar diferenças (médias) entre dois ou mais grupos independentes (OSTERTAGOVÁ; OSTERTAG, 2013).

A ANOVA é utilizada para análises de experimentos comparativos, onde a confirmação mais relevante que se busca na comparação é avaliar a diferença entre as amostras analisadas. A significância estatística do experimento é determinada por

uma proporção entre as duplas de variâncias comparadas. Tal proporção independe de outros fatores presentes no experimento (MONTGOMERY, 2013).

O teste de ANOVA é recomendado para amostras com distribuição normal, entretanto a literatura demonstra que o mesmo apresenta robustez suficiente para tratar de amostras não normais de dados, especialmente quando o *n* amostral é elevado e quando a curva de distribuição se apresenta próxima suficiente à de uma curva normal, ou seja, apresenta uma distribuição quase-normal (GLASS; PECKHAM; SANDERS, 1972; HARWELL et al., 1992; LIX; KESELMAN; KESELMAN, 1996).

2.4.2.3. Teste de T-Student

Este teste pode ser aplicado para a avaliação de uma, ou duas amostras. A análise de duas amostras é um teste de verificação de igualdade da média dessas amostras. O teste com duas amostras pode envolver amostras pareadas ou não. Amostras não pareadas são tidas como sendo independentes e identicamente distribuídas. As amostras pareadas consistem em uma amostra que apresenta pares de dados similares, ou seja, um mesmo grupo que é testado duas vezes, como uma repetição. Comumente amostras são definidas como pareadas quando o conjunto de dados é submetido a algum tratamento e busca-se avaliar a diferença impressa na amostra entre antes e depois do tratamento (RABINOWITZ; RICE, 1989; DAVID; GUNNINK, 1997).

Contudo, a literatura aponta que o teste de T-Student para dados pareados demonstra robustez para sua aplicação em amostras com distribuição não normal (LUMLEY et al., 2002) quando as amostras apresentam n elevado.

2.4.2.4. Teste de Wilcoxon

Este é um teste estatístico não paramétrico usado para localizar um grupo de amostras, ou para comparar a localização de duas populações utilizando um par de amostras entre elas. Quando se aplica este teste em um par de amostras, ele serve o mesmo propósito do teste de T-Student para amostras pareadas. Contudo o teste de Wilcoxon não assume que os dados são normalmente distribuídos, implicando em um poder estatístico maior que o teste de T-Student neste tipo de distribuição de dados (WILCOXON, 1945; SIEGEL, 1956; CONOVER, 1999).

2.5. ARQUIVOS CLIMÁTICOS

O desenvolvimento de projetos relacionados à engenharia civil, tanto de forma geral quanto mais especificamente em relação aos empreendimentos de edifícios, apresentam grande dependência das interferências das intempéries. Sendo assim, compreender os fenômenos meteorológicos das regiões de interesse é um fator decisivo para a correta atuação do setor. Os dados meteorológicos levantados pelas estações de coleta podem ser agrupados em conjuntos que permitem a criação de arquivos climáticos, considerando, pelo menos, um período de 10 anos de registros (GRIGOLETTI; FLORES; SANTOS, 2016).

Os arquivos clímaticos podem ter formatos diversos a depender dos próprios dados disponíveis/medidos, dos *softwares* que o utilizam ou da forma como são agrupados. Contudo, atualmente são mais amplamente utilizados dois formatos principais: TMY2 (*Typical Meterological Year*) e TRY (*Test Reference Year*). Estes formatos podem ser adaptados para a aplicação em outros formatos, como o EPW (*EnergyPlus Weather File*), utilizado em simulações do *software EnergyPlus*.

2.5.1. Formato TMY2 (*Typical Meteorological Year*)

Este formato, desenvolvido pelo *US National Renewable Energy Laboratory* (NREL), é uma atualização do formato TMY original desenvolvido pelo Centro Nacional de Dados Climáticos dos EUA em 1980. O TMY2 é amplamente aplicado e é criado a partir de informações horárias de radiação solar e dados meteorológicos. Este formato considera um ano composto por 12 meses típicos de dados de longo prazo, medidos de acordo com o método estatístico de Finkelstein-Schafer (JENTSCH; BAHAJ; JAMES, 2008; SUN; LI; XIAO, 2017).

2.5.2. Formato TRY (*Test Reference Year*)

Este formato foi originalmente publicado pelo *Chartered Institution of Building Services Engineers* (CIBSE) e apresenta uma compilação de dados similar a do TMY2, valendo-se também do método estatístico de Finkelstein-Schafer. Este formato é comumente utilizado para o determinar médias mensais de dados climáticos. O formato TRY desconsidera os valores *outliers* de temperatura registrados para a criação de seu ano climático referencial (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998; JENTSCH; BAHAJ; JAMES, 2008).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A definição dos métodos e materiais aplicados à pesquisa é importante para a categorização do trabalho, planejamento das ferramentas a serem utilizadas e viabilização da replicabilidade do mesmo, o que permitirá a comparação de resultados.

3.1. MATERIAIS

Este trabalho visa aplicar um procedimento de simulação relacionado ao uso de SVV's em envoltórias de edificações. Para tal objetivo foram utilizados conjuntos de equipamentos para o desenvolvimento das análises computacionais, pesquisa e aquisição de dados (*Inputs*), por meio de medições, bem como *softwares* específicos para a analise e modelagem do trabalho, que são gratuitos e de licença livre. Os materiais necessários serão:

I. *Data Logger*

Para a obtenção das informações de temperatura foram utilizados quatro (04) equipamentos de registro automático de dados, *data logger*, do modelo HOBO *onset* U12-012 com as seguintes especificações:

- Medição de temperatura, umidade, luminância com uma porta analógica externa para medição de corrente e DDP;
- Espectros de medição de 0 a 2.5 Volts CC, 0 a 5 Volts CC (c/ #CABLE-ADAP5), 0 a 10 Volts CC (c/ #CABLE-ADAP10);
- Cacidade de registro de até 43,000 medições de amostras/leituras;
- Precisão: ± 0,35°C e ± 2,5% (UR).

Esta forma de registro modelo foi selecionada devido a ampla aplicação da mesma na literatura[8], bem como a disponibilização do mesmo pelo Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído (LABCON) da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

II. Medidor de Stress Térmico (Termômetro Globo)

Para a calibração dos *data loggers* utilizados nessa pesquisa foi realizada a testagem dos mesmos contra um medidor de stress térmico com calibração certificada (0). Os *data loggers* foram testados em conjunto do medidor de stress térmico em

[8] Conforme análise exposta no Quadro 6 (pg. 66) deste trabalho.

ambiente controlado e os erros encontrados estão dentro da faixa apresentada pelo fabricante e do laboratório de calibração. Desta forma, foi utilizado para este fim um termometro globo do modelo TGD-300, com as seguintes especificações:

- Medição de temperatura de bulbo úmido, bulbo seco e globo;
- Temperatura de operação do módulo sensor: -5°C a 100°C;
- Umidade de operação: 0 a 85% UR;
- Escala: -10~150ºC;
- Resolução: 0,1°C;
- Precisão: ± 0,5°C;
- Equipamento móvel.

Esta forma de averiguação dos medidores foi aplicada devido às limitações impostas à pesquisa, bem como da disponibilidade do equipamento para a instituição de ensino CEFET-MG.

III. Espectrofotômetro

Para a obtenção dos valores de absortância da superficie externa da envoltória da edificação foi utilizado um espectofotômetro Alta II, que mede a refletância e deste dado pôde-se realizar inferências para a determinação do valor de absortância. O equipamento utilizado tem as seguintes especificações:

- Medição de refletância espectral;
- Medição de 11 comprimentos de onda (de 470nm a 940nm);
- Incerteza de ±0,10 nos valores absolutos de refletância solar, conforme Pereira et al. (2017).

IV. Estação de Trabalho

Equipamento de computação utilizado para desenvolvimento das etapas de pesquisa, bem como para a elaboração do modelo proposto e sua simulação computacional, via *software*, aplicando-se os dados obtidos das incursões em campo, bancos de dados relevantes à besquisa e literatura referente ao tema. Para esta pesquisa foi utilizada uma estação de trabalho com as seguintes especificações:

- Processador de 4 núcleos, frequência de 2.50 GHz, cache de 6 MB;
- Memória RAM de 8.00 GB;
- Sistema operacional 64-bit (Windows 10);
- Unidade gráfica integrada com 24 EUs e velocidade máxima de 1150 MHz.

V. *Software SketchUp*

O *Software SketchUp* foi utilizado para a criação de modelos tridimensionais no formato CAD. Este trabalho utilizará a versão *make* 2017, que funciona conjuntamente com o *software EnergyPlus* dado o uso do *Plug-in Euclid*, na versão 0.9.3.

VI. *Software EnergyPlus*

O *software EnergyPlus* foi destinado ao desenvolvimento de modelos de simulações térmicas prediais. Para esta pesquisa foi utilizada a versão 8.7 deste *software*.

VII. *Software Elements*

O *software Elements* foi utilizado para a edição de arquivos climáticos. Para esta pesquisa foi utilizada a versão 1.0.6 desta ferramenta.

VIII. *Software R*

O *software R* foi utilizado para realizar os tratamentos estatísticos necessários para analisar os dados ao longo da pesquisa. Este trabalho utilizou a versão 3.6.1 desta ferramenta, implementado por meio do *RStudio*.

IX. *Software* HOBOware

O *software HOBOware* foi utilizado para a configuração, acionamento, inserção e retirada de dados dos *data loggers* utilizados nessa pesquisa. Utilizou-se a versão 3.1 desta ferramenta nesta pesquisa.

3.2. MÉTODO DE ABORDAGEM

A pesquisa desenvolvida neste trabalho apresenta um enquadramento específico e variado, considerando os quatro aspectos do Enquadramento Metodológico: Objetivos, Natureza, Abordagem do Problema e Procedimentos Técnicos (GIL, 2002; SILVA; MENEZES, 2005). O trabalho foi classificado, conforme a Figura 5.

O *Objetivo* do trabalho é o desenvolvimento de uma *Pesquisa Exploratória*, por proceder com análises a partir de experimentos computacionais, coleta de dados e levantamentos bibliográficos, visando a formulação de hipóteses e compreensão do objeto de estudo (GIL, 2002; SILVA; MENEZES, 2005).

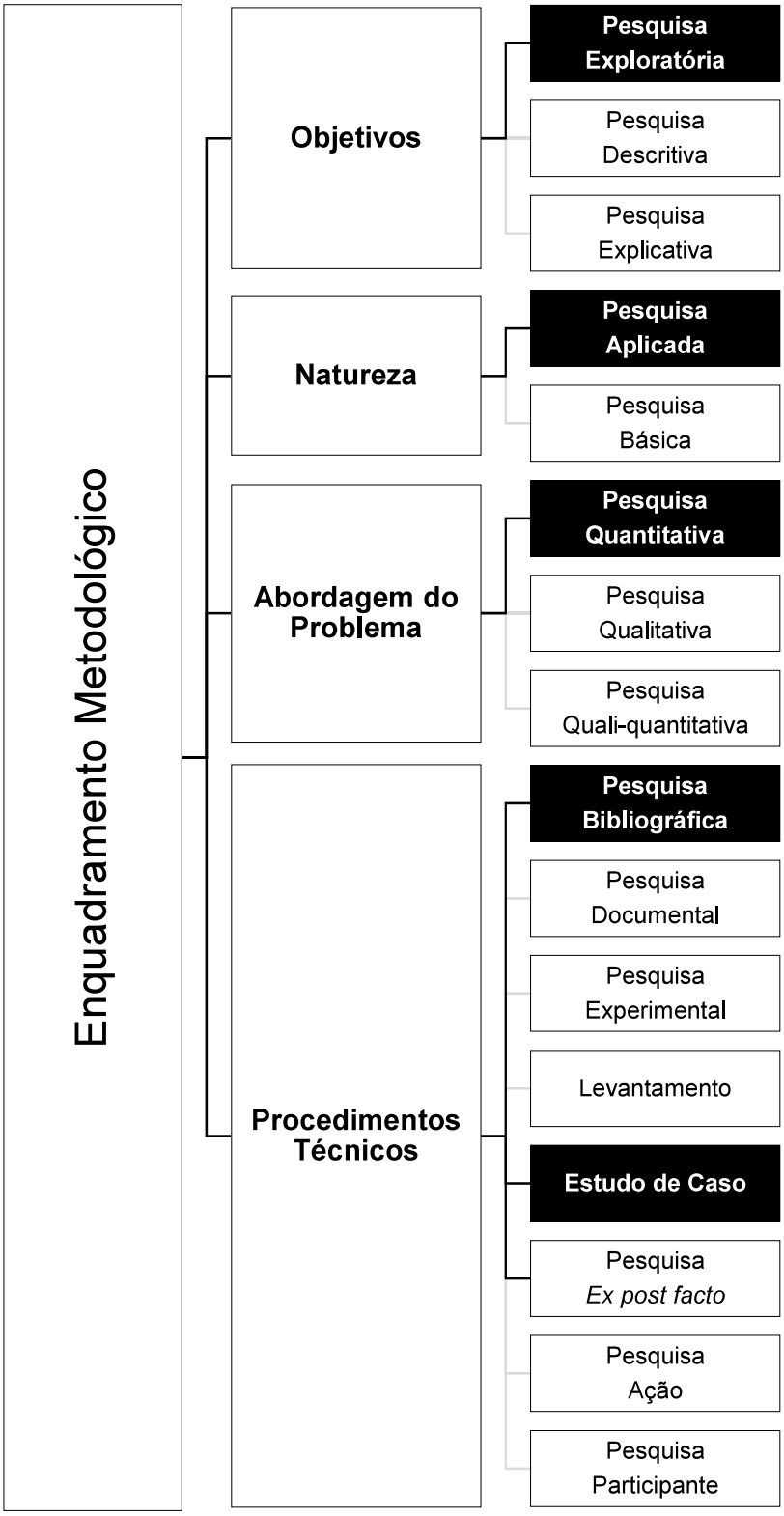
A *Natureza* deste trabalho é entendida como a de uma *Pesquisa Aplicada,* pois visa desenvolver conhecimento específico, voltado á resolução de um problema bem

definido ligado a uma resposta de interesse prático dentro de um segmento da sociedade (SILVA; MENEZES, 2005; KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010).

Em se tratando da *Abordagem do Problema*, esta pesquisa é entendida como sendo *Quantitativa*, uma vez que irá valorizar a interação direta com o objeto definido para este estudo, fonte de dados descritivos a partir da obtenção dos mesmos a partir de um estudo de caso. Além disso a pesquisa envolverá, também, um tratamento estatítisco específico das informações medidas e geradas, visando proporcionar uma melhor percepção e entendimento do problema (GIL, 2002; SILVA; MENEZES, 2005; KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010).

Quanto à perspectiva dos *Procedimentos Técnicos*, a presente pesquisa apresenta fatores que a classificam em duas categorias (GIL, 2002; SILVA; MENEZES, 2005). Primeiramente como *Pesquisa Bibliográfica* – algumas das etapas necessárias ao método de procedimentos desta pesquisa são oriundas de processos disponibilizados em material já publicado, tais como: definição do método de simulação, calibração e validação; seleção do *software* de simulação; definição do metodo de tratamento estatístico dos dados; e definição do processo de coleta de dados. E a segunda categoria é o *Estudo de Caso* – como a finalidade deste trabalho é limitada à observação de um objeto em específico, considerando apenas determinadas características que são relevantes à compreensão do funcionamento da estratégia a que se propõe avaliar, considera-se este contexto um dos procedimentos para o desenvolvimento da pesquisa.

Figura 5 – Organograma do enquadramento metodológico



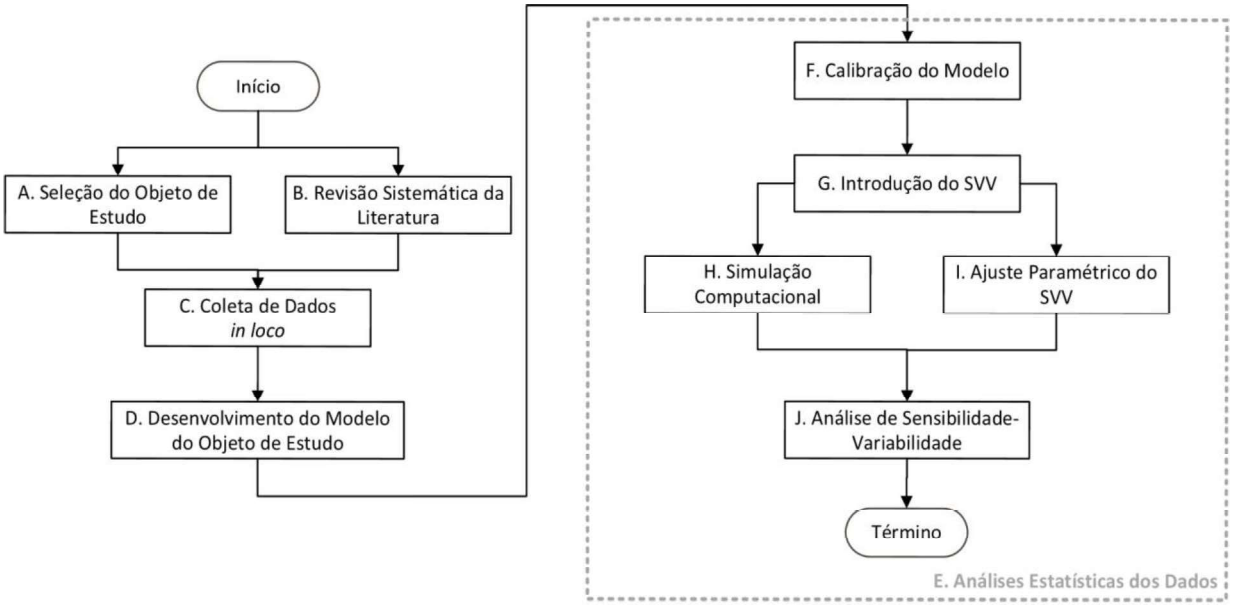
Fonte: Gil, 2002 (Adaptado pelo autor).

3.3. MÉTODO DE PROCEDIMENTOS

O Método Científico, forma pelo qual um trabalho acadêmico é desenvolvido, foi um fator crucial para a garantia do alcance do objetivo deste trabalho. O método científico permite, portanto, a ordenação, compreensão e melhoria de planos, etapas, decisões e conhecimentos necessários à investigação do problema de pesquisa definido, bem como garante a replicabilidade deste trabalho por outros pesquisadores de modo a permitir análises e comparações de resultados, fortalecendo e engrandecendo a pesquisa (DEMO, 1991; MEZZAROBA; MONTEIRO, 2004).

Para o desenvolvimento desta pesquisa elaborou-se um método que engloba as atividades necessárias para a obtenção dos objetivos propostos no Item 1.2. Conforme explicitado pela Figura 6, o método aqui proposto contém ações de coleta de dados relevantes por meio de uma metodologia específica, determinação do objeto de estudo, coleta de dados em campo, desenvolvimento de parâmetros e a elaboração de simulações e processos. Todo o método é apresentado e desenvolvido a seguir.

Figura 6 – Método de procedimento



Fonte: O autor.

A. Seleção do Objeto de Estudo

Considerando a caracterização do tema, a pergunta de pesquisa e os objetivos propostos neste trabalho, entende-se que a forma construtiva mais adequada para ser abordada no desenvolvimento desta pesquisa serão as edificações cuja principal dimensão seja a altura. Neste caso um edifício verticalizado será definido como objeto de estudo da pesquisa.

A definição do edifício a ser selecionado foi efetuada mediante ao atendimento dos seguintes critérios mínimos:

- Empreendimento verticalizado de uso comercial, residencial, educacional, industrial ou governamental;
- SVV a ser aplicado com o intuito condicionamento ambiental (redução temperatura nos ambientes internos);
- Que seja possível a medição do mesmo dentro do prazo de desenvolvimento deste trabalho. Juntamente das restrições impostas pela ausência de recursos e o impacto causado pela pandemia global de Sars-CoV-2, iniciada no ano de 2019;
- Que a fachada vegetada receba incidência de radiação solar direta.

Deve-se caracterizar a localidade do objeto de estudo em conformidade com um zoneamento climático que permita a comparação com outras localidades, o que permitirá a replicação futura do método de simulação de SVV em outros locais com características similares.

B. Revisão Sistemática de Literatura (RSL)

Por meio da aplicação do método ProKnow-C de RSL:

a) Identificar e selecionar o tipo de SVV mais adequado ao objeto de estudo;
   - Buscar os tipos de SVV e selecionar aquele que seja mais compatível ao objeto de estudo, à proposta e às limitações desta pesquisa;
   - Buscar as diretrizes de projeto e execução do tipo de SVV selecionado;

b) Identificar e selecionar o método de simulação computacional de SVV.

c) Identificar e selecionar os equipamentos e procedimento de medição e coleta de dados;
   - Listar os equipamentos e processos mais utilizados para a coleta de dados de temperatura, conforme o método de simulação selecionado;
   - Definir os equipamentos e processos de coleta a serem desenvolvidos em concordância com as limitações da pesquisa.

- Com o método selecionado, determinar os parâmetros de entrada (*inputs*), do objeto de estudo, necessários à sua modelagem computacional;

d) Métodos de análise estatística mais utilizados para a avaliação de dados de temperatura e selecionar aqueles que se aplicam melhor à proposta desta pesquisa.

C. Coleta de Dados *in Loco*

Após a seleção do objeto de estudo e da definição do método de coleta de dados, pôde-se avançar para a medição dos dados necessários ao desenvolvimento da pesquisa, esta etapa consistiu em:

a) Caracterizar o edifício – coletar informações de projeto arquitetônico, memorial descritivo e verificação dos elementos componentes dos sistemas construtivos constituintes da envoltória da edificação escolhida;

b) Medição das variáveis ambientais da TO e TBS à edificação:
   - Medição e registro em suas condições de uso atual para registro das temperaturas de operação dos ambientes de interesse;
   - Os dados medidos são tratados considerando a existência de erro individual de cada equipamento de coleta. Este tratamento é feito com a correção propiciada pela comparação de dados medidos entre um equipamento calibrado e outro.

c) Coleta de dados climáticos para a avaliação dos dados medidos no objeto de estudo.

D. Desenvolvimento do Modelo do Objeto de Estudo

A criação de um modelo do objeto de estudo da pesquisa teve como foco a sua interpretação por um *software* de simulação energética. Todas as entradas necessárias para as análises propostas desta pesquisa foram definidas a partir dos resultados obtidos pela RSL. Permitindo assim o desenvolvimento de um modelo que permitiu avaliar o impacto da aplicação de um SVV quanto à redução de temperatura operativa de ambientes do mesmo. Para isso serão necessários os seguintes passos:

a) Modelagem computacional da edificação – desenvolver, por meio de *software CAD*, o modelo termo energético do objeto de estudo de forma a permitir a interrelação dos elementos construídos pelo mesmo e o *software* responsável pelos processos de simulação térmica. Esta modelagem replicou a geometria do edifício considerando:

- A replicação do edifício real no modelo computacional foi desenvolvida com o suporte dos projetos arquitetônicos do empreendimento;
- Foram detalhados somente os ambientes que foram alvos de medição.

b) Modelagem do entorno da edificação – considerando-se que o objeto de estudo é apenas um edifício, foi necessário garantir a representação dos fatores de influência de seu entorno. Nesta fase foi desenvolvida a geometria complementar ao objeto de estudo, adicionando-se elementos externos à edificação que implicam em influenciar o comportamento da mesma. Foram adicionados elementos representativos das construções ao redor, bem como toda vegetação, considerando elevações e direcionamento;

c) Alimentação do *software* de simulação térmica – inserir, no *software* de simulação, os parâmetros dos materiais e rotinas de uso dos elementos a serem modelado. Estes parâmetros foram determinados com base nos materiais constituintes da edificação e elementos de entorno (como solo, outras construções e vegetação), rotina de ocupação dos usuários, parâmetros de uso dos sistemas de iluminação, ventilação, refrigeração artificial e equipamentos consumidores de energia, além dos padrões de sombreamento de folhagens da vegetação em função das estações do ano.

E. Análise Estatística dos Dados

A fase de analises estatísticas permeou etapas diversas da pesquisa, como representado pela Figura 6. Este procedimento da pesquisa consistiu na análise estatística dos dados de temperatura medidos, obtidos de estações meteorológicas e dos dados de *output* das simulações desenvolvidas ao longo da pesquisa. Foram performadas avaliações estatísticas em diversas etapas ao longo do processo de modelagem e simulação. Para esta pesquisa foram utilizadas as ferramentas estatísticas dos testes de ANOVA, T-Student e Wilcoxon.

Com estas análises buscou-se:

a) Garantir a confiabilidade dos dados os quais serão trabalhados ao longo do processo de modelagem, calibração e simulação;

b) Analisar os resultados gerados em todas as etapas, permitindo que se avalie a eficiência das fases dos processos de modelagem, calibração e simulação;

c) Analisar a eficiência do amortecimento térmico da implementação do SVV na fachada da edificação, via simulação;
d) Analisar os resultados de temperatura gerados pela simulação em comparação com os resultados reais de temperatura para verificar a aderência entre eles.

F. Calibração do Modelo

Por meio de simulações teste performadas de maneira iterativa, foram realizadas alterações de parâmetros numéricos dos elementos constituintes do modelo da edificação a ser simulada. Tais como as características de uso da edificação, bem como as propriedades físicas e mecânicas dos materiais constituintes. Assim buscou-se garantir que os resultados prévios obtidos neste processo se aproximem de valores aceitáveis em comparação com dados medidos para um cenário do edifício real.

Este procedimento foi executado, de forma iterativa, até a obtenção de resultados compatíveis, entre calibração e dados reais, aceitos como satisfatórios, ou seja, com uma aproximação aceitável da conjuntura real a qual o modelo computacional visa replicar.

- **Validação –** Este procedimento é executado conforme o processo de Validade de evento e Validação multi-estágio. Estes dois processos foram selecionados por serem compatíveis com a proposta e limitações desta pesquisa. Este procedimento foi desenvolvido a partir de dados medidos de um ambiente diferente do utilizado nos processos de calibração e ajuste originais. Com o resultado alcançado no processo de calibração dentro do intervalo de confiança, estabelecido como relevante estatisticamente, o modelo é considerado como validado.

Quadro 4 – Processos de validação selecionados para a pesquisa (Excerto do Quadro 2)

Validade de evento	Os 'eventos' de ocorrência do modelo são comparados aos do sistema real para determinar quando eles são similares.
Validação multi-estágio	Desenvolver o modelo; validar seus pressupostos com testes empíricos onde for possível; comparar as relações *input-output* entre modelo e sistema.

Fonte: O autor.

G. Introdução do SVV

De posse das informações relativas ao tipo de SVV a ser implantado no objeto de estudo selecionado, bem como do modelo calibrado deste objeto de estudo, procedeu-se para a inserção do SVV nesse modelo. O processo de modelagem do

SVV, apesar de ocorrer no modelo calibrado do objeto de estudo, não interfere em nada no mesmo. Tal processo ocorre por meio da adição de novos objetos, independentes do edifício, que representarão apenas os elementos vegetados, conforme proposto pela literatura. Esta inserção é realizada pelo *software* escolhido para a modelagem geométrica e simulação térmica do edifício. O processo é realizado com base nos parâmetros determinados pela RSL.

H. Simulação Computacional

Este processo é realizado por meio do software de simulação computacional selecionado por meio da RSL.

O objetivo deste passo é gerar saídas (temperaturas operativas ambientais) de uma representação matemática computacional de um sistema baseado em um modelo real, adicionado do SVV teórico.

I. Ajuste Paramétrico do SVV

Esta etapa consiste no ajuste dos parâmetros associados ao SVV introduzido no modelo computacional para melhoria da assertividade do modelo em relação aos resultados previstos pela literatura.

J. Análise de Sensibilidade-Variabilidade

Esta etapa consiste na execução de simulações do modelo coma implantação do SVV com alterações de valores dos parâmetros do SVV ajustado visando determinar seu efeito no comportamento do modelo, por meio da observação de seus *outputs*. Por fim pode-se avaliar a influência que essas alterações nos parâmetros dos SVV modelado podem proporcionar ao modelo.

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados em acordo com o proposto pelo método de procedimentos. Demonstram-se aqui os resultados referentes à seleção do objeto de estudos; os aspectos relevantes referentes à literatura quanto ao desenvolvimento de modelagens de SVV's; os dados obtidos por meio de coleta e simulação; e por fim as análises performadas com esses dados.

4.1. RESULTADOS DA SELEÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O desenvolvimento desta pesquisa foi viabilizado por meio da simulação de implementação de um SVV em um edifício da instituição de ensino do CEFET-MG.

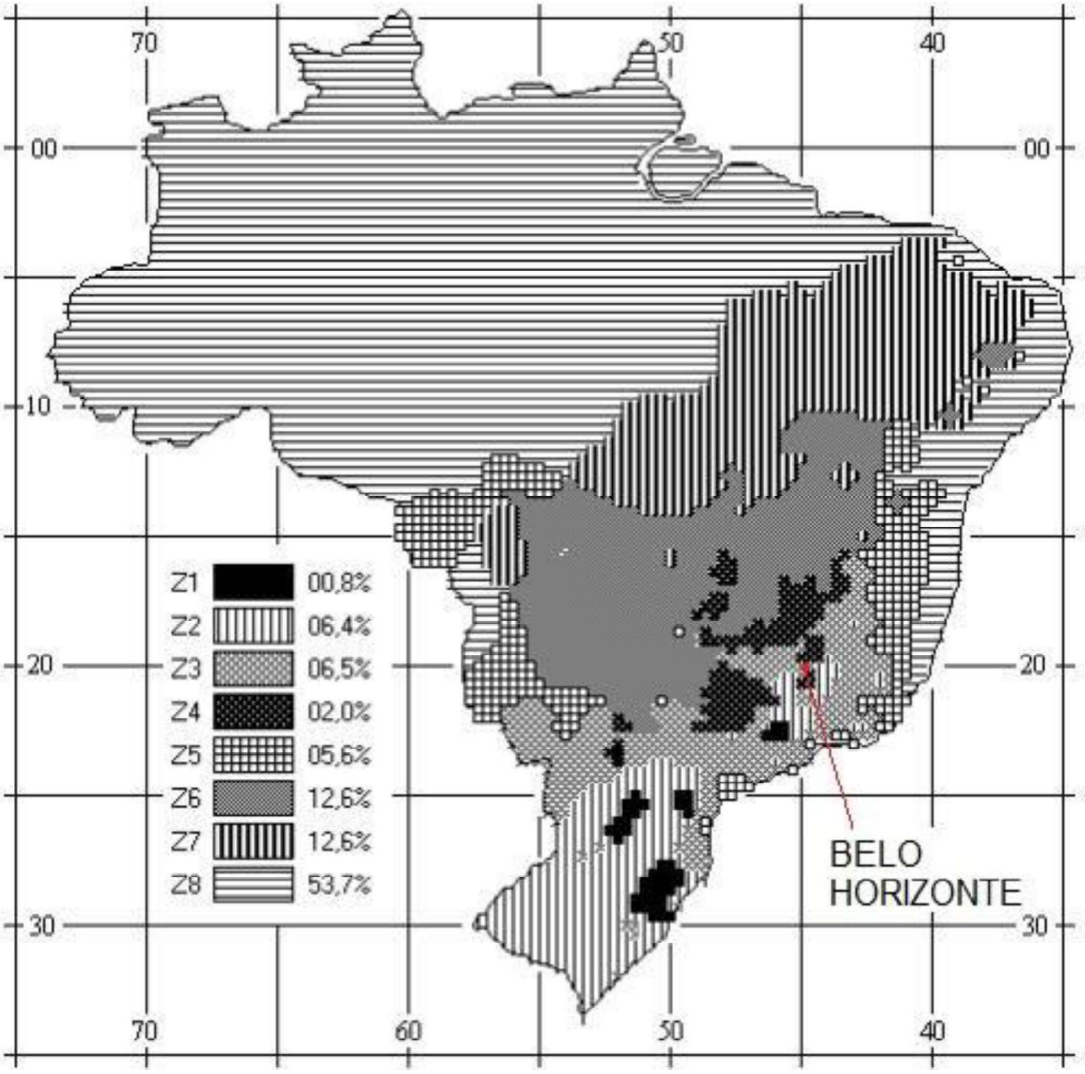
O edifício a ser monitorado por meio de medição foi selecionado considerando os seguintes aspectos:

- Viabilidade executiva do sistema;
- Capacidade de redução da TO;
- Viabilidade de controle e medição das influências relativas ao funcionamento do sistema;
- Existência de fachada cega;
- Orientação cardinal efetiva para a fachada que receberá o sistema.

4.1.1. Localização do empreendimento

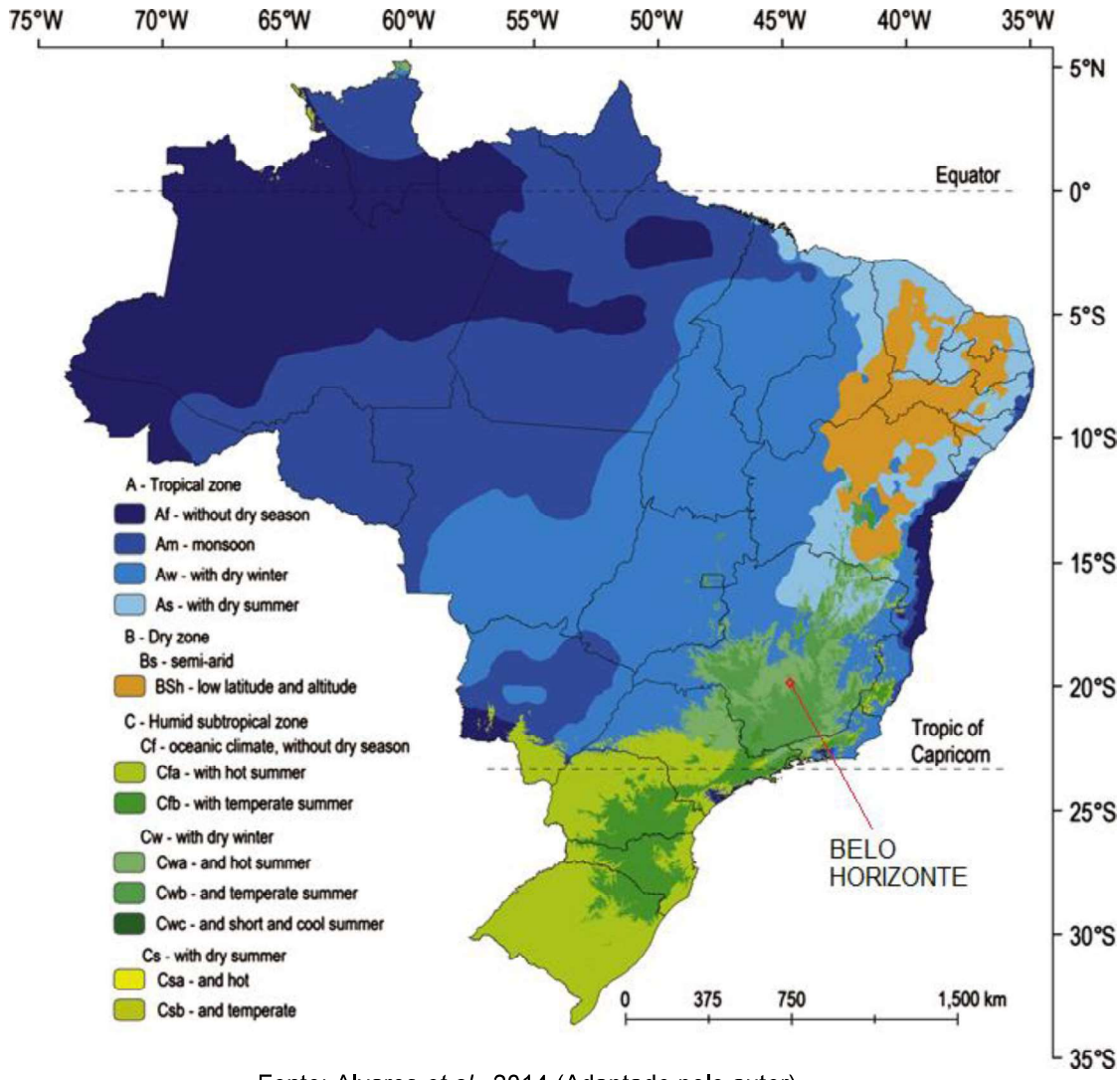
O objeto de estudo selecionado para o desenvolvimento desta pesquisa encontra-se localizado em Belo Horizonte - MG. Conforme a NBR 15.220 (2005) a cidade está localizada na zona bioclimática brasileira de número 3 (ZB3) (Figura 7). Quanto à classificação climática de Köppen–Geiger (Figura 8) esta encontra-se enquadrada como sendo do tipo Cwa, ou Cwb, primariamente, ou ainda Aw, de forma secundária (PEEAL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007; JÚNIOR, 2009; INMET, [200-]; ALVARES *et al.*, 2014; REBOITA *et al.*, 2015). Alguns estudos consideram dados históricos de anos diferentes ou mesmo regiões específicas das cidades podendo sofrer o efeito de ilhas de calor. Outros estudos consideram os efeitos das mudanças climáticas.

Figura 7 – Zonas bioclimáticas brasileiras: NBR15.220 (Belo Horizonte em detalhe)



Fonte: ABNT, 2008 (Adaptado pelo autor).

Figura 8 – Classificação climática de Köppen–Geiger para o Brasil (Belo Horizonte em detalhe)

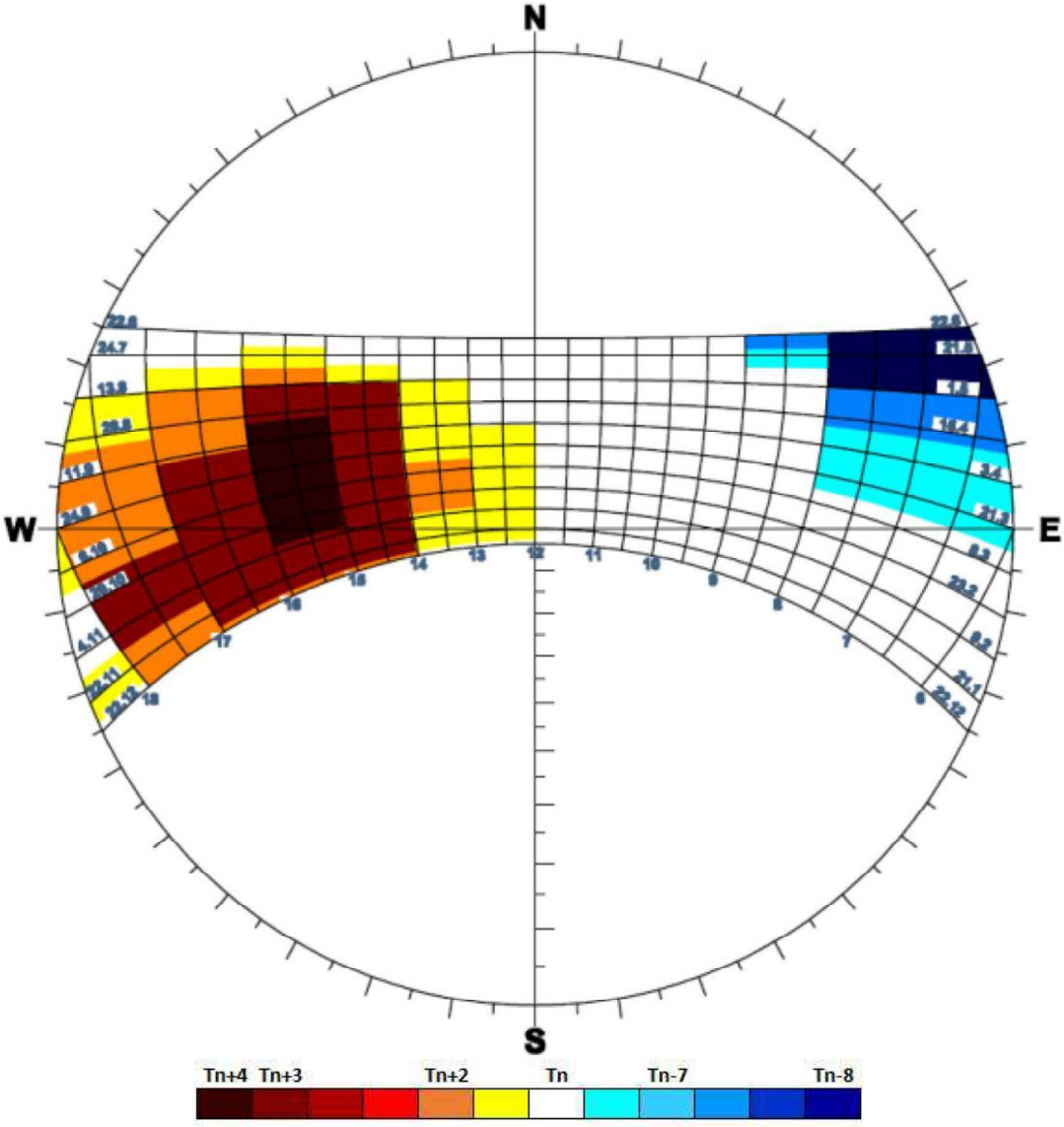


Fonte: Alvares *et al.*, 2014 (Adaptado pelo autor).

A cidade de Belo Horizonte apresenta clima ameno com uma distinção clara entre inverno e verão (PROCEL; ELETROBRAS; INMETRO; CB3E, 2014). Esta está localizada na zona intertropical, entre o trópico de Capricórnio e o Equador. Sua carta solar[9] (Figura 9) indica que o maior índice de radiação solar ocorre para as fachadas voltadas, principalmente para Norte e Oeste, das 12h00 às 18h00 entre os meses de julho a dezembro, sendo mais intensa entre setembro e outubro, das 15h00 às 16h00.

[9] Os valores apresentados na malha inscrita no círculo representam: horizontalmente, as datas chave ao longo ano sendo, de cima para baixo, iniciadas em 22 de junho e terminadas em 22 de dezembro; verticalmente, as horas do dia, da direita para a esquerda. Iniciada as 5h30 e terminadas as 18h30. A coloração apresentada na escala da Figura 9 representa uma relação de acréscimo ou decréscimo de graus célsius tendo como base as temperaturas neutras da região. Quando há acréscimo às temperaturas neutras indica-se proceder com o bloqueio da insolação e quando há decréscimo às temperaturas neutras indica-se proceder com a permissão da insolação (PROCEL; ELETROBRAS; INMETRO; CB3E, 2012).

Figura 9 – Carta solar da cidade de Belo Horizonte



Fonte: PROCEL; ELETROBRAS; INMETRO; CB3E, 2014

4.1.2. Descrição do empreendimento

O edifício selecionado foi o Prédio 18, constituinte do Campus Nova Gameleira do CEFET-MG, em Belo Horizonte, MG (Imagem 1). O edifício selecionado encontra-se localizado nas coordenadas 19°56'24" S, 43°59'57" O com seu primeiro pavimento na elevação de 914m. A principal via de acesso ao objeto de estudo é a avenida Amazonas, localizada ao norte do mesmo. O Campus Nova Gameleira do CEFET-MG apresenta uma área de aproximadamente 48.000m².

Imagem 1 – Localização do Prédio 18 no Campus II do CEFET-MG



Fonte: Google Earth Pro (2019).

O objeto de estudo é um prédio de uso variado, contendo salas de aula, ambientes de estudo, salas de reunião, gabinetes de professores e laboratórios de análises de materiais. Sua fachada principal está voltada para noroeste e apresenta um pano inteiro cego (Imagem 2 e ANEXO A) e exposto a radiação solar direta. A edificação é constituída por quatro pavimentos.

O primeiro pavimento (ANEXO B) contém laboratórios, depósito, área de socialização, banheiro, elevador, caixa de escada e uma sala de pesquisa dos discentes, sua área total construída é de 320m². Neste pavimento o SVV irá incidir na área de convivência (área construída de 76m²), contudo devido ao seu contato com o solo, a mesma não será considerada como foco da análise da simulação do SVV. Este andar irá compor apenas a geometria representativa da edificação original no modelo termoenergético.

O segundo pavimento (ANEXO C) contém hall de acesso, sala de aula, secretaria, banheiros, elevador, caixa de escada e salas de pesquisa dos discentes, sua área total construída é de 286m². Neste pavimento o SVV irá incidir em uma das salas de pesquisa (área construída de 12m²), esta que será uma das áreas para as análises e simulação do SVV. Tal escolha se deve ao fato desta área não estar em contado com o solo ou cobertura e, também, por sua independência de outros ambientes no mesmo pavimento, além do contato com um ambiente de área similar no pavimento superior.

Imagem 2 – Fachada voltada para noroeste do Prédio 18 (objeto de estudo)



Fonte: O autor.

O terceiro pavimento (ANEXO D) contém sala de reunião, sala de aula, gabinetes dos docentes, depósito, banheiro, elevador, caixa de escada e sala de pesquisa dos discentes sua área total construída é de 284m². Neste pavimento o SVV irá incidir em um dos gabinetes dos docentes (área construída de 10m²), esta que será uma das áreas a serem consideradas para as análises de implantação e simulação do SVV, por não estar em contado com o solo nem a cobertura e por sua independência de outros ambientes no mesmo pavimento, além do contato com um ambiente de área similar no pavimento inferior.

O quarto pavimento (ANEXO E) contém laboratórios, gabinetes dos docentes, área de socialização, banheiro, elevador, caixa de escada e uma sala de pesquisa dos discentes, sua área total construída é de 282m². Neste pavimento o SVV irá incidir em um dos laboratórios (área construída de 15m²), contudo devido ao seu contato com a cobertura a mesma não será considerada como foco da análise tanto da implementação quanto da simulação do SVV. Este andar irá compor apenas a geometria representativa da edificação original no modelo termoenergético.

4.2. RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

A RSL permitiu o cumprimento do primeiro objetivo específico desta pesquisa. Desta forma foi possível determinar um tipo de SVV adequado ao objeto de estudo; um método de modelagem, calibração e simulação computacional do objeto de estudo com a implementação do SVV; os métodos de medição e coleta de dados necessários ao desenvolvimento do modelo computacional; bem como a forma de análise dos resultados térmicos da inclusão do SVV no objeto de estudo, bem como de sua simulação. A seguir serão apresentados os resultados para as duas revisões sistemáticas de literatura realizadas, sendo elas:

a) RSL sobre a aplicação de SVV's em edificações, com a finalidade de reduzir a TO;
b) RSL sobre a simulação térmica computacional de SVV's aplicados em edificações, com a finalidade de reduzir a TO.

A RSL, apresentada no Item 4.2.2, foi adaptada de um artigo desenvolvido pelo pesquisador, submetido, publicado e apresentado no XV ENCAC/XI ENLACAC 2019, na área de Desempenho Térmico do Ambiente Construído (apresentado no APÊNDICE A deste trabalho).

4.2.1. Uso de Sistemas Vegetados Verticais como Estratégia Passiva de Condicionamento Ambiental

Este processo de RSL foi realizado conforme o roteiro proposto pelo método Proknow-C (ENSSLIN; ENSSLIN; PINTO, 2013). As bases utilizadas foram selecionadas via portal CAPES, como sendo aquelas relacionadas à Engenharia Civil e apresentando apenas artigos completos e artigos de revisão. A seguir será apresentado o resumo da RSL desenvolvida para esta temática. O conteúdo integral da pesquisa está colocado na sessão de apêndices desta pesquisa como o APÊNDICE B.

4.2.1.1. Resumo da RSL

O Quadro 5 apresenta as lentes aplicadas na RSL e as soluções adotadas para esta proposta de pesquisa.

Quadro 5 – Resumo da Lente de pesquisa: Aquisição

Lente	Solução adotada	Justificativa
I. Aquisição de Dados	a. Duração: período de 14 dias	Permitir um registro de longa duração, eliminando a influência de carga térmica pregressa
	b. Frequência: 15 minutos	Maior autonomia da coleta Melhor caracterização
	c. Equipamentos: *Data Logger*	Maior recorrência na RSL Equipamento disponível
	d. Posicionamento: Centro geométrico do ambiente de interesse	Elevada recorrência na RSL Maior adequação ao equipamento a ser utilizado
	e. Padrão: altura de 1,50 m do piso do ambiente medido	Valor médio de altura da RSL entre os autores selecionados
	f. Características: precisão mínima de 0,5°C para os *Data Loggers*	Maior recorrência nos autores selecionados da RSL
II. Redução	Entre 1,0°C e 4,0°C na TO	Valores médios da RSL
III. Estatística	Regressão linear múltipla ANOVA	Analisar a existência de dependência entre fatores Identificar diferenças entre dados
IV. Parâmetros	Efeito de sombreamento	Principal fator responsável pela redução de temperatura Possibilidade de replicação simplificada via simulação
V. Localização	Classificação secundária Aw *(Belo Horizonte)*	Permitir comparação *(Rio de Janeiro e Lagos)*
VI. Tipo e Constituição	Tipo Parede Viva	Processo construtivo ágil Permite modelagem simplificada
VII. Experimentação	Puramente computacional	Limitações da pesquisa

Fonte: O autor.

4.2.2. Uso de Sistemas Vegetados Verticais em Simulações de Desempenho Térmico de Edificações

Este processo de revisão bibliográfica foi realizado conforme o roteiro proposto da metodologia Proknow-C. As bases utilizadas foram selecionadas via portal CAPES, sendo relacionadas à Engenharia Civil e apresentando apenas artigos completos e artigos de revisão. A seguir será apresentado o resumo da RSL desenvolvida para esta temática. O conteúdo integral da pesquisa está colocado na sessão de apêndices como o APÊNDICE C.

4.2.2.1. Resumo da RSL

O Quadro 6 apresenta as lentes aplicadas na RSL e as soluções adotadas para esta proposta de pesquisa.

Quadro 6 – Resumo da Lente de pesquisa: Aquisição

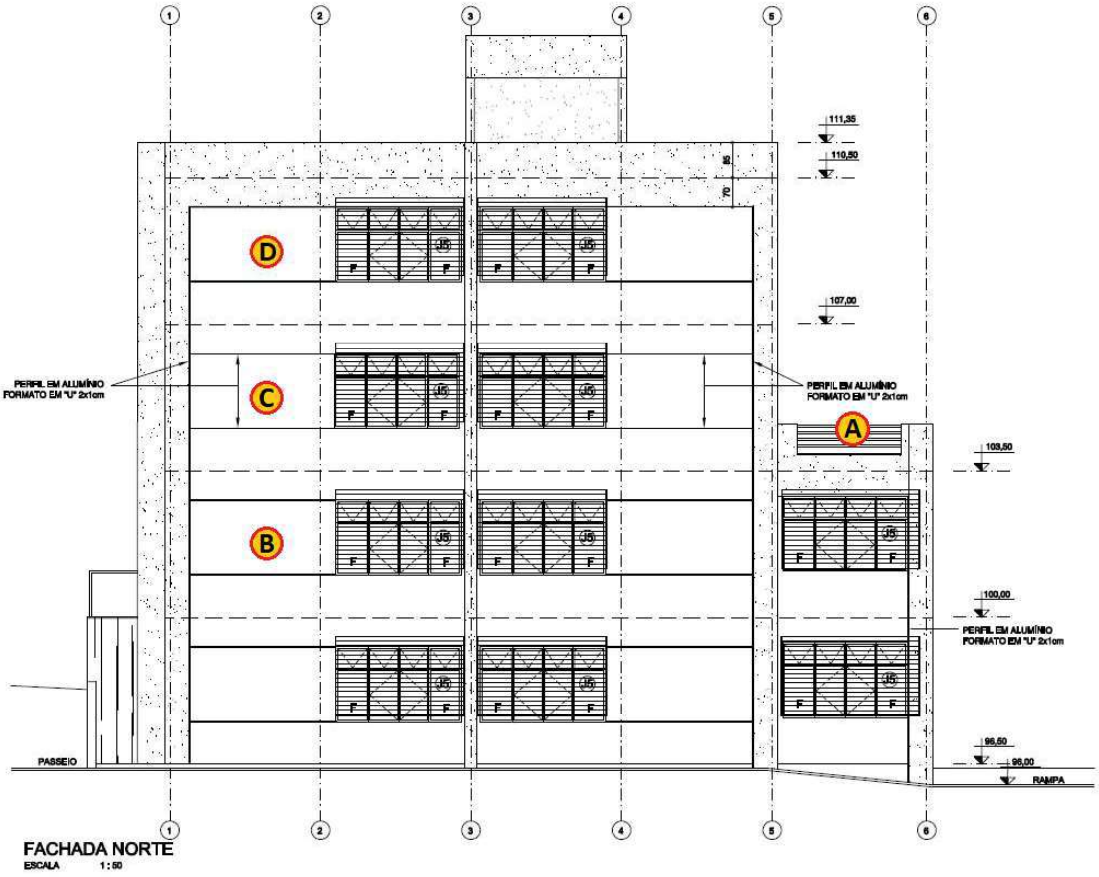
Lente	Solução adotada	Justificativa
I. *Software*	*EnergyPlus*	*Software* mais utilizado no portifólio e apresenta interface com outros através de *plug-ins*
II. Confirmação	Apresentar a taxa de redução de temperatura	Todo o portifófolio apresentou alguma redução relativa à análise proposta na pesquisa
III. Método de simulação	Método simplifiação do SVV	Maior recorrência no portifólio bem como por ter mais informações disponíveis, permitindo sua replicabilidade
IV. Validação	Apresentar o método de validação a ser aplicado	Importância da etapa para a aceitação e análise dos resultados encontrados
V. Método de avaliação	Comparação de temperaturas	Maior recorrência no portifólio

Fonte: O autor.

4.3. COLETA DE DADOS

O processo de coleta de dados *in loco*, no edifício selecionado como objeto de estudo, foi realizado no período entre os dias 18 de novembro de 2020 e 02 de dezembro de 2020. Este procedimento foi desenvolvido utilizando-se quatro (04) *Data Loggers* (conforme especificado no Item 3.1-I). Os *Data Loggers* foram divididos em dois grupos. Três (03) deles (B, C e D) foram posicionados nos ambientes os quais seriam afetados primariamente pela instalação do SVV, excetuando-se o ambiente térreo, pois seu contato com o solo provoca uma manutenção térmica que iria imprimir uma diferença significante entre os valores obtidos. O quarto *data logger* (A) foi instalado externamente ao prédio, funcionando como uma estação climática para obtenção de dados para a criação do arquivo climático necessário à calibração do modelo. As posições dos *data loggers* podem ser vistas na Figura 10.

Figura 10 – Posicionamento dos data loggers



Fonte: O autor.

Os *data loggers* internos B, C e D, foram instalados internamente ao edifício, em um abrigo suspenso envolto em material refletivo (Imagem 3) no centro do ambiente de coleta a uma altura de 1,50m do piso. O *data logger* externo A foi instalado na sacada do edifício a uma altura de 1,00m do piso, em um abrigo protetor de radiação simples (Imagem 4). Este abrigo externo foi construído conforme sugerido pelo comunicado técnico 345 da Embrapa (JÚNIOR et al., 2017).

Imagem 3 – Abrigo interno



Fonte: O autor.

Imagem 4 – Abrigo externo



Fonte: O autor.

Os *data loggers* foram programados para coletar dados de temperatura e umidade relativa do ar a cada 15 minutos dentro do período estipulado de 14 dias. A coleta de todos os *data loggers* foi iniciada às 11h00 do dia 18 de novembro de2020 e encerrada às 11h00 do dia 02 de dezembro de 2020. Os dados medidos foram extraídos via o *software HOBOware* e utilizados para a obtenção das temperaturas e umidades médias horárias. Em seguida estes valores foram corrigidos considerando os erros de cada equipamento em contraste com o erro apresentado pelo medidor de stress térmico calibrado. Os dados obtidos permitiram a geração dos Gráficos apresentados no APÊNDICE D.

A análise dos gráficos permitiu verificar que a temperatura dos ambientes internos varia entre 23°C e 30°C, enquanto que a externa varia entre 18°C e 38°C. Esta manutenção de elevadas temperaturas internas é indicação de que os ambientes de coleta tiveram trocas mínimas de ar com o meio externo, apenas por infiltração por frestas, dada a situação de isolamento provocado pela pandemia no período de medição. Já a umidade relativa do ar apresenta variação entre 50% a 70% nos ambientes internos e de 30% a 90% na medição externa. A elevada umidade medida externamente nos dias 18/11/2020 e 19/11/2020 é devida às fortes chuvas ocorridas no início do período de medição, como pode-se inferir pela umidade e temperatura apresentadas nos gráficos do APÊNDICE D. A análise das duas grandezas medidas mostra que com o aumento de temperatura há uma redução na umidade dos ambientes nos quais os dados foram coletados.

A partir dos dados medidos temos que as médias diárias registradas internamente oscilam entre 23,72 °C e 29,73 °C conforme se observa na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo dos dados medidos

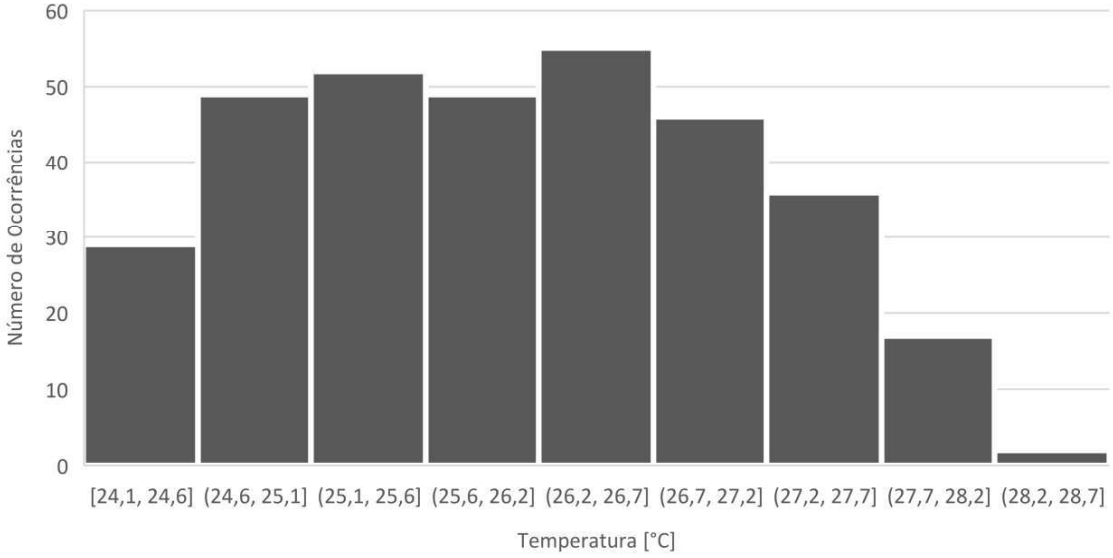
	Dados			
Data loggers	**A - Externo**	**B - 2° Andar**	**C - 3° Andar**	**D - 4° Andar**
Temperatura mínima registrada	18,52 °C	24,12 °C	24,50 °C	24,90 °C
Temperatura máxima registrada	38,01 °C	28,28 °C	28,84 °C	30,23 °C
Amplitude máxima	19,50 °C	4,16 °C	4,34 °C	5,32 °C
Temperatura média	24,80 °C	26,04 °C	26,48 °C	27,35 °C
Umidade relativa mínima registrada	31,07 %	52,47 %	53,18 %	51,88 %
Umidade relativa máxima registrada	88,03 %	69,40 %	70,79 %	69,44 %
Umidade relativa média	61,42 %	61,28 %	61,50 %	60,19 %

Fonte: O autor.

Utilizando o *Software R* e os dados de temperatura coletados nos três pavimentos internamente, desenvolveu-se um teste de ANOVA para verificar quais são os fatores de maior influência na TO. Primeiramente avaliou-se a normalidade da distribuição das temperaturas pelo teste de Shapiro-Wilk e observou-se que a amostra não apresenta distribuição normal. A aplicação do teste de ANOVA se manteve devido à sua robustez.

Os dados coletados durante o período de medição representam um n amostral de mais de 1300 registros de temperatura. No Gráfico 4 foi apresentada a distribuição das temperaturas médias horárias, na qual pode-se perceber aproximação de uma distribuição normal.

Gráfico 4 – Distribuição das médias horárias de TO medidas com o *data logger* B (segundo andar)



Fonte: O autor.

O teste de ANOVA foi realizado, por meio do *software R*, para avaliar a relação e influência do andar e hora do dia na temperatura medida. Desta forma obtiveram-se os resultados apresentados no Quadro 7:

Quadro 7 – Teste ANOVA para avaliação dos parâmetros de influência da temperatura

Parâmetro avaliado	**P-valor**	**Nível de significância**
Andar do edifício	0.0007284	'***' (alto)
Hora do dia	0.3637360	' ' (irrelevante)
Combinação (Andar-Hora)	0.4525249	' ' (irrelevante)

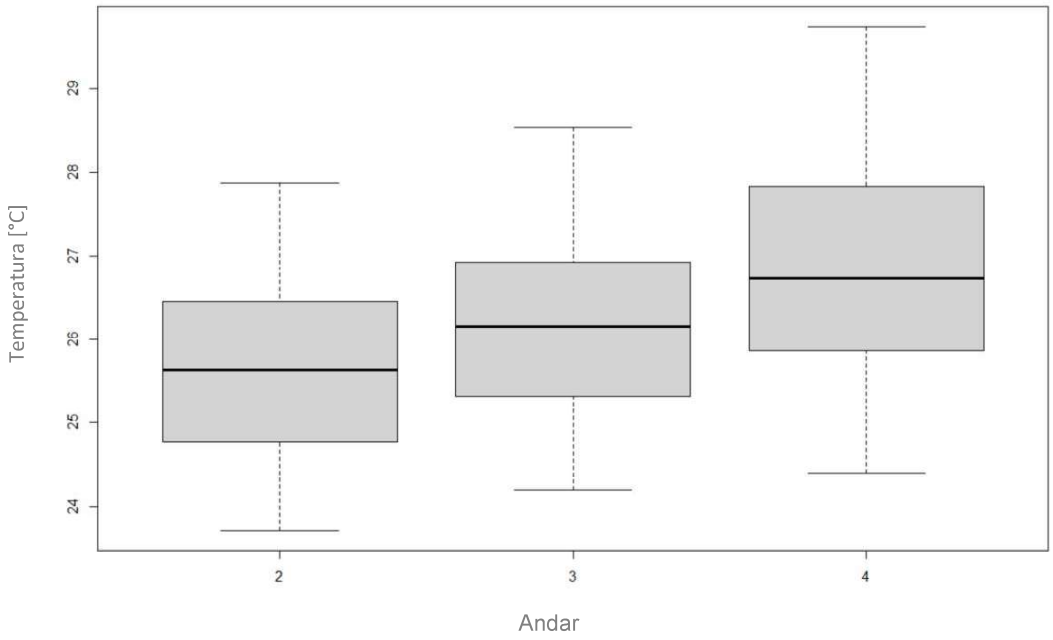
Fonte: O autor.

Na análise do Quadro 7 pôde-se perceber que a variável que apresenta uma relação significativa (nível alto) de influência na TO medida é o andar de coleta da

mesma. Avaliando-se todas as temperaturas medidas nos 3 pavimentos temos que, conforme pode-se perceber nos Gráficos apresentados no APÊNDICE D, a variação horária de temperatura é similar para todos os andares, dado o fato de este parâmetro influi nos ambientes da mesma forma. Já a análise de temperatura entre os andares mostra que há diferença significativa para a temperatura medida a depender da distância em que o ponto de coleta se distancia do solo.

Para verificar como a variação de andar influi na TO, realizou-se uma representação das temperaturas medidas com um gráfico de *BoxPlot* no *software R*.

Gráfico 5 – Gráfico *BoxPlot*: TemperaturaxAndar



Fonte: O autor.

O Gráfico 5 demonstra que há uma elevação de temperaturas juntamente da elevação dos andares do edifício objeto de estudo dessa pesquisa. Em síntese, foi percebido que a variação de temperatura entre os andares apresentou uma elevação crescente, com o aumento do distanciamento do solo.

Visando confirmar o aumento de temperatura com a elevação dos andares foi realizada uma análise por meio do teste de T-Student para verificar a diferença das médias das temperaturas medidas.

Quadro 8 – Teste de T-Student entre temperaturas medidas nos ambientes do objeto de estudo

Comparação	P-valor	Médias
2º e 3º andares	2.779e-11	2º andar: 25.64727 | 3º andar: 26.18095
2º e 4º andares	< 2.2e-16	2º andar: 25.64727 | 4º andar: 26.85560
3º e 4º andares	2.017e-13	3º andar: 26.18095 | 3º andar: 26.18095

Fonte: O autor.

O Quadro 8 apresenta valores de p inferiores a 0,05 para as três analises desenvolvidas, rejeitando a hipótese nula, o que demonstra que as medias de temperaturas entre os ambientes são estatisticamente diferentes nos três casos, juntamente do apresentado no Gráfico 5, temos a evidencia do aumento das temperaturas.

Este aumento pôde ser entendido devido a dois fatores principais, o primeiro deve-se ao reduzido índice de sombreamento que os elementos ao entorno do objeto de estudo implicam sobre o mesmo, conforme apresentado no Item 4.6, a seguir, temos que o índice de sombreamento para a parede alvo do SVV no 4° andar foi de 2,7%, enquanto que no 2° andar este índice foi de 9,2%, sendo este último cerca de 2,5 vezes maior que o anterior. O segundo fator identificado como responsável por proporcionar esta variação foi o método de execução e manutenção da laje de cobertura da edificação, uma vez que a mesma foi alterada removendo-se o cobrimento de telhamento e o substituindo por um sistema de impermeabilização com camada de apenas 2,5cm de espuma rígida de poliuretano, conforme ANEXO F, coberta por argamassa cuja manutenção implicou em um índice de absortância solar superior a 0,75, devido ao acúmulo de partículas de poeira, entre outras, nessa área.

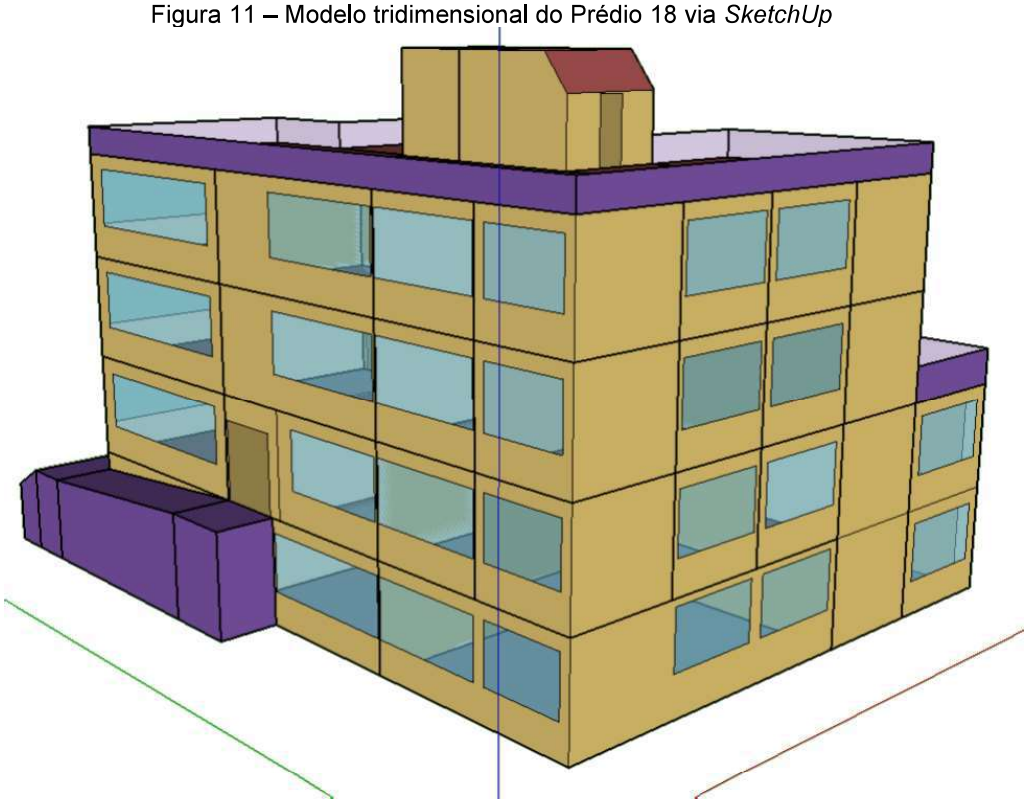
4.4. MODELAGEM DO OBJETO DE ESTUDO

Esta etapa foi desenvolvida com base nos resultados obtidos no capitulo 4.1 referentes às informações coletadas do objeto de estudo.

4.4.1. Modelagem Geométrica

Esta etapa foi realizada a com base em visitas ao local em conjunto com o uso dos projetos arquitetônicos do mesmo (ANEXOS A, B, C, D e E). Para a modelagem tridimensional foi utilizado o *software SketchUp Make* juntamente do *plug in Euclid*. O modelo final é apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Modelo tridimensional do Prédio 18 via *SketchUp*



Fonte: O autor.

4.4.2. Modelagem Paramétrica

Em seguida, no *software EnergyPlus*, foram inseridos os *inputs* de dados paramétricos referentes à constituição do modelo de forma a que o mesmo se fizesse apto à simulação teste para verificação de erros. Estes dados estão apresentados nos Quadros 9 e 10. Ressalta-se que devido a impossibilidade de obter-se o memorial construtivo detalhado do edifício foram utilizados os métodos e materiais construtivos determinados por normas e portarias (conforme Quadro 9), considerando as informações dos projetos arquitetônicos para a melhor seleção daqueles. Esta informação foi também considerada nas etapas de calibração e simulação, uma vez que pode imprimir alterações entre os valores medidos e simulados.

Quadro 9 – Dados alterados na criação do novo arquivo climático

Grupo	Dados	Origem dos dados
Localização	Velocidade do ar	Estação meteorológica automática F501
	Latitude, longitude e elevação	*Google Earth Pro®*
	Temperatura do solo	Manual para o Método *Slab* (MAZZAFERRO et al., 2013)
Rotina	Rotinas de operação	Quadro de horários da pós-graduação Horário de funcionamento administrativo da instituição
Materiais	Concreto	NBR 15.220-2 (ABNT, 2008)
	Manta asfáltica	
	Madeira	
	Gesso (placa)	
	Argamassa comum	
	Poliestireno expandido	
	Poliestireno extrudado	
	Cerâmica	
	Vidro	
	Resistência do ar	
Método construtivo	Laje (piso)	Anexo V – Portaria INMETRO n° 50 (INMETRO, 2013)
	Alvenaria interna	
	Alvenaria externa	
	Laje (teto)	
Cargas internas	Iluminação	Visitação, projeto de instalações e catálogos de equipamentos
	Equipamentos	

Fonte: O autor.

Quadro 10 – Composição dos sistemas construtivos

Sistema	Composição	Materiais
Exterior Floor	Laje de concreto	Concreto
Interior Floor	Laje de concreto Forro de gesso	Concreto Gesso (placa)
Exterior Wall	Reboco externo Bloco equivalente[10] 20 cm Camada de ar Bloco equivalente 20 cm Reboco interno	Argamassa comum Cerâmica Ar
Interior Wall	Reboco externo Bloco equivalente 15 cm Camada de ar Bloco equivalente 15 cm Reboco interno	Argamassa comum Cerâmica Ar
Exterior Roof	Forro de gesso Camada de ar Laje de concreto Argamassa Poliestireno expandido Poliestireno extrudado Argamassa	Gesso (placa) Ar Concreto Argamassa comum Poliestireno expandido Poliestireno extrudado
Interior Ceiling	Forro de gesso Camada de ar Laje de concreto	Gesso (placa) Ar Concreto
Exterior Window	Janela de vidro	Vidro
Exterior Door	Porta de Vidro	Vidro
Interior Door	Porta de Madeira	Madeira

Fonte: O autor.

Para o desenvolvimento do modelo foram selecionados valores específicos para as características termoenergéticas requisitadas para os *inputs* dos parâmetros utilizados na definição dos materiais aplicados. Os valores utilizados estão apresentados na Tabela 3. Estes são os valores nos quais, posteriormente, foram realizadas adaptações visando a calibração do modelo desenvolvido.

[10] Para a simulação via *EnergyPlus* elementos mais complexos são convertidos em elementos equivalentes compostos por camadas de materiais que o constituem. Ao fim o elemento equivalente deve apresentar características térmicas semelhantes ao elemento original (Ordenes et al. 2003).

Tabela 3 – Propriedades térmicas dos materiais utilizados na pesquisa

Materiais	Propriedades Térmicas				
	Espessura [m]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m³]	Calor Específico (J/(kg.K))	Resistência Térmica [m².K/W]
Argamassa comum	0,03	1,15	2000	1000	-
Cerâmica	VAR	1	1138,38	920	-
Concreto	VAR	1,75	2400	1000	-
Gesso (placa)	0,02	0,35	900	840	-
Madeira	0,03	0,15	600	1340	-
Manta asfáltica	0,007	0,23	1000	1460	-
Poliestireno expandido	0,025	0,04	15	1420	-
Poliestireno extrudado	0,002	0,035	25	1420	-
Vidro	0,004	1	2500	0,84	-
Ar	VAR	-	-	-	0,17 ou 0,21

Fonte: NBR 15.220-2 (ABNT, 2008).

Os valores utilizados para a absortância térmica, solar e visível foram os sugeridos como padrão pelo *software*, salvo para o parâmetro relativo ao reboco interno e externo, caso no qual foram usados os valores 0,4 e 0,76, respectivamente para as absortâncias solar e visível, sendo estes medidos *in loco* com uso de espectrofotômetro de refletância conforme descrito no Item 3.1.

Os ambientes da edificação foram separados em quatro grupos, sendo eles: 'Sala de aula', 'Laboratório', 'Circulação' e 'Administrativo'. O Quadro 11 a seguir apresenta um resumo da distribuição de ambientes, pelos seus tipos, por cada pavimento. Estas áreas podem ser verificadas nos ANEXOS B, C, D e E.

Quadro 11 – Resumo dos ambientes da edificação

Pavimento	Ambiente	Quantidade
1°	Administrativo (sala pesquisa)	1
	Circulação (escada, corredor, hall e convivência)	3
	Laboratório (máquinas de corte e pórtico)	2
2°	Sala de aula	1
	Administrativo (salas de pesquisa, secretaria, servidor)	6
	Circulação (escada, corredor, hall e cozinha)	4
3°	Sala de aula	1
	Administrativo (salas de pesquisa, salas dos professores e gabinetes)	9
	Circulação (escada, hall e corredor)	3
	Externo	1
4°	Administrativo (salas de pesquisa)	2
	Circulação (escada, hall, corredor, convivência)	5
	Laboratório (térmico, sólidos e químicos)	3

Fonte: O autor.

A determinação do nível de iluminação proporcionada por iluminação elétrica, bem como a taxa de consumo de equipamentos dos ambientes foi realizada por meio da análise dos projetos elétricos, iluminação e visitas em campo para correção das

informações apresentadas nos projetos e checagem das informações dos equipamentos utilizados. Disso, gerou-se a Tabela 4 a seguir, que apresenta em resumo a média de potência por área aplicada a cada tipo de ambiente do edifício e a média de pessoas que utilizam esses ambientes diariamente.

Tabela 4 – Resumo de caracteristicas de utilização dos ambientes do objeto de estudo

Ambientes		Equipamento elétrico [W/m²]	Iluminação [W/m²]	Número de pessoas
1° andar	Administrativo	30	4,5	8
	Circulação	-	4,9	2
	Laboratório	11	7,1	3
2° andar	Sala de aula	1	5,8	20
	Administrativo	14,8	5,4	3
	Circulação	-	5,3	5
3° andar	Sala de aula	1	7,1	20
	Administrativo	9,6	7,3	2
	Circulação	-	4,5	1
4° andar	Administrativo	10,3	6,5	2
	Circulação	-	4,7	3
	Laboratório	10,9	5,5	2

Fonte: O autor.

A etapa final do processo de desenvolvimento do modelo foi a definição da rotina de uso do mesmo. Nesta pesquisa foram utilizadas duas rotinas. Estas foram aplicadas em 2 cenários distintos que variam entre a utilização ou não da edificação, Cenários 1 e 2.

As rotinas de funcionamento, abertura e fechamento diárias estão apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12 – Resumo das rotinas de uso (*Energyplus – Schedule:Compact*)

Descrição da rotina		Geral	Cenário 1	Cenário 2
Taxa metabólica	Ano inteiro – 24 horas	120	-	-
Vestimenta	Outono – 24 horas	0,5	-	-
	Inverno – 24 horas	1,0		
	Primavera – 24 horas	0,5		
	Verão – 24 horas	0,3		
Dias da semana	Ocupação	-	*07h00 às 11h30* – 1 *11h30 às 13h00* – 0 *13h00 às 22h30* – 1 *22h30 às 07h00* – 0	0
	Iluminação			
	Uso de equipamentos			
	Ventilação (portas-demais)			
	Ventilação (janelas)			
	Ventilação (portas-sala de aula)		*07h00 às 11h30* – 0 *11h30 às 13h00* – 1 *13h00 às 22h30* – 0 *22h30 às 07h00* – 1	
Sábado	Ocupação	-	*07h00 às 12h20* – 1 *12h20 às 07h00* – 0	0
	Iluminação			
	Uso de equipamentos			
	Ventilação (portas-demais)			
	Ventilação (janelas)			
	Ventilação (portas-sala de aula)		*07h00 às 12h20* – 0 *12h20 às 07h00* – 1	
Domingo	Ocupação	-	24 horas – 0	0
	Iluminação			
	Uso de equipamentos			
	Ventilação (portas-demais)			
	Ventilação (janelas)			
	Ventilação (portas-sala de aula)		24 horas – 0	

Fonte: O autor.

Destaca-se aqui que o modelo para calibração foi considerando desocupado, sem fluxo de ar, nem utilização de equipamentos ou sistema de iluminação, denominado Cenário 2. Isto se deve ao fato de que o período de coleta dos dados do edifício que é objeto de estudo desta pesquisa ocorreu durante a pandemia do Sars-CoV-2. Nesse período as atividades no edifício foram suspensas e o acesso ao mesmo foi restrito, portanto a simulação de campo, utilizada para a calibração, reflete a não utilização do edifício neste momento de sua modelagem.

De forma complementar, foram modelados também outros dois cenários. Sendo denominado de Cenário 1 aquele que reproduz a utilização regular do edifício ao longo do último semestre letivo presencial, ocorrido no ano de 2019.

4.5. CALIBRAÇÃO DO MODELO

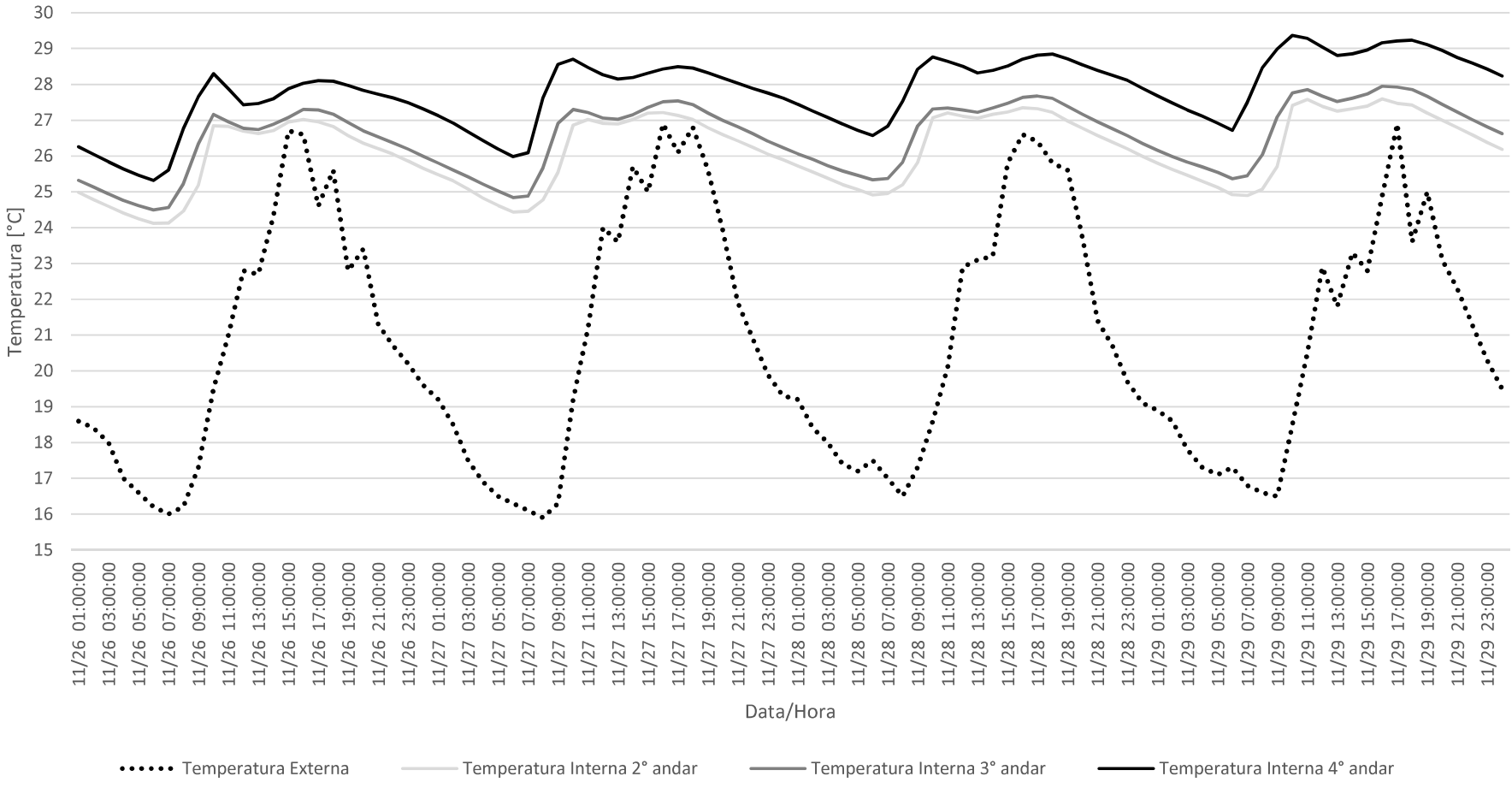
A etapa de calibração do modelo desenvolvido consistiu em duas fases principais, sendo a primeira relativa ao desenvolvimento de um arquivo climático específico para o período de coleta dos dados e, na sequência, a adaptação paramétrica do modelo de forma a permitir que o mesmo apresente valores de *output* similares aos medidos no objeto de estudo.

4.5.1. Seleção do período de calibração

O processo de calibração recomendado por Lamberts *et al*. (2010) consiste na escolha de três dias consecutivos para a análise, sendo assim estabelecido o regime permanente da edificação. Esta escolha foi feita buscando sequências de dias pelos quais o comportamento dos dados climáticos passíveis de obtenção se mostrasse semelhante. Para isso foram analisados os dados de ambiente externo medidos pelo pesquisador, bem como os dados de uma estação climática automática do INMET.

Dentro do período de coleta (entre 18/11/2020 e 02/12/2020) foram encontradas duas sequências de 72 horas que apresentavam similaridade contínua nos dados, sendo os períodos de 20 a 23 de novembro e 26 a 29 de novembro. Selecionou-se o segundo período, 26 a 29 de novembro para esta etapa, pois o mesmo demonstrou também maior similaridade nos dados medidos internamente, conforme apresentado no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Temperaturas medidas entre 26 e 29 de novembro



Fonte: O autor.

4.5.2. Criação do arquivo climático ajustado para calibração

Este trabalho utilizou um arquivo climático, do tipo *Solar and Wind Energy Resource Assessment* - SWERA, atualizado no ano de 2018 pela equipe do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Para a fase de calibração, o arquivo climático do LabEEE foi alterado manualmente pelo autor, com a substituição dos dados do arquivo climático referentes ao período de 15 dias de coleta *in loco*, realizada entre 18/11/2020 e 02/12/2020, por dados mensurados pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e disponibilizados via site (INMET, 2021),

Os dados de radiação direta e difusa foram calculados com o uso da ferramenta *Weather Converter* do próprio *software* Energyplus, uma vez que a estação automática forneceu apenas os dados de radiação solar global.

A alteração foi efetuada com o uso do *software Elements* e consistiu na substituição dos dados do arquivo climático relativos ao período mencionado, relacionados no Quadro 13 abaixo.

Quadro 13 – Dados alterados na criação do novo arquivo climático ajustado

Parâmetro alterado	Origem dos novos dados
Temperatura de bulbo seco [°C]	Estação meteorológica automática F501
Pressão atmosférica [kPa]	Estação meteorológica automática F501
Umidade relativa [%]	Estação meteorológica automática F501
Radiação solar global [Wh/m²]	Estação meteorológica automática F501
Radiação solar direta [Wh/m²]	Calculado pelo algoritmo do *EnergyPlus*
Radiação solar difusa [Wh/m²]	Calculado pelo algoritmo do *EnergyPlus*
Velocidade do vento [m/s]	Estação meteorológica automática F501

Fonte: O autor.

Para a validação do arquivo climático a ser utilizado na pesquisa foram realizadas análises estatísticas comparando valores medidos e simulados de um mesmo ambiente, usando dois arquivos climáticos distintos: LabEEE e Ajustado.

A primeira análise feita foi comparação entre as médias de TBS dos arquivos climáticos do LabEEE e temperatura da estação F501. Esta análise foi realizada por meio de um teste de Wilcoxon pareado, conforme Quadro 14.

Quadro 14 – Teste Wilcoxon entre temperaturas simuladas via *EnergyPlus* dos arquivos climáticos do LabEEE e da estação F501

Comparação	P-valor
LabEEE x Estação F501	0.008825

Fonte: O autor.

Da análise do teste, podemos afirmar que as médias das distribuições de TBS são diferentes entre as duas amostras, indicando que estas têm tendências diferentes, pois o p-valor do teste é inferior a 0,05.

Em seguida foram realizadas duas simulações, a primeira tendo como entrada o arquivo climático LABEEE e a segunda, com o arquivo climático ajustado (Estação F501). O valor de TBS obtido nas simulações foi comparado com o valor de TBS medido, por meio do teste de T-Student pareado via *RStudio*, e a relação entre as médias pode ser verificada no Quadro 15.

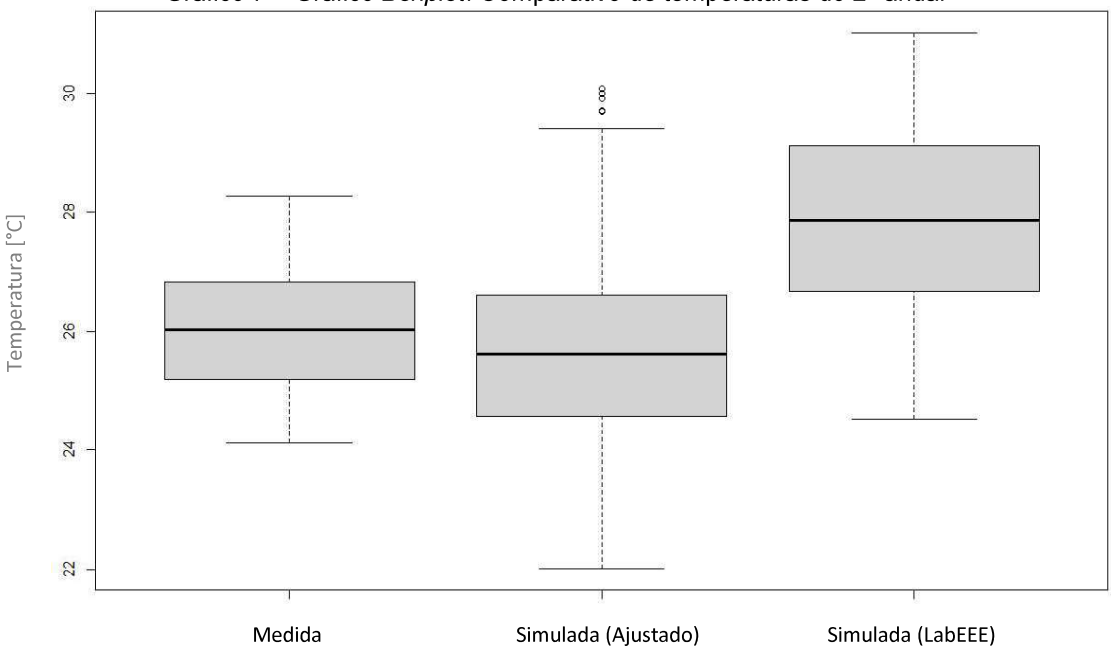
Quadro 15 – Teste de T-Student entre temperaturas medida e simuladas com os arquivos climáticos LABEEE e Ajustado

Andar	Comparação	P-valor	Médias
2°	Medida X Simulada LabEEE	< 2.2e-16	Medida: 26.04727 | Simulada LABEEE: 27.87186
	Medida X Simulada Ajustado	7.176e-06	Medida: 26.04727 | Simulada Ajustado: 25.58505
3°	Medida X Simulada LabEEE	< 2.2e-16	Medida: 26.48095 | Simulada LABEEE: 29.60480
	Medida X Simulada Ajustado	0.00227	Medida: 26.48095 | Simulada Ajustado: 26.82188
4°	Medida X Simulada LabEEE	< 2.2e-16	Medida: 27.35560 | Simulada LABEEE: 30.63343
	Medida X Simulada Ajustado	0.1396	Medida: 27.35560 | Simulada Ajustado: 27.55874

Fonte: O autor.

Os testes estatísticos realizados mostram que ambas as médias de TBS simuladas são distintas (são estatisticamente diferentes) da média de TBS mensurada no 2º andar, indicando que os arquivos climáticos usados como entrada (LABEEE e Ajustado) produzem resultados diferentes. Além disso, têm-se que a diferença entre a média da TBS mensurada no 2o andar e as TBS simuladas é menor para a TBS simulada com o arquivo climático Ajustado, indicando que, com o uso deste, os valores de temperatura simulada se aproximam mais dos valores medidos. Esta análise é corroborada pelo Gráfico 7.

Gráfico 7 – Gráfico *Boxplot*: Comparativo de temperaturas do 2° andar



Fonte: O autor.

Ao fim da análise, selecionou-se o arquivo climático Ajustado para ser aplicado ao modelo, pois a análise estatística feita entre os dados de TBS medidas pelo pesquisador, dados do arquivo climático do LabEEE e dados do arquivo climático ajustado com a Estação F501 mostrou que este último demonstra maior proximidade com os dados medidos.

Com a seleção do arquivo climático concluída, prosseguiu-se com uma análise para avaliar como o processamento do *software EnergyPlus* iria influir no output de temperatura ambiental externa, comparando os dados de saída deste software com os dados obtidos da estação F501.

Por meio de análise estatística, utilizando o *software RStudio*, foi feita a verificação da aderência entre os dados de TBS da estação F501 e simulados com o arquivo climático Ajustado de todo o período de coleta (18/11/2020 a 02/12/2020). Esta análise foi feita com teste de correlação linear de Pearson, revelando uma correlação forte[11], com o valor de 0,89. Embora fosse esperado um resultado ainda mais próximo de 1,

[11] A determinação da força da correlação de Pearson é relacionada, estatisticamente, a quantidade de observações analisadas quando de sua avaliação. Aceita-se que as correlações tenham a seguinte siginificância (AKOGLU, 2018):

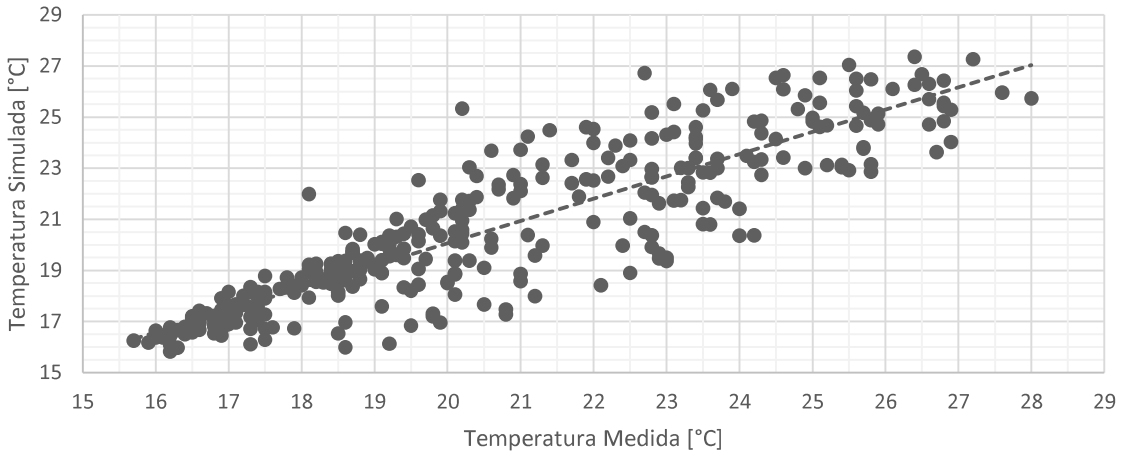
- [0] correlação inexistentes; (0; 0,3] correlação fraca; (0,3; 0,7) correlação moderada; [0,7; 1) correlação forte; [1] correlação perfeita.

a divergência ocorrida entre os dados medidos e a saída simulada de temperatura pode ocorrer em razão de alguns fatores:

1. O *software Elements*, utilizado para a criação do arquivo climático aplicada a fase de calibração performa cálculos adaptativos dos valores conforme estes são alterados em função dos demais dados contidos no arquivo;
2. O *software Energyplus* se utiliza de algoritmos específicos de balanço térmico, sombra e convecção interna e externa que impelem iterações prévias ao início da simulação do modelo de forma a adequar o ambiente a este processo. O que implica em pequenas variações em alguns dados.

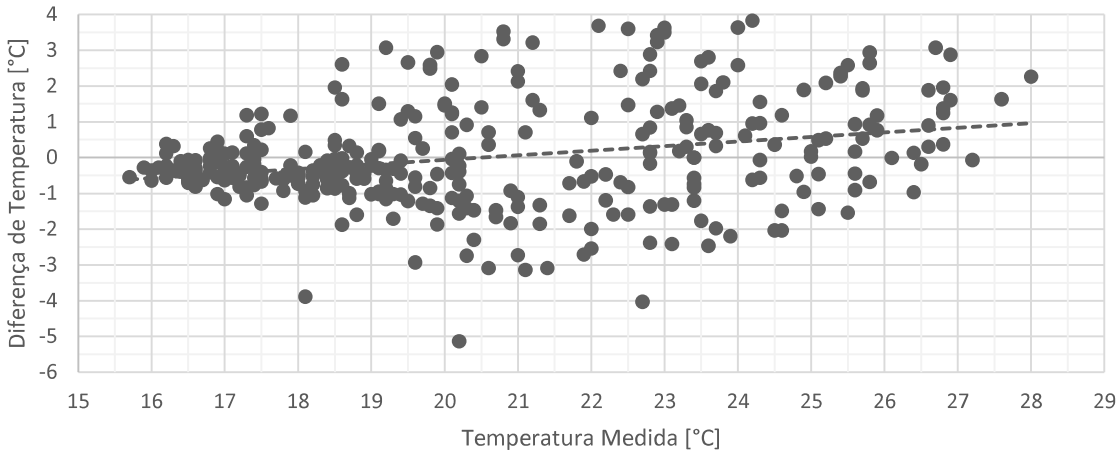
Uma avaliação gráfica feita para a análise da dispersão dos dados de temperatura medidos e simulados e sua diferença demonstra que com temperaturas medidas mais altas a tendência de dispersão foi maior tanto para a temperatura simulada, quanto para a diferença entre a temperatura medida e simulada, conforme Gráficos 8 e 9.

Gráfico 8 – Dispersão da TBS medida e simulada (arquivo climático Ajustado)



Fonte: O autor.

Gráfico 9 – Dispersão da diferença entre TBS medida e simulada (arquivo climático Ajustado)



Fonte: O autor.

A análise da diferença média de temperatura, conforme proposta por Lamberts *et al.* (2010), feita por meio da Equação 8 demonstrou que as TBS medida e simulada com o arquivo climático Ajustado no período apresentaram uma diferença média de 1,1°C, cerca de 4,56% da amplitude máxima registrada entre todos os valores do período.

Uma outra análise, feita pelo coeficiente de variação da raiz quadrada do erro quadrático médio, conforme Coakley, Raftery e Reane (2014) pela Equação 9, informou que para a temperatura e umidade este coeficiente foi de 7,05% e de 7,75%, respectivamente. Por fim a análise de erro absoluto médio, também conforme Coakley, Raftery e Reane (2014) pela Equação 10, informou que para a temperatura este coeficiente foi de 0,07%. As diferenças encontradas entre os dados medidos e simulados foram consideradas como aceitáveis, por estarem dentro dos limites propostos pelos autores. Sendo assim entende-se que o *output* da simulação da temperatura externa, apesar de estatisticamente diferente dos dados oriundos da estação F501, apresenta uma diferença aceitável entre os valores comparados, como é corroborado pelo resultado da análise do coeficiente de Pearson.

Equação 8 – Valor de diferença média

$$Dm\ [°C] = \frac{\sum_{i=1}^{N} |s_i - m_i|}{N}$$

Fonte: (LAMBERTS et al., 2010).

Equação 9 – Coeficiente de variação da raiz quadrada do erro quadrático médio

$$CV\ RMSE\ [\%] = \frac{\sqrt{(\sum_{i=1}^{N} (m_i - s_i)^2 / N)}}{\overline{m}}$$

Fonte: (COAKLEY; RAFTERY; KEANE, 2014, LAMBERTS et al., 2010)

Equação 10 – Erro absoluto médio

$$MBE\ [\%] = \frac{\sum_{i=1}^{N}(m_i - s_i)}{\sum_{i=1}^{N}(m_i)}$$

Fonte: (COAKLEY; RAFTERY; KEANE, 2014, LAMBERTS et al., 2010)

Onde:

m_i corresponde aos dados medidos; $\overline{m}$ corresponde à média dos dados medidos; s_i corresponde aos dados simulados; N corresponde ao número de dados no intervalo avaliado.

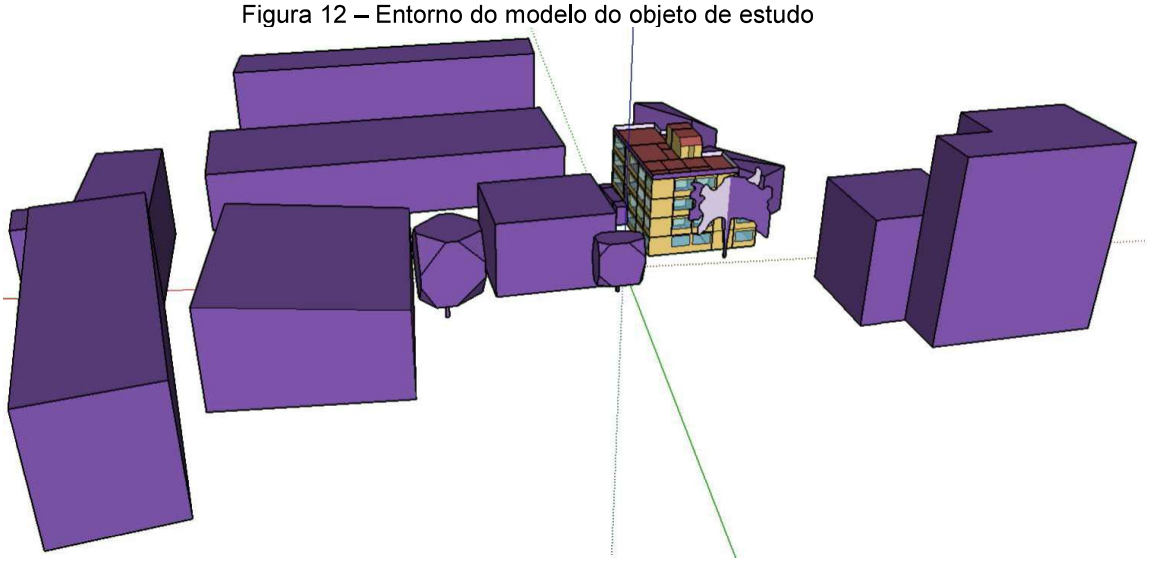
4.5.3. Calibração do modelo: Ajuste dos parâmetros físicos

Nesta fase foram simulados os aspectos climáticos do objeto de estudo modelado, com auxílio do *software Energyplus,* utilizando-se como *input* o arquivo climático Ajustado com os dados da estação F501. Para o desenvolvimento desta etapa foram analisados os resultados de *output* da simulação para a TO de um dos ambientes da edificação. Para esta pesquisa foram utilizados os ambientes B, C e D como referência para o processo de ajuste para a calibração do modelo no período selecionado. Desta forma, foram analisados os dados de *output* da simulação e comparados aos dados medidos nos mesmos ambientes do objeto de estudo.

Foi realizada a adequação do entorno do modelo inserindo elementos de sombra para que estes representassem a influência das árvores e demais construções nas proximidades do edifício selecionado para o estudo de caso. A inclusão de elementos de sombra simplificados como representação na modelagem tridimensional de simulações térmicas é recomendada quando entende-se que a ação preponderante sobre o objeto de análise é realizada pelo efeito de sombreamento (FLORES LARSEN et al., 2015).

Como as espécies vegetais que circundam o edifício apresentam folhagem do tipo perenifólia, foi adotada a estratégia proposta por Larsen *et al.* (2015) do “Método Simplificado de Simulação do SVV” para a modelagem dos elementos vegetais que compõe o entorno do objeto de estudo. A Figura 12 apresenta o modelo com a adição dos elementos de sombra que compõe seus arredores, buscando replicar as estruturas que geram sombras conforme visto na Figura 13.

Figura 12 – Entorno do modelo do objeto de estudo



Fonte: O autor.

Figura 13 – Imagem de satélite do entorno



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

Com o modelo tendo seu entorno ajustado e a opção pelo uso do arquivo climático Ajustado a adaptação paramétrica dos materiais constituintes do edifício modelado foi iniciada. Para o desenvolvimento desta fase foram selecionados os campos das propriedades dos materiais aplicados à simulação no *software Energyplus*. A adaptação paramétrica dos materiais constituintes do modelo foi realizada por meio de simulações baseadas na variação desses parâmetros buscando valores ideais, que permitissem que os *outputs* das simulações do modelo se aproximassem dos valores medidos para um cenário específico. A adaptação paramétrica foi desenvolvida com

a realização de acréscimos ou decréscimos nos valores dos parâmetros originais do modelo. Estas variações foram realizadas com 10% dos valores originais, se aplicável este tipo de variação, ou de 0,1 unidade do parâmetro, se aplicável este tipo de variação, ou ainda modificação de parâmetro para o nível imediatamente superior ou inferior ao parâmetro original, se aplicável este tipo de variação. Quando a alteração do parâmetro leva à melhoria dos índices que indicam aproximação entre valor simulado e medido, esta alteração de parâmetro é mantida e segue-se para o próximo parâmetro até que sejam atingidos índices considerados como satisfatórios para o pesquisador.

Este procedimento apresenta-se resumido na Tabela 5, onde temos que o valor de Diferença média foi calculado conforme apresentado previamente na Equação 8, o coeficiente de variação da raiz quadrada do erro quadrático médio (CV RMSE) foi calculado conforme Equação 9, a análise de erro absoluto médio (BEM) foi calculado pela Equação 10 e a correlação linear de Pearson foi calculada com o uso do *software RStudio*.

Tabela 5 – Controle de calibração do modelo (2° andar no periodo de 26 a 29 de novembro)

Número	Parâmetro	Alteração	Diferença média	MBE	CV RMSE	Pearson	Mantido?
0	Modelo inicial	–	1,33°C	4,42%	5,86%	0,8529520	–
1	Densidade	+ 10%	1,29°C	4,47%	5,73%	0,8420547	Sim
2		- 10%	1,36°C	4,32%	5,99%	0,8639895	Não
3	Absortância solar	+ 0,1	1,17°C	3,44%	5,17%	0,8399250	Sim
4		- 0,1	1,46°C	5,54%	6,46%	0,8440897	Não
5	Espessura	+ 10%	0,98°C	3,09%	4,42%	0,8083566	Sim
6		- 10%	1,37°C	3,73%	6,01%	0,8783991	Não
7	Condutividade	+ 10%	1,02°C	3,31%	4,61%	0,8057520	Não
8		- 10%	1,40°C	5,37%	6,05%	0,8017545	Não
9	Calor específico	+ 10%	0,92°C	3,06%	4,23%	0,7987840	Sim
10		- 10%	1,03°C	3,09%	4,63%	0,8199254	Não
11	Rugosidade	Aumento	0,92°C	3,07%	4,24%	0,7987736	Não
12		Redução	0,82°C	2,23%	3,76%	0,7928480	Sim
13	Absortância visível	+ 0,1	0,82°C	2,23%	3,76%	0,7928480	Não
14		- 0,1	0,82°C	2,23%	3,76%	0,7928480	Não
15	Absortância térmica	+ 0,1	1,10°C	2,91%	5,62%	0,7931625	Não
16		- 0,1	0,75°C	1,51%	3,44%	0,7934771	Sim

Fonte: O autor.

A primeira iteração foi feita com o modelo de calibração, usando os parâmetros de propriedades térmicas estabelecidos pelo Anexo V – Portaria INMETRO n° 50 (INMETRO, 2013) em conjunto dos dados de projeto obtidos e foi desenvolvida para o período de calibração (26/11/2020 a 29/11/2020), este foi considerado o cenário inicial. Essa iteração (número 0 na Tabela 5), resultou, no 2° andar do edifício, em

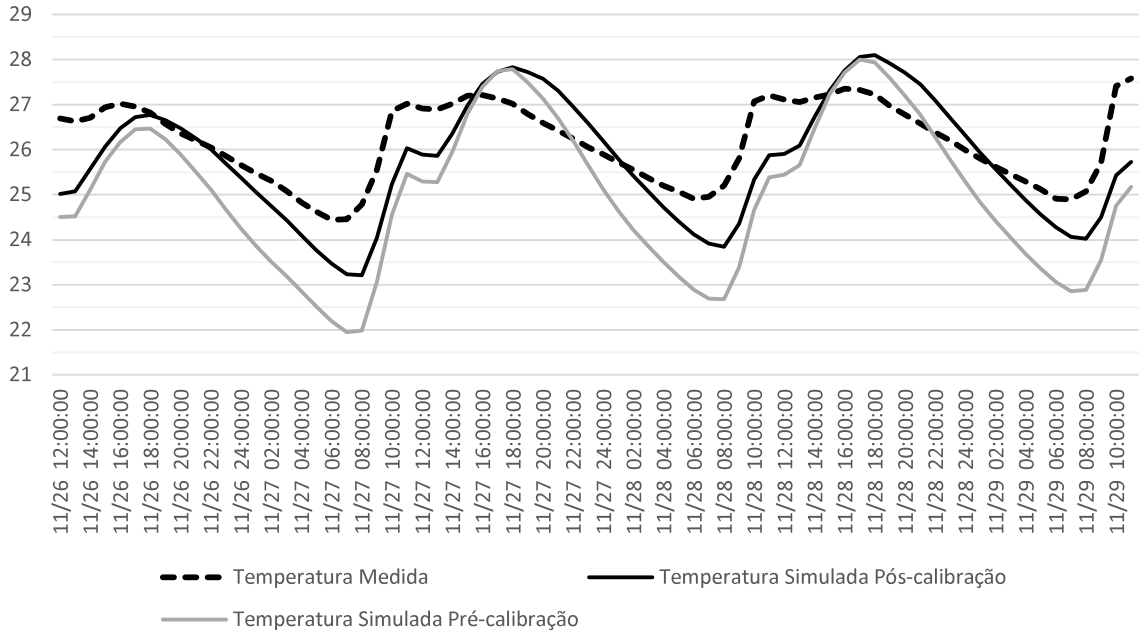
uma diferença média de TO de 1,33°C e um coeficiente de variação da raiz quadrada do erro quadrático médio de 5,86%. Este ambiente foi o que apresentou menor diferença média de temperatura, bem como menor erro quadrático médio, portanto foi o selecionado para a avalição de validação da simulação.

Tendo a primeira iteração como modelo base (número 0) foram realizadas as variações nos parâmetros do modelo (Tabela 5), ergo o processo de calibração, visando validar o modelo por via de comparação com os dados medidos. Este processo foi controlado e seu registro está apresentado na Tabela 5. A segunda coluna da Tabela 5 apresenta o parâmetro do material e a terceira coluna o intervalo de valores no qual o parâmetro foi alterado. Tal procedimento seguiu a recomendação de Pereira (2019).

Durante o processo de calibração percebeu-se que as alterações de maior significância para a redução das diferenças de temperatura foram a alteração de aumento no valor de Absortância solar e de aumento no valor da espessura. Contudo o pesquisador optou por não alterar os parâmetros para além do apresentado na Tabela 5 visando não extrapolar os limites de incerteza verificados no projeto arquitetônico obtido como referência. Uma vez que a análise estatística da correlação linear de Pearson evidenciou que todas as versões apresentaram correlação forte entre os parâmetros de análise (conforme Tabela 5), definiu-se seguir a pesquisa com a 16ª versão do modelo por apresentar os melhores resultados quanto aos demais parâmetros analisados.

O Gráfico 10 evidencia a redução de temperatura operativa horária proporcionada pelo processo de calibração. Enquanto que as temperaturas máximas se mantiveram, os picos de temperaturas mínimas simuladas foram corrigidos de 1,14°C a 1,23°C. Após a calibração a maior amplitude foi observada no dia 27/11/2020, sendo de 4,6°C.

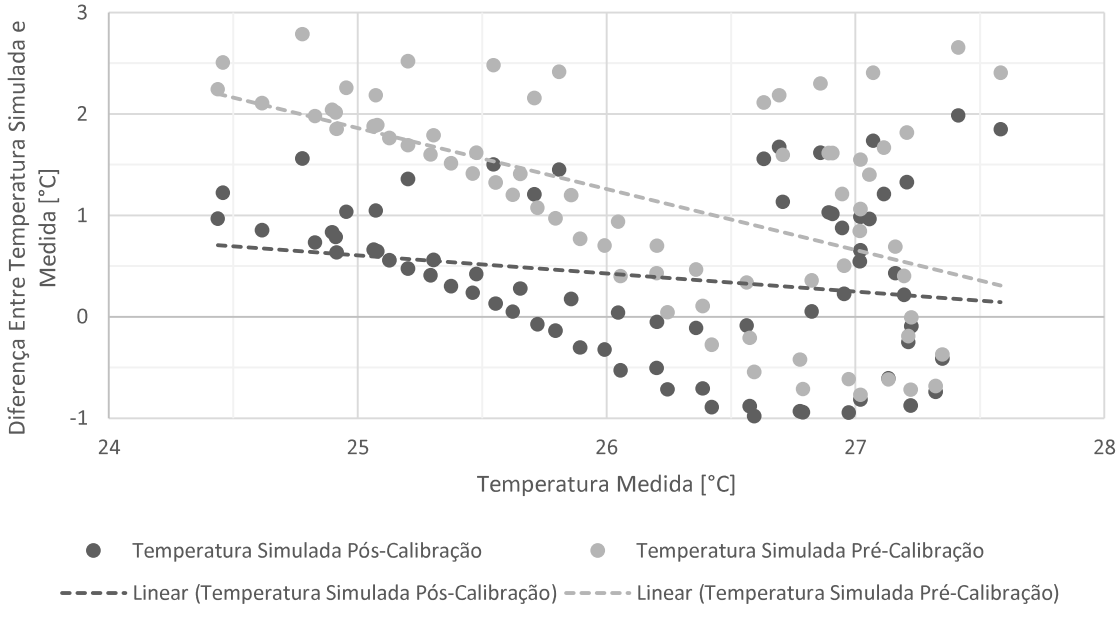
Gráfico 10 – Temperaturas medida e simulada no 2° andar entre 26 e 29 de novembro



Fonte: O autor.

A avaliação dos resultados de simulação por meio de uma análise da dispersão das diferenças de temperatura mostra que há uma tendência de crescimento das diferenças com o aumento da temperatura e também demonstra que o processo de calibração permitiu uma grande redução nas diferenças de temperatura, principalmente nas temperaturas mínimas (Gráfico 11).

Gráfico 11 – Dispersão das diferenças de temperatura no 2° andar entre 26 e 29 de novembro



Fonte: O autor.

4.6. VALIDAÇÃO DO MODELO

Após finalizado o processo de calibração para o período de tempo definido como base do modelo, procedeu-se com uma sequência de análises de outros cenários visando a validação do modelo criado. Este processo se deu pela comparação entre os dados medidos em cenários diferentes do utilizado no processo de calibração.

Tabela 6 – Análise de simulações distintas

Análise	Ambiente	Andar	Período	DMT	MBE	CV RMSE	Pearson
1	B	2°	18/11 à 02/12	0,96°C	1,77%	4,50%	0,7300914
2	C	3°	18/11 à 02/12	1,11°C	-2,93%	5,55%	0,7141590
3	D	4°	18/11 à 02/12	1,72°C	-5,53%	7,89%	0,5067229
4	B	2°	20/11 à 23/11	0,60°C	-0,06%	2,82%	0,8680909
5	B	2°	23/11 à 26/11	1,42°C	5,35%	6,32%	0,7660018
6[12]	B	2°	26/11 à 29/11	0,75°C	1,51%	3,44%	0,7934771
7	B	2°	29/11 à 01/12	1,07°C	3,98%	4,44%	0,8214104
8	C	3°	20/11 à 23/11	1,32°C	-5,03%	5,88%	0,8935914
9	C	3°	23/11 à 26/11	0,83°C	1,09%	3,80%	0,8002269
10	C	3°	26/11 à 29/11	0,86°C	-2,62%	4,17%	0,7950840
11	C	3°	29/11 à 01/12	0,40°C	-0,42%	1,98%	0,8264945
12	D	4°	20/11 à 23/11	1,97°C	-7,41%	8,53%	0,9007468
13	D	4°	23/11 à 26/11	1,05°C	-0,56%	4,85%	0,7739743
14	D	4°	26/11 à 29/11	1,82°C	-6,52%	8,01%	0,6167819
15	D	4°	29/11 à 01/12	1,03°C	-3,44%	4,40%	0,6650115

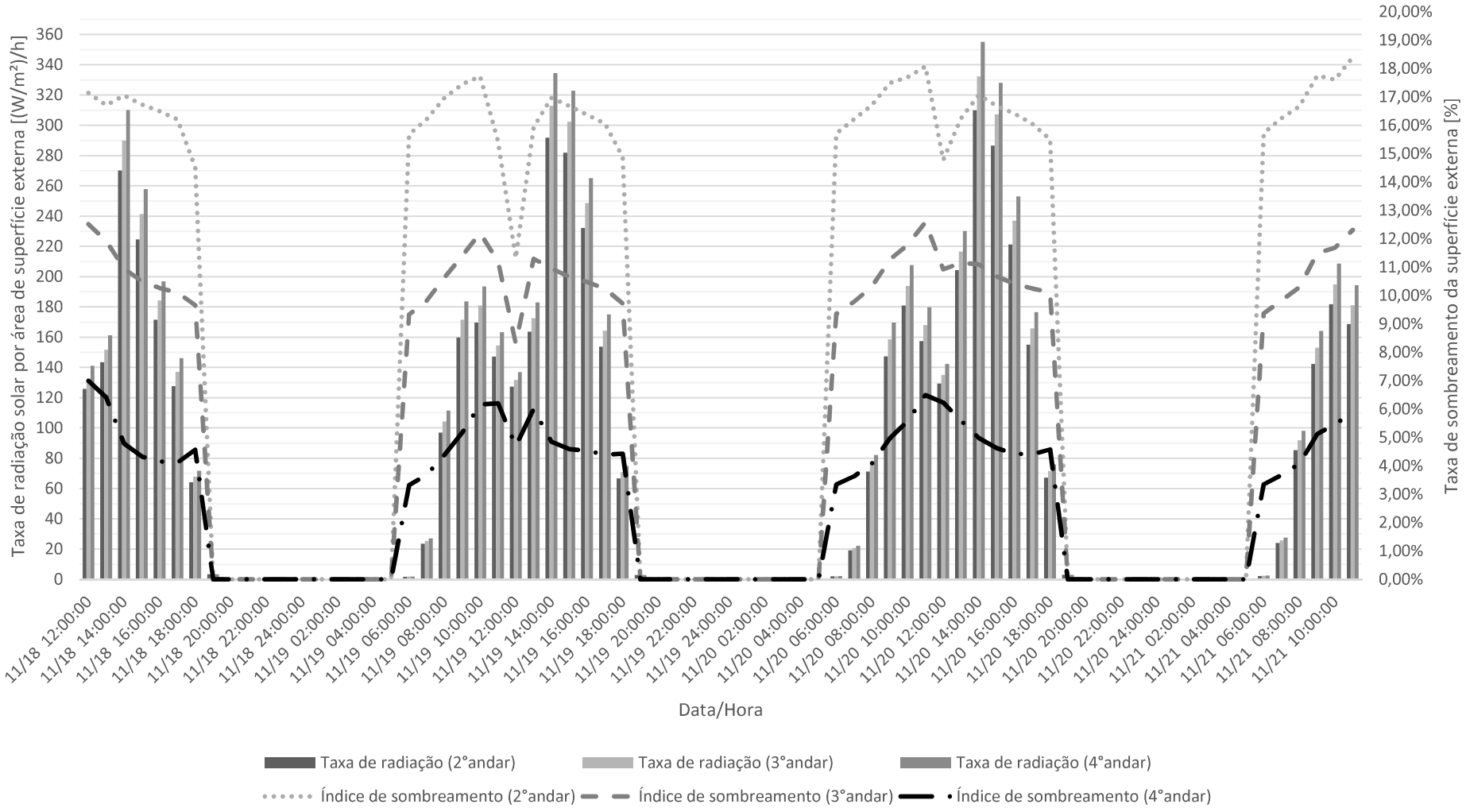
Fonte: O autor.

O processo de validação utilizado foi a conjunção do método de validade de evento e validação multi-estágio, conforme listados por Sargent (2013). A Tabela 6 mostra uma avaliação entre distintos cenários visando a validação do modelo. Foram analisadas 14 variações considerando os diferentes ambientes de medição de temperatura e diferentes períodos.

As análises resumidas na Tabela 6 demonstram que há uma tendência de que com o distanciamento do solo, crescem também a diferença média de temperatura, do coeficiente de variação da raiz quadrada do erro quadrático médio (CV RMSE) e do coeficiente linear de Pearson. Este crescimento é entendido como devido ao maior recebimento de radiação solar ao longo do dia, uma vez que os andares mais inferiores recebem maior influência de sombreamento, conforme apresentado no Gráfico 12.

[12] Valores da calibração do modelo.

Gráfico 12 – Radiação global simulada e sombreamento calculado via Energyplus



Fonte: O autor.

Após a sequência de alterações nos parâmetros do modelo, durante o processo de calibração, foram obtidos os resultados da análise de número 6. Visando validar o modelo foram performadas 14 outras simulações, sendo cada uma delas realizada em um período ou ambiente distinto daquele que foi o resultado do processo de calibração (análise 6). Neste contexto, foram avaliados os índices de diferença média de temperatura (DMT), erro absoluto médio (MBE), coeficiente de variação da raiz quadrada do erro quadrático médio (CV RMSE) e coeficiente de relação linear de Pearson.

Tendo a análise 6 como base para validação do modelo verificou-se que para o mesmo ambiente (2° andar) temos uma variação média das DMT de 35%. Desta comparação que a DMT que mais se aproximou da análise 6 foi a análise 4, ocorrida entre 20/11 a 23/11, período este com características climáticas com maior similaridade a do período utilizado para a calibração. As ocorrências climáticas nos outros períodos, como as fortes chuvas que levaram à escolha do período de 26/11 a 29/11 como período de dia típico[13], apresentam influência nos resultados das outras análises que comparam o 2° andar.

Prosseguindo com a comparação entre análises no mesmo período que a análise 6 (26/11 a 29/11), temos que a DMT varia 14% quando comparada à análise 10, referente ao 3° andar. Contudo quando avaliado o 4° andar a variação supera 140%. Esta elevada variação pode ser explicada com o aumento da imprecisão dos resultados quando do aumento de temperatura, como percebido na fase de calibração do modelo (Item 4.5.2).

Em seguida foram avaliados os demais andares, considerando como base as análises performadas no mesmo período da análise de calibração, sendo estas a análise 10 para o 3° andar e a análise 14 para o 4° andar. Assim, foi verificado que se mantendo o andar e variando-se o período de comparação, temos para o 3° andar uma variação média do DMT foi de 6%, já para o 4° andar essa variação foi de -20%.

O modelo foi considerado calibrado, uma vez que foram entendidas como satisfatórias as variações da médias das DMT's apresentadas, juntamente das médias dos índices, sendo: 1,12°C com desvio padrão de 0,44°C para a DMT; -1,39% com desvio padrão de 3,81% para a o MBE; 5,11% com desvio padrão de 1,93% de CV

[13] De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), define-se dia típico como um dia real caracterizado pelas variáveis ambientais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal.

RMSE; e 0,76 com desvio padrão de 0,10 de coeficiente de Pearson. Os coeficientes de Pearson encontrados nas 15 análises são em sua maioria fortes, com exceção aos encontrados nas análises do 4° andar, que são considerados moderados.

4.7. CENÁRIO 0 – INTRODUÇÃO DO SVV

Com o modelo do objeto de estudo pronto, calibrado e validado, seguiu-se para a primeira alteração proposta por meio de simulação: a introdução do SVV junto do modelo. O SVV foi construído computacionalmente de acordo com o método proposto na literatura por Larsen et al. (2015). Foi utilizada uma simplificação do SVV como um elemento de sombra (*BuildingShadingObject* – BSO), uma vez que esta é sua característica de maior impacto para o amortecimento térmico de ambientes. O dimensionamento do SVV a ser aplicado no modelo foi determinado por meio da análise dos projetos arquitetônicos (conforme apresentado no ANEXO A), contando com largura de 3,50m, altura de 13,00m e um afastamento da face externa da envoltória da edificação de 0,50m.

4.7.1. Método *BuildingShadingObject* (BSO)

Para esse desenvolvimento foram utilizados os valores de refletância solar e visível da literatura conforme proposto pela literatura para paredes verdes, sendo ρ_{solar} = 0,3 e ρ_{vis} = 0,05, respectivamente (OKE, 1987).

Estes valores foram inseridos como parâmetros térmicos do elemento de sombra que representa o SVV no modelo computacional. Outra alteração de parâmetros necessária para a modelagem do SVV foi a alteração do fator da face externa das alvenarias cobertas pelo SVV (*View Factor to Ground*), conforme proposto por Larsen et al. (2015), uma vez que este parâmetro implica na recepção de radiação pela superfície através do elemento de sombra que emula o SVV no modelo a ser simulado. Para a alteração deste fator utilizou-se uma taxa de 50% da transmitância solar de uma parede verde, que conforme a literatura de Oke (1987) apresenta é τ_{solar} = 0,2, portanto utilizou-se o valor de 0,1 para o *View Factor to Ground* das paredes sob o SVV nos quatro andares da edificação.

Além disso foi necessário desenvolver um cronograma para atuar como o percentual de fechamento do SVV, uma vez que com a alternância das estações a folhagem das plantas que compõe esse sistema passa por alterações que implicam

em maior ou menor taxa de sombreamento. Este cronograma foi associado ao elemento de sombra e seu conteúdo está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados de inserção para o parâmetro *Schedule:Compact* no *software* Energyplus

Período de ocorrência	*Até: 20/03*	*Até: 20/06*	*Até: 20/09*	*Até: 20/12*	*Até: 31/12*
Dias da semana	*Para: Todos os dias*	*Para: Todos os dias*	*Para: Todos os dias*	*Para: Todos os dias*	*Para: Todos os dias*
Limite de horário	*Até: 24:00*	*Até: 24:00*	*Até: 24:00*	*Até: 24:00*	*Até: 24:00*
Taxa de espaçamento	0	0,2	0,3	0,1	0

Fonte: O autor.

Esta tabela é uma réplica da seção do *software EnergyPlus* na qual se definiu a rotina de sazonalidade do elemento de sombra aplicado como SVV no modelo do objeto de estudo. A linha *Período de ocorrência* é a definição da ocorrência do processo em escada de meses e foi utilizada para limitar as estações do ano; a linha *Dias da semana* é a definição da ocorrência do processo em nível de semana; a linha *Limite de horário* é a definição da ocorrência do processo em nível de horas e está programada para funcionar o dia inteiro; por fim, a linha *Taxa de espaçamento* funciona como um valor percentual de abertura em uma superfície. Um valor de 0 implica em uma superfície completamente opaca e um valor de 1 implica em uma superfície completamente transparente.

4.8. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Com a implementação do SVV no modelo calibrado e validado prosseguiu-se para a etapa da simulação final. Esta fase de simulações foi dividida em três cenários principais. O primeiro considera o uso e ocupação regular da edificação, conforme rotina de funcionamento estabelecido no ano de 2019, antes da interrupção do uso em virtude da pandemia. O segundo considera um modelo representativo da situação atual do edifício, que se encontra sem uso e ocupação devido à pandemia mundial de Sars-CoV-2. Todos os cenários foram simulados com o arquivo climático ajustado. Foram realizadas simulações anuais em todos os cenários, posteriormente foram analisados os dados obtidos como *outputs* das simulações realizadas e foram realizadas comparações com os dados mensurados no período de coleta. Os cenários de uso estão resumidos no Quadro 16.

Quadro 16 – Resumo dos cenários de simulação

Cenário 1 2019	Arquivo climático ajustado	Com SVV
		Sem SVV
Cenário 2 Sars-CoV-2	Arquivo climático ajustado	Com SVV
		Sem SVV

Fonte: O autor.

4.8.1. Cenário 1

Neste cenário foram inseridos os parâmetros relativos à utilização da edificação durante o ano de 2019, antes da pandemia de Sars-CoV-2, sendo estes: trocas de ar entre ambientes internos e externos no modelo, uso de equipamentos elétricos, iluminação e circulação de usuários. Para a determinação destes *inputs* foi utilizado o quadro de horários de aulas do ano de 2019, bem como o horário de trabalho dos servidores técnico-administrativos e professores atuantes no objeto de estudo. O padrão de uso dos ambientes do edifício varia semestralmente, contudo a definição aplicada neste cenário foi feita de forma mais abrangente possível permitindo que ela representasse o uso predial de forma genérica.

Foram criadas rotinas específicas semanais e horárias, com variações entre dias de semana e fins de semana para a determinação dos usos de forma que replicasse a utilização normal da edificação. Além disso foram adicionados os parâmetros específicos a cada *input* responsável pela simulação do uso da edificação, sendo eles:

- Fluxo de ar: para este *input* foram aplicados os elementos de infiltração de ar e ventilação, ambos relacionados às trocas de ar entre zonas, tanto internas quanto externas, por meio das esquadrias;
- Equipamentos: este *input* foi desenvolvido com o uso de um inventário dos equipamentos contendo seu tipo, marca, local e rotina de uso para definir seu consumo energético;
- Iluminação: aqui foram utilizados projetos arquitetônicos do edifício e visitas ao local para a determinação dos equipamentos de iluminação, além da sua rotina de uso;
- Usuários: este *input* foi estabelecido por meio das rotinas de uso do prédio, definição do número de pessoas que acessam os ambientes e a sua taxa metabólica.

O Gráfico 22 apresenta um comparativo das temperaturas operativas no segundo andar (medida e simuladas, com e sem SVV), onde pode ser verificada uma redução ....

Dado o comparativo das temperaturas, medidas e simuladas com e sem SVV, têm-se que no Gráfico 13 é possível verificar uma queda nos valores de TO nos ambientes simulados ao passo que o Gráfico 14 mostra a redução de temperatura superficial da alvenaria, ambos do 2° andar do objeto de estudo, quando da introdução do SVV no modelo. A taxa de redução de temperatura do ar da simulação entre os modelos com e sem a presença do SVV apresentou um valor médio de 10% para o 2° andar, 12% para o 3° andar e 10% para o 4° andar. Estes valores consideram o período de 24h de simulação diária.

Quanto aos valores de redução de temperatura temos, conforme Tabela 8, que o 3° andar apresentou o maior valor de diferença média entre as temperaturas pré e pós SVV, 0,90°C, já a maior redução máxima de temperatura, 1,65°C, foi encontrada no 2° andar, enquanto que o menor valor de diferença média e de redução máxima ocorreu no 4° andar, sendo de 0,77°C e 1,43°C, respectivamente. Estes resultados indicam que os ambientes apresentam influência na eficiência térmica, confirmando o já observado em relação as maiores taxas de redução quando próximo do solo.

Tabela 8 – Análises de TO - Cenário 1

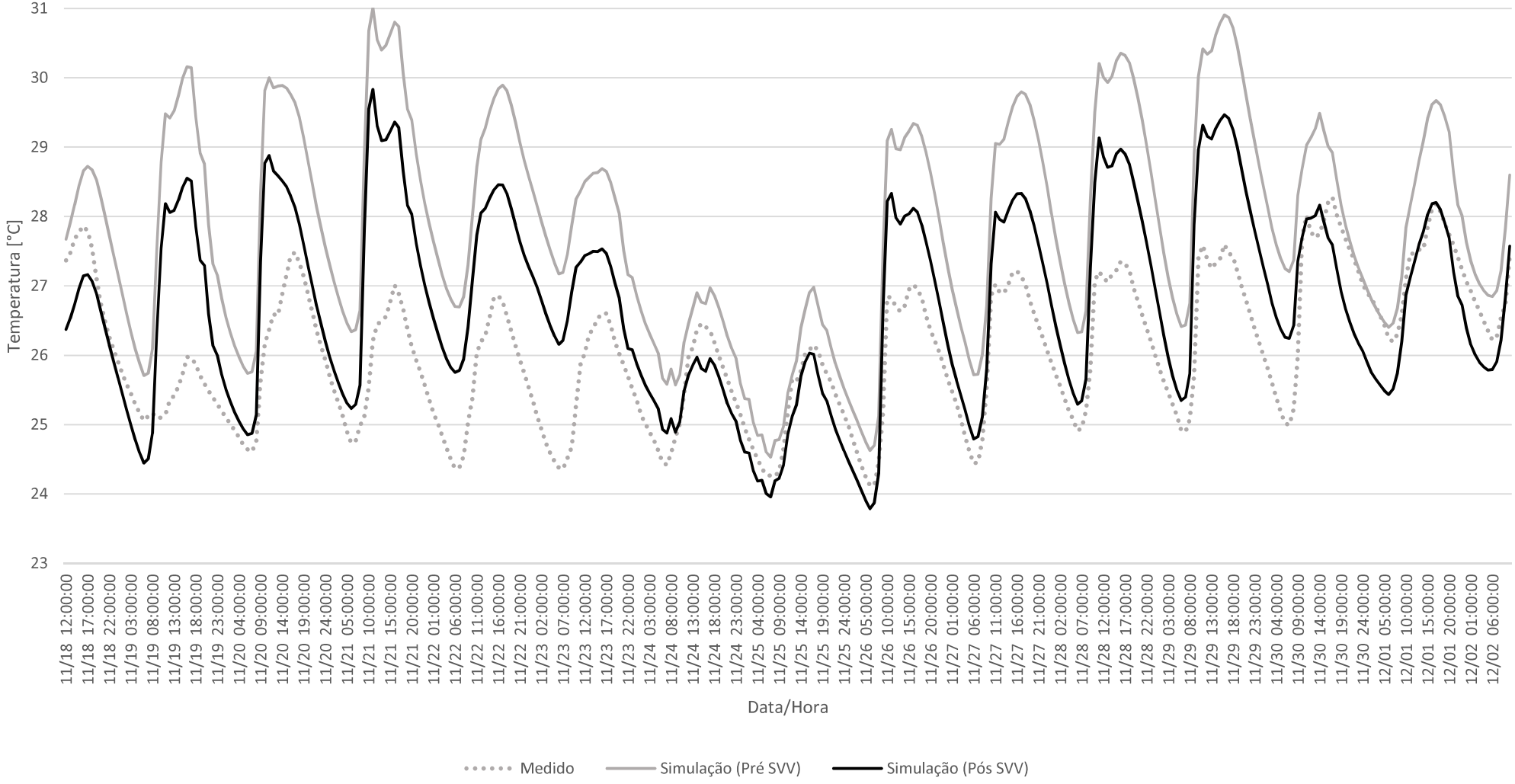
	Diferença média	Redução mínima	Redução máxima
2° andar	0,89°C	0,33°C	1,65°C
3° andar	0,90°C	0,37°C	1,60°C
4° andar	0,77°C	0,27°C	1,43°C

Fonte: O autor.

O Gráfico 14 mostra, conforme esperado, queda nos valores de temperatura simulados para a face interna da envoltória sob ação do SVV nos pavimentos analisados. Para o 2° andar as reduções mínima e máxima foi de 0,33°C e 3,50°C respectivamente, enquanto que para o 3° andar estas foram de 0,36°C e 3,50°C respetivamente.

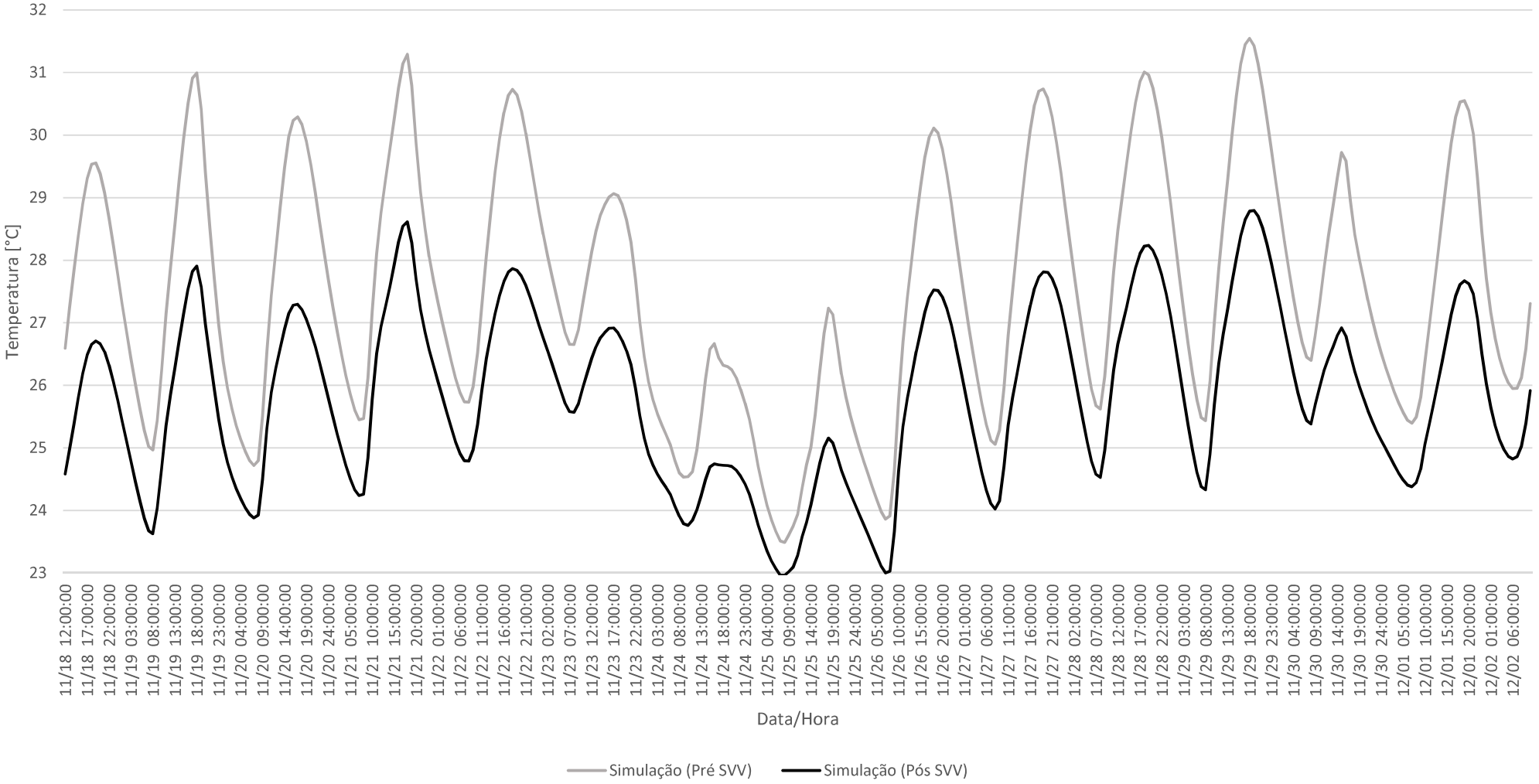
De posse dos resultados para todos os andares foram realizadas análises estatísticas das amostras de temperatura, onde verificou-se os quartis e extremos, bem como média e mediana de cada andar. Esta avaliação foi complementada com a geração de um gráfico de *Boxplot*, Gráfico 15, mostrando que a aplicação do SVV implicou em redução de temperatura em todos os ambientes simulados. Adicionalmente foi observado também que, para a TO, a redução é mais significativa nos pavimentos inferiores, quando comparada aos pavimentos superiores.

Gráfico 13 – Temperatura Operativa (TO) medidas e simuladas para o Cenário 1 - 2° andar



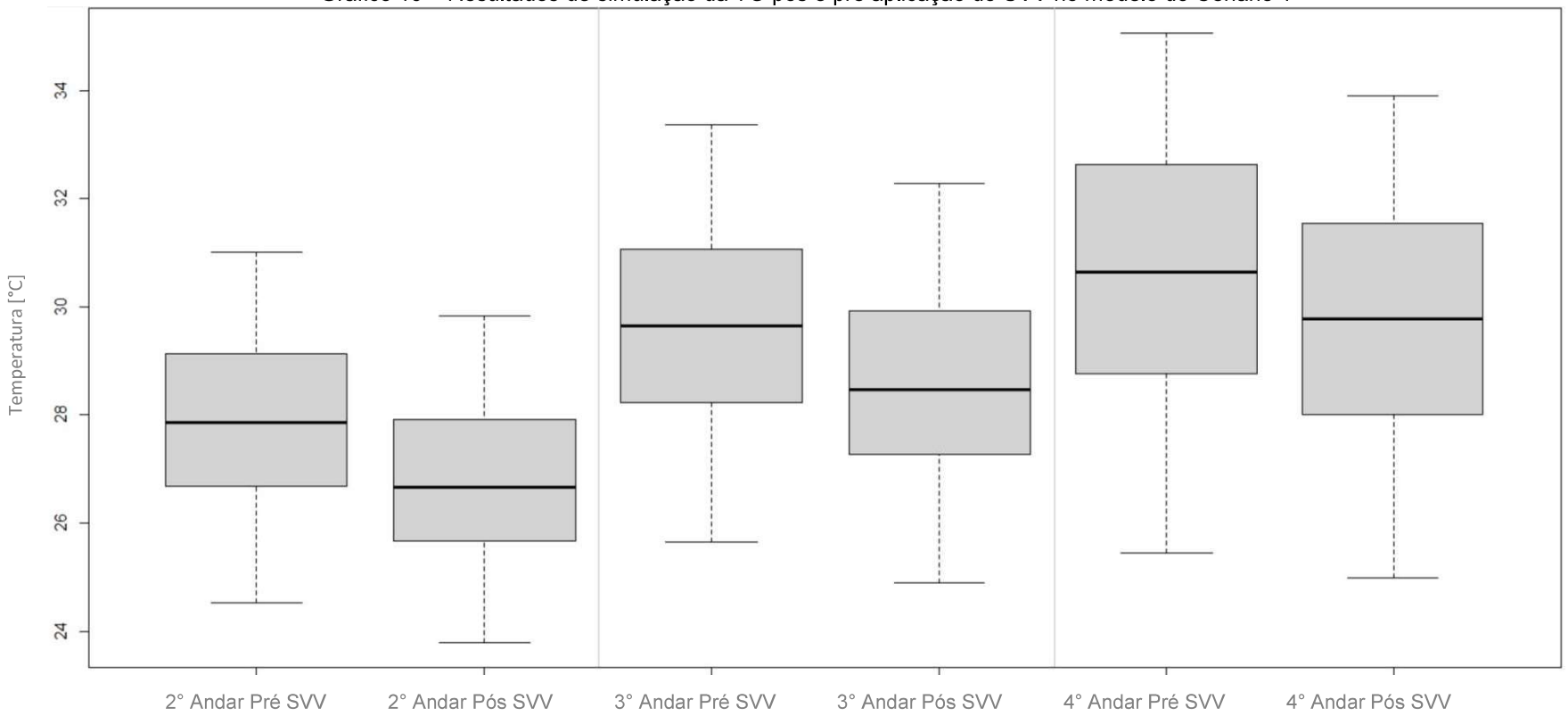
Fonte: O autor.

Gráfico 14 – Temperatura da face interna da envoltória simulada para o Cenário 1 - 2° andar



Fonte: O autor.

Gráfico 15 – Resultados de simulação da TO pós e pré aplicação do SVV no modelo do Cenário 1



Fonte: O autor.

O Gráfico 16 apresenta uma comparação entre a TO média dos três andares, onde vemos que a ação do SVV, por meio do sombreamento proporcionado pelo sistema, influi na redução de temperatura, obtendo redução média de 0,95°C, redução mínima de 0,89°C e máxima de 1,07°C. Este padrão é observado ainda que haja aumento nas temperaturas conforme elevam-se os andares.

Gráfico 16 – Temperatura média simulada por andar – Cenário 1



Fonte: O autor.

Estas reduções demonstram que o método de simulação do SVV, do tipo BSO, aplicado ao modelo do objeto de estudo se comportou conforme o esperado, apresentando redução de TO proporcionada pelo sombreamento do objeto de estudo em conformidade com os resultados da literatura de 1,0°C conforme Coma et al. (2014). Com a implementação do objeto SVV há geração da sombra sobre a superfície da envoltória externa, além da criação de um colchão de ar entre ambas as superfícies. Ambas as ocorrências são fatores de impedimento de transmissão de calor por radiação e por convecção.

Para avaliar as amostras de temperaturas da simulação pré e pós instalação do SVV no Cenário 1 foi realizada uma análise estatística de comparação das médias de temperaturas simuladas pré e pós instalação do SVV nos andares do modelo com o teste de Wilcoxon. Verificou-se que, com um nível de confiança de 95%, a hipótese nula é rejeitada em todos os andares, conforme Quadro 17, implicando em que as amostras têm médias estatisticamente diferentes. Associando-se isso aos valores das médias e gráficos apresentados previamente, temos que a média de TO pré SVV é superior à média de TO pós SVV.

Quadro 17 – Análise das médias de TO simulada pré e pós SVV – Cenário 1

Andar	Temperaturas	P-valor
2°	Pré SVV: 27.58 | Pós SVV: 26.69	1.072e-08
3°	Pré SVV: 29.60 | Pós SVV: 28.53	2.131e-09
4°	Pré SVV: 30.63 | Pós SVV: 29.74	3.267e-05

Fonte: O autor.

Aqui foi apresentado apenas a análise de um dos andares, como exemplo foi utilizado o 2° andar por ter sido o mesmo selecionado para o desenvolvimento da etapa de calibração, entretanto o resultado para o teste de Wilcoxon seguiu o mesmo padrão de rejeição da hipótese nula para os demais andares, permitindo também a inferência de que para o 3° e 4° andares as médias pré o pós instalação do SVV são estatisticamente diferentes.

A partir dos dados de TO e temperatura da superfície interna da envoltória pôde-se elaborar a análise de amortecimento térmico, verificando o impacto da ação do SVV neste parâmetro para o cenário em análise. Disto obteve-se que, novamente, os ambientes que apresentam maiores valores de amortecimento encontram-se mais próximos do solo. A Tabela 9 apresenta os resultados para as análises de coeficiente de amortecimento térmico (considerando a amplitude de TBS e a amplitude de temperatura da face interna da envoltória) e o amortecimento térmico médio da temperatura do ar (entre as temperaturas pré e pós implementação do SVV).

Tabela 9 – Análises de amortecimento térmico - Cenário 1

	Coeficiente de amortecimento μ	
	Pré SVV	Pós SVV
2° andar	0,22	0,43
3° andar	0,23	0,45
4° andar	0,11	0,27

Fonte: O autor.

Conforme comprovado estatisticamente pelas análises apresentadas, os resultados dos *outputs* da simulação do Cenário 1 foi percebido que a implementação do SVV levou a redução de temperatura do ambiente avaliado, conforme esperado. Além disso, o ganho de amortecimento térmico pelo SVV indica sua eficiência de funcionamento como um sistema passivo de condicionamento ambiental. Este ganho foi de 112%, em média, para os 3 ambientes analisados.

4.8.2. Cenário 2

A simulação para este cenário foi realizada sem a existência de trocas de ar entre ambientes internos e externos no modelo, além da ausência de uso de equipamentos elétricos, iluminação e circulação de usuários, contudo, majoritariamente o edifício permaneceu em situação de fechamento completo, o que levou à escolha da simulação com estas características. Não foram consideradas a circulação esporadica de agentes de limpeza e segurança como uso e ocupação do ambiente.

A eliminação das trocas de ar se deu por meio da seleção do método de cálculo do fluxo de ar como sendo do tipo 'renovações de ar por hora' ao invés de manter o padrão automático do *software EnergyPlus*. As renovações foram determinadas como sendo zero para todos os ambientes. Para os outros parâmetros (iluminação, uso de equipamentos elétricos e circulação de usuários) a sua ausência foi determinada pela não inclusão dos dados e parâmetros relativos a isso no modelo, assim impedindo a realização de cálculos relativos a estes impactos na temperatura do edifício simulado.

A introdução do SVV mostrou, nesse cenário, uma redução nos valores de TO, conforme Gráfico 17, mostrando o mesmo padrão de ocorrência do Cenário 1. A taxa de redução de TO, dada a aplicação do SVV, foi de cerca de 3% para todos os andares, sendo de 2,85% para o 2° andar, 3,31% para o 3° andar e 2,91% para o 4° andar. Essa taxa de redução foi obtida da relação entre as médias de valores de TO pré e pós instalação do SVV.

A Tabela 10 demonstra as diferenças médias de TO com a implementação do SVV no modelo, bom como as reduções mínima e máxima de temperatura, para este cenário.

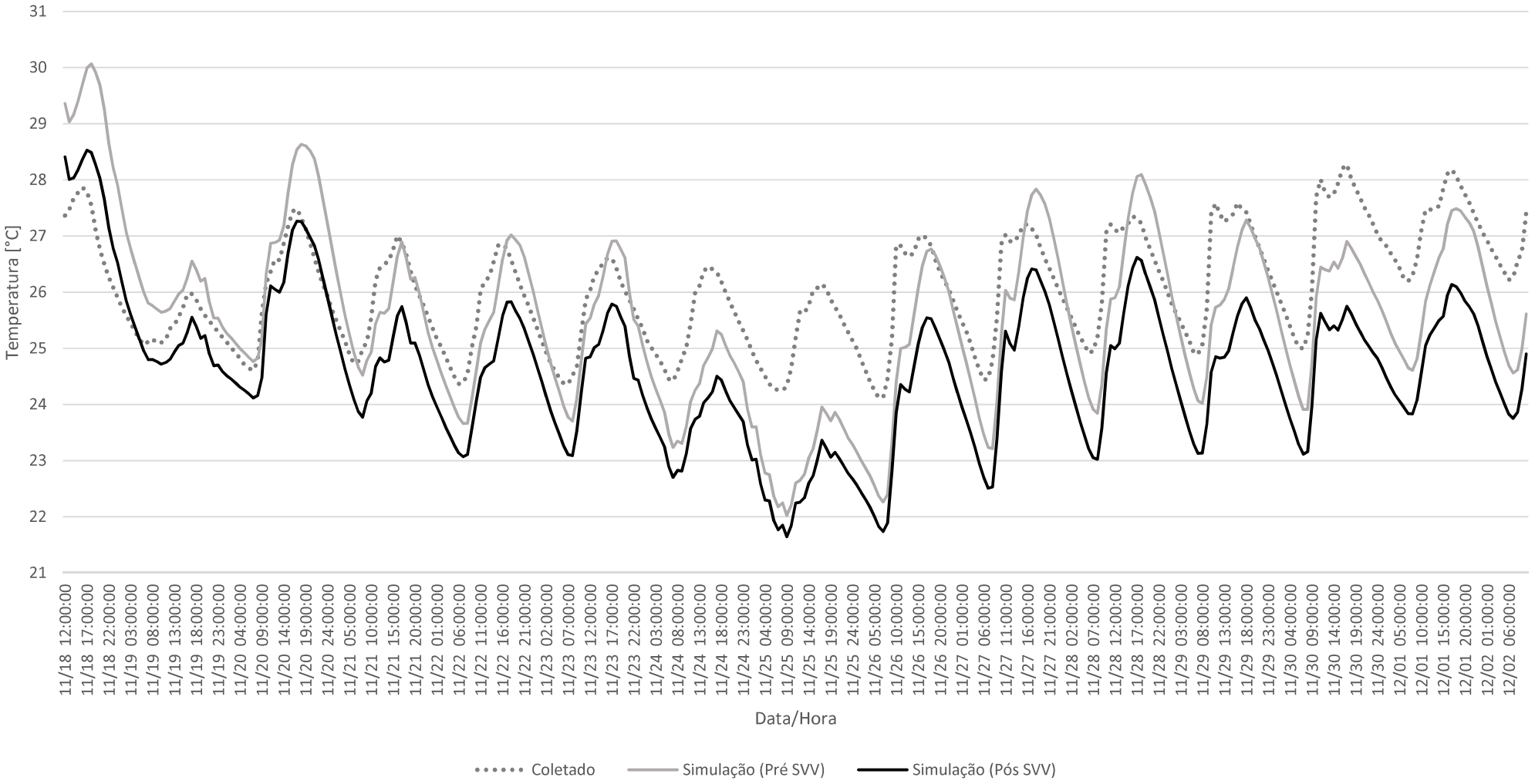
Fonte: O autor.

Tabela 10 – Análises de TO - Cenário 2

	Diferênça média	Redução mínima	Redução máxima
2° andar	0,96°C	0,36°C	1,66°C
3° andar	0,94°C	0,40°C	1,61°C
4° andar	0,81°C	0,29°C	1,46°C

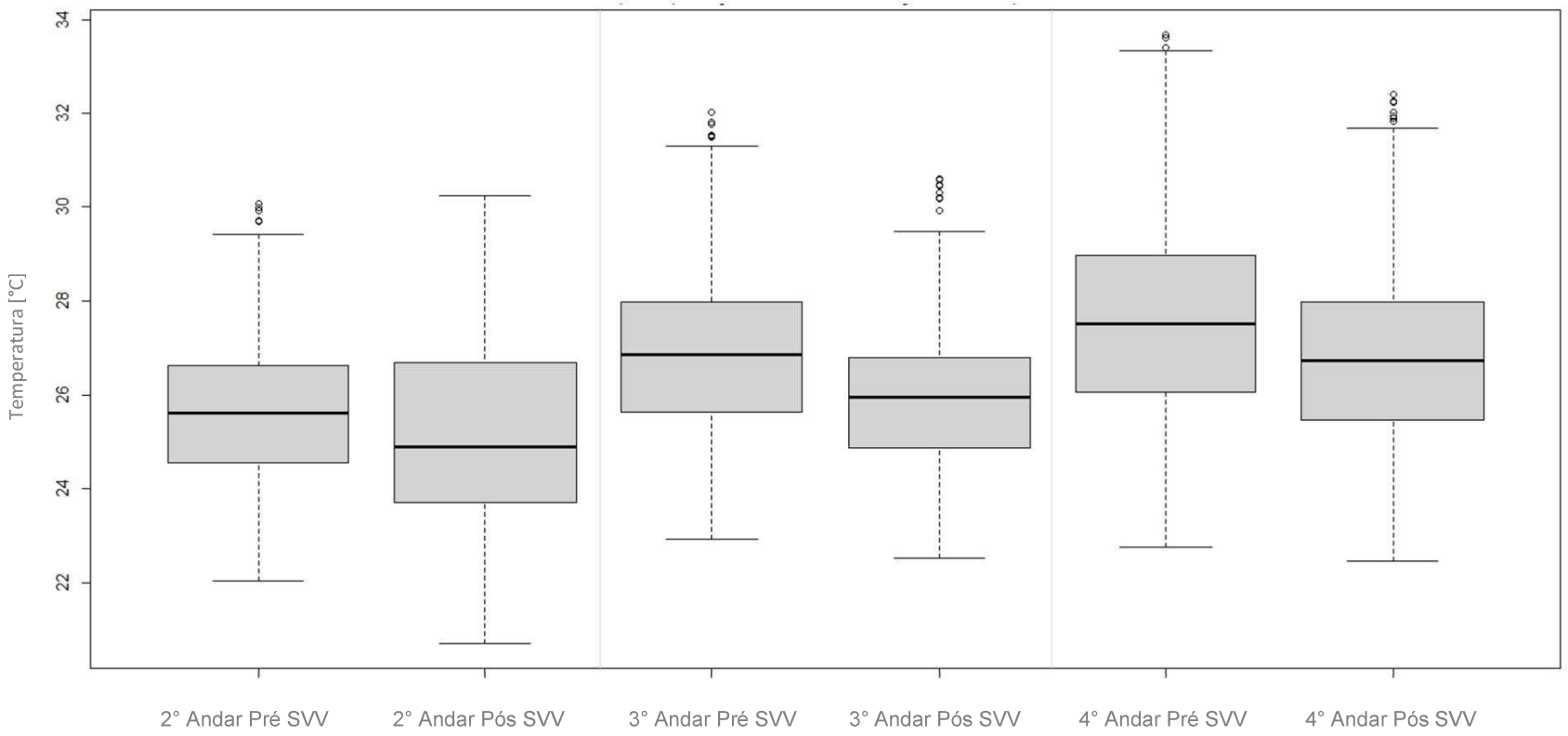
Fonte: O autor.

Gráfico 17 – Temperaturas Operativas (TO) medidas e simuladas para o Cenário 2 - 2° andar



Fonte: O autor.

Gráfico 18 – Resultados de simulação da TO pós e pré aplicação do SVV no modelo do Cenário 2



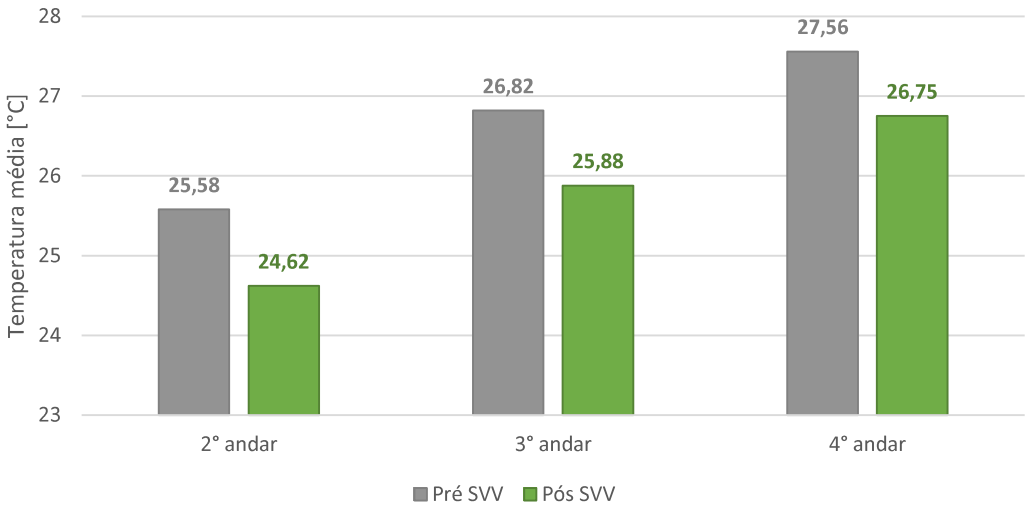
Fonte: O autor.

A ação do SVV demonstrou influir gerando queda nos valores de temperatura da face interna da envoltória, conforme demonstrado no Gráfico 17 para o 2º andar. Para o 2° andar a redução mínima e máxima foi de 0,36°C e 3,64°C respectivamente.

Foram realizadas análises estatísticas com os dados de temperatura dos três andares. O primeiro resultado desta análise foi o gráfico de *Boxplot*, Gráfico 18, mostrando a tendência de redução da temperatura média nos três andares. Para este cenário manteve-se a observação feita para o Cenário 1 que, para a TO, a redução é mais significativa nos pavimentos inferiores, quando comparada aos pavimentos superiores.

Comparando as médias das análises estatísticas para os 3 andares (Gráfico 19) vemos que a ação de sombreamento do SVV demonstrou influenciar a redução de temperatura, apresentando uma redução média de 0,90°C, redução mínima de 0,81°C e máxima de 0,96°C. Este padrão é observado ainda que haja aumento nas temperaturas conforme elevam-se os andares.

Gráfico 19 – Temperatura média simulada por andar - Cenário 2



Fonte: O autor.

Da mesma forma que o observado no Cenário 1, aqui temos que SVV se comporta como esperado de avaliar a levando à redução da temperatura dos ambientes simulados, o que demonstra a validade do estudo, uma vez que seu objetivo é de avaliar a influência da ação dos SVV por meio de simulação computacional com o uso de uma metodologia de simplificação deste sistema passivo.

A análise das amostras de temperaturas das simulações no Cenário 2 foi realizada com a ferramenta estatística de comparação das médias do teste de Wilcoxon

(Quadro 18) onde também foi rejeitada a hipótese nula, demonstrando a diferença entre a média das amostras, bem como que a média de TO pré SVV é superior à média de TO pós SVV.

Quadro 18 – Análise das médias de TO simulada pré e pós SVV – Cenário 2

Andar	Temperaturas	P-valor
2°	Pré SVV: 25.58 | Pós SVV: 24.69	< 2.2e-16
3°	Pré SVV: 26.82 | Pós SVV: 25.88	3.355e-13
4°	Pré SVV: 27.56 | Pós SVV: 26.75	6.321e-07

Fonte: O autor.

A Tabela 11 apresenta os resultados para as análises de coeficiente de amortecimento térmico (considerando a amplitude de temperatura externa e a amplitude de temperatura da face interna da envoltória) e o amortecimento térmico médio do ar (entre as temperaturas pré e pós implementação do SVV). Disto têm-se que o 2° andar apresenta o maior ganho de eficiência para o amortecimento médio do ar.

Tabela 11 – Análises de amortecimento - Cenário 2

	Coeficiente de amortecimento μ	
	Pré SVV	Pós SVV
2° andar	0,22	0,46
3° andar	0,15	0,38
4° andar	0,07	0,20

Fonte: O autor.

Como no Cenário 1, as análises dos *outputs* da simulação do Cenário 2 demonstram que a implementação do SVV implica na redução TO dos ambientes, além de demonstrar sua eficiência de funcionamento como um sistema passivo de condicionamento ambiental.

4.8.3. Comparação entre Cenários

De posse dos resultados dos Cenários 1 e 2, apresentados nos dois itens anteriores, foram realizadas análises estatísticas que comparam os *outputs* de TO dos cenários entre si. Este procedimento foi feito utilizando o teste de Wilcoxon para a comparação das amostras e foi realizado entre simulações pré implantação do SVV e também entre simulações pós implantação do SVV.

O pesquisador escolheu apresentar apenas a comparação do 2° andar (Quadro 19) entre os Cenários, este andar foi selecionado por ter sido utilizado padrão ao longo

trabalho e os resultados do mesmo refletem os resultados das comparações entre os outros andares, excluindo-se assim de sobrecarregar o texto.

Quadro 19 - Análise das médias de TO simulada pré e pós SVV do 2° andar - Cenários 1 e 2

Andar	Situação	Cenário 1 (°C)	Cenário 2 (°C)	P-valor
2°	Pré-SVV	27.58	25.58	< 2.2e-16
	Pós-SVV	26.96	24.69	< 2.2e-16
3°	Pré-SVV	29.60	26.82	< 2.2e-16
	Pós-SVV	28.53	25.88	< 2.2e-16
4°	Pré-SVV	30.63	27.56	3.561e-10
	Pós-SVV	29.74	26.75	3.901e-13

Fonte: O autor.

Em resumo, com os resultados das simulações para os Cenários 1 e 2, foram obtidas evidências da redução de temperatura nos ambientes que receberam o SVV no modelo simulado do objeto de estudo. A Tabela 12 apresenta os valores mínimos, máximos e as médias dos parâmetros relativos à temperatura dos ambientes simulados.

Tabela 12 – Resumo da influência térmica do SVV no modelo simulado

	Mínima	Média	Máxima
Diferença média de temperatura do ar	0,77°C	0,96°C	1,15°C
Redução de temperatura do ar (TO)	0,27°C	0,97°C	1,66°C
Amortecimento médio do ar	19%	35%	51%
Taxa de redução de temperatura do ar	1%	8%	14%
Redução de temperatura da envoltória	0,33°C	1,99°C	3,64°C
Coeficiente de amortecimento μ	0,38	0,46	0,53
Eficiência do amortecimento	45%	97%	148%

Fonte: O autor.

4.9. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE-VARIABILIDADE

Para este procedimento de análises foi utilizado apenas o Cenário 2, com o modelo que foi desenvolvido para refletir a situação do prédio quando da coleta de dados de temperatura em meio a pandemia global de Sars-CoV-2. Este modelo foi selecionado, pois representa a situação de coleta dos dados *in loco*, não apresentando rotinas de operação dos usuários, fluxos de ar ou utilização de iluminação ou utilização de equipamentos elétricos.

As variações aplicadas na análise de sensibilidade foram concentradas em três focos principais, todos referentes apenas ao SVV. Estes focos são:

- Distanciamento: foram testadas opções referentes à aproximação e afastamento, do SVV modelado, da superfície externa da envoltória coberta pelo mesmo;

- Taxa de espaçamento: aqui propôs-se uma variação para o parâmetro criado como forma de representar a densidade da folhagem do SVV, ou seja, responsável por definir o quão opaco o sistema é à radiação solar;
- Coloração: aqui testou-se a eficiência da variação da refletância proporcionada pelas folhas do SVV, uma vez que colorações mais claras tem maior capacidade de reflexão da radiação solar do que as mais escuras.

Por meio da comparação de médias, usando o teste de Wilcoxon foram avaliados os resultados obtidos com as variações propostas para esta análise. Tendo como base de comparação os resultados de da simulação com a inserção do SVV, aqui denominada Simulação 0, foram feitas alterações em parâmetros apresentados pela literatura como sendo de influência para o efeito do SVV. Estes parâmetros são o distanciamento entre o SVV e a fachada que o recebe. Fator este que implica no volume do colchão de ar que existirá entre amos os objetos. Também foram avaliados o fator de opacidade do SVV, que influi na taxa de radiação solar que pode atravessar o objeto. Este fator implica no sombreamento proporcionado pelo SVV. Por fim, o último fator alterado foi a refletância do SVV, visando representar uma alteração nas cores da folhagem, ou tonalidade do SVV. Este fator implica capacidade de absorção da radiação solar pelo SVV.

Do arquivo base, Simulação 0, foram avaliadas alterações paramétricas em três linhas distintas e de forma independente entre si. As alterações estão resumidas na Tabela 13. O processo de alteração desenvolvido pelo pesquisador consistiu em alterar em 50% para mais ou para menos cada um dos três parâmetros apresentados anteriormente (distância, opacidade e refletância), gerando assim uma nova simulação, da qual foram obtidos os *outputs* de TO e temperatura da superfície interna da alvenaria sob ação do SVV.

Tabela 13 – Controle da análise de sensibilidade para o ambiente do 2° andar

Simulação	Parâmetro	Valor Original	Alteração	Temperatura média		Temperatura mínima		Temperatura máxima		Amplitude da temperatura	
				Ar	*Parede*	*Ar*	*Parede*	*Ar*	*Parede*	*Ar*	*Parede*
–	Modelo calibrado	–	–	25,58°C	25,17°C	22,02°C	20,69°C	30,07°C	30,24°C	8,04°C	9,54°C
0	Modelo final	–	Adição do SVV	24,62°C	23,56°C	21,64°C	20,33°C	28,53°C	27,02°C	6,88°C	6,68°C
1	Distância	0,50m	+ 50%	24,61°C	23,59°C	21,59°C	20,34°C	28,52°C	27,06°C	6,93°C	6,72°C
2			- 50%	24,58°C	23,52°C	21,58°C	20,33°C	28,49°C	26,97°C	6,90°C	6,64°C
3	Opacidade	τ_{solar} 0,2	+ 50%	24,57°C	23,50°C	21,57°C	20,32°C	28,46°C	26,93°C	6,89°C	6,61°C
4			- 50%	24,63°C	23,62°C	21,60°C	20,35°C	28,54°C	27,10°C	6,94°C	6,76°C
5	Refletância	ρ_{solar} = 0,3	+ 50%	24,60°C	23,56°C	21,58°C	20,33°C	28,50°C	27,02°C	6,92°C	6,68°C
6		ρ_{vis} = 0,05	- 50%	24,60°C	23,56°C	51,58°C	20,33°C	28,50°C	27,02°C	6,92°C	6,68°C

Fonte: O autor.

Para isso foram realizadas análises estatísticas com os *outputs* de TO para avaliar qual foi a sensibilidade da temperatura às variações apresentadas pela alteração dos parâmetros escolhidos. O Quadro 20 apresenta os resultados do teste de Wilcoxon realizados com a comparação entre os dados de TO da simulação 0 e dados das demais simulações realizadas.

Quadro 20 – Comparação de médias da análise de sensibilidade

Parâmetro	Temperaturas	P-valor
Aumento de Distância	SVV Original: 24.62 | SVV Afastamento: 24.60	0.8365
Redução de Distância	SVV Original: 24.62 | SVV Aproximação: 24.58	0.6410
Aumento de Opacidade	SVV Original: 24.62 | SVV Dispersão: 24.62	0.9936
Redução de Opacidade	SVV Original: 24.62 | SVV Adensamento: 24.56	0.5251
Aumento de Refletância	SVV Original: 24.62 | SVV Escurecimento: 24.59	0.7525
Redução de Refletância	SVV Original: 24.62 | SVV Clareamento: 24.59	0.7525

Fonte: O autor.

Como o p-valor de todos os testes realizados foi superior a 0,05, verificou-se que não se pôde rejeitar a hipótese nula em nenhuma das 6 comparações. Portanto, pôde-se inferir que em todos os casos que as médias comparadas são estatisticamente iguais, entre simulação 0 e demais simulações com as alterações de parâmetros.

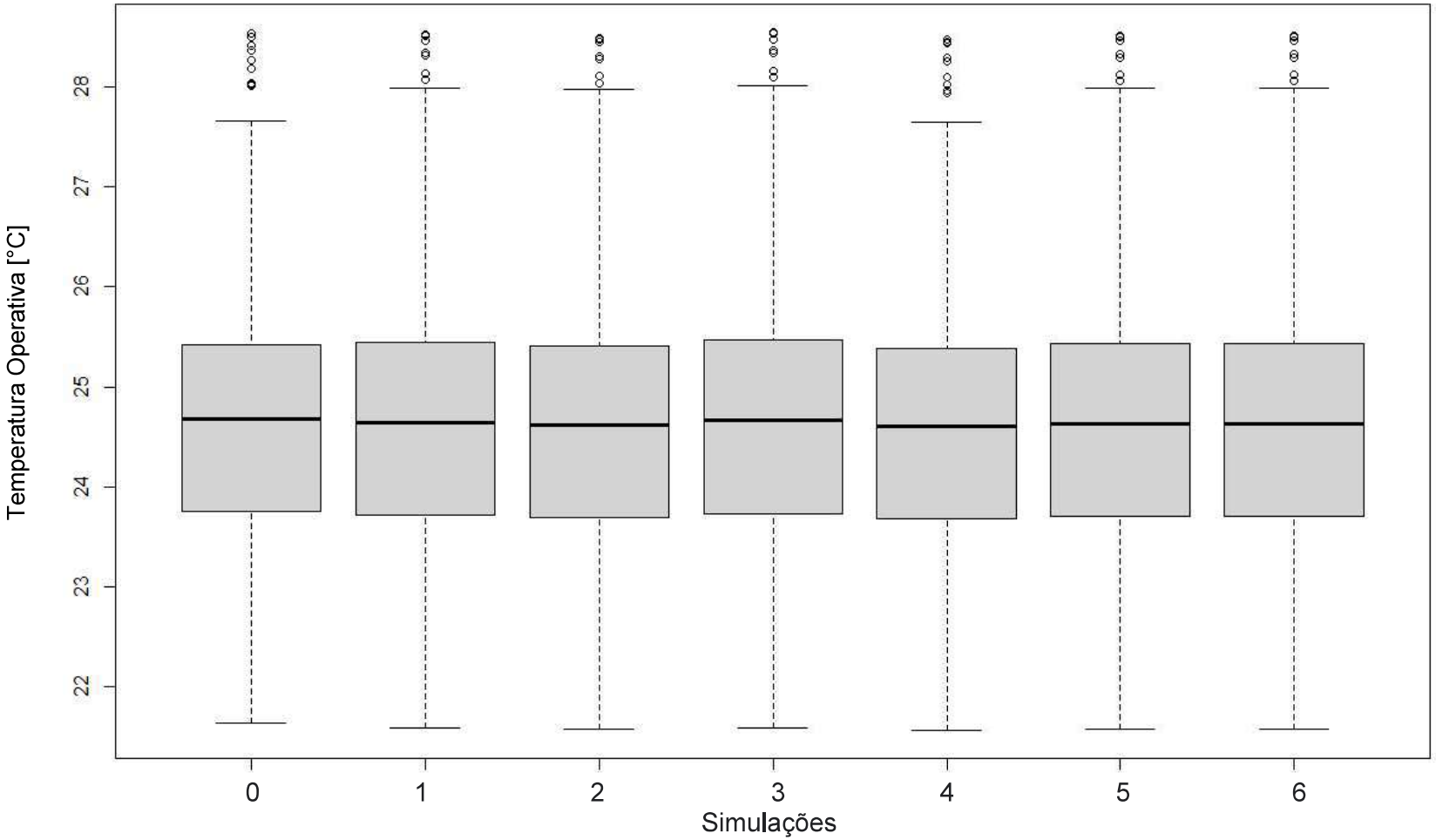
Além disso verificou-se que o parâmetro de Opacidade mostrou a maior taxa de variação, quando se comparou o p-valor de todas as simulações. Quando do aumento da opacidade em 50% o p-valor apresentado foi de 0,9826, o valor mais próximo de 1 entre todos os *outputs* dos testes. Quando o mesmo parâmetro foi variado com a redução de 50%, verificou-se um p-valor de 0,5716, o menor dentre todos os outputs do teste, ainda que indique uma forte não-rejeição da hipótese nula. Disto, infere-se que este parâmetro, relativo ao efeito de sombreamento do SVV, é o que guarda maior sensibilidade para a grandeza de temperatura.

A visualização dos resultados pelo Gráfico 20 permite verificar o quão similares todos os outputs foram.

Esta análise demonstrou que os impactos proporcionados pelas variações propostas são da ordem de 1% nos resultados de temperaturas, quando comparados ao Modelo final (com adição do SVV). Esta baixa variação sugere eficiência nos dados da literatura utilizados como parâmetros para a simulação que representam as características do SVV necessárias de serem aplicadas em um modelo de simulação térmica. Demonstrando que os valores propostos por Oke (1987) representam bem os parâmetros que são buscados para a eficiência de um SVV, como um objeto modelado computacionalmente para atuar como um sistema passivo de condicionamento ambiental com a finalidade de redução de temperaturas operativas de ambientes.

O resultado da análise de sensibilidade-variabilidade demonstrou que a alteração que mais beneficia a redução de temperaturas, tanto da TO quanto da envoltória, é o aumento da opacidade do sistema. Tanto a envoltória quanto o ar do ambiente apresentaram uma redução média aproximada de 0,25%. Enquanto que a alteração que mostra pior resultado para redução de temperatura é a redução da opacidade do mesmo, apresentando aumento na TO de 0,01% e de 0,25% para a temperatura superficial da envoltória.

Gráfico 20 – *Boxplot* das análises de sensibilidade para a TO



Fonte: O autor.

4.10. DISCUSSÃO

No desenvolvimento desta pesquisa foram observados fatores que foram percebidos como de relevância para o atingimento e compreensão dos resultados obtidos. Neste capitulo esses fatores são discutidos, visando compreender seu efeito nos resultados da pesquisa.

4.10.1. Adequação da base de dados

Foram analisadas e comparadas as informações de temperatura medida pelo pesquisador e informada pela estação F501, juntamente da incidência de radiação solar normal. Esta comparação permitiu perceber a existência de uma tendência de acompanhamento entre as informações de temperatura e radiação, o que implica em uma congruência na tendência de variação das informações medidas e obtidas da estação automática.

As médias de TO observadas quando da utilização do arquivo climático do LABEEE apresentavam-se superiores entre 2°C a 3°C das temperaturas medidas pelo pesquisador, enquanto que a variação entre os valores simulados com o arquivo climático Ajustado (com base na estação F501) apresenta variações de +/- 0,5°C. Esta diferença entre as oscilações das médias mostra a importância do uso de arquivo climático coerente com a situação em análise.

O arquivo climático do LABEEE apresenta uma mescla de dados coletados ao longo de décadas e possui uma defasagem de cerca de 20 anos para o período de ocorrência desta pesquisa. Portanto verificou-se que a correta interpretação e, quando necessária, adaptação dos arquivos climáticos, se faz essencial para o processo de calibração de um modelo termoenergético.

O uso dos dados da estação F501 se deu, em lugar dos dados coletados em equipamento externo pelo pesquisador por este verificar que havia discrepância entre os dados medidos e simulados. A análise dos dados de temperatura demonstrou similaridade nas curvas apresentadas de coleta e simulação, contudo a simulação com o uso dos dados externos coletados apresentou valores incompatíveis com os simulados, sendo assim foi buscada uma fonte de dados externa, estação F501, para analisar os resultados de TO obtidos com uso desses dados. Alguns pontos são importantes para a compreensão do uso dos dados da estação F501:

1. A estação F501 fica localizada nas coordenadas 19° 58' 48,43" S e 43° 57' 31,37' O em uma elevação de 1220m, enquanto que os dados medidos pelo pesquisador foram realizados nas coordenadas 19° 56' 22,03" S e 43° 59' 56,91" O em uma elevação de 921m. Os locais encontram-se a uma distância linear de 6,2km;
2. O entorno dos locais de coleta apresenta grande distinção. A estação F501 apresenta um raio de cerca de 300m de área verde em seu entorno e está posicionada no cume de uma elevação na parte alta da cidade de Belo Horizonte enquanto que o ponto de coleta de dados encontra em seu entorno uma região urbanamente adensada;
3. O ponto de coleta do pesquisador sofre da influência da transmissão de calor refletida e irradiada pela edificação na qual o equipamento foi instalado;
4. O posto de coleta para TBS no local objeto de estudo apresentou uma divergência entre 7°C a 8°C para mais da temperatura medida pela estação climática, quando o que se espera de divergência nesses casos, de acordo com a literatura relativa às ilhas de calor, é uma variação entre 1°C a 4°C (PERES et al., 2018).

Esta divergência entre as temperaturas externas, medida pelo pesquisador e coletada da estação F501, pode ser considerado como indicativo de que a coleta da temperatura externa pode não ter sido realizada de forma adequada. Desta forma, esta pesquisa adotou o uso das informações de temperatura fornecidas pela estação climática F501.

4.10.2. Efeito dos andares nas TO's observadas

Os resultados obtidos na pesquisa demonstram que há um aumento na TO conforme elevam-se os andares do objeto de estudo. Essa elevação de temperatura é compreendida por dois fenômenos principais, sendo eles a capacidade de absorção e manutenção térmica do solo e o efeito de sombreamento ocorrido na envoltória do objeto de estudo.

As propriedades térmicas do solo como sua baixa difusividade, sua velocidade de amortecimento e condutividade térmica, juntamente da constituição e composição do solo, são responsáveis por reduzir a temperatura conforme se aproxima, ou se aprofunda no mesmo. O outro ponto observado é o do sombreamento do objeto de

estudo. Conforme elevam-se os andares, foi observado que a taxa de radiação solar incidente sobre a área da envoltória cresce e isso se dá devido à diminuição da influência de objetos externos gerando sombreamento contra o objeto de estudo.

4.10.3. Comparação entre os cenários

Foi percebido que há uma diferença de cerca de 2°C entre as médias de TO dos Cenários 1 e 2 tanto para a simulação pré quanto para a simulação pós implementação do SVV. O Cenário 1 apresentou valores de temperatura superiores para as duas situações. Após a análise de outputs relativos as cargas térmicas internas, foi verificado que a razão desse valor superior para a TO é devido aos seguintes fatores:

- Presença de usuários nos ambientes: como o Cenário 1 foi modelado para replicar o funcionamento regular do edifício objeto de estudo no ano de 2019 antes da pandemia de Sars-CoV-2, todos os ambientes apresentam trânsito e permanência de usuários. Os usuários são responsáveis por dissipação de energia térmica para os ambientes no qual se encontram;
- Funcionamento de equipamentos e iluminação: da mesma forma que a rotina de uso dos ambientes foi afetada pelos usuários, essa mesma rotina de uso levou em consideração os equipamentos e iluminações existentes nestes ambientes e seu funcionamento. O uso de equipamentos e iluminação também contribui para a dissipação de energia térmica para o ambiente;
- Rotina de abertura das esquadrias: esta foi feita em função de um limite máximo e mínimo de diferença entre temperatura interna e externa. Esse limite foi estabelecido como o seguinte: se o ambiente interno apresentar temperatura 3°C superior ao ambiente externo, as esquadrias são abertas e quando as temperaturas se igualam as esquadrias são fechadas. Este parâmetro foi modelado com base na literatura (FROTA; SCHIFFER, 2001), onde há uma recomendação de variação de +/- 2°C ou 3°C da temperatura média estabelecida, que neste trabalho foi definida como a temperatura do ambiente. Este método foi escolhido devido à impossibilidade da aplicação de questionário de conforto térmico aos usuários, dada a situação da pandemia global de Sars-CoV-2 que levou ao impedimento de acesso dos

usuários ao objeto de estudo. Portanto a definição de um limite de tolerância térmica para abertura e fechamento das esquadrias foi realizada visando mimetizar o comportamento dos usuários do edifício, uma vez que quando percebida certa elevação na temperatura iriam buscar um balanço térmico com o meio externo. Contudo, percebe-se que esta rotina de permitir a abertura das esquadrias apenas após a temperatura interna superar a externa em 3°C pode ser o maior contribuinte para a diferença média percebida entre os Cenários.

4.10.4. Redução de temperatura

Quanto às análises de redução de temperatura, este capítulo retoma os resultados simulados por nesta pesquisa e os levantados pela RSL (Item 4.2.1). De posse dos resultados os mesmos foram comparados e analisados visando encontrar semelhanças entre o realizado neste trabalho e o encontrado na RSL.

Os parâmetros destacados, 'Redução de temperatura do ar' e 'Redução de temperatura da envoltória' são aqueles definidos como recomendados para avaliação pela RSL, uma vez que a avaliação da eficácia é majoritariamente realizada por comparação entre temperatura pré e pós instalação do SVV. Os artigos que ratificam essa escolha são os de Feng e Hewage (2014), Larsen, Filippín e Lesino (2014b), Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2015), Flores Larsen *et al*. (2015), Dahanayake e Chow (2017), Olivieri *et al*. (2017) e Sudimac *et al*. (2019).

Da análise dos resultados de redução da TO e da temperatura superficial da envoltória, encontrados nessa pesquisa, confirmou-se que estes estão alinhados com a literatura apresentada por Coma et al. (2014), Olivieri; Olivieri; Neila (2014), Hoelscher et al. (2016), Ottelé; Perini (2017), Wilkinson et al. (2017) e Sánchez-Reséndiz et al. (2018). Esta comparação foi realizada considerando os fatores de compartilhamento de características climáticas com o objeto de pesquisa e a similaridade entre resultados de redução de temperatura obtidos.

Quanto à localidade e classificação, têm-se que, entre as referências que apresentam valores de redução de temperatura similares aos encontrados nesta pesquisa, há a coincidência da classificação secundária da cidade de Belo Horizonte (Aw) com a cidade do Rio de Janeiro (WILKINSON et al., 2017), além da coincidência de climas temperados (Grupo C) de verões quentes (subtipo *a*) ou secos (subtipo *b*) (OLIVIERI; OLIVIERI; NEILA, 2014; HOELSCHER et al., 2016; OTTELE; PERINI,

2017). As características construtivas e ambientais das edificações usadas nos demais estudos não são descritas nos mesmos, de forma que uma comparação entre todas elas se mostra inviável. Pôde-se, apenas, avaliar a redução de temperatura sem o contexto relativo à envoltória, ou uso de todos os modelos da literatura. Revelando que a aplicação do SVV implicou em taxas de redução de ordem similar nas condições climáticas de Belo Horizonte e Colmenar Viejo, Berlin e Genova, conforme Olivieri; Olivieri; Neila (2014), Hoelscher et al. (2016) e Ottelé; Perini (2017).

Vemos uma maior proximidade nas reduções médias observadas para a TO nesta pesquisa, 0,97°C, com as apresentadas por Coma et al. (2014), 1,00°C, Ottelé; Perini (2017), 2,10°C, e Wilkinson et al. (2017), 1,40°C. Considerando a redução média de TO verificada nesta pesquisa tal como as reduções apresentadas na RSL, temos, entre as temperaturas observadas que sua média é de 1,50°C. Considerando os valores de redução de TO observados na literatura e a sua média, foi percebido que os resultados dessa pesquisa estão numa mesma ordem de grandeza com a RSL.

Quanto à temperatura da envoltória, as reduções encontradas na RSL que corroboram com os resultados desta pesquisa são oriundas de Coma et al. (2014), 2,00°C, Olivieri; Olivieri; Neila (2014), 4,00°C, Hoelscher et al. (2016), 1,70°C, e Sánchez-Reséndiz et al. (2018), 2,50°C. A redução média da temperatura da envoltória encontrada nessa pesquisa foi de 1,99°C e, considerando a média de 2,55°C encontrado pela comparação dos valores da RSL, verificou-se também a manutenção da mesma ordem de grandeza entre os resultados desta pesquisa e da RSL.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. CONCLUSÃO

O impacto da aplicação de um SVV em uma edificação de quatro andares foi avaliado para a percepção da redução de temperaturas operativas. Para isso foram utilizados dados obtidos de medições in loco, bem como dados coletados por estações meteorológicas e dados gerados por simulações computacionais.

O trabalho é dividido em duas partes principais, sendo a primeira relativa à uma revisão sistemática da literatura que gerou o subsidio necessário para o desenvolvimento da segunda parte, que consistiu no desenvolvimento de coleta de dados, modelagem, simulação térmica e análise estatística dos dados obtidos.

A primeira etapa teve como resultado um processo replicável para a definição de um objeto de estudo, considerando seus parâmetros térmicos, bem como a metodologia executiva da coleta de dados in loco, o método de simulação e software recomendado para este tipo de análise, bem como uma forma reconhecida de avaliação dos resultados e as ferramentas estatísticas recomendadas para este uso. Disto entende-se que o processo de simulação computacional de um SVV possui embasamento rastreável em literatura acadêmica relevante, garantindo a qualidade do método científico.

Na segunda parte foi verificado que o método identificado na primeira parte é eficiente e funcional para a análise térmica de sistemas passivos de condicionamento ambiental, no caso de um SVV. Os resultados obtidos comprovam a capacidade de redução de temperatura operativa e temperatura superficial da envoltória dos ambientes levando à melhoria de parâmetros de amortecimento térmico e evidenciando o papel relevante que o sombreamento da envoltória proporcionado pelo SVV exerce na redução de temperatura dos ambientes sob a área sombreada.

Por fim percebeu-se que o método de simulação proposto se apresenta como uma alternativa viável para a avaliação do principal impacto gerado pela implementação de SVV, que é seu efeito de sombreamento, para a condição climática testada. E pôde-se verificar que, por meio de simulação computacional, o uso de SVV como estratégia passiva de condicionamento ambiental apresentou uma eficiência de redução média de 1°C nas temperaturas operativas do objeto de estudo analisado nesta pesquisa, além da melhoria do amortecimento térmico do sistema, apresentando um aumento

médio de 112%. Estes resultados são corroborados pelos resultados catalogados ao longo da RSL.

5.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de um processo de simulação computacional, os impactos da aplicação de SVV's como estratégia passiva de condicionamento ambiental térmico em edifícios.

Sugere-se como possibilidades de trabalhos futuros que possam expandir esta pesquisa os seguintes tópicos:

- Atualização do arquivo climático da cidade de Belo Horizonte para simular cenários futuros;
- Simulação e medição de dados dos demais ambientes do edifício que foi objeto de estudo desta pesquisa;
- Simulação de um SVV orientado para a fachada nordeste do objeto de estudo, valendo-se aqui de uma mescla de métodos de simulação utilizadas no *software* Energyplus (métodos BSO e WSD);
- Realizar simulações para outros arquivos climáticos, regiões de características climáticas distintas, mas que utilizem sistemas construtivos semelhantes e verificar a variação na eficiência do amortecimento térmico do SVV aplicado a esse sistema construtivo;
- Sugere-se que, futuramente, sejam feitas outras análises valendo-se de uma combinação dos métodos de simulação BSO e WSD propostos por Larsen et al. (2015) para avaliar a redução de temperatura dos ambientes que seriam mais beneficiados com a implementação do SVV.

Entende-se que mais pesquisas são necessárias para avaliar a influência de SVV's sobre edifícios. Considerando que há falta de dados de caráter experimental comparativo entre dados medidos e simulados. Tais pesquisas seriam de grande valia para atualização da literatura de referência dos parâmetros a serem utilizados para a simulação dos elementos do SVV.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15220/2 - Desempenho Térmico de Edificações Parte 2: Método de Cálculo da Transmitância Térmica, da Capacidade Térmica, do Atraso Térmico e do Fator Solar de Elementos e Componentes de Edificações. . 2008.

ABNT. NBR 15575/1 - Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais. . 2013.

AFSHARI, A. A new model of urban cooling demand and heat island—application to vertical greenery systems (VGS). **Energy and Buildings**, v. 157, p. 204–217, dez. 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778817300324>. Acesso em: 21 ago. 2019.

AKINWOLEMIWA, O. H. et al. Building community-driven vertical greening systems for people living on less than £1 a day: A case study in Nigeria. **Building and Environment**, v. 131, p. 277–287, 2018a.

AKOGLU, H. User's guide to correlation coefficients. **Turkish Journal of Emergency Medicine**, v. 18, n. 3, p. 91–93, 2018.

AL-TAMIMI, N. A.; FADZIL, S. F. S. The potential of shading devices for temperature reduction in high-rise residential buildings in the tropics. **Procedia Engineering**, v. 21, p. 273–282, 2011.

ALCHAPAR, N. L. et al. The impact of different cooling strategies on urban air temperatures: the cases of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 130, n. 1–2, p. 35–50, 2017.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

ANDRIĆ, I.; KOC, M.; AL-GHAMDI, S. G. A review of climate change implications for built environment: Impacts, mitigation measures and associated challenges in developed and developing countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 83–102, 2019. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618335315>.

BALCI, O. Principles and techniques of simulation validation, verification, and testing. (C. Alexopoulos et al., Eds.) In: Winter Simulation Conference Proceedings, Blacksburg. **Anais**... Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1995.

BANKS, J.; CARSON II, J.; NELSON, B. **Discrete-event System Simulation**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

BEVACQUA, M. et al. Passive Cooling Techniques for Less Energy Consumption in Buildings a Comparative Study on Green Surfaces. In: Department of Civil Environmental Architectural Engineering and Mathematics (DICATAM), University of Brescia, Brescia, Italy. **Anais**... Department of Civil Environmental Architectural Engineering and Mathematics (DICATAM), University of Brescia, Brescia, Italy: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018.

BIG LADER, S. **Conduction Finite Difference Solution Algorithm**. Disponível em: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-1/engineering-reference/page-017.html>. Acesso em: 29 nov. 2021.

BLANCO, I.; SCHETTINI, E.; VOX, G. Effects of vertical green technology on building surface temperature. **International Journal of Design and Nature and Ecodynamics**, v. 13, n. 4, p. 384–394, 2018a.

BLANCO, I.; SCHETTINI, E.; VOX, G. Effects of Vertical Green Technology on

Building Surface Temperature. **International Journal of Design and Nature and Ecodynamics**, v. 13, n. 4, p. 384–394, 2018b.

CAMERON, R. W. F.; TAYLOR, J. E.; EMMETT, M. R. What's "cool" in the world of green facades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. **Building and Environment**, v. 73, p. 198–207, 2014.

CASTIGLIA FEITOSA, R.; WILKINSON, S. J. Attenuating heat stress through green roof and green wall retrofit. **Building and Environment**, v. 140, p. 11–22, 2018.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos**. 3. ed. [s.l.] Elsevier, 2013.

COAKLEY, D.; RAFTERY, P.; KEANE, M. review of methods to match building energy simulation models to measured data. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 123–141, 2014.

COMA, J. et al. New green facades as passive systems for energy savings on Buildings. In: Energy Procedia, **Anais**...2014.

CONOVER, W. J. **Practical Nonparametric Statistics, 3rd Edition**. 3rd. ed. [s.l.] John Wiley & Sons, Inc., 1999.

COSTANZO, V.; EVOLA, G.; MARLETTA, L. Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 247–255, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815003527>.

CRAWLEY, D. B. et al. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. **IBPSA 2005 - International Building Performance Simulation Association 2005**, v. 43, n. 4, p. 231–238, 2005.

DAHANAYAKE, K. W. D. K. C.; CHOW, C. L. Studying the potential of energy saving through vertical greenery systems: Using EnergyPlus simulation program. **Energy and Buildings**, v. 138, p. 47–59, mar. 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816317480>. Acesso em: 21 ago. 2019.

DAVID, H. A.; GUNNINK, J. L. The Paired t Test Under Artificial Pairing. **The American Statistician**, v. 51, n. 1, p. 9, 1997.

DEMO, P. **Introdução à metodologia da ciência**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

DJEDJIG, R.; BOZONNET, E.; BELARBI, R. Integration of A Green Envelope Model in A Transient Building Simulation Program and Experimental Compraison. In: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Laboratoire des Sciences Pour L'Ingénieur (LaSIE), University of la Rochelle, La-Rochelle, France. **Anais**... Laboratoire des Sciences Pour L'Ingénieur (LaSIE), University of la Rochelle, La-Rochelle, France: 2013. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84886702027&partnerID=40&md5=7e35db59e8f97cc996a152652f9ec3bb>.

DJEDJIG, R.; BOZONNET, E.; BELARBI, R. Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 93–103, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814007956>.

FENG, H.; HEWAGE, K. Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. **Energy and Buildings**, v. 75, p. 281–289, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814001376>.

FLORES LARSEN, S. et al. Modeling Double Skin Green Facades with Traditional Thermal Simulation Software. **Solar Energy**, v. 121, p. 56–67, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.08.033>.

FLORES LARSEN, S.; RENGIFO, L.; FILIPPÍN, C. Double skin glazed façades in

sunny Mediterranean climates. **Energy and Buildings**, v. 102, p. 18–31, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815003928>.

FORRESTER, J. **Industrial Dynamics**. Cambridge: Productivity Press, 1961.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico : arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GLASS, G. V.; PECKHAM, P. D.; SANDERS, J. R. Consequences of Failure to Meet Assumptions Underlying the Fixed Effects Analyses of Variance and Covariance. **Review of Educational Research**, v. 42, n. 3, p. 237–288, 1972.

GOOGLE TRENDS. **Termo buscado: environment, Tipo de busca: termo de pesquisa, Limite geográfico: global, Limite temporal: 5 anos, Categoria de busca: todas, Formato de pesquisa: pesquisa na web**.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. 2. ed. Florianópolis: PROCEL, 1998.

GRIGOLETTI, G. de C.; FLORES, M. G.; SANTOS, J. C. P. dos. Tratamento de dados climáticos de Santa Maria, RS, para análise de desempenho térmico de edificações. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 123–141, 2016.

GROS, A. et al. A New Performance Indicator to Assess Building and District Cooling Strategies. **Procedia Engineering**, v. 169, p. 117–124, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816332167>.

GUPTA, R.; GREGG, M. Using UK climate change projections to adapt existing English homes for a warming climate. **Building and Environment**, v. 55, p. 20–42, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312000236>.

H B, H. et al. Validation of computational models in biomechanics. **Journal of Engineering in Medicine**, v. 224, p. 801–812, 2009.

HARWELL, M. R. et al. Summarizing Monte Carlo Results in Methodological Research: The One- and Two-Factor Fixed Effects ANOVA Cases. **Journal of Educational Statistics**, v. 17, n. 4, p. 315–339, 1992.

HIGDON, D. et al. Combining Field Data and Computer Simulations for Calibration and Prediction. **SIAM Journal on Scientific Computing**, v. 26, n. 2, p. 448–466, 2004.

HOELSCHER, M.-T. et al. Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 283–290, 2016.

HYDE, R. Computer-aided architectural design and the design process. **Architectural Science Review**, v. 59, n. 4, p. 255–256, 2016.

INMET. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática: Belo Horizonte - Cercadinho (F501)**.

INMETRO. Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. . 2013, p. 28.

JAAFAR, B. et al. Impact of Vertical Greenery System on Internal Building Corridors in the Tropic. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 105, p. 558–568, 2013.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements**. 2.ed. ed. New York: ASCE-AMER SOC CIVIL ENGINEERS, 2016.

JENTSCH, M. F.; BAHAJ, A. B. S.; JAMES, P. A. B. Climate change future proofing of buildings-Generation and assessment of building simulation weather files. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 12, p. 2148–2168, 2008.

JÚNIOR, C. R. et al. **Comunicado Técnico 345 - Protetor de Radiação Solar Simples para Termômetros Digitais Eletrônicos**. [s.l: s.n.].

KAUARK, F. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da Pesquisa: Um Guia Prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010.

KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético**. 4. ed. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª ed. [s.l.] LabEEE, 2014.

LARSEN, S. F.; FILIPPÍN, C.; LESINO, G. Thermal Simulation of a Double Skin Façade with Plants. **Energy Procedia**, v. 57, p. 1763–1772, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021401532X>.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

LIBESSART, L.; KENAI, M. A. Measuring thermal conductivity of green-walls components in controlled conditions. **Journal of Building Engineering**, v. 19, p. 258–265, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2018.05.016>.

LIX, L. M.; KESELMAN, J. C.; KESELMAN, H. J. Consequences of Assumption Violations Revisited: A Quantitative Review of Alternatives to the One-Way Analysis of Variance "F" Test. **Review of Educational Research**, v. 66, n. 4, p. 579, 1996.

LOMAS, K. J.; EPPEL, H. Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. **Energy and Buildings**, v. 19, n. 1, p. 21–44, 1992.

LUMLEY, T. et al. THE IMPORTANCE OF THE NORMALITY ASSUMPTION IN LARGE PUBLIC HEALTH DATA SETS. **Annual Reviews Public Health**, n. 23, p. 151–169, 2002. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.publhealth.23.100901.140546>.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: A review of their characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 863–871, 2015.

MAZZAFERRO, L. et al. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do préprocessador Slab no programa EnergyPlus**. 1. ed. [s.l: s.n.]

MEZZAROBA, O.; MONTEIRO, C. S. **Manual de metodologia da pesquisa no direito**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

MOHAJERANI, A.; BAKARIC, J.; JEFFREY-BAILEY, T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p. 522–538, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717303201>.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 8. ed. [s.l.] John Wiley & Sons, Inc., 2013.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 6.ed. ed. Rio de Janeiro: GEN, 2016.

MORAKINYO, T. E. et al. Thermal benefits of vertical greening in a high-density city: Case study of Hong Kong. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 37, p. 42–55, jan. 2019.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. [s.l.] ROUTLEDGE JOURNALS, TAYLOR & FRANCIS LTD, 1987.

OLIVIERI, F. et al. An experimental method to quantitatively analyse the effect of

thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall. **Energy and Buildings**, v. 150, p. 132–148, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816315419>.

OLIVIERI, F.; OLIVIERI, L.; NEILA, J. Experimental study of the thermal-energy performance of an insulated vegetal façade under summer conditions in a continental mediterranean climate. **Building and Environment**, v. 77, p. 61–76, 2014.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1. 2003.

OSTERTAGOVÁ, E.; OSTERTAG, O. Methodology and Application of One-way ANOVA. **American Journal of Mechanical Engineering,** v. 1, n. 7, p. 256–261, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259291691_Methodology_and_Application_of_One-way_ANOVA>.

OTHMAN, A. R.; SAHIDIN, N. Vertical Greening Façade as Passive Approach in Sustainable Design. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 222, p. 845–854, jun. 2016.

OTTELÉ, M.; PERINI, K. Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical greened façades of buildings. **Ecological Engineering**, v. 108, p. 152–161, 2017.

PAPST, A. L. **Uso de Inércia Térmica no Clima Subtropical Estudo de Caso em Florianópolis – SC**. 1999. UFSC, 1999.

PEDERSEN, C. O. Enthalpy formulation of conduction heat transfer problems involving latent heat. **Simulation**, v. 18, n. 2, p. 57–59, 1972.

PEREIRA, A. R. **ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO PARA USUÁRIOS DE UMA MORADIA UNIVERSITÁRIA E DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SUA ENVOLTÓRIA**. 2019. Federal Center for Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG), 2019.

PEREIRA, C. D. et al. Avaliação experimental do espectrômetro Alta II e sua aplicação na normatização brasileira. Ambiente Construído, p. 197–213, 2017.

PERES, L. de F. et al. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 64, p. 104–116, fev. 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0303243417301770>.

PROCEL; ELETROBRAS; INMETRO; CB3E. RTQ-R Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética das Edificações Residenciais. . 2012, p. 138.

PROCEL; ELETROBRAS; INMETRO; CB3E. **Diretrizes para Obtenção de Classificação Nível A para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. 1. ed. Brasília: PROCEL, 2014.

RABINOWITZ, L.; RICE, J. A. **Mathematical Statistics and Data Analysis**. [s.l: s.n.]v. 31

RAMOS, L.; OLIVEIRA, R.; AZEVEDO, R. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA APLICADA AO USO DE SISTEMAS VEGETADOS VERTICAIS EM SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES. In: XI ELACAC, João Pessoa - PB. **Anais**... João Pessoa - PB: 2019a.

RAMOS, L. T. S.; OLIVEIRA, R. D.; AZEVEDO, R. C. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA APLICADA AO USO DE SISTEMAS VEGETADOS VERTICAIS EM SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES. (E. Krüger, S. M. Leder, A. V. P. Lima, Eds.) In: XV ENCAC / XI ELACAC, João Pessoa - PB. **Anais**... João Pessoa -

PB: ANTAC, 2019b.

REBOITA, M. S. et al. ASPECTOS CLIMÁTICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, n. 11, p. 206–226, 2015.

RIOS, G. A. A. **Desempenho Termoenergético de Habitação de Interesse Social**. 2015. UNESP, 2015.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: Acondicionamento Térmico Natural**. 2ª ed. [s.l: s.n.]

RIZWAN, A. M.; DENNIS, L. Y. C.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, n. 1, p. 120–128, 1 jan. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074208600194>. Acesso em: 26 ago. 2019.

ROLIM, G. de S. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007.

ROTTA, R. **Desempenho Térmico de Edificações Multifamiliares de Interesse Social em Conjuntos Habitacionais na Cidade de Santa Maria – RS**. 2009. UFSM, 2009.

SAFIKHANI, T. et al. **A review of energy characteristic of vertical greenery systemsRenewable and Sustainable Energy Reviews**, dez. 2014. . Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032114006182>. Acesso em: 21 ago. 2019.

SÁNCHEZ-RESÉNDIZ, J. A. et al. Experimental assessment of the thermal behavior of a living wall system in semi-arid environments of central Mexico. **Energy and Buildings**, v. 174, p. 31–43, 2018.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models are discussed in this paper. **Journal of Simulation**, v. 7, p. 12–24, 2013.

SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. M. Jardins Verticais: potencialidades para o ambiente urbano. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 2, n. 2, p. 49, 2014.

SERRA, V. et al. A novel vertical greenery module system for building envelopes: The results and outcomes of a multidisciplinary research project. **Energy and Buildings**, v. 146, p. 333–352, jul. 2017.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3–4, p. 591–611, 1965.

SIEGEL, S. **Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences**. [s.l.] McGraw-Hill, 1956.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. [s.l: s.n.]

STUART, A.; ORD, K.; ARNOLD, S. **Kendall's Advanced Theory of Statistics, Classical Inference and the Linear Model (Volume 2A)**. 6 ed. ed. [s.l.] Wiley, 2010.

SUDIMAC, B. et al. Heat flux transmission assessment of a vegetation wall influence on the building envelope thermal conductivity in Belgrade climate. **Journal of Cleaner Production**, v. 223, p. 907–916, 2019. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619304767>.

SUN, J.; LI, Z.; XIAO, F. Analysis of Typical Meteorological Year selection for energy simulation of building with daylight utilization. **Procedia Engineering**, v. 205, p. 3080–3087, 2017.

TABARES-VELASCO, P. C.; GRIFFITH, B. Diagnostic test cases for verifying surface heat transfer algorithms and boundary conditions in building energy simulation

programs. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 5, n. 5, p. 329–346, 2011.

U.S., D. of E. **EnergyPlus™ Version 8.7 Documentation: Input Output Reference**. [s.l: s.n.]

UNITED NATIONS, D. of E. and S. A. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)Demographic Research**. [s.l: s.n.].

VERSTEEG, H.; MALALASEKRA, W. **An Introduction To Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method**. [s.l.] Prentice Hall, 1996.

VOX, G. et al. Evaluation of wall surface temperatures in green facades. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability**, v. 170, n. 6, p. 334–344, 2017a.

VOX, G.; BLANCO, I.; SCHETTINI, E. Green façades to control wall surface temperature in buildings. **Building and Environment**, v. 129, p. 154–166, 2018.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis. **Ninth International IBPSA Conference**, p. 1331–1338, 2005.

WILCOXON, F. Individual Comparisons by Ranking Methods. **Biometrics Bulletin**, v. 1, n. 6, p. 80–83, 1945.

WILKINSON, S. et al. Evaluating the Thermal Performance of Retrofitted Lightweight Green Roofs and Walls in Sydney and Rio de Janeiro. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 231–240, 2017.

WILLIAM L, O.; TIMOTHY G, T.; CHARLES, H. Verification, validation, and predictive capability in computational engineering and physics. **Applied Mechanics Reviews**, v. 57, n. 5, p. 345–384, 2004.

WONG, N. H. et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and Environment**, v. 45, n. 3, p. 663–672, mar. 2010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230900198X>. Acesso em: 21 ago. 2019.

YIN, H. et al. Cooling effect of direct green façades during hot summer days: An observational study in Nanjing, China using TIR and 3DPC data. **Building and Environment**, v. 116, p. 195–206, 2017.

YU, R.; ZHAI, P.; CHEN, Y. Facing climate change-related extreme events in megacities of China in the context of 1.5°C global warming. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 30, p. 75–81, 2018. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343517300805>.

YUAN, S.; RIM, D. Cooling energy saving associated with exterior greenery systems for three US Department of Energy (DOE) standard reference buildings. **Building Simulation**, v. 11, n. 4, p. 625–631, ago. 2018.

ZAID, S. M. et al. Vertical Greenery System in urban tropical climate and its carbon sequestration potential: A review. **Ecological Indicators**, v. 91, p. 57–70, ago. 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X18302413>. Acesso em: 21 ago. 2019.

ANEXOS E APÊNDICES

ANEXO A. FACHADA NORTE

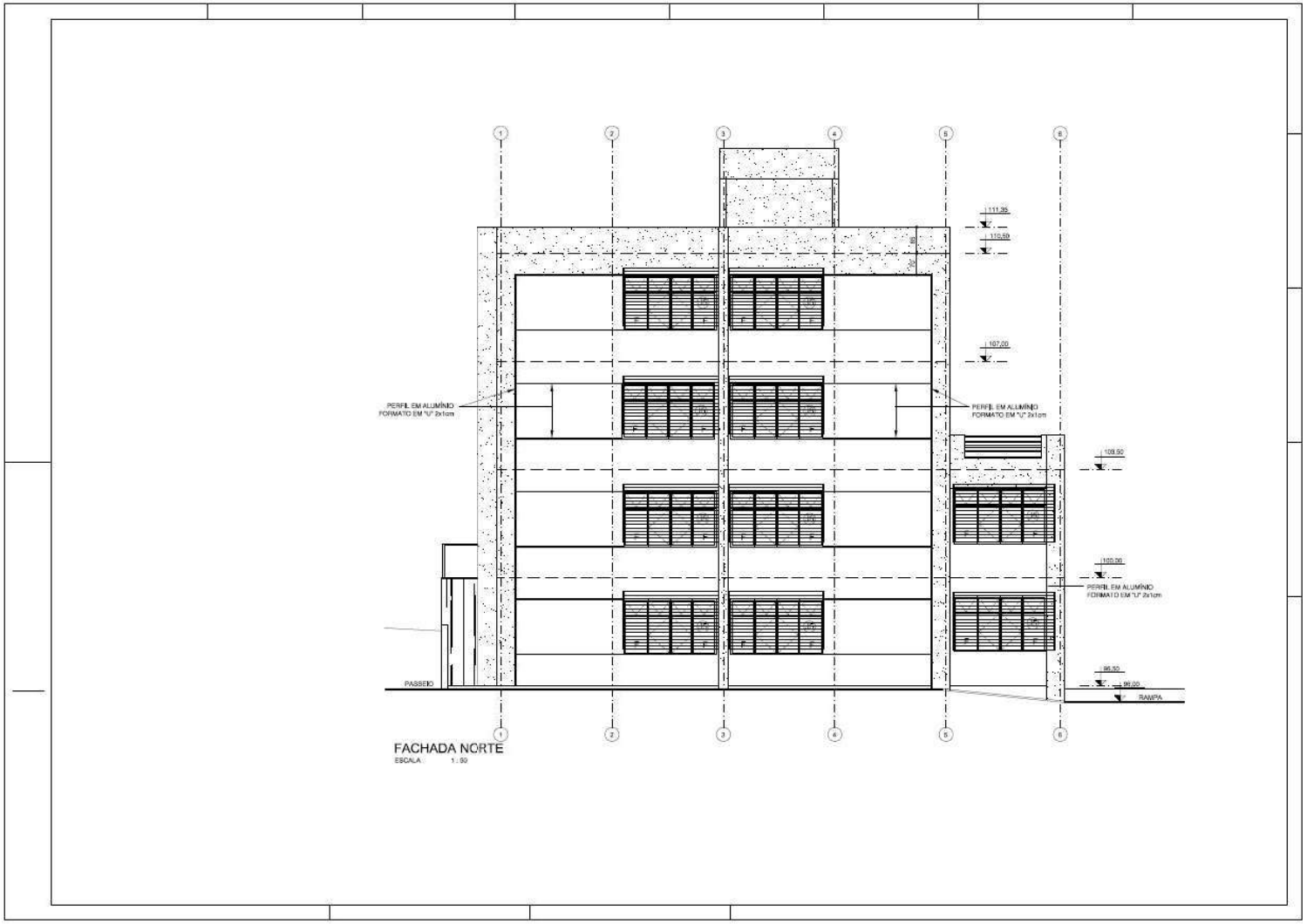


Figura 14 – Fachada Norte
Fonte: Prefeitura CEFET-MG, 2020

ANEXO B. PRIMEIRO ANDAR

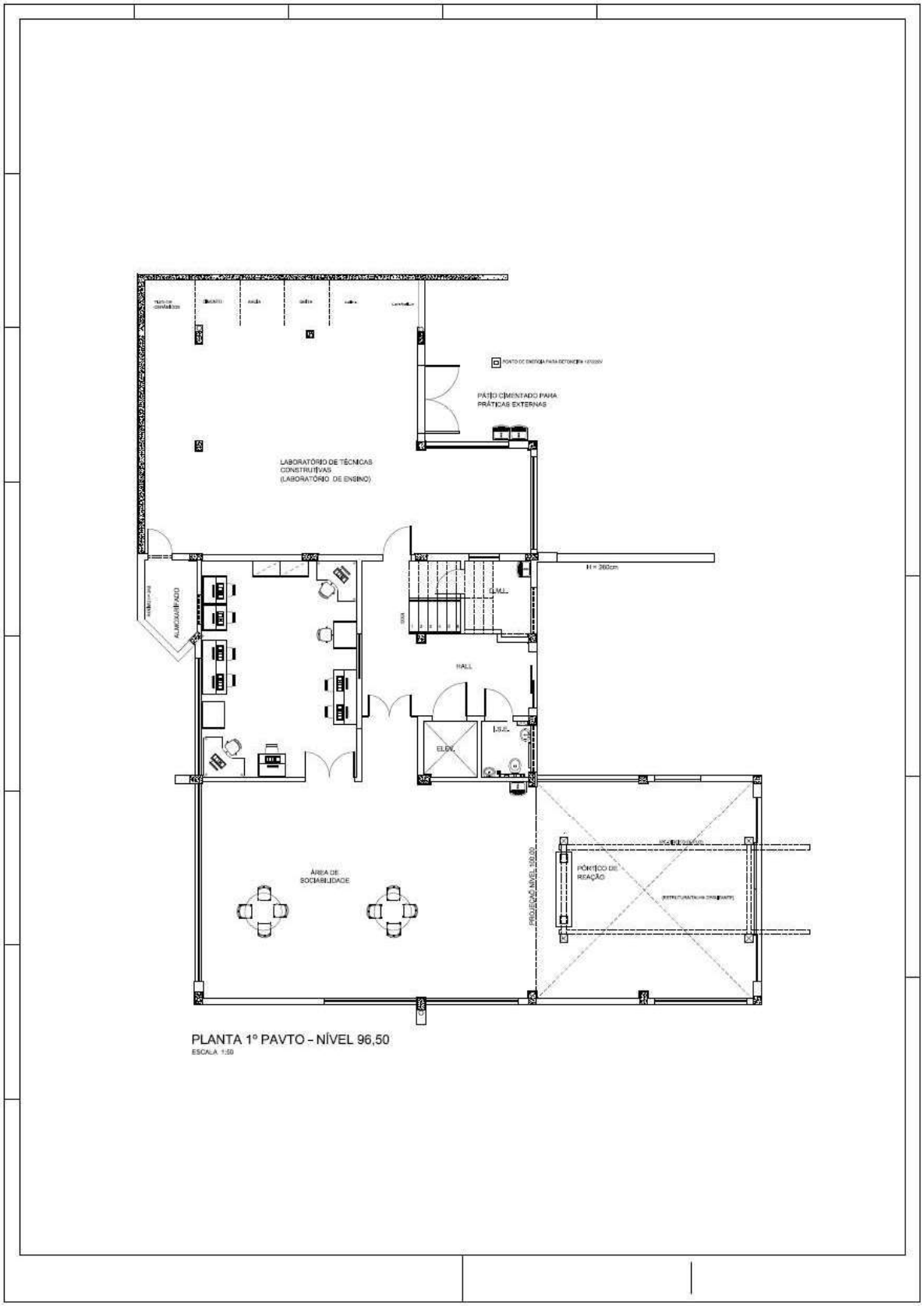


Figura 15 – Planta do 1° Andar
Fonte: Prefeitura CEFET-MG, 2020

ANEXO C. SEGUNDO ANDAR

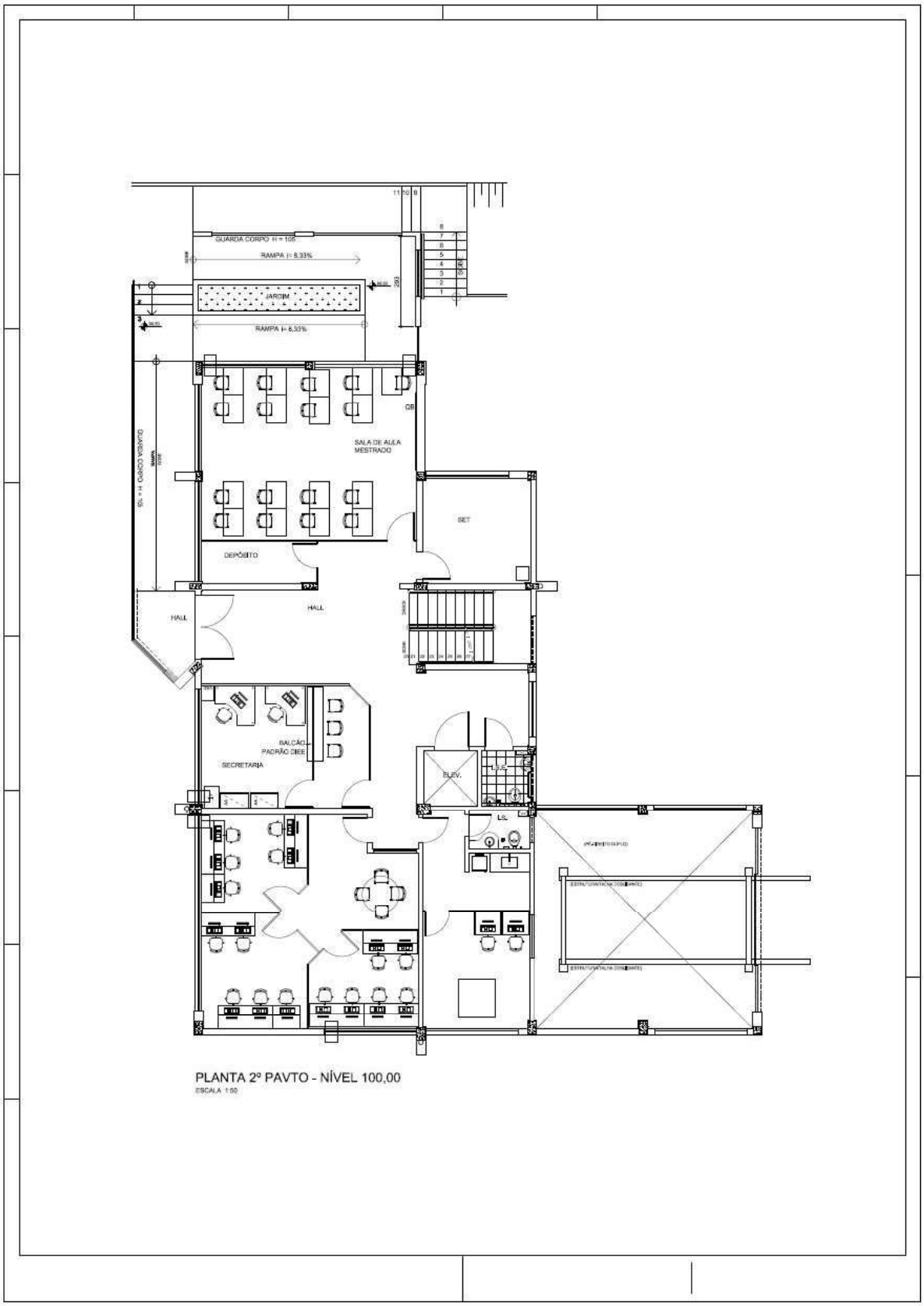


Figura 16 – Planta do 2° Andar
Fonte: Prefeitura CEFET-MG, 2020

ANEXO D. TERCEIRO ANDAR

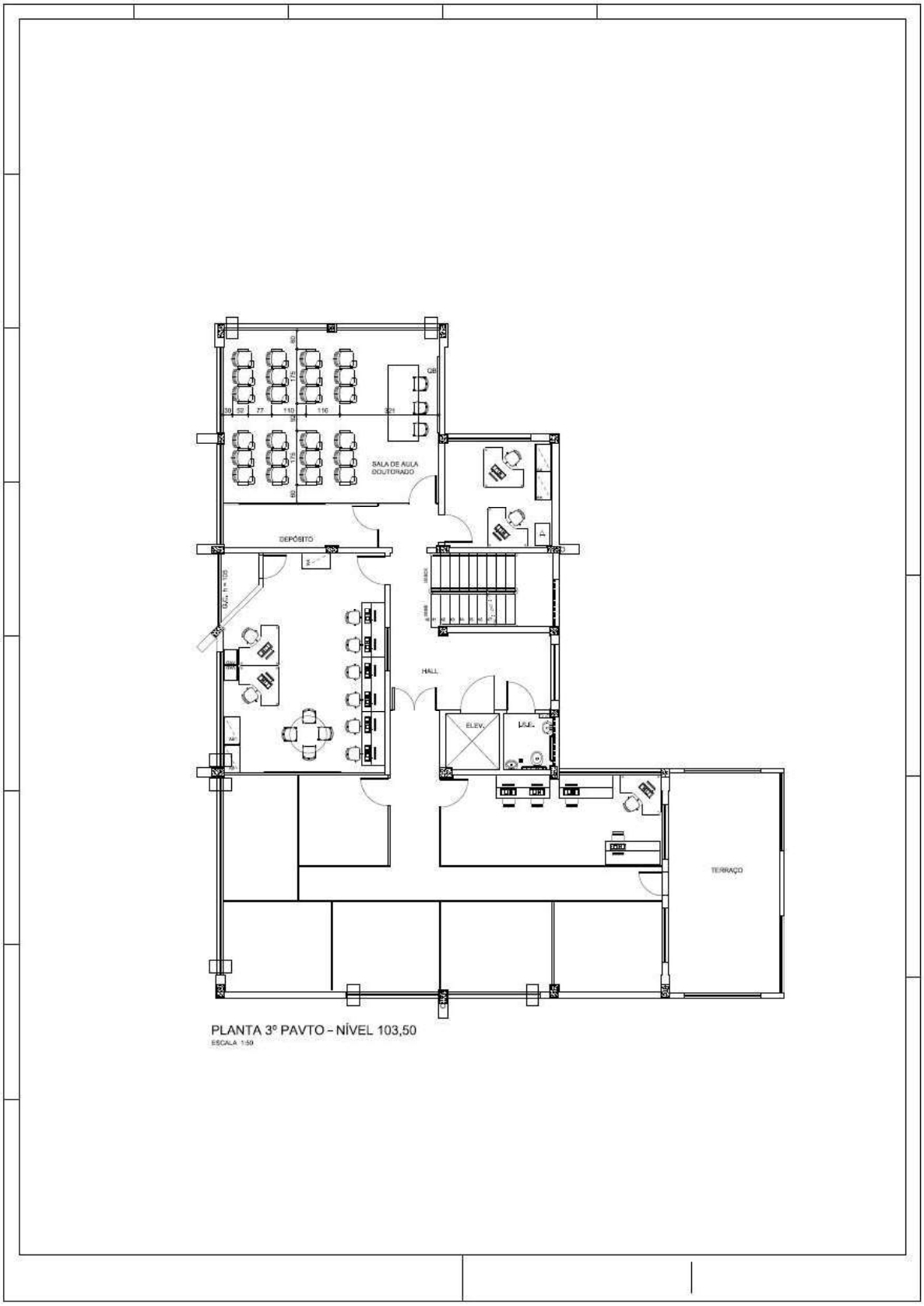


Figura 17 – Planta do 3° Andar
Fonte: Prefeitura CEFET-MG, 2020

ANEXO E. QUARTO ANDAR

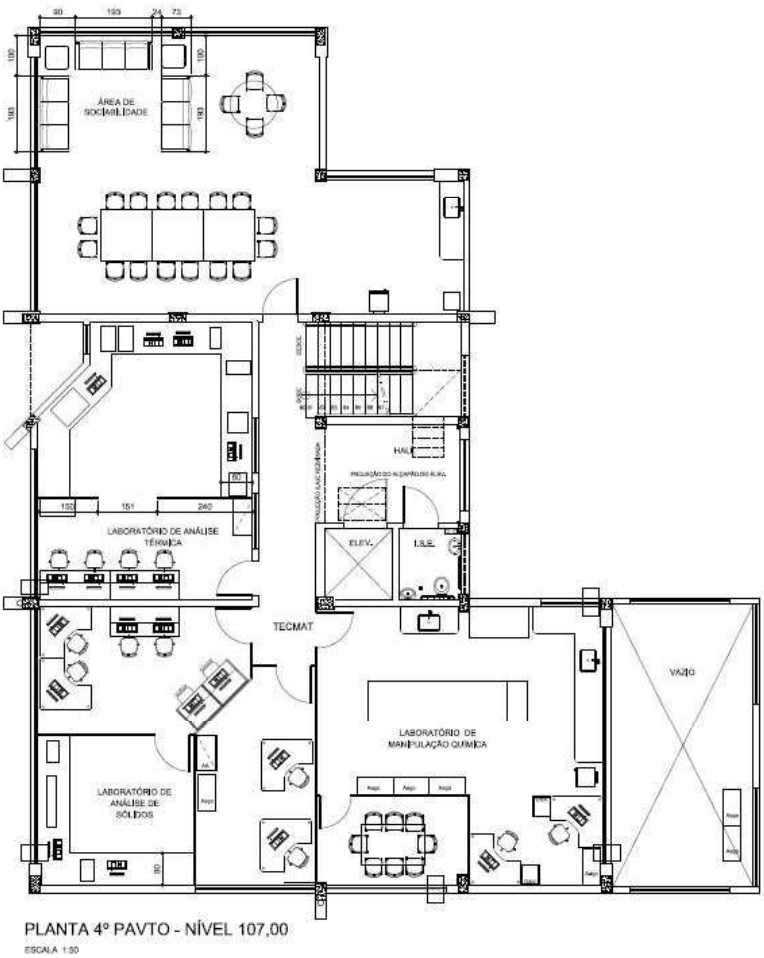
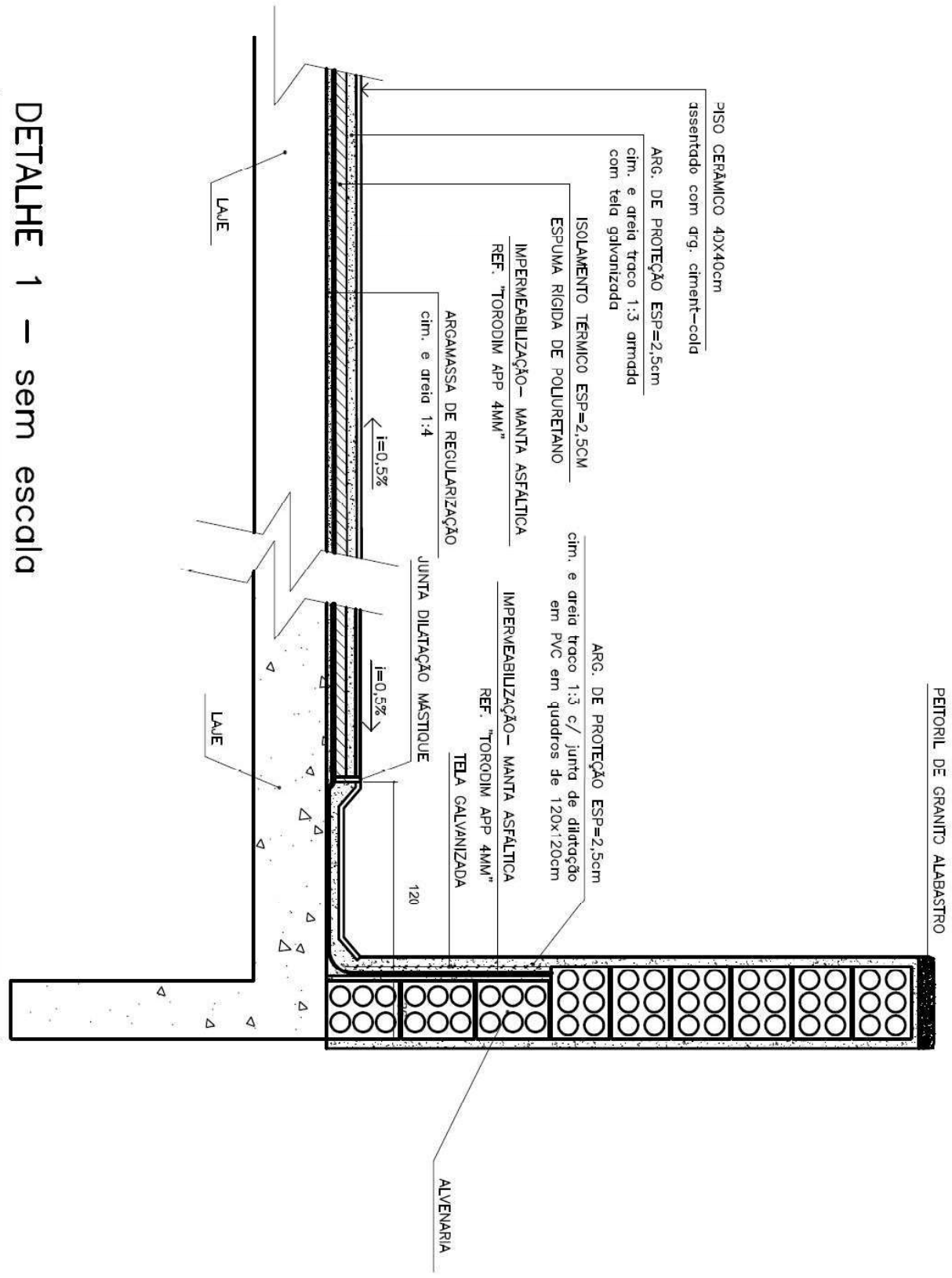


Figura 18 – Planta do 4° Andar
Fonte: Prefeitura CEFET-MG, 2020

ANEXO F. DETALHE DE IMPERMEABILIZAÇÃO DA COBERTURA



DETALHE 1 – sem escala

IMPERMEABILIZAÇÃO/ISOLAMENTO TÉRMICO TERRAÇO

Figura 19 – Detalhe de impermeabilização da cobertura
Fonte: Prefeitura CEFET-MG, 2020

ANEXO G. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE STRESS TÉRMICO

1935/2018-2

CALIBRATEC®

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 12978/2018

Contratante Adriana Rodrigues Pereira [redacted]

Solicitante: Adriana Rodrigues Pereira [redacted]

2. Descrição

Instrumento: Termômetro de Globo
Marca: Instrutherm — Identificação: **111292**
Modelo: TGD-300 — Série: 070307667

3. Método utilizado:

3.1 Procedimentos

Conforme solicitação, nosso Laboratório realizou calibração no instrumento acima, com base em nosso procedimento de confirmação metrológica PGQ-005 e instrução de processo IPR-036 conforme última revisão.

4. Padrão(ões) utilizado(s)

Descrição Padrão	Identificação	Certificado	Validade	Calibrado por
Calibrador Portátil Micro Processado	CAP.002	3631/17	05/2020	Ecil
Termoresistência Tipo Pt-100 a 4 Fios	TPP.005	5710/17	08/2018	Ecil

5. Incerteza das medições:

U = Incerteza das medição
A incerteza expandida de medição relatada é declarada como incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com Veff graus de liberdade efetivos correspondente a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA 4/02.

6. Condições ambientais:

Temperatura: 23 ± 5 ºC — Umidade relativa: 52 ± 23 % u.r

7. Resultados

Devido o instrumento apresentar-se danificado, não foi possível efetuar a calibração antes do ajuste.

Resultados após ajuste

TEMPERATURA - BULBO ÚMIDO

Indicação Padrão	Indicação Instrumento	Tendência	K	U (±)	Erro Total
(°C)	(°C)	(°C)		(°C)	(°C)
15,0	14,0	-1,0	2,00	0,1	1,1
20,2	18,2	-2,0	2,00	0,1	2,1
29,5	27,3	-2,2	2,00	0,1	2,3
40,1	38,6	-1,5	2,00	0,1	1,6
50,2	48,7	-1,5	2,00	0,1	1,6

TEMPERATURA - BULBO SECO

Indicação Padrão	Indicação Instrumento	Tendência	K	U (±)	Erro Total
(°C)	(°C)	(°C)		(°C)	(°C)
15,0	14,9	-0,1	2,00	0,1	0,2
20,2	19,9	-0,3	2,00	0,1	0,4
29,5	29,2	-0,3	2,00	0,1	0,4
40,1	39,8	-0,3	2,00	0,1	0,4
50,2	49,9	-0,3	2,00	0,1	0,4

Só não medimos esforços!

1935/2018-2

CALIBRATEC®

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 12978/2018

TEMPERATURA - GLOBO					
Indicação Padrão	Indicação Instrumento	Tendência	K	U (±)	Erro Total
(°C)	(°C)	(°C)		(°C)	(°C)
15,0	15,0	0,0	2,00	0,1	0,1
20,2	20,0	-0,2	2,00	0,1	0,3
29,5	29,2	-0,3	2,00	0,1	0,4
40,1	39,7	-0,4	2,00	0,1	0,5
50,2	50,0	-0,2	2,00	0,1	0,3

8. Notas

Os valores obtidos foram considerados após média de três medições
Nota: Instrumento calibrado com ajuste.
Erro Total = (|Tendência| + |U|)
U = Incerteza expandida de medição.
K = Fator de abrangência
Este certificado é valido exclusivamente para o instrumento calibrado descrito, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer outros, mesmo que similares.
Não é permitida a reprodução parcial deste certificado.
A validade de calibração do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema qualidade de acordo com a Norma 17025:2005 - Item 5.10.4.4.
Este certificado esta em conformidade com a norma NBR - ISO - IEC-17025/2005.
Certificado digital, dispensa cópia física.

9. Observações

-

10. Considerações finais:

Data de Calibração: 24/04/2018

Data de emissão: 24/04/2018

Data de recebimento: 13/04/2018

Lucas Vinícius Chamone Lima
Técnico Executante

FREDERICO CAMPOS
Coord. Qualidade

Só não medimos esforços!

APÊNDICE A. ARTIGO PUBLICADO NO XV ENCAC - 2019

XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

REVISÃO BIBLIOMÉTRICA APLICADA AO USO DE SISTEMAS VEGETADOS VERTICAIS EM SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Lucas T. S. Ramos (1); Raquel D. Oliveira (2); Rogério C. Azevedo (3)
(1) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, lucasramoscivil@gmail.com
(2) Doutora, Professora do Departamento de Engenharia Civil, raqueldiniz@cefetmg.br
(3) Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Civil, rogerio@civil.cefetmg.br
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belo Horizonte–MG, 30510-000, Tel.: (31) 3319 6848

RESUMO
A aplicação de alternativas de controle ambiental em edifícios tem ganho maior repercussão em tempos de busca por edifícios eficientes. Uma das soluções investigadas são os sistemas vegetados verticais. Esta pratica ainda é pouco utilizada e na maioria das vezes com intenções apenas paisagísticas, contudo seus benefícios têm se mostrado uma alternativa passiva na busca pela eficiência energética. Este trabalho tem como foco a análise da literatura, em seu estado atual, da simulação de desempenho térmico de sistemas vegetados verticais aplicados em edificações. Visando o cumprimento deste objetivo utilizou-se como ferramenta o método Proknow-C de revisão sistêmica da literatura (RSL), que permitiu selecionar um portfólio relevante de artigos que tratam da temática e analisá-lo segundo cinco parâmetros percebidos como relevantes ao longo do processo de pesquisa: software utilizado, confirmação da eficácia dos sistemas verdes, método de implementação dos sistemas vegetados verticais nas simulações térmicas, validação dos resultados simulados e o método de avaliação da resposta fornecida pelo sistema vegetado vertical. Ao fim desta pesquisa temos uma ação inicial de estruturação de revisão da literatura sobre o tema, a qual espera-se que possa orientar novas pesquisas a serem desenvolvidas apoiando-se nos parâmetros mais aceitos e aplicados neste campo.

Palavras-chave: simulação térmica, edifícios, parede verde.

ABSTRACT
Building envelope and its local climate association can be harnessed to implement improvements on the building's s thermal performance. Despite the fact that vertical greenery systems adoption has gain more attention in recently researches, its computational implementation still be very underexplored. The purpose of this work is to present a review of vertical greenery systems applied in thermal simulations as a strategy of climate control, through the evaluation of how these researches have being developed and to determine which methods and criteria should be replicated for the thermal simulation of vertical greenery systems. So it was elaborated a literature overview by using the Knowledge Development Process - Constructivist (ProKnow-C Methodology). This review was built through the selection of a portfolio and development of analyzes that will ease the development of researches on this field. The main points found in the portfolio that also should be considered in this work are: application of a recognized software by the community, confirmation of greenery systems adoption as an environment control strategy, the method used to implement a vertical greenery system as an element in thermal simulation, the confirmation and the methodology of validation of the results found and method to evaluate the success of this environmental control strategy. In conclusion it was identified the preferred responses for the analysis lenses as proposed by the method, allowing this review to be an initial step towards a recognized group of parameters that will favor the development of researches related to thermal simulation of vertical greenery systems.

Keywords: thermal simulation, buildings, green wall.

1. INTRODUÇÃO

O uso eficiente de energia elétrica é um dos maiores desafios mundiais, dado suas implicações socioambientais. O crescimento do consumo de eletricidade decorre do desenvolvimento econômico do país e do seu crescimento populacional. No Brasil, edificações residenciais, comerciais e públicas são responsáveis por 42,8% da energia elétrica utilizada no país (BRASIL, 2018).

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf (BRASIL, 2011), para proporcionar condições de conforto térmico aceitáveis em edificações dos três setores (residencial, de serviços e público) gasta-se um montante significativo de energia elétrica. Mendes *et al.* (2005) atestam que, como os três setores apresentam parte representativa do consumo energético nacional, novas análises devem ser desenvolvidas no tocante ao desempenho térmico das edificações. O estudo e a aplicação de estratégias passivas de condicionamento ambiental têm ganhado destaque na busca de conforto do usuário, implicando inclusive na redução da aplicação de estratégias ativas, conforme Wong e Li (2007). Estudos focados na eficiência energética de edificações mostram que estratégias passivas podem contribuir na minimização do consumo de energia elétrica gasta para o condicionamento ambiental de edificações (ANDRIC; KOC; AL-GHAMDI, 2019).

Para Wong *et al.* (2010a) o fenômeno das Ilhas de Calor se faz decorrente da intensa urbanização nas cidades, pela qual se consomem os espaços vegetados substituindo-os por superfícies de baixa reflexão à radiação. Neste contexto, Wong *et al.* (2010a) e Minks (2013) propõem ampla reintrodução da vegetação em ambientes urbanos. Dentro da proposta de reintrodução de vegetação nos ambientes urbanos a aplicação de sistemas vegetados verticais (SVV) associados à vedação vertical externa enquanto instrumento otimizador do desempenho térmico edilício é uma alternativa que, embora ainda seja pouco explorada, tem ganhado destaque nas pesquisas que buscam estratégias alternativas de controle ambiental.

Os SVV's apresentam diferenças de significado quanto ao termo, conforme Jaafar *et al.* (2013) demonstram. Para Scherer e Fedrizzi (2014) SVV é o sistema de revestimento vegetal aplicado numa superfície vertical, usualmente de vedação, ou estrutural, com ou sem auxílio de suportes.

Wong *et al.* (2010a) e Minks (2013) propõem uso de estruturas verticais naturais, os SVV's, como solução para questões de adequação do conforto térmico dos usuários e combate aos fenômenos de ilhas de calor urbanas (UHI). Wong *et al.* (2010a) sugere que os SVV's, ainda que não estejam completamente averiguados e explorados, podem ser amplamente utilizados dada a alta área de alvenaria externa disponível nos centros urbanos. Ainda segundo Wong *et al*. (2010a) o uso de SVV's apresenta potencial de mitigação dos efeitos dos processos de Ilhas de Calor devido ao sombreamento e o efeito de evapotranspiração proporcionados por esses sistemas.

A literatura ainda apresenta outra vantagem relativa aos SVV's: amortecimento térmico de edificações. Wong *et. al* (2010b) apresentam resultados de redução de temperatura variando de 3,3°C a 12°C, a depender do sistema vegetado aplicado ao elemento de vedação, bem como das características climáticas da localidade em que o sistema está implementado.

Como as análises a respeito da aplicação de SVV ainda são esparsas, uma alternativa para a exploração dos possíveis resultados desta técnica construtiva é a simulação de desempenho térmico de edifícios com a aplicação desta solução passiva. Westphal e Lamberts (2005) demonstram que a simulação térmica de edifícios apresenta percalços, especialmente relativos aos programas utilizados para simulação e a necessidade de conhecimento em áreas distintas para a compreensão e o correto desenvolvimento dos procedimentos computacionais relativos a simulação.

Para Rios (2015) o processo de simulação térmica de edifícios segue um processo padrão até a ocorrência da simulação propriamente dita. O processo é constituído por:

a)Modelagem computacional da edificação;

b) Inserção dos dados no *software* de simulação;

c)Calibração e validação do modelo.

Existem diversos *softwares* de acesso aberto, ou uso comercial apropriados para a execução de analises térmicas de edifícios. Estes *softwares* geralmente realizam análises energéticas, sendo que a avaliação de propriedades térmicas de edifícios é apenas uma delas. Crawley *et al.* (2008) apresentam uma análise de vinte diferentes *softwares* de simulação de performance energética de edifícios e atestam que apesar das diferenças inerentes a cada um, a estrutura de elaboração da simulação é praticamente a mesma e esta condiz com a proposta por Rios (2015). Este trabalho selecionou o *software* Energyplus, devido a sua recomendação pela NBR 15.575-1(2013) para avaliação de desempenho de edificações, sua validação pelo Building Energy Simulation Tests (BESTEST) e a sua adoção pela ANSI/ASHRAE Standard 140/2017 (ASHRAE, 2017).

Uma vez que os procedimentos computacionais para desenvolvimento de simulações de desempenho térmico de edificações são diversos, faz-se relevante a aplicação de uma metodologia de RSL para permitir a busca de

artigos que representem o estado da arte desta temática e, a partir deste, analisar critérios relevantes para a simulação dos SVV's. O método Proknow-C proposto por Ensslin e Ensslin (2007) permite o desenvolvimento de uma RSL que facilita a obtenção de parâmetros relevantes à temática pesquisada por meio do processo de definição do que o método define como "lentes de pesquisa", que são as questões de interesse que se busca responder por meio do uso do Proknow-C.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é explorar o tema SVV (Sistema Vegetado Vertical), quanto a sua aplicação em simulações térmicas computacionais, voltadas para o desenvolvimento de métodos de avaliação de eficiência térmica.

3. MÉTODO

A metodologia de RSL aplicada foi o método Proknow-C, podendo ser resumida em quatro etapas, conforme a Figura 1, onde a Seleção do Portfólio Bibliográfico consiste na busca de artigos acadêmicos; a etapa de Bibliometria consiste na análise dos artigos visando avaliar sua relevância, com o uso de índices como a quantidade de citações dos mesmos; a Análise Sistêmica consiste na leitura integral e entendimento dos artigos selecionados; por fim a Pergunta de Pesquisa é a definição das lentes, ou aquilo que se busca identificar nos artigos e que será o resultado da RSL (ENSSLIN E ENSSLIN, 2007). Segundo Afonso, Souza, Ensslin *et al.* (2011) este método, desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), permite a seleção e análise quantitativa de artigos científicos, visando garantir o prestígio e qualidade dos mesmos para possibilitar o desenvolvimento da pesquisa (Santos e Azevedo, 2018; Gomes, Poggiali e Azevedo, 2019 e Alves *et al*., 2017).

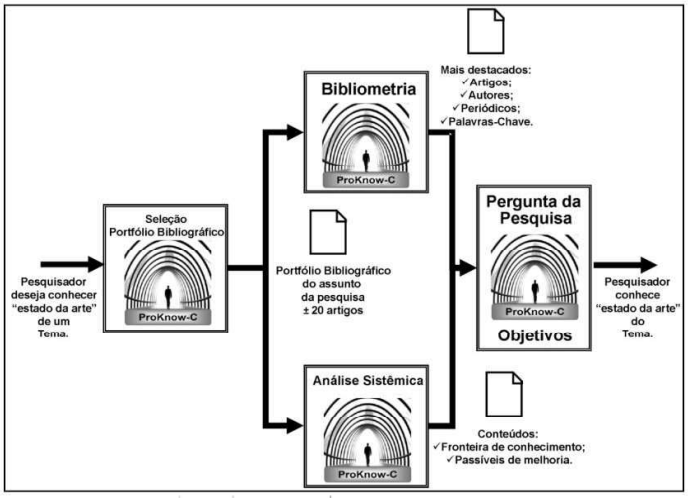


Figura 1 – Metodologia Proknow-C (LACERDA *et al.,* 2012)

3.1. Seleção Do Portfolio

Conforme Ensslin e Ensslin (2007) a etapa de seleção do portfólio bibliográfico consiste em: selecionar artigos; filtrar os artigos selecionados de acordo com o direcionamento pretendido com a pesquisa; excluir artigos de baixa representatividade do portfólio bibliográfico. O processo de seleção dos artigos relativos à simulação de desempenho térmico de SVV aplicado a edificações nas bases de dados está resumido na Tabela 1. As bases escolhidas foram selecionadas via portal CAPES, buscando as bases relacionadas à Engenharia Civil e que apresentassem apenas artigos completos, o que delimitou o espaço amostral em 13 bases. A Tabela 1 apresenta as bases juntamente do conjunto final de palavras chave aplicados à pesquisa e o número de artigos retornados para a combinação de palavras chave em cada uma das bases.

Tabela 1 – Número de artigos por combinação de palavras chave nas bases

	Palavras chave
Bases de dados	***"thermal simulation" + "building" + "green wall"***
AIP Scitation American Institute of Physics	0
Applied Science Tech Full Text (EBSCO)*	-
Engineering Village (Elsevier)	2
Hindawi	1
Intituition of Civil Engineers – ICE*	-
SciELO.ORG	0
Science Direct (Elsevier)	20
SCOPUS (Elsevier)	4
SpringerLink (MetaPress)	3
Web of Science	3
Wiley Online Library	0
American Society of Civil Engineers - ASCE*	-
Taylor & Francis Online	2
TOTAL DE ARTIGOS PARA A COMBINAÇÃO	**35**

O processo de filtragem dos artigos foi auxiliado com o uso do gerenciador de referências Mendeley e após a checagem de duplicatas o total de artigos encontrados foi reduzido para 25; a avaliação de alinhamento pela análise dos títulos reduziu o total para 19 artigos; a leitura dos resumos e busca de termos específicos presentes no texto reduziu o número de artigos para 11. O procedimento de teste da aderência das palavras chave (PC) permitiu a inclusão de uma nova PC "*vertical greenery system*" que associada a PC "*thermal simulation*" acrescentou 1 novo artigo ao banco de dados, outras palavras chave, também retiradas dos artigos, foram aplicadas, mas não resultaram em acréscimo ao portfólio da pesquisa. Sendo assim, ao fim do processo, o banco de dados de artigos ficou com 12 artigos já totalmente alinhados ao tema de pesquisa e prontos para o procedimento da análise sistêmica. A última combinação de palavras chave foi aplicada para corrigir o uso do termo ambíguo (planta = projeto) selecionado previamente.

Devido à natureza recente do tema, que resultou em um baixo retorno de artigos, o processo de exclusão dos artigos de baixa relevância acadêmica (contagem do número de citações) e o corte por limite temporal foram desconsiderados pelo pesquisador, procedendo-se assim com a análise sistêmica com todos os 12 artigos restantes, apresentados no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 – Artigos selecionados para o portfólio bibliográfico

#	**Artigo**
1	GROS, A., BOZONNET, E., INARD, C., MUSY, M. A New Performance Indicator to Assess Building and District Cooling Strategies. **Procedia Engineering,** v. 57, n.1, p. 117–124, 2016.
2	OLIVIERI, F., GRIFONI, R. C., REDONDAS, D., SÁNCHEZ-RESÉNDIZ, J. A., TASCINI, S. An experimental method to quantitatively analyze the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall. **Energy and Buildings**, v.150, n.1, p. 132-148, 2017.
3	DJEDJIG, R., BOZONNET, E., BELARBI, R. Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. **Energy and Buildings**, v.86, n.1, p. 93-103, 2015.
4	LARSEN, S. F., RENGIFO, L., FILIPPÍN, C. Double skin glazed façades in sunny Mediterranean climates. **Energy and Buildings**, v.102, n.1, p. 18-31, 2015.
5	FENG, H., HEWAGE, K. Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. **Energy and Buildings**, v.75, n.1, p. 281-289, 2014.
6	SUDIMAC, B., ILIC, B., MUNCAN, V., ANDELKOVIC, A. S. Heat flux transmission assessment of a vegetation wall influence on the building envelope thermal conductivity in Belgrade climate. **Journal of Cleaner Production**, v.223, n.1, p. 907-916, 2019.
7	DJEDJIG, R., BOZONNET, E., BELARBI, R. Integration of A Green Envelope Model in A Transient Building Simulation Program and Experimental Comparison. **13th Conference of International Building Performance Simulation Association**, p. 47-53, 2013.
8	LIBESSART, L., KENAI, M. A. Measuring thermal conductivity of green-walls components in controlled conditions. **Journal of Building Engineering,** v. 19, n.1, p. 258–265, 2018.
9	LARSEN, S. F., FILIPPÍN, C., LESINO, G. Modeling double skin green façades with traditional thermal simulation software. **Solar Energy**, v.121, n.1, p. 56-67, 2015.
10	DAHANAYAKE, K. W. D. K. C., CHOW, C. L. Studying the potential of energy saving through vertical greenery systems: Using EnergyPlus simulation program. **Energy and Buildings**, v.138, n.1, p. 47-59, 2017.
11	LARSEN, S. F., FILIPPÍN, C., LESINO, G. Thermal simulation of a double skin façade with plants. **Energy Procedia**, v. 57, n.1, p. 1763–1772, 2014.
12	GUPTA, R., GREGG, M. Using UK climate change projections to adapt existing English homes for a warming climate. **Building and Environment**, v.55, n.1, p. 20-42, 2012.

Apesar da opção pela não eliminação de artigos por sua relevância, o pesquisador apresenta na Figura 2 a situação da relevância dos artigos selecionados, sendo que 70% se enquadram no extrato superior da plataforma, mediante o sistema Qualis da CAPES.

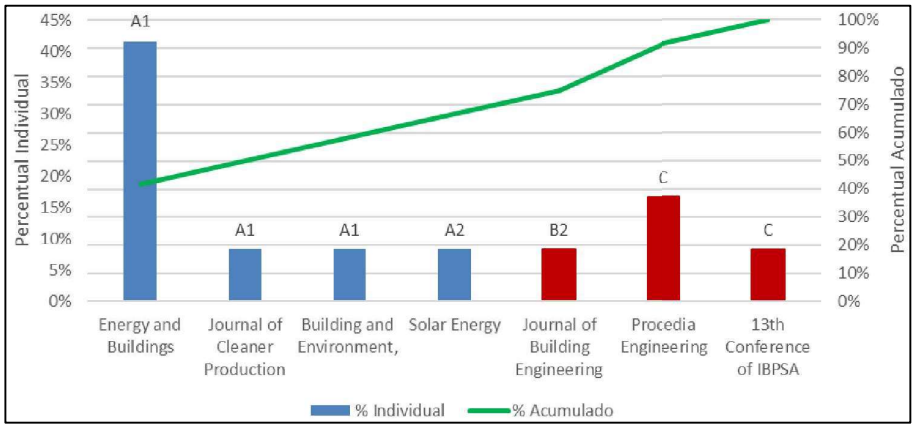


Figura 2 – Relevância dos periódicos via Qualis CAPES

3.2. Análise Sistêmica

Nesta etapa o método Proknow-C recomenda a determinação de lentes de pesquisa para o direcionamento do que se deseja buscar com a análise do portfólio previamente selecionado. Estas lentes são desenvolvidas ao longo da leitura dos artigos, de acordo com o objetivo da pesquisa e com base na percepção do pesquisador sobre o que os artigos selecionados têm a contribuir para o objetivo proposto. É comum que nem todas as lentes se apliquem a todos os artigos, já que a proposta da criação das mesmas é apresentar contribuições que o pesquisador julga relevantes para a temática pesquisada. Foram definidas cinco lentes de pesquisa para este trabalho, visando apresentar as principais contribuições oferecidas pelos 12 artigos selecionados quanto à auxiliar no desenvolvimento de simulações de desempenho térmico de edificações que utilizam SVV's. Essas lentes são apresentadas no Quadro 2. O Quadro 3 apresenta um resumo da aplicação das lentes nos artigos selecionados, na qual podemos perceber a contribuição de cada artigo para as lentes propostas.

Quadro 2 – Resumo

		Lentes				
		Software	**Confirmação**	**Método de simulação**	**Validação**	**Método de avaliação**
Artigos	**1**	SOLENE + EnviBatE + QUIC	Confirma	-	-	Análise de índices (EPI e ATMI)
	2	Ladybug + Honeybee + galapagos	Confirma	Método de otimização	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
	3	TRNSYS	Confirma	Módulo Python + Rotina TRNSYS	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
	4	EnergyPlus	Sugere	Simplificação do SVV	-	Análise de conforto térmico (ASHRAE 55)
	5	EnergyPlus + Designbuilder	Confirma	Método de cobertura verde do EnergyPlus	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
	6	EnergyPlus + DEROB	Confirma	Simulação da taxa de fluxo de calor	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
	7	TRNSYS	Confirma	Módulo Python + Rotina TRNSYS	Validado por meio de medição	Análise dos balanços de calor
	8	TRNSYS + SketchUp	Confirma	Aplicação de valores de literatura no TRNBuild	Validado por dados da literatura	Análise das condutividades térmicas
	9	EnergyPlus	Confirma	Simplificação do SVV	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
	10	EnergyPlus	Confirma	Método de cobertura verde do EnergyPlus	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
	11	EnergyPlus	Confirma	Simplificação do SVV	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
	12	Virtual Environment 6.2 (IES)	Sugere	-	Validado por meio de medição	-

Quadro 3 – Lentes de pesquisa aplicadas à análise bibliométrica

#	Lente	Objetivo da lente de pesquisa
1	*Software*	Determinar o melhor software para este tipo de simulação.
2	Confirmação	Avaliar o uso de sistemas vegetados verticais como estratégia passiva de controle de temperatura
3	Método de simulação	Definir quais os métodos aplicados à simulação de sistemas vegetados verticais
4	Validação	Identificar o uso da simulação térmica em outros estudos que confirmem a validade do método
5	Método de avaliação	Definir quais os métodos aplicados para a avaliação da redução de temperatura

4. RESULTADOS

O desenvolvimento de pesquisas relativas à aplicação de SVV's em edificações é recente, tanto para pesquisas experimentais, estudos de casos, análise por meio de simulação ou revisão bibliográfica. Nesta etapa serão apresentados os resultados obtidos pelo método aplicado para a RSL do tema de interesse. Os resultados estão resumidos em subitens apresentados em acordo com as lentes de pesquisa desenvolvidas por meio do método Proknow-C.

4.1. Lente 1: *Software*

A análise dos artigos por meio desta lente permitiu identificar os *softwares* que têm sido aplicados para a simulação térmica de edifícios quando se utilizam estratégias de envoltória verde como o SVV ou telhados verdes. No portfólio percebeu-se que há uma tendência de utilização de grupos diferentes de *softwares* em conjunto para otimizar os resultados obtidos. 50% dos artigos apresentaram combinações de *softwares*, variando de utilização para desenho geométrico, análise de fluxo de fluidos, simulação energética, radiação solar e iluminação. O *software* mais utilizado entre os artigos é o EnergyPlus, com 58% de aplicação, variando entre uso principal ou secundário, em segundo lugar temos o TRNSYS, com 25% de aplicação, e os 17% faltantes são aplicações de *softwares* diversos com uso combinado, principalmente.

Ao fim da análise por essa lente identificou-se que o *software* mais utilizado para o desenvolvimento da simulação térmica de SVV's é o EnergyPlus, por representar a maioria das aplicações nos artigos que tratam da temática, bem como pelo fato de que alguns *softwares* utilizam os resultados do EnergyPlus para sua simulação. Este *software* também é recomendado para o uso em simulações energéticas, por normas internacionais como a ASHRAE Standard 55 e pela determinação do Departamento de Energia dos EUA em estabelecer o EnergyPlus como o *software* oficial para simulação energética predial (LARSEN; FILIPPÍN; LESINO, 2014).

Os artigos obtidos pelo método de RSL adotada infelizmente não apresentaram outras informações de grande relevância relativo aos *softwares* aplicados para este tipo de simulação. Na gama de artigos selecionados, não houveram artigos que explicitassem o processo de utilização dos *softwares*, o que se deve à orientação da busca por meio das palavras chave selecionadas.

4.2. Lente 2: Confirmação

Encontrou-se confirmação direta da capacidade de redução térmica por estratégias verdes (em especial os SVV's) em 83% dos artigos analisados, sendo que essa confirmação se deu por meio de medições, simulações ou ambas. Os 17% faltantes apresentaram o SVV como uma estratégia potencial de redução, ou seja, não apresentam resultados da aplicação de envoltória verde em sua pesquisa.

A capacidade de controle ambiental por meio de estratégia passiva é confirmada nos artigos pela avaliação de diversos parâmetros demonstrando dados relativos a redução da temperatura interna e de fachada. Destacam-se: (i) análises de redução energética das edificações; (ii) ação de evapotranspiração; (iii) redução do fluxo indesejado de calor; (iv) controle de radiação solar; e (v) redução do consumo energético para resfriamento de edifícios.

Apesar de haver pontos de atenção apresentados, como o fato do índice de albedo ter maior relevância que o de sistemas verdes para climas específicos (GROS *et. al*, 2016), ou a implicação de constante manutenção por se tratar de um sistema vivo (ANDRIC; KOC; AL-GHAMDI, 2019), o resultado desta lente permite afirmar que a aplicação de SVV's apresenta-se como uma alternativa viável de estratégia passiva de condicionamento ambiental quanto à redução de temperatura.

4.3. Lente 3: Método de simulação

Esta lente foi aplicada com a intenção de identificar os métodos de implementação de um SVV nos *softwares* de simulação térmica utilizados nos artigos analisados. Entre os 12 artigos apenas 69% apresentaram de forma clara o método de implementação da envoltória verde nas simulações desenvolvidas. Três artigos apresentam métodos conjuntos, ou seja, o método consiste em implementações parciais em *softwares* ou módulos, programados especificamente para simular determinadas propriedades das características de interesse dos SVV's.

O *software* TRNSYS é citado em 3 artigos, sendo que em 2 deles é feita uma aplicação conjunta com um módulo programado em Python para tratar da interação dos elementos construtivos, o outro se utiliza de valores predefinidos para as propriedades térmicas do elemento definido como o SVV. Quatro artigos apresentam métodos relacionados ao uso do *software* EnergyPlus, no qual 2 se valem do princípio de balanço de calor aplicado à telhados verdes, os outros 2 tratam da simplificação do SVV como camadas fictícias a serem implementadas na região da fachada que receberia o SVV, atuando principalmente como um bloqueador de radiação solar. Esta simplificação foi desenvolvida pelo fato de o *software* EnergyPlus não contar com um módulo específico para simulação de paredes verdes.

Dentre os métodos catalogados nos artigos, o de simplificação do SVV para um elemento de bloqueio da radiação solar é o mais completo e que demonstraram melhor capacidade de replicação para pesquisa. Larsen, Filippín e Lesino (2014) explicitam que o método de simplificação do SVV no EnergyPlus é válido, pois atua na principal contribuição do sistema passivo para controle do fluxo de calor que é o barramento da radiação solar sobre a superfície de interesse. Este método é apresentado por Larsen, Filippín e Lesino (2014) com duas possibilidades de execução: a primeira é a inserção de um elemento de sombra que se posiciona como um anteparo em frente ao pano de alvenaria que recebe o SVV, neste caso o anteparo atua como um elemento externo à alvenaria de interesse; a segunda é a conversão do pano de alvenaria que recebe o SVV em uma esquadria de vidro que tem dispositivos de sombreamento a ela aplicados, as caraterísticas dos dispositivos de sombreamento são definidas para replicar a capacidade de bloqueio da radiação solar proporcionada por um SVV.

4.4. Lente 4: Validação

A aplicação desta lente revelou que entre os artigos avaliados 75% apresentaram a validação dos resultados simulados por meio dos softwares aplicados. Dentre os artigos que demonstraram estarem validados apenas 1 fez esta validação de forma indireta, aplicando dados validados oriundos da literatura. Os demais artigos tiveram seus modelos validados por meio da comparação com medição experimental de uma situação real. Os artigos analisados não demonstraram o processo de calibração utilizado para o atingimento da validação de seus resultados.

Esta lente visa buscar a confirmação da importância da etapa de validação dos resultados, uma etapa importante para pesquisas cientificas que trabalham com simulação computacional de modelos matemáticos. Ao fim da análise, apesar do processo de calibração não ter sido abordado nos artigos, confirmou-se a importância da validação para as pesquisas desenvolvidas sobre o tema analisado.

4.5. Lente 5: Método de avaliação

Esta última lente é uma complementação da segunda lente de pesquisa, visando determinar como os pesquisadores apresentaram a metodologia que demonstrava a confirmação da possibilidade de implementação do SVV como estratégia de condicionamento ambiental.

Todos os artigos apresentaram métodos de confirmação da eficácia do SVV, 67% desses o fizeram por meio de comparações da temperatura na alvenaria sem SVV e com SVV. Os artigos restantes propuseram métodos de avaliação distintos entre si, como: avaliação do conforto térmico conforme proposto pela ASHRAE Standard 55; avaliação dos balanços de calor; análise comparativa das condutividades térmicas; e por fim uma avaliação de índices como o Índice de Performance Energética (EPI), definido para quantificar o resfriamento proporcionado pela estratégia aplicada considerando o impacto na demanda, e o Índice de Mitigação de Temperatura no Ambiente (ATMI), definido para quantificar a mitigação de temperatura no ambiente na qual se aplica a estratégia de condicionamento ambiental (GROS *et. al*, 2016).

$$EPI = \frac{E_{ref} - E_{coolstrat}}{E_{ref} - E_{ideal}} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:

E_{ref} é o valor da demanda energética do edifício para o caso de referência [KWh];

$E_{coolstrat}$ é o valor da demanda energética do edifício para a estratégia de condicionamento ambiental dada [KWh];

E_{ideal} é o valor da demanda energética do edifício para o caso ideal [KWh].

$$ATMI = \frac{DH_{ref} - DH_{coolstrat}}{DH_{ref} - DH_{ideal}}$$ Equação 4

Onde:

DH_{ref} é o valor dos graus-hora superiores a 26°C no dossel urbano para o caso de referência [°Ch];

$DH_{coolstrat}$ é o valor dos graus-hora para a estratégia de condicionamento ambiental dada [°Ch];

DH_{ideal} é o valor dos graus-hora para o caso ideal [°Ch].

A definição do método de avaliação será influenciada pelo foco da pesquisa a ser desenvolvida, o que determinará os dados que serão medidos e obtidos por meio das medições e simulações, apesar de existirem análises mais completas como a proposta por Gros *et. al* (2016), notou-se que a comparação simples de resultados de temperatura é bem aceita como método de avaliação dos resultados.

4.6. Interação entre as lentes

Durante o processo de análise sistêmica, pelo qual foram desenvolvidas as lentes de pesquisa, percebeu-se que algumas das lentes apresentam alguma interação entre si.

A primeira relação percebida foi entre as lentes de *Software* e Método de Simulação. Este par de lentes, analisado em conjunto permitiu verificar que há métodos de simulação que se repetem para os *softwares* aplicados, como foi o caso do destaque do método de simulação proposto por Larsen, Filippín e Lesino (2014) que se repetiu nos artigos de Larsen, Rengifo e Filippín (2015) e Larsen, Filippín e Lesino (2015). Outra repetição de método de simulação ocorre nos artigos de Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2013 e 2015). Essa recorrencia de métodos de simulação é devido ao fato de que muitos dos artigos selecionados foram desenvolvidos pelos mesmos autores, sendo assim é de se esperar que estes apliquem os mesmos métodos conforme seguem desenvolvendo e avançando em suas pesquisas.

A segunda interação percebida ocorre entre as lentes de Confirmação, Validação e Método de Avaliação. Todos os artigos apresentaram confirmação da capacidade de condicionamento ambiental do SVV ou um potêncial dessa capacidade, contudo nem todos mostratram que seus resultados foram validados, o que pode lançar algum nível de criticismo sobre esses resultados, já que a validação é um precesso de extrema importância para simulações computacionais. O outro eixo de interação se dá entre a confirmação e o método de avaliação, no qual percebeu-se que todos os artigos que apresentavam confirmação da capacidade do SVV em agir no condicionamento ambiental de edificações apresentaram formas de avaliar essa redução em concordância com o tipo de condicionamento ambiental proporcionado, ou avaliado pelo artigo.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho pretendeu apresentar uma investigação de artigos científicos que explorassem o estado da arte quanto à aplicação de Sistemas Vegetados Verticais em simulações térmicas computacionais. O método de pesquisa Proknow-C foi aplicado objetivando a garantia da seleção de material relevante para a pesquisa do tema. Como resultado do método aplicado obteve-se um portfólio final com 12 artigos que foram analisados quanto a 5 lentes de pesquisa visando revelar os principais aspectos necessários à exploração do tema pesquisado no portfólio obtido.

Este trabalho demonstrou que, apesar da temática ser ainda recente, existem focos melhor explorados que podem direcionar o desenvolvimento das pesquisas relativas à simulação térmica de edifícios com a aplicação de SVV como estratégia passiva de controle ambiental. As lentes propostas pelo pesquisador demonstraram a existência de tendências no desenvolvimento dessas pesquisas, o que demonstra solidez para os resultados encontrados nesse campo. A confirmação da busca por validação dos dados foi um dos principais resultados apontados, bem como a preferência da utilização do *software* EnergyPlus, apesar do método de simulação do SVV propriamente dito ainda contar com um grande número de implementações diversas.

Entende-se que este trabalho tem como principal resultado a apresentação de uma pesquisa aglutinadora de parâmetros relevantes a futuros pesquisadores que almejem desenvolver pesquisas nessa área e espera-se que o mesmo possa continuar a ser expandido para ampliar e facilitar a revisão da temática na pesquisa acadêmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, M. H.; SOUZA, J. D.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo Proknow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental,** v. 5, n. 2, p. 47-62, 2011. ISSN 1981-982X.

ALLES, P. V.; BATISTA, R. P.; VIANA, T. M.; AZEVEDO, R. C.; POGGIALI, F. S. J.; RODRIGUES, C. S. Carbonation of Recycled Aggregates Concrete-Application of the ProKnow-C Methodology in the Selection of Bibliographic Portfolio, Systematic and Bibliometric Analysis. **International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering,** v. 8, n. 5, p. 1, 2017.

ANDRIC, I., KOC, M., AL-GHAMDI, S. G. A review of climate change implications for built environment: Impacts, mitigation measures and associated challenges in developed and developing countries. **Journal of Cleaner Production**, v.211, n.1, p. 83-102, 2019.

ANSI/ASHRAE. **ASHRAE Adenddum to ASHRAE 140-2017**: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. 94 f. Atlanta, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

CRAWLEY, D. B.; HAND, J. W.; KUMMERT, M.; GRIFFITH, B. T. Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs. **Building and Environment**, v.43, n.4, p 661-673, 2008.

DAHANAYAKE, K. W. D. K. C., CHOW, C. L. Studying the potential of energy saving through vertical greenery systems: Using EnergyPlus simulation program. **Energy and Buildings**, v.138, n.1, p. 47-59, 2017.

DJEDJIG, R., BOZONNET, E., BELARBI, R. Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. **Energy and Buildings**, v.86, n.1, p. 93-103, 2015.

DJEDJIG, R., BOZONNET, E., BELARBI, R. Integration of A Green Envelope Model in A Transient Building Simulation Program and Experimental Comparison. **13th Conference of International Building Performance Simulation Association**, p. 47-53, 2013.

DOS SANTOS, C. M.; AZEVEDO, R. C. Selection and Analysis of Bibliographical Research Set of Disaster Risk Assessment Using ProKnow-C. **International Journal of Science and Engineering Investigations,** v. 7, n. 82, p. 64-70, 2018.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. **Orientações para elaboração dos artigos científicos do LabMCDA-C** [Apostila da disciplina Avaliação de Desempenho do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina]. Florianópolis. UFSC. 2007.

FENG, H., HEWAGE, K. Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. **Energy and Buildings**, v.75, n.1, p. 281-289, 2014.

GOMES, C. L.; POGGIALI, F. S. J.; AZEVEDO, R. C. D. Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica. **Matéria (Rio de Janeiro),** v. 24, n. 2, 2019. ISSN 1517-7076.

GROS, A., BOZONNET, E., INARD, C., MUSY, M. A New Performance Indicator to Assess Building and District Cooling Strategies. **Procedia Engineering,** v. 57, n.1, p. 117–124, 2016.

GUPTA, R., GREGG, M. Using UK climate change projections to adapt existing English homes for a warming climate. **Building and Environment**, v.55, n.1, p. 20-42, 2012.

JAFAAR, B.; SAID, I.; REBA, M. N. M.; RASIDI, M. H. Impact of Vertical Greenery System on Internal Building Corridors in the Tropic. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 105, n. 1, p. 558-568, 2013.

LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma Análise Bibliométrica da Literatura sobre Estratégia e Avaliação de Desempenho. **Gestão & Produção**, v.19, n.1, p 59-78, 2012.

LARSEN, S. F., FILIPPÍN, C., LESINO, G. Modeling double skin green façades with traditional thermal simulation software. **Solar Energy**, v.121, n.1, p. 56-67, 2015.

LARSEN, S. F., FILIPPÍN, C., LESINO, G. Thermal simulation of a double skin façade with plants. **Energy Procedia**, v. 57, n.1, p. 1763–1772, 2014.

LARSEN, S. F., RENGIFO, L., FILIPPÍN, C. Double skin glazed façades in sunny Mediterranean climates. **Energy and Buildings**, v.102, n.1, p. 18-31, 2015.

LIBESSART, L., KENAI, M. A. Measuring thermal conductivity of green-walls components in controlled conditions. **Journal of Building Engineering,** v. 19, n.1, p. 258–265, 2018.

MENDES, N. Simulação Computacional do Edifício Sede da Telepar, Análise Energética e Proposta de Retrofit. V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - **ENCAC 99**. 1999.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. Uso de Instrumentos Computacionais para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 47-68, out./dez. 2005.

OLIVIERI, F., GRIFONI, R. C., REDONDAS, D., SÁNCHEZ-RESÉNDIZ, J. A., TASCINI, S. An experimental method to quantitatively analyze the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall. **Energy and Buildings**, v.150, n.1, p. 132-148, 2017.

RIOS, G. A. A. **Desempenho Termoenergético de Habitação de Interesse Social**. 2015. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Ilha Solteira. 2015.

SUDIMAC, B., ILIC, B., MUNCAN, V., ANDELKOVIC, A. S. Heat flux transmission assessment of a vegetation wall influence on the building envelope thermal conductivity in Belgrade climate. **Journal of Cleaner Production**, v.223, n.1, p. 907-916, 2019.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis. In: BUILDING SIMULATION, 9, 2005, Montreal. **Proceedin,** Montreal: IBPSA, 2005. p. 1331-1338.

WONG, N. H.; LI, S. A Study of the Effectiveness of Passive Climate Control in Naturally Ventilated Residential Buildings in Singapore. **Building and Environment**, v.42, n.1, p 1395-1405, 2007.

WONG, N. H.; TAN, A. Y. K.; CHEN, Y.; SEKAR, K.; TAN, P. Y.; CHAN, D.; CHIANG, K.; WONG, N. C. Thermal Evaluation of Vertical Greenery Systems for Building Walls. **Building and Environment**, v. 45, p. 663-672, 2010a.

WONG, N. H.; TAN, A. Y. K.; TAN, P. Y.; SIA, A.; WONG, N. C. Perception Studies of Vertical Greenery Systems in Singapore. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 136, n. 4, p. 330-338, 2010b.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFETMG) pelo auxílio ao desenvolvimento deste trabalho bem como à CAPES pelo financiamento da bolsa de pós-graduação a qual permitiu o desenvolvimento do projeto de pesquisa do qual essa publicação faz parte.

APÊNDICE B. USO DE SISTEMAS VEGETADOS VERTICAIS COMO ESTRATÉGIA PASSIVA DE CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

Este apêndice apresenta a RSL desenvolvida para analisar o estado da arte em relação ao uso de sistemas vegetados verticais como estratégia passiva de condicionamento ambiental. Para esta revisão foi utilizado o método ProKnow-C. As informações apresentadas aqui foram resumidas e apresentadas no texto principal. A opção de separar esta parte da pesquisa como apêndice se deu visando melhorar o processo de leitura da dissertação e manter os dados, aqui apresentados, ainda à disposição para outros pesquisadores.

Revisão Sistemática da Literatura

A Tabela 14 mostra o um resumo do processo de seleção dos artigos até a delimitação do portfólio bibliográfico. A escolha das palavras chave se deu por meio de uma leitura inicial de artigos selecionados com as palavras chave da seguinte *string* de busca "***GREEN WALL*** *AND* ***TEMPERATURE REDUCTION***". Desta forma, a partir da leitura de seus resumos e de artigos relacionados, definiu-se as palavras chave utilizadas nesses artigos que melhor se adequavam ao propósito desta pesquisa. Tais termos foram combinados em uma *string* de busca, que foi alterada até a obtenção do maior número possível de artigos que mantivessem coerência com a proposta desta pesquisa. Esta *string* de busca final foi: "***THERMAL*** *AND* (***GREEN WALL*** *OR* (***VERTICAL*** *AND* (***GREENERING SYSTEM*** *OR* ***GARDEN***))) *AND* ***BUILDING***".

Tabela 14 – Resumo da seleção do portfólio para avaliação de SVV's como estratégia passiva de condicionamento ambiental

Bases de dados	Filtros Aplicados					
	Busca por palavras chave	Corte temporal 2014-2020	Eliminação de duplicatas	Alinhamento de titulo	Alinhamento de resumo	Leitura integral
Science Direct	483	414	357	76	47	12
Hindawi	291	4	1	1	-	-
SpringerLink	233	182	67	1	1	-
SCOPUS	91	72	43	43	23	6
Web of Science	49	45	37	-	-	-
Engineering Village	39	36	24	24	1	-
American Institute of Physics	7	6	1	1	1	-
Taylor & Francis Online	2	-	-	-	-	-
Wiley Online Library	1	1	-	-	-	-
Applied Science Tech Full Text	0	-	-	-	-	-
Institution of Civil Engineer	0	-	-	-	-	-
SciELO.ORG	0	-	-	-	-	-
American Society of Civil Engineers	0	-	-	-	-	-
TOTAL	**1196**	**760**	**530**	**146**	**73**	**18**

Fonte: O autor (2019).

Devido ao fato de muitos dos artigos selecionados por este método serem recentes o pesquisador optou por desconsiderar a realização da seleção por relevância, que considera o número de citações dos mesmos e é etapa constituinte do método ProKnow-C. Isto implicou também na não realização do processo de repescagem.

O Quadro 21 apresenta o portfólio selecionado por meio do método ProKnow-C de RSL.

Quadro 21 – Artigos selecionados para o portfólio bibliográfico para avaliação de SVV's como estratégia passiva de condicionamento ambiental

Autor	Título do Artigo	Periódico
(CAMERON; TAYLOR; EMMETT, 2014)	*What's 'cool' in the world of green facades? How plant choice influences the cooling properties of green walls*	*Building and Environment*
(COMA et al., 2014)	*New green facades as passive systems for energy savings on buildings*	*Energy Procedia*
(OLIVIERI; OLIVIERI; NEILA, 2014)	*Experimental study of the thermal-energy performance of an insulated vegetal façade under summer conditions in a continental Mediterranean climate*	*Building and Environment*
(SAFIKHANI et al., 2014)	*A review of energy characteristic of vertical greenery systems*	*Renewable and Sustainable Energy Reviews*
(MANSO; CASTRO-GOMES, 2015)	*Green wall systems: A review of their characteristics*	*Renewable and Sustainable Energy Reviews*
(HOELSCHER et al., 2016)	*Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation*	*Energy and Buildings*
(OTHMAN; SAHIDIN, 2016)	*Vertical greening façade as passive approach in sustainable design*	*Procedia: Social and Behavioral Sciences*
(OTTELÉ; PERINI, 2017)	*Comparative experimental approach to investigate the thermal behavior of vertical greened façades of buildings*	*Ecological Engineering*
(SERRA et al., 2017)	*A novel vertical greenery module system for building envelopes: The results and outcomes of a multidisciplinary research project*	*Energy and Buildings*
(VOX et al., 2017b)	*Evaluation of wall surface temperatures in green facades*	*Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*
(WILKINSON et al., 2017)	*Evaluating the thermal performance of retrofitted lightweight green roofs and walls in Sydney and Rio de Janeiro*	*Procedia Engineering*
(YIN et al., 2017)	*Cooling effect of direct green façades during hot summer days: An observational study in Nanjing, China using TIR and 3DPC data*	*Building and Environment*
(AKINWOLEMIWA et al., 2018b)	*Building community-driven vertical greening systems for people living on less than £1 a day: A case study in Nigeria*	*Building and Environment*
(BLANCO; SCHETTINI; VOX, 2018b)	*Effects of vertical green technology on building surface temperature*	*International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*
(CASTIGLIA FEITOSA; WILKINSON, 2018)	*Attenuating heat stress through green roof and green wall retrofit*	*Building and Environment*
(SÁNCHEZ-RESÉNDIZ et al., 2018)	*Experimental assessment of the thermal behavior of a living wall system in semi-arid environments of central Mexico*	*Energy and Buildings*
(VOX; BLANCO; SCHETTINI, 2018)	*Green façades to control wall surface temperature in buildings*	*Building and Environment*
(YUAN; RIM, 2018)	*Cooling energy saving associated with exterior greenery systems for three US Department of Energy (DOE) standard reference buildings*	*Building Simulation*

Fonte: O autor.

A bibliometria, apresentada na Tabela 15, demonstra a relevância dos artigos selecionados.

Tabela 15 – Bibliometria da seleção do portfólio para avaliação de SVV's como estratégia passiva de condicionamento ambiental

Periódicos	Número de Artigos	Índices			
		JIF[14] (Web of Science)	SJR[15] (Scimago)	Índice H[16] (Scimago)	Qualis[17] (CAPES)
Building and Environment	6	4,820	1,88	124	A1
Energy and Buildings	3	4,495	1,93	147	A1
Renewable and Sustainable Energy Reviews	2	10,556	3,29	222	-
Building Simulation	1	2,238	0,88	22	-
Ecological Engineering	1	3,406	1,1	109	A1
Energy Procedia	1	-	0,47	63	B1
International Journal of Design and Nature and Ecodynamics	1	-	0,27	11	-
Procedia - Social and Behavioral Sciences	1	-	0	39	-
Procedia Engineering	1	-	0,28	51	A2
Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability	1	-	0,4	21	-

Fonte: O autor (2020).

A etapa final do método ProKnow-C, a análise sistêmica dos dezoito artigos selecionados para o portfólio, foi realizada sob a ótica de sete lentes de pesquisa, definidas de acordo com a visão do pesquisador em função dos focos de interesse que se deseja investigar e que auxiliaram na pesquisa. O Quadro 22 apresenta as sete lentes de pesquisa definidas.

Quadro 22 – Lentes de pesquisa aplicados à análise bibliométrica

Lente de pesquisa	Objetivo da lente de pesquisa
I. Aquisição de dados	Referente à presença da descrição do processo e aquisição de dados necessários à pesquisa, tais como os equipamentos utilizados, suas características, pontos de coleta, amostragem, frequência e período de obtenção de dados.
II. Redução	Referente aos valores de redução máxima de temperatura apresentados pelas pesquisas.
III. Estatística	Método de análise estatística aplicada aos dados e sua função.
IV. Parâmetros	Parâmetros dos SVV's descritos como influenciadores na redução de temperatura proporcionada pelo sistema.
V. Localização	Cidade e país onde foi desenvolvida a pesquisa experimental apresentada no artigo.
VI. Tipo e Constituição	Referente à presença da descrição dos tipos distintos de SVV's existentes e suas aplicabilidades e também da discriminação dos elementos componentes dos SVV's.
VII. Experimentação	Classificação do experimento em se o mesmo ocorreu numa estrutura real ou se foi executado de forma laboratorial.

Fonte: O autor.

[14] $JIF\ (Journal\ Impact\ Factor) = \frac{Citações\ dos\ artigos\ de\ 2016\ e\ 2017\ publicados\ em\ 2018}{Número\ de\ artigos\ publicados\ em\ 2016\ e\ 2017}$ (InCites Journal Citation Reports)

[15] $SJR\ (SCImago\ Journal\ Rank) = \frac{Citações\ ponderadas\ dos\ artigos\ no\ ano\ X}{Número\ de\ artigos\ publicados\ em\ x-1,\ x-2\ e\ x-3}$. (SCImago Journal Rank)

[16] *Índice H* : Número de *H* artigos citados pelo menos *H* vezes (SCImago Journal Rank)

[17] *Qualis*: Classificação dos periódicos entre A1, o mais elevado; A2; A3; A4; B1; B2; B3; B4; e C - com peso zero. (Qualis CAPES).

O Quadro 23 apresenta um resumo dos resultados obtidos para cada uma das sete lentes de pesquisa encontradas no portfólio de dezoito artigos selecionados por meio do método Proknow-C. Os resultados obtidos pela RSL para cada lente selecionada são apresentados detalhadamente nos itens a seguir.

I. Aquisição de dados

A análise dos artigos permitiu encontrar os métodos de aquisição de dados, equipamentos utilizados e as características mais relevantes para o processo de aquisição de informações. Dos dezoito artigos selecionados para o portfólio, quatorze abordaram esse ponto. O Quadro 23 apresenta um resumo dos métodos encontrados. Esta lente de pesquisa permitiu determinar seis aspectos que serão utilizados para a elaboração do método de coleta de dados.

Para esta lente de pesquisa, as principais contribuições foram atribuídas à quatro artigos (OLIVIERI; OLIVIERI; NEILA, 2014; SERRA et al., 2017; VOX *et al.*, 2017b; YIN *et al.*, 2017b) que englobam os seis aspectos compreendidos nesta análise. A seguir são apresentados cada aspecto, os autores selecionados como referência e o motivo dessa escolha.

Quadro 23 – Resultados do método Proknow-C para avaliação de SVV's como estratégia passiva de condicionamento ambiental

Artigo	Lentes de Pesquisa						
	I. Aquisição de dados	II. Redução[18]	III. Estatística	IV. Parâmetros	V. Localização	VI. Tipo e Constituição	X.Experimentação
(CAMERON; TAYLOR; EMMETT, 2014)	Sim	3 a 9,9°C	ANOVA	Sombreamento e evapotranspiração	Reading, Reino Unido	Tipos	Laboratório
(COMA et al., 2014)	Sim	1 a 14°C	-	Sombreamento	Puigverd de Lleida, Espanha	-	Laboratório
(OLIVIERI; OLIVIERI; NEILA, 2014)	Sim	4 a 5°C	-	-	Colmenar Viejo, Espanha	-	Edificação
(SAFIKHANI et al., 2014)	Não	1,2 a 5,0°C (NL) 3,3 a 11,5 °C (SIN)	-	Sombreamento, evapotranspiração, orientação, ventilação, aspectos arquitetônicos	Zuid-Holland, Holanda Queenstonw, Singapura	Tipos	-
(MANSO; CASTRO-GOMES, 2015)	Não	-	-	-	-	Tipos e Constituição	-
(HOELSCHER et al., 2016)	Sim	1,7 a 15,5°C	-	Sombreamento, evapotranspiração, nível de irrigação e condições climáticas	Berlin, Alemanha	-	Edificação
(OTHMAN; SAHIDIN, 2016)	Sim	2,6°C	-	-	Jakarta, Indonésia	Tipos	Edificação
(OTTELÉ; PERINI, 2017)	Sim	2,1 a 10,6°C	-	Sombreamento e evapotranspiração	Genova, Itália	-	Laboratório
(SERRA et al., 2017)	Sim	4 a 6,5°C	-	-	Turim, Itália	Constituição	Laboratório
(VOX et al., 2017b)	Sim	9°C	ANOVA	Sombreamento e evapotranspiração	Bari, Itália	-	Laboratório
(WILKINSON et al., 2017)	Não	1,4°C	-	Sombreamento, evapotranspiração e resistência térmica do solo	Rio de Janeiro, Brasil	-	Laboratório
(YIN et al., 2017)	Sim	4,7°C	Regressão linear múltipla	Espécie da planta e suas características fisiológicas (densidade de sombreamento, índice de área foliar. etc...)	Nanjing, China	Tipos	Edificação

[18] Os valores apresentados na coluna "Redução" se referem aos registros de redução de temperatura abrangendo todo o objeto de estudo, desde a temperatura do ar do cômodo, até a temperatura da face externa do sistema de vedação vertical.

Quadro 23 (continuação) – Resultados do método Proknow-C para avaliação de SVV's como estratégia passiva de condicionamento ambiental

Artigo	Lentes de Pesquisa						
	I. Aquisição de dados	**II. Redução[14]**	**III. Estatística**	**IV. Parâmetros**	**V. Localização**	**VI. Tipo e Constituição**	**Experimentação**
(AKINWOLEMIWA et al., 2018b)	Sim	2,7°C	-	-	Lagos, Nigéria	Constituição	Edificação
(BLANCO; SCHETTINI; VOX, 2018b)	Sim	7,7°C	ANOVA Regressão linear múltipla	Sombreamento, evapotranspiração e camada de ar	Bari, Itália	Tipos e Constituição	Laboratório
(CASTIGLIA FEITOSA; WILKINSON, 2018)	Sim	-	-	Altura da folhagem, densidade da folhagem, sombreamento, índice de área foliar, evapotranspiração e presença de água no solo	Rio de Janeiro, Brasil Sydney, Austrália	-	Laboratório
(SÁNCHEZ-RESÉNDIZ et al., 2018)	Sim	2,5 °C	-	Capacidade higrotérmica da vegetação	Queretaro, México	Constituição	Laboratório
(VOX; BLANCO; SCHETTINI, 2018)	Sim	7 °C	ANOVA	Sombreamento e evapotranspiração	Valenzano, Itália	Tipos	Laboratório
(YUAN; RIM, 2018)	Não	-	-	Sombreamento e capacidade térmica do solo	-	-	Simulação

Fonte: O autor.

a. Duração (das coletas de dados)

Neste aspecto foram computadas as durações das coletas de dados dos artigos, conforme apresentado no Quadro 24. Apenas sete, dos dezoito artigos do portfólio, apresentaram tal informação, sendo que a duração das coletas variou entre 9 horas e 300 dias. O valor modal encontrado para a duração da coleta de dados é de aproximadamente 14 dias.

Dentre os artigos do portfólio, destacam-se os de Olivieri, Olivieri e Neila (2014) e Vox *et al*. (2017b) nos quais a duração da coleta de dados coincide com o valor modal encontrado (14 dias), no caso do uso de *data loggers* para o registro de temperaturas.

Nesta pesquisa foram utilizados um conjunto de *data loggers* para a coleta dos dados de TO e TBS do edifício. Adotou-se por tanto a duração de coleta de 14 dias, conforme proposto pela literatura para o tipo de equipamento que foi utilizado. A escolha destas durações visou permitir um registro de longa duração, eliminando a influência de carga térmica pregressa.

b. Frequência (da coleta de dados)

Este aspecto considera o intervalo de tempo entre coletas de dados sucessivas, conforme apresentado pelos artigos, ou seja, a cada *x* unidades de tempo os dados são mensurados e registrados. Dentro do portfólio selecionado, treze dos dezoito artigos apresentaram a configuração de frequência, apresentando uma variação entre 1 minuto e 1 hora. O valor modal encontrado para a frequência foi de 1 minuto em cinco dos artigos do portfólio, seguido pelas frequências de 5 e 15 minutos, em quatro dos artigos, cada. A mediana das frequências encontradas no portfólio foi de 7,5 minutos, enquanto que a média aritmética foi de 12,4 minutos (desvio padrão de 15,9 minutos).

Neste aspecto os artigos selecionados convergem para a adoção de uma frequência de 15 minutos no caso do uso de sensores e *Data Loggers* para Serra *et al*. (2017) e Vox *et al*. (2017b) bem como em relação ao momento do uso de câmera térmica, conforme Yin *et al*. (2017b).

Quadro 24 – Resumo da Lente de pesquisa: Aquisição

Artigo	a. Duração	b. Frequência	c. Equipamentos	d. Posicionamento	e. Padrão	f. Características
(CAMERON; TAYLOR; EMMETT, 2014)	33 dias	10min	Estação climática	Zona central entre as paredes	A 2m de altura	Precisão de 0,2°C
			Data Logger	-	-	-
(COMA et al., 2014)	-	5min	Sensor termopar	Superfície interior da alvenaria Entre SVV e face externa da alvenaria	Próximo ao chão e próximo ao teto	Precisão de 0,3°C
			Data Logger	Zona central interna do ambiente	A 1,5m de altura	Precisão de 2%
(OLIVIERI; OLIVIERI; NEILA, 2014)	16 dias	5min	Termoresistores	Superfície interior da alvenaria Entre SVV e face externa da alvenaria	Utilizados em 3 regiões da área de interesse	63mm X 8mm X 2mm Precisão de 0,15°C
			Data Logger	Zona central interna do ambiente	Próximo ao chão e próximo ao teto	5% de margem de erro
			Termoresistores	Cada face	Utilizados em 4 regiões da área de interesse	L = 100mm e Ø de 6mm Precisão de 0,15°C
			Estação climática	Face externa	Menos de 100m de distância	-
(HOELSCHER et al., 2016)	-	5min	Termistores	Superfície interior da alvenaria Entre SVV e face externa da alvenaria No meio do SVV	-	Precisão de 0,1°C
			Estação meteorológica	Face externa	A 2,8m de altura A 0,4m de distância	-
(OTHMAN; SAHIDIN, 2016)	8h00 às 17h00	1h	Termômetro	Interior e exterior da edificação	-	-
(OTTELÉ; PERINI, 2017)	-	1min	Termopar	Superfície interior da alvenaria Entre SVV e face externa da alvenaria Dentro da parede No meio do SVV A frente do SVV	-	-
(SERRA et al., 2017)	-	15min	Termopar	Superfície interior da alvenaria Entre SVV e face externa da alvenaria	-	Precisão de 0,3°C
			Estação climática	-	-	Precisão de 5%
			Data Logger	-	-	-
(VOX et al., 2017b)	14 dias	15min	*Data Logger*	-	-	-
			Termistores	-	-	-
			Sensor	Externo ao protótipo	-	-
			Câmera térmica	-	-	-

Quadro 24 (continuação) – Resumo da Lente de pesquisa: Aquisição

Artigo	a. Duração	b. Frequência	c. Equipamentos	d. Posicionamento	e. Padrão	f. Características
(YIN et al., 2017)	10 dias	1min	Estação meteorológica	Face externa	1m de distância	-
	-	-	*Data Logger*	-	-	-
	3 dias	15min	Câmera térmica	Face externa	100m de distância	Resolução de 3mm Divergência de feixe de 0,35mrad
(AKINWOLEMIWA et al., 2018b)	-	-	*Data Logger*	Superfície interior da alvenaria Entre SVV e face externa da alvenaria	-	Precisão de 3% de umidade Precisão de 0,02°C
			Termistores		-	Precisão de 0,01°C
(BLANCO; SCHETTINI; VOX, 2018b)		1min	*Data Logger*	-	-	-
			Termistores	Superfície exterior da alvenaria	-	-
			Sensor	Ambiente externo ao protótipo	-	-
(CASTIGLIA FEITOSA; WILKINSON, 2018)	161 dias (RJ) 300 dias (SYD)	30min	*Data Logger* comercial (umidade + temperatura)	Ambiente interno do protótipo Ambiente externo ao protótipo	A 0,7m de altura	Precisão de 3% de umidade Precisão de 0,6°C
(SÁNCHEZ-RESÉNDIZ et al., 2018)	-	10min	*Data Logger*	Superfície interior da alvenaria Entre SVV e face externa da alvenaria No meio do empreendimento	A 0,6m do teto A 0,3m do chão	Precisão de 1°C
(VOX; BLANCO; SCHETTINI, 2018)	-	1min	Sensor de temperatura	Ambiente externo ao protótipo	-	-
			Termistores	Superfície exterior da alvenaria	-	-
			Data Logger	-	-	-

Fonte: O autor.

Portanto foi adotada a frequência de registro de dados como sendo de 15 minutos para a opção aplicada na coleta de dados (*Data Logger*). Esta opção permitiu maior autonomia para a coleta de dados por um maior período de tempo, ainda mantendo um índice elevado de registros, além da melhor caracterização da temperatura do elemento medido.

c. Equipamentos (usados na coleta de dados)

Este aspecto consiste no registro dos equipamentos utilizados para coletar os dados dos SVV's.

Todos os artigos do portfólio relataram o uso de um, ou mais equipamentos. A seleção de cada equipamento, ou conjunto, se deu de acordo com o tipo de medição a ser desenvolvido, bem como quanto ao local no qual esta medição ocorre.

Dentre os artigos que utilizaram mais de um equipamento em sua pesquisa, destacam-se o uso de sensores, utilizados para coleta de dados da envoltória, associados às estações climáticas, ou meteorológicas, utilizadas para a coleta de dados do clima da região do empreendimento. Outro uso conjunto de equipamentos se deu com a aplicação de câmera térmica com o objetivo de confirmar a leitura dos sensores utilizados.

Dentre os artigos do portfólio, três não especificaram qual tipo de sensor foi utilizado para a captação de dados de temperatura. A maior recorrência de equipamento se deu com os *Data Loggers*, registrados em onze dos dezoito artigos do portfólio. Todos os equipamentos utilizados estão resumidos na Tabela 16.

Tabela 16 – Registros dos usos de equipamentos

Sensores	**Termistores**	5
	Termopar	3
	Termoresistores	1
	(outros)	3
Data Logger		11
Estação climática		3
Câmera térmica		2
Estação meteorológica		2
Termômetro		1

Fonte: O autor.

Neste aspecto verificou-se a relevância do uso de dois tipos de equipamento, sensores e *Data Loggers*, como os equipamentos especificados com maior recorrência entre os artigos (Tabela 16). Esta recorrência justificou a seleção do *Data Logger* como opção para o equipamento de registro a ser utilizado no

desenvolvimento da pesquisa. O uso destes equipamentos é citado por Olivieri, Olivieri e Neila (2014), Serra *et al*. (2017), bem como, *Vox et al*. (2017b).

d. Posicionamento (dos equipamentos de coleta de dados)

Este aspecto da lente de pesquisa "Aquisição de dados" se refere à descrição do local para o posicionamento dos equipamentos de aquisição de dados, de forma a garantir que estes possam captar a informação relativa à mensuração que se deseja de maneira fidedigna. O posicionamento tem relação direta com o aspecto seguinte, *Padrão*, para a correta delimitação da instalação dos equipamentos apresentados no aspecto anterior, *Equipamentos*. O portfólio de artigos apresenta diversas possibilidades de posicionamento para os vários equipamentos utilizados nas pesquisas. O posicionamento revela que as áreas de interesse são diversas, bem como a finalidade das análises levantadas pelos artigos, contudo, a posição mais recorrente é a face externa da envoltória do objeto de interesse (citado em dez artigos do portfólio), seguida pela sua face interna da envoltória (citado em sete artigos do portfólio).

Como esta pesquisa se propõe a analisar edifícios verticalizados, a principal posição para a coleta dos dados são as áreas internas dos ambientes da edificação. Sendo assim determinou-se que, para esta pesquisa, o posicionamento dos equipamentos de coleta de dados como sendo o centro do ambiente que receberá o SVV em sua fachada externa. Os *Data Loggers* foram instalados no centro geométrico dos ambientes selecionados. A escolha deste posicionamento é referenciada por Olivieri, Olivieri e Neila (2014), Cameron, Taylor e Emmett (2014), Castiglia Feitosa e Wilkerson (2018b) assim como para Sanchéz-Reséndiz *et al.* (2018) e coincide com o tipo de equipamento selecionado para ser utilizado na coleta.

e. Padrão (específico de distanciamentos dos equipamentos)

Aqui apresenta-se uma complementação do aspecto anterior, *Posicionamento*, demonstrando as especificidades de distanciamento e localização dos equipamentos de coleta de dados em relação aos elementos construtivos do objeto de interesse da pesquisa.

Quanto a este aspecto, a pesquisa se valeu da referência de Coma *et al*. (2014), Cameron, Taylor e Emmett (2014) bem como de Castiglia Feitosa e Wilkinson (2018b) para a montagem padrão do equipamento de coleta de dados: os *Data Loggers*. Foi utilizado o valor médio de altura do piso, como sendo 1,50m para a instalação dos equipamentos, os quais foram instalados suspensos visando eliminar influências indesejadas na coleta dos dados.

f. Características (técnicas dos equipamentos)

Este último aspecto apresenta as características técnicas dos equipamentos utilizados. Neste contexto houve a contribuição de nove artigos do portfólio para a aquisição destas informações. Os sensores utilizados têm, em média, uma precisão de 0,2°C para temperatura e 3% para umidade.

Para a determinação das especificações dos equipamentos adotados foram utilizadas as referências de Castiglia Feitosa e Wilkinson (2018b), Sanchéz-Reséndiz *et al*. (2018) e Akinwolemiwa *et al.* (2018b) limitando a precisão dos *Data Loggers* a um mínimo de 0,5°C.

II. Redução (de temperatura registrada pela RSL dado o uso de SVV's)

A aplicação de SVV's como estratégias passivas de condicionamento ambiental apresenta vantagens para a envoltória das edificações, sendo uma das principais a redução da temperatura da envoltória, no ambiente interno e/ou no ambiente externo.

Este foco de pesquisa permitiu que se catalogassem esses registros de redução de temperatura. Um total de quinze artigos do portfólio apresentaram dados de redução de temperatura para os experimentos realizados.

Apenas três artigos não contribuíram para esta lente de pesquisa, dois por não apresentarem informações de redução de temperatura e um por não diferenciar a influência de cada elemento verde (cobertura e parede) aplicado.

As reduções registradas são referentes à comparação entre superfície vegetada, considerando tipos diversos de SVV e superfície comum, visando melhoria das características térmicas. Diversos fatores podem influenciar os valores de redução de temperatura, conforme relatado nos artigos do portfólio, tais como:

- Sistema construtivo aplicado;
- Materiais utilizados;
- Tipo de SVV;
- Espécies de plantas;
- Clima local;
- Geografia local;
- Incidência de radiação solar.

As análises das reduções de temperatura relatadas foram realizadas em dois eixos distintos: o primeiro, relativo à superfície da envoltória (interna e externa) e o segundo, relativo ao ar ambiente (TO e TBS). A Tabela 17 apresenta um resumo dos valores de redução máxima de temperatura por eixo de análise.

Tabela 17 – Resumo das reduções máximas de temperatura (°C) por região de medição

Artigo	Superfície da envoltória		Ar ambiente		Indefinido
	Interna	*Externa*	*TO*	*TBS*	
(CAMERON; TAYLOR; EMMETT, 2014)	-	9,9	-	3,0[19]	-
(COMA et al., 2014)	2,0	14,0	1,0	-	-
(SAFIKHANI et al., 2014)	-	11,5	-	3,3[16]	1,2 a 5,0[20]
(OLIVIERI; OLIVIERI; NEILA, 2014)	5,0	-	4,0	-	-
(HOELSCHER et al., 2016)	1,7	15,5	-	-	-
(OTHMAN; SAHIDIN, 2016)	-	-	2,6	-	-
(OTTELÉ; PERINI, 2017)	-	10,6	2,1	-	-
(SERRA et al., 2017)	-	6,5	4,0	-	-
(VOX et al., 2017b)	-	9,0	-	-	-
(WILKINSON et al., 2017)	-	-	1,4	-	-
(YIN et al., 2017)	-	4,7	-	-	-
(AKINWOLEMIWA et al., 2018b)	-	-	2,7	-	-
(BLANCO; SCHETTINI; VOX, 2018b)	-	7,7	-	-	-
(SÁNCHEZ-RESÉNDIZ et al., 2018)	2,5	-	-	-	-
(VOX; BLANCO; SCHETTINI, 2018)	-	7,0	-	-	-

Fonte: O autor.

Apenas quatro dos artigos do portfólio selecionado registraram valores para a análise da redução máxima de temperatura da superfície interna da envoltória. Nesta análise foi verificada uma faixa de variação entre 1,7°C e 5,0°C. A média aritmética dos valores encontrados foi de 2,8°C (desvio padrão de 1,5°C) para esta análise.

[19] O valor apresentado foi registrado próximo dos elementos do SVV.
[20] Os valores apresentados não foram discriminados quanto a sua localização em relação à estrutura da edificação, ou ao SVV.

Já para a superfície externa, dez dos dezoito artigos apresentaram valores de temperatura. Essa faixa demonstrou valores de 4,7 °C até 15,5 °C para as reduções verificadas. A média aritmética de redução máxima de temperatura, nesse caso, foi de 9,6°C (desvio padrão de 3,4°C).

Um total de sete artigos do portfólio selecionado apresentaram dados quanto a análise da TO do ambiente para esta lente de pesquisa. Esta análise registrou valores de 1,0°C a 4,0°C. A média aritmética da redução máxima de temperatura foi de 2,5°C (desvio padrão de 1,2°C).

Por fim, dois dos artigos apresentaram dados para a análise de TBS. Os dois artigos que contribuíram para essa análise registraram os valores de 3,0° e 3,3°C de redução máxima. A média aritmética dos valores foi de 3,15°C (desvio padrão de 0,15°C).

Os dados obtidos por esta lente de pesquisa permitiram a comparação dos resultados deste trabalho com os resultados relatados nos artigos do portfólio.

Visando manter a coerência na comparação das temperaturas, foram utilizadas como referência apenas as temperaturas que foram medidas *in loco*, durante as fases de coleta de dados (Item 3.3), conforme determinado na lente anterior *Aquisição de dados,* e as temperaturas determinadas como *outputs* da simulação térmica computacional. Estas foram comparadas entre si e também com os valores obtidos pela RSL.

Foram utilizados como referência os artigos de Coma *et al*. (2014), Olivieri, Olivieri e Neila (2014), Hoelscher *et al*. (2016) bem como Sánchez-Reséndiz *et al*. (2018) para a avaliação da temperatura da face interna da alvenaria, cuja redução máxima de temperatura apresentada variou de 1,7°C a 5,0°C.

Para a avaliação da TO foram utilizados como referência os artigos de Coma *et al*. (2014), Olivieri, Olivieri e Neila (2014), Othman; Sahidin (2016), Ottelé e Perini (2017b), Serra *et al*. (2017), Wilkinson *et al*. (2017b) e Akinwolemiwa *et al*. (2018b), cuja a redução máxima de temperatura apresentada variou de 1,0°C a 4,0°C.

III. Estatística

A avaliação estatística dos dados em uma pesquisa é de grande importância, pois fornece métodos descritivos e analíticos para lidar com a variabilidade dos dados observados e assim permitir ao pesquisador que tome decisões e tire conclusões necessárias à análise (MONTGOMERY; RUNGER, 2016). Este foco de pesquisa

permitiu a verificação da recorrência da análise estatística de dados de temperatura em estudos similares ao que este trabalho propõe.

Apenas cinco artigos do portfólio apresentaram menção ao uso de análise estatística. Desses, um se valeu da aplicação regressão linear múltipla, outros três fizeram uso da técnica de Análise de Variância (*ANOVA*) e um dos artigos aplicou ambos os métodos estatísticos para a análise de seus dados. O Quadro 25 resume a finalidade dos usos específicos das análises estatísticas empregadas no portfólio selecionado.

Quadro 25 – Finalidade das análises estatísticas encontradas no portfólio

Ferramenta	Finalidade	Comparativo
Regressão linear múltipla	Determinar quais parâmetros climáticos são mais fortemente associados às temperaturas registradas e ao efeito de resfriamento; Definir a dependência linear da diferença de temperatura superficial externa entre a alvenaria de controle e o SVV.	-
ANOVA	Determinar quaisquer efeitos dos tratamentos na temperatura das paredes; Comparar valores médios de temperatura; Identificar diferenças significativas entre os dados de temperatura das paredes; Identificar diferenças significativas entre os dados de temperatura das paredes e para avaliar a influência da radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar no efeito de resfriamento das fachadas.	Realizado entre paredes com tratamentos distintos; Comparação entre dados experimentais e dados simulados;

Fonte: O autor.

Esta lente de pesquisa colabora para a seleção das ferramentas estatísticas melhor aplicadas ao tipo de dados que serão analisados neste trabalho, portanto foram utilizadas ambas as ferramentas: Regressão linear múltipla e *ANOVA*. Estas ferramentas foram utilizadas para efetuar as seguintes comparações dos dados de temperatura:

- Dados reais pré-SVV com resultados de calibração pré-SVV;
- Dados reais pré-SVV com resultados de simulação pós-SVV.

Essa escolha permitiu a avaliação da existência de dependências entre os parâmetros analisados, comparar valores e identificar diferenças significativas entre os dados de temperatura. Os artigos que corroboram esta aplicação das ferramentas estatísticas são os de Cameron, Taylor e Emmett (2014), Vox *et al.* (2017b), Yin *et al.* (2017b), Blanco, Schettini e Vox (2018b) assim como Vox, Blanco e Schettini (2018b).

IV. Parâmetros

A discriminação dos fatores mensuráveis capazes de influenciar nos resultados observados é relevante para o direcionamento da pesquisa, visando a coleta e registro de dados que possam ser utilizados na comparação com outros resultados da literatura e do estado da arte da temática analisada.

Esta lente de pesquisa possibilitou a identificação dos principais fatores entendidos como relevantes à influência do efeito térmico dos SVV na envoltória das edificações. Um total de treze dos artigos do portfólio apresentou algum parâmetro que influenciava nas características térmicas das envoltórias avaliadas nos artigos.

Considerando o portfólio completo os dois parâmetros mais citados são o efeito de sombreamento e o efeito de evapotranspiração[21] presentes em doze e dez dos artigos constituintes do portfólio, respectivamente. Os demais parâmetros se apresentam de forma esparsa, muitos dos quais aparecem em apenas um artigo do portfólio, tais como: características de projeto, características climáticas da região, características do solo e características das plantas.

Esta lente revela que o principal fator responsável pela ação de redução de temperatura proporcionada pelos SVV's é o sombreamento que os elementos vegetados criam sobre a área de interesse, conforme levantado por doze dos dezoito artigos do portfólio. Esta influência é confirmada por Cameron, Taylor e Emmett (2014), Coma *et al*. (2014), Safikhani *et al*. (2014b), Hoelscher *et al*. (2016), Ottelé e Perini (2017b), Vox *et al*. (2017b), Wilkinson *et al*. (2017b), Yin *et al*. (2017b), Blanco, Schettini e Vox (2018b), Castiglia Feitosa e Wilkinson (2018c), Vox, Blanco e Schettini (2018b) bem como por Yuan e Rim (2018b).

Nesta pesquisa o fator sombreamento foi o foco da análise por dois motivos principais, primeiramente por ser confirmado pela maioria do portfólio bibliográfico da RSL (doze dos dezoito artigos), bem como pelo fato de este fator ser passível de replicação, ainda que de forma simplificada, em modelos de simulação térmica computacional, cuja a principal função de elementos simulados (SVV) é de sombreamento, bloqueando a radiação solar sobre uma área.

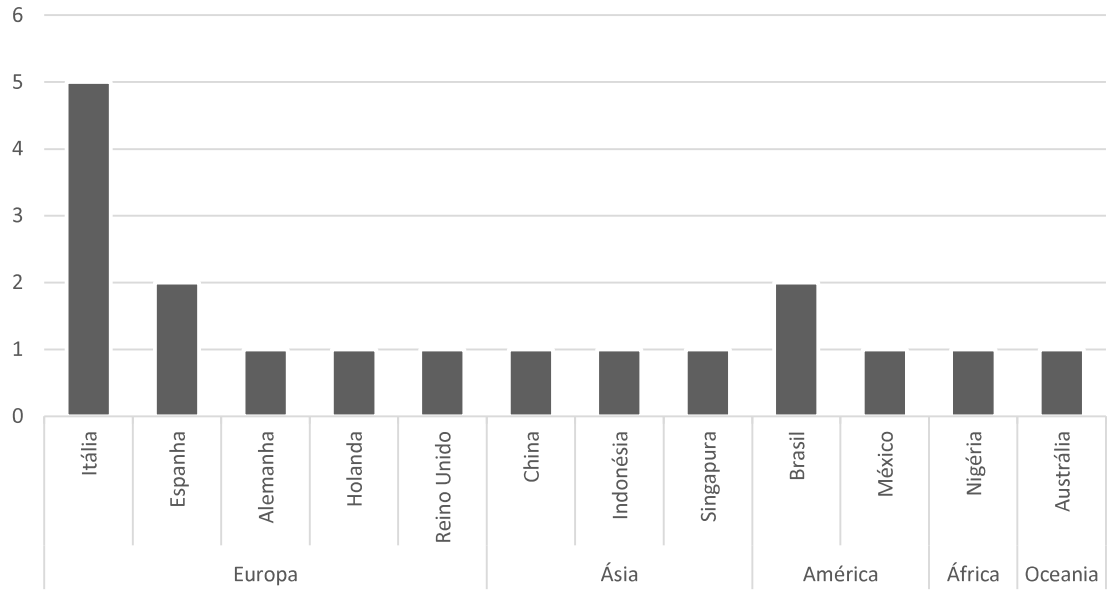
[21] Evapotranspiração é a soma da vaporização proporcionada pelos processos de evaporação e transpiração (JENSEN; BURMAN; ALLEN, 2016).

V. Localização

O reconhecimento das localidades nas quais são desenvolvidas as pesquisas permite a avaliação de que possam haver influências geoespaciais nas respostas observadas nos experimentos performados nas pesquisas.

Neste foco foram registradas as cidades nas quais se desenvolveram as pesquisas dos artigos selecionados para o portfólio. Do total de artigos, dezesseis apresentaram a localização do estudo, os dois que não demonstraram tais informações foram um artigo de revisão das características de SVV's e um artigo de simulação.

Gráfico 21 – Quantidades de pesquisas de SVV por continente e país



Fonte: O autor.

Essa seleção demonstrou que as pesquisas sobre a temática de SVV's tem um aspecto regional forte, conforme Gráfico 21. A maioria das pesquisas, um total de dez das citações registradas nos artigos, estão situadas no continente europeu. A Itália lidera as pesquisas, concentrando cinco das pesquisas avaliadas.

A partir da discriminação das cidades nas quais foram realizados os estudos, pôde-se desenvolver comparações de resultados que ocorram em climas semelhantes, permitindo assim uma análise direcionada das capacidades térmicas dos SVV's. Visando facilitar esse processo de comparação utilizou-se a classificação climática de Köppen–Geiger[22], por sua abrangência e amplitude de utilização.

[22] Esta classificação é feita por um agrupamento de letras, onde a primeira representa os grupos climáticos principais, a segunda letra representa a precipitação sazonal e a terceira e última letra classifica os grupos em acordo com a temperatura da área (KOTTEK et al., 2006).

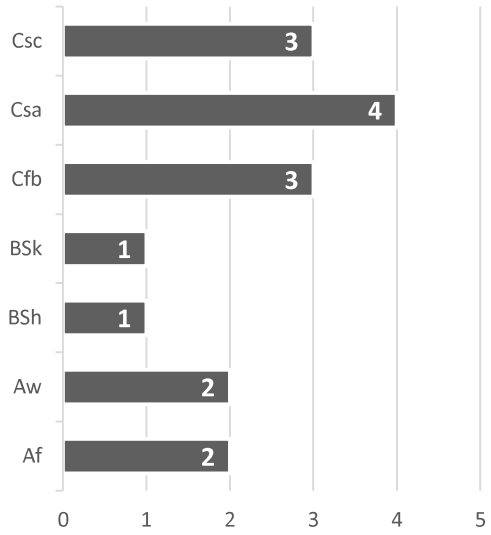
As cidades apresentadas no Quadro 26 demonstram que, no portfólio, a maior incidência é a do clima *Csa* (Clima mediterrâneo de verão quente), seguida pelos climas *Cfb* e *Csc* (Clima temperado oceânico e clima mediterrâneo de verão frio, respectivamente), seguidas por *Af* e *Aw* (Clima de floresta tropical pluvial e clima tropical úmido e seco, respectivamente), seguidas por *BSh* e *BSk* (Clima semiárido quente e clima semiárido frio, respectivamente), conforme Gráfico 22.

Quadro 26 – Classificação climática das cidades do portfólio

Continente	País	Cidade	Clima
Europa	Itália	Turin	Csc
		Genova	Csa
		Bari	Csa
		Valenzano	Csa
	Espanha	Colmenar Viejo	Csa
		Puigverd de Lleida	BSk
	Alemanha	Berlin	Cfb
	Holanda	Zuid-Holland	Cfb
	Reino Unido	Reading	Cfb
Ásia	China	Nanjing	Csc
	Indonésia	Jakarta	Af
	Singapura	Queenstown	Af
América	Brasil	Rio de Janeiro	Aw
	México	Queretaro	BSh
África	Nigéria	Lagos	Aw
Oceania	Austrália	Sydney	Csc

Fonte: O autor.

Gráfico 22 – Número de ocorrências dos climas do portfólio



Fonte: O autor.

Por meio da lente de pesquisa *V. Localização*, pôde-se realizar comparações entre a cidade que será objeto de estudo desta pesquisa (Belo Horizonte, MG) e outras que compartilham, primordialmente, de suas características climáticas, ou se mostraram próximas dela, bem como cidades que demonstrem outras características que possam aproximá-las, como índices de urbanização, dimensão população, tamanho, entre outros.

A cidade de Belo Horizonte apresenta divergências em sua classificação climaticamente pelo índice de Köppen–Geiger, apresentando-se como clima Cwa, Cwb ou Aw. (PEEAL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007; JÚNIOR, 2009; INMET, [200-]; ALVARES *et al.*, 2014; REBOITA *et al.*, 2015). Nenhum dos estudos se enquadra exatamente nas duas principais categorias de classificação da cidade de Belo Horizonte (Cwa e Cwb), contudo alguns deles compartilham o grupo *C*, correspondente ao clima temperado e os subtipos *a*, verão quente, e *b*, verão fresco. Já para a classificação secundária dada à Belo Horizonte, três artigos apresentam a

mesma classificação (Aw) da cidade, objeto de estudo desse trabalho, sendo estes os de Wilkinson *et al.* (2017b), Akinwolemiwa *et al.* (2018b) e Castiglia Feitosa; Wilkinson (2018b).

VI. Tipo e Constituição

Esta lente de pesquisa permitiu a coleta de informações que direcionassem a seleção de um tipo de SVV que fosse aplicável ao objeto de estudo. Além da especificação teórica da composição dos SVV's, considerou-se importante que também houvesse um registro da aplicação prática do que se têm utilizado na constituição desses sistemas nas pesquisas do estado da arte. Apenas sete dos dezoito artigos do portfólio contribuíram para este aspecto da lente de pesquisa, conforme Quadro 27.

Quadro 27 – Resumo da Lente de pesquisa: Aquisição

Artigo	a. Tipos de SVV's	b. Constituição dos SVV's
(CAMERON; TAYLOR; EMMETT, 2014)	Fachadas verdes Paredes vivas	-
(SAFIKHANI et al., 2014)	Fachadas verdes Paredes vivas	-
(MANSO; CASTRO-GOMES, 2015)	Fachadas verdes Paredes vivas	Elemento de suporte Substrato Vegetação Drenagem e irrigação
(OTHMAN; SAHIDIN, 2016)	Fachadas verdes Paredes vivas	-
(SERRA et al., 2017)	-	*Design* Vegetação Substrato Sistema de irrigação
(YIN et al., 2017)	Fachadas verdes Paredes vivas	-
(AKINWOLEMIWA et al., 2018b)	-	Vegetação Substrato Sistema de drenagem
(BLANCO; SCHETTINI; VOX, 2018b)	Fachadas verdes Paredes vivas	Vegetação Suporte estrutural Sistema de fertirrigação
(SÁNCHEZ-RESÉNDIZ et al., 2018)	-	Vegetação Estrutura de suporte Sistema de fixação Sistema de irrigação Substrato
(VOX; BLANCO; SCHETTINI, 2018)	Fachadas verdes Paredes vivas	-

Fonte: O autor.

a. Tipos de SVV's

Sete dos dezoito artigos apresentaram informações relativas aos tipos de SVV. Os tipos são entendidos em dois grupos principais, as fachadas verdes e as paredes vivas. Estes grupos englobam outras variações dos métodos de SVV's, contudo apresentam as características básicas que os distinguem entre si, permitindo uma seleção em acordo com a necessidade do executor. A seguir estes tipos são detalhados (SAFIKHANI et al., 2014; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015; YIN et al., 2017; BLANCO; SCHETTINI; VOX, 2018a; VOX; BLANCO; SCHETTINI, 2018):

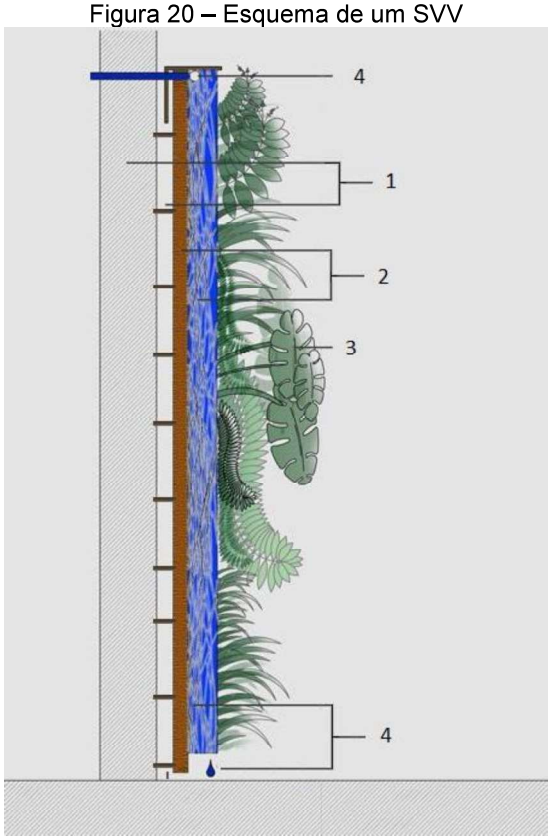
- Fachadas verdes – tradicionalmente possibilitam o crescimento do elemento vegetado com enraizamento no solo com apenas o crescimento vertical de sua folhagem cobrindo a superfície vertical de interesse. Os elementos vegetais aplicados a esse tipo de SVV precisam possuir capacidade escalatória, comum às trepadeiras, ou de crescimento em cascata, quando instaladas em região superior à área de interesse;
- Paredes Vivas – permitem o crescimento do elemento vegetado no plano vertical, uma vez que o substrato para o desenvolvimento da planta é instalado ao longo desta superfície, eliminando a necessidade de enraizamento no solo. Esta técnica moderna permite a implantação de uma maior gama de espécies. Apesar de apresentar um custo mais elevado de instalação e manutenção, tal técnica garante ao executor o total controle da montagem e desenvolvimento do SVV e permite um fechamento total da superfície de interesse. Outra vantagem é sua velocidade de execução e retorno. Este tipo de SVV permite sua aplicação em edifícios de quaisquer alturas e fachadas de quaisquer dimensões, dada a não-dependência da capacidade de crescimento das plantas utilizadas.

Os artigos que apresentaram informações que permitiram a escolha de um sistema adequado a ser aplicado ao objeto de estudo são os de Safikhani *et al*. (2014a), Manso e Castro-Gomes (2015a), Yin *et al*. (2017a), Blanco, Schettini e Vox (2018a) bem como o de Blanco e Schettini (2018a). A partir destas contribuições e da avaliação do objeto de estudo e suas características definidoras para a implementação de um SVV, entendeu-se que o melhor tipo de SVV a se propor a instalação no edificio é o tipo *Parede Viva*, com posicionamento indireto em relação à fachada e implementação modular.

b. Constituição dos SVV's

Apenas cinco artigos do portfólio contemplavam este assunto. Esta temática foi pouco explorada, mesmo nos artigos que comtemplaram este parâmetro. Contudo, esta análise permitiu o reconhecimento de quatro elementos constituintes principais, conforme apresentado na Figura 20, são eles:

Figura 20 – Esquema de um SVV



1. Sistema de suporte;
2. Sistema de substrato;
3. Sistema de vegetação;
4. Sistema de drenagem/irrigação.

Fonte: O autor.

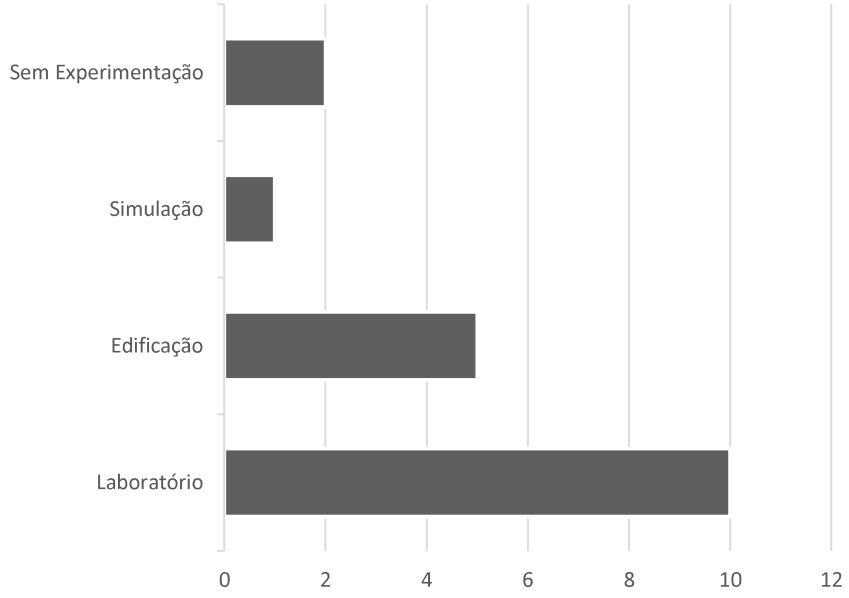
Os artigos que apresentaram informações que permitem o desenvolvimento de um projeto conceitual de um SVV são os de Manso e Castro-Gomes (2015b), Serra *et al*. (2017), Akinwolemiwa *et al*. (2018b), Blanco, Schettini e Vox (2018b) alem de Sánchez-Reséndiz *et al*. (2018).

VII. Experimentação

Nesta lente de pesquisa propôs-se verificar como foi feita a etapa experimental das pesquisas do portfólio, considerando se a mesma foi desenvolvida em laboratório, ou em uma aplicação de finalidade prática em uma edificação. Entende-se que a proposta de desenvolvimento de experimentações permite a validação de análises não experimentais por meio de comparações entre resultados teóricos e outros medidos experimentalmente.

A partir da proposição desta lente, têm-se que apenas cinco artigos, dos dezoito constituintes do portfólio, foram desenvolvidos baseados em experimentos performados em edificações (forma não-laboratorial), enquanto que o dobro, dez artigos, é constituído de pesquisas realizadas em condições de laboratório, conforme Gráfico 23.

Gráfico 23 – Número de estudos por tipo de experimentação no portfólio selecionado



Fonte: O autor.

Esta lente demonstra que a maior parte dos estudos desenvolvidos sobre a temática de SVV's são realizados em condições laboratoriais, conforme Gráfico 23. Esta pesquisa se propôs a coletar e analisar dados reais oriundos de fontes de aplicação de SVV's em edificações, com a finalidade de redução de temperatura, um campo pouco explorado devido às limitações que determinam tal tipo de empreendimento.

Contudo a análise experimental originalmente proposta não foi inteiramente possível, devido às limitações da pesquisa. Portanto, os esforços foram direcionados ao desenvolvimento de um modelo de simulação térmica computacional para comparar resultados com os da implementação do SVV com base nos resultados obtidos da literatura.

Desta forma, em relação a esta lente, esta pesquisa está alinhada à proposta de Yuan; Rim (2018b), uma vez que a proposta original de execução do SVV não pôde ser continuada. Contudo, os estudos de Olivieri; Olivieri; Neila (2014), Hoelscher *et al*.

(2016), Othman; Sahidin (2016), Yin *et al*. (2017b) e Akinwolemiwa *et al*. (2018b) apresentaram parâmetros que permitiram o desenvolvimento de investigações de temperatura em edificações existentes.

APÊNDICE C. USO DE SISTEMAS VEGETADOS VERTICAIS EM SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Este apêndice apresenta a RSL desenvolvida para analisar o estado da arte em relação ao uso de sistemas vegetados verticais em simulações de desempenho térmico de edificações. Para esta revisão foi utilizado o método ProKnow-C. As informações apresentadas aqui foram resumidas e apresentadas no texto principal.

Revisão Sistemática da Literatura

A Tabela 18 mostra o processo de seleção dos artigos até a delimitação do portfólio bibliográfico. A escolha das palavras chave se deu por meio de uma leitura inicial de artigos selecionados com as palavras chave da seguinte *string* de busca "***GREEN WALL*** *AND* ***THERMAL SIMULATION***". A partir da leitura de seus resumos e de artigos relacionados, as palavras chave utilizadas nesses artigos que melhor se adequavam ao propósito desta pesquisa foram combinadas em uma *string* de busca, que foi alterada até o alcance do maior número possível de artigos que mantivessem coerência com a proposta desta pesquisa. Esta *string* de busca final foi: "***THERMAL SIMULATION*** *AND* (***GREEN WALL*** *OR* (***VERTICAL*** *AND* (***GREENERING SYSTEM*** *OR* ***GARDEN***))) *AND* ***BUILDING***".

Tabela 18 – Resumo da seleção do portfólio para aplicação de SVV's em simulações de desempenho térmico de edificações

Bases de dados	Filtros Aplicados					
	Busca por palavras chave	Corte Temporal[23]	Eliminação de duplicatas	Alinhamento de título	Alinhamento de resumo	Leitura integral
Science Direct	20	-	16	16	11	9
SCOPUS	4	-	3	1	1	1
SpringerLink	3	-	2	0	0	0
Web of Science	3	-	3	1	1	1
Engineering Village	2	-	1	1	1	1
Taylor & Francis Online	2	-	0	0	0	0
Hindawi	1	-	0	0	0	0
American Institute of Physics	0	-	0	0	0	0
Wiley Online Library	0	-	0	0	0	0
Applied Science Tech Full Text	0	-	0	0	0	0
Institution of Civil Engineers	0	-	0	0	0	0
SciELO.ORG	0	-	0	0	0	0
American Society of Civil Engineers	0	-	0	0	0	0
TOTAL	**35**	**0**	**25**	**19**	**14**	**12**

Fonte: O autor (2019).

[23] Devido à natureza recente da temática, o número de artigos foi considerado como muito reduzido para a aplicação de um corte temporal, sendo assim esta etapa foi desconsiderada ao longo do processo do método Proknow-C.

Devido ao fato de muitos dos artigos selecionados pelo método serem recentes o pesquisador optou por desconsiderar a realização da seleção por relevância, que considera o número de citações dos mesmos e é etapa constituinte do método ProKnow-C. Isto implicou também na não realização do processo de repescagem.

O Quadro 28, a seguir, apresenta o portfólio selecionado por meio do método ProKnow-C de RSL.

Quadro 28 – Artigos selecionados para o portfólio bibliográfico para aplicação de SVV's em simulações de desempenho térmico de edificações

Autor	Título do Artigo	Periódico
(GUPTA; GREGG, 2012)	*Using UK climate change projections to adapt existing English homes for a warming climate*	*Building and Environment*
(DJEDJIG; BOZONNET; BELARBI, 2013)	*Integration of A Green Envelope Model in A Transient Building Simulation Program and Experimental Comparison*	*13th Conference of International Building Performance Simulation Association*
(FENG; HEWAGE, 2014)	*Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings*	*Energy and Buildings*
(LARSEN; FILIPPÍN; LESINO, 2014)	*Thermal simulation of a double skin façade with plants*	*Energy Procedia*
(DJEDJIG; BOZONNET; BELARBI, 2015)	*Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program*	*Energy and Buildings*
(FLORES LARSEN et al., 2015)	*Modeling double skin green façades with traditional thermal simulation software*	*Solar Energy*
(FLORES LARSEN; RENGIFO; FILIPPÍN, 2015)	*Double skin glazed façades in sunny Mediterranean climates*	*Energy and Buildings*
(GROS et al., 2016)	*A New Performance Indicator to Assess Building and District Cooling Strategies*	*Procedia Engineering*
(DAHANAYAKE; CHOW, 2017)	*Studying the potential of energy saving through vertical greenery systems: Using EnergyPlus simulation program*	*Energy and Buildings*
(OLIVIERI et al., 2017)	*An experimental method to quantitatively analyze the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall*	*Energy and Buildings*
(LIBESSART; KENAI, 2018)	*Measuring thermal conductivity of green-walls components in controlled conditions*	*Journal of Building Engineering*
(SUDIMAC et al., 2019)	*Heat flux transmission assessment of a vegetation wall influence on the building envelope thermal conductivity in Belgrade climate*	*Journal of Cleaner Production*

Fonte: O autor.

A bibliometria, apresentada na Tabela 19, demonstra a relevância dos artigos selecionados.

Tabela 19 – Bibliometria da seleção do portfólio para avaliação de SVV's como estratégia passiva de condicionamento ambiental

Bases de Dados	Número de Artigos	Índices			
		JIF (Web of Science)	SJR (Scimago)	Índice H (Scimago)	Qualis (CAPES)
Energy and Buildings	5	4,495	1,93	147	A1
Procedia Engineering	2	-	0,28	51	A2
Journal of Cleaner Production	1	6,395	1,62	150	A1
Building and Environment	1	4,820	1,88	124	A1
Solar Energy	1	4,674	1,59	151	A2
Journal of Building Engineering	1	2,378	0,68	18	B2
13th Conference of IBPSA	1	-	-	6	-

Fonte: O autor (2020).

O Quadro 29 apresenta um resumo dos resultados obtidos para as cinco lentes de pesquisa do portfólio de artigos selecionados por meio do método Proknow-C.

Quadro 29 – Resultados do método Proknow-C para aplicação de SVV's em simulações de desempenho térmico de edificações

	Lentes de Pesquisa				
Artigo	**I. *Software***	**II. Confirmação**	**III. Método de simulação**	**IV. Validação**	**V. Método de avaliação**
(GUPTA; GREGG, 2012)	*Virtual Environment 6.2 (IES)*	Sugere	-	Validado por meio de medição	-
(DJEDJIG; BOZONNET; BELARBI, 2013)	*TRNSYS*	Confirma	Módulo Python + Rotina TRNSYS	Validado por meio de medição	Análise dos balanços de calor
(FENG; HEWAGE, 2014)	*EnergyPlus + Designbuilder*	Confirma	Método de cobertura verde do EnergyPlus	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
(LARSEN; FILIPPÍN; LESINO, 2014)	*EnergyPlus*	Confirma	Simplificação do SVV	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
(DJEDJIG; BOZONNET; BELARBI, 2015)	*TRNSYS*	Confirma	Módulo Python + Rotina TRNSYS	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
(FLORES LARSEN et al., 2015)	*EnergyPlus*	Confirma	Simplificação do SVV	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
(FLORES LARSEN; RENGIFO; FILIPPÍN, 2015)	*EnergyPlus*	Sugere	Simplificação do SVV	-	Análise de conforto térmico (ASHRAE 55)
(GROS et al., 2016)	*SOLENE + EnviBatE + QUIC*	Confirma	-	-	Análise de índices (EPI e ATMI)
(DAHANAYAKE; CHOW, 2017)	*EnergyPlus*	Confirma	Método de cobertura verde do EnergyPlus	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
(OLIVIERI et al., 2017)	*Ladybug + Honeybee + galapagos*	Confirma	Método de otimização	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas
(LIBESSART; KENAI, 2018)	*TRNSYS + SketchUp*	Confirma	Aplicação de valores de literatura no TRNBuild	Validado por dados da literatura	Análise das condutividades térmicas
(SUDIMAC et al., 2019)	*EnergyPlus + DEROB*	Confirma	Simulação da taxa de fluxo de calor	Validado por meio de medição	Comparação de temperaturas

Fonte: O autor.

O Quadro 30 apresenta uma definição das lentes de pesquisa aplicadas nesta RSL. Em sequência são apresentados os resultados obtidos pela revisão para cada lente selecionada, sendo explicitados de forma detalhada.

Quadro 30 – Lentes de pesquisa aplicados à análise bibliométrica

Lente de pesquisa	Objetivo da lente de pesquisa
Software	Determinar o melhor *software* a ser utilizado para este tipo de simulação.
Confirmação	Avaliar o uso de sistemas vegetados verticais como estratégia passiva de controle de temperatura.
Método de simulação	Definir quais os métodos aplicados à simulação de sistemas vegetados verticais.
Validação	Identificar a confirmação da validade do método de simulação térmica dos estudos.
Método de avaliação	Definir quais os métodos aplicados para a avaliação da redução de temperatura.

Fonte: O autor.

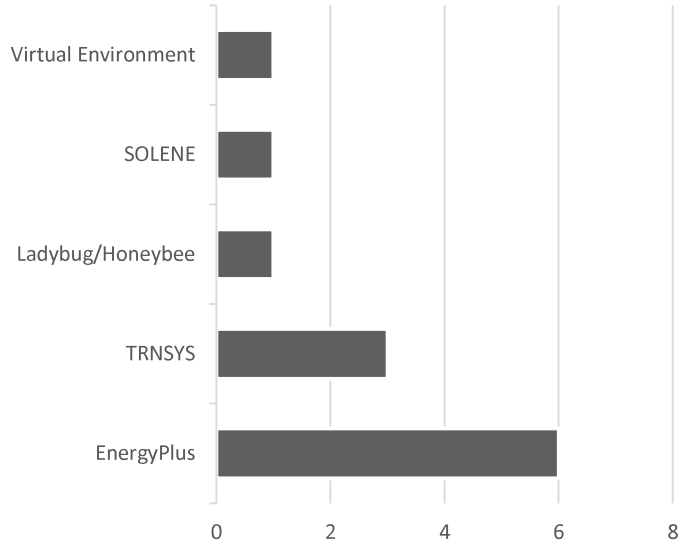
I. *Software*

A análise desta lente de pesquisa permitiu a identificação dos *softwares* utilizados para a simulação térmica de edifícios com a implementação de estratégias de envoltória verde como SVV's e SVH's.

O portfólio demonstrou uma tendência de utilização de combinação de *softwares* para o processo de simulação, uma vez que seis dos artigos apresentaram tais combinações. O *software* mais utilizado foi o *EnergyPlus*, com seis dos doze artigos do portifólio selecionado, conforme Feng e Hewage (2014), Larsen, Filippín e Lesino (2014b), Flores Larsen *et al*. (2015), Flores Larsen, Rengifo e Filippín (2015), Dahanayake e Chow (2017), bem como Sudimac *et al*. (2019).

A escolha do *software EnergyPlus* para o desenvolvimento dessa pesquisa se deu pelo fato de ele ser o *software* mais utilizado dentre os artigos do portfólio (Gráfico 24), além de ser recomendado, para o uso em simulações energéticas pelo Departamento de Energia dos EUA (LARSEN; FILIPPÍN; LESINO, 2014).

Gráfico 24 – Quantidade de artigos do portifólio por utilização principal de *software*



Fonte: O autor.

Outro ponto favorável ao uso do mesmo é a existência de interfaces com outros *softwares*, tanto para facilitar o seu uso por meio de adaptações e *plug-ins*, como para utilizar os resultados do *EnergyPlus* em seu processo de simulação.

II. Confirmação

Esta lente permitiu a confirmação, em dez artigos do portfólio, da capacidade de redução de temperatura proporcionada por SVV's. Esta confirmação deu por meio de medições, simulações ou ambas. Os outros dois artigos apresentaram o SVV apenas como tendo um potencial de redução na temperatura da envoltória, sem apresentar resultados próprios que confirmam a sugestão.

O portfólio apresentou alguns pontos a serem considerados, tais como o fato do índice de albedo ter maior significância para alguns climas (GROS et al., 2016), ou de que o sistema necessita de constante manutenção, devido à presença de elementos vivos (ANDRIĆ; KOC; AL-GHAMDI, 2019). Contudo a aplicação de SVV's ainda se mostrou viável quanto ao aspecto de redução de temperatura, sendo este benefício superior às desvantagens apontadas.

Apesar da redução de temperatura apresentar resultados positivos em todo o portfólio, esta é confirmada apenas em dez artigos do mesmo, sendo eles divididos:

- Via simulação: Flores Larsen *et al*. (2015);

- Via medição: os de Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2013), Feng e Hewage (2014), Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2015), Gros *et al*. (2016b), Dahanayake e Chow (2017), Libessart e Kenai (2018) e Sudimac *et al.* (2019);
- Via simulação e medição: Larsen, Filippín e Lesino (2014b) e Olivieri *et al.* (2017).

Desta forma verificou-se que a aplicação do SVV implicou em redução de temperatura operativa nos estudos analisados. Entre os dez estudos que explicitaram o método de confirmação temos que um estudo apresentou resultados de simulação apenas, sete apresentaram resultados de medição apenas e dois apresentaram resultados de simulação e medição.

III. Método de simulação

Esta lente permitiu identificar métodos de implementação de SVV's em simulações térmicas computacionais. Oito dos artigos selecionados apresentaram informações que permitiram uma busca para replicação do método utilizado na pesquisa de forma direta. Três dos artigos demonstraram valer-se de implementações parciais de *softwares* ou módulos distintos, programados especificamente para atender necessidades da simulação dos SVV's.

Quadro 31 – Utilização do método por *software* no portfólio

Software	Método	Quantidade
EnergyPlus	Simplificação do SVV	3
	Método de cobertura verde do *EnergyPlus*	2
EnergyPlus + implementação	Simulação da taxa de fluxo de calor	1
TRNSYS	Módulo *Python* + Rotina *TRNSYS*	1
	Aplicação de valores de literatura no *TRNBuild*	1
Ladybug + Honeybee	Método de otimização	1

Fonte: O autor.

O Quadro 31 resume os métodos apresentados no portfólio. A maior incidência entre os métodos, três artigos, ocorreu no *software EnergyPlus* e consiste na simplificação do SVV na ferramenta de simulação, conforme apresentado por Larsen, Filippín e Lesino (2014b), Flores Larsen *et al*., (2015) e Flores Larsen, Rengifo e Filippín (2015). Dois artigos apresentaram o uso de um método no *software EnergyPlus*, consistindo na utilização da ferramenta implementada no *software* para simulação de coberturas verdes, o que é desaconselhado por outros artigos constituintes do portfólio, dadas as divergências de características entre fachadas verdes e coberturas verdes; o outro método de maior recorrência foi desenvolvido no

software TRNSYS, onde é feita uma aplicação conjunta com um módulo programado em *Python* para tratar da interação dos elementos construtivos.

O método de simplificação foi o selecionado para o desenvolvimento deste trabalho por ter sido apresentado de forma mais completa, o que permite sua replicabilidade. Esta simplificação foi desenvolvida pelo fato de o *software EnergyPlus* não contar com um módulo específico para simulação de SVV's. Tal método atua na principal contribuição deste tipo de sistema passivo para o controle de fluxo de calor: o barramento da radiação solar sobre a superfície de interesse (LARSEN; FILIPPÍN; LESINO, 2014). O mesmo apresenta duas possibilidades de execução:

a) Inserir um elemento de sombra posicionado como um anteparo em frente ao sistema de vedação externo, o qual receberia o SVV. Aqui o elemento atua como um objeto externo à envoltória;
b) Em caso de existência de janelas cobertas pelo SVV, deve-se adicionar a essa esquadria de vidro, um dispositivo de sombreamento situado no lado externo da edificação. As caraterísticas deste dispositivo são definidas visando replicar a capacidade de bloqueio da radiação solar proporcionada por um SVV.

Nesta pesquisa optou-se pela aplicação deste método devido à clara exposição do mesmo nos artigos selecionados no portfólio, além de reduzir a descaracterização do edifício ao longo do processo de modelagem.

IV. Validação

Nesta lente de pesquisa pôde-se confirmar que, dez dos doze artigos do portfólio, informaram que os resultados simulados foram validados. O processo de validação foi realizado por meio de comparação dos resultados simulados com medições efetuadas pós instalação dos SVV, com exceção de um artigo apenas, que procedeu com a validação por meio de aplicação de dados da literatura. O portfólio não apresentou qualquer informação sobre processos de calibração das simulações realizadas.

Esta lente confirmou a importância da etapa de validação dos resultados para pesquisas que realizem processos de simulação. A elevada taxa de comprovação da validação indica a relevância de tal processo para a comunidade científica. Portanto a etapa de validação do modelo foi adotada para esta pesquisa, considerando-a como indispensável para garantir a qualidade do trabalho desenvolvido. Esta pesquisa realizou a validação dos resultados de simulação do modelo do edifício previamente à instalação do SVV. Os resultados da simulação do SVV não foram validados por

comparação com valores medidos no edifício, pois não houve instalação de SVV em tempo hábil para o desenvolvimento dessa pesquisa. Os resultados da simulação performada nessa pesquisa foram comparados com dados da literatura, no seu estado da arte, visando avaliar sua coerência com resultados de pesquisas previas.

V. Método de avaliação

Esta lente complementa a *Lente Confirmação*, avaliando como se procedeu para realizar a verificação da redução de temperatura proporcionada pela atuação do SVV.

A maioria do portfólio, onze artigos, apresentou algum procedimento de verificação da eficácia do SVV, com exceção de apenas um artigo, o qual não chegou a apresentar uma confirmação, apenas sugeriu a mesma. O Quadro 32 demonstra um resumo dos métodos aplicados nos artigos do portfólio.

A principal metodologia aplicada, presente em oito dentre os doze artigos, foi a comparação direta entre as temperaturas das envoltórias com e sem a presença de SVV's.

Quadro 32 – Utilização do método no portfólio

Método	Número de artigos
Comparação de temperaturas	8
Análise de índices (EPI[24] e ATMI[25])	1
Análise das condutividades térmicas	1
Análise de conforto térmico (ASHRAE 55)	1
Análise dos balanços de calor	1

Fonte: O autor.

A definição do método de avaliação é influenciada pelo direcionamento e interesse da pesquisa, o que determina os dados disponíveis para avaliação. Apesar de

[24] Definido para quantificar o resfriamento proporcionado pela estratégia de condicionamento ambiental aplicada considerando o impacto na demanda (GROS et al., 2016).

$$EPI = \frac{E_{ref} - E_{coolstrat}}{E_{ref} - E_{ideal}}$$

Onde:
E_{ref} é o valor da demanda energética do edifício para o caso de referência [KWh];
$E_{coolstrat}$ é o valor da demanda energética do edifício para a estratégia dada [KWh];
E_{ideal} é o valor da demanda energética do edifício para o caso ideal [KWh].

[25] Definido para quantificar a mitigação de temperatura no ambiente na qual se aplica a estratégia de condicionamento ambiental (GROS et al., 2016).

$$ATMI = \frac{DH_{ref} - DH_{coolstrat}}{DH_{ref} - DH_{ideal}}$$

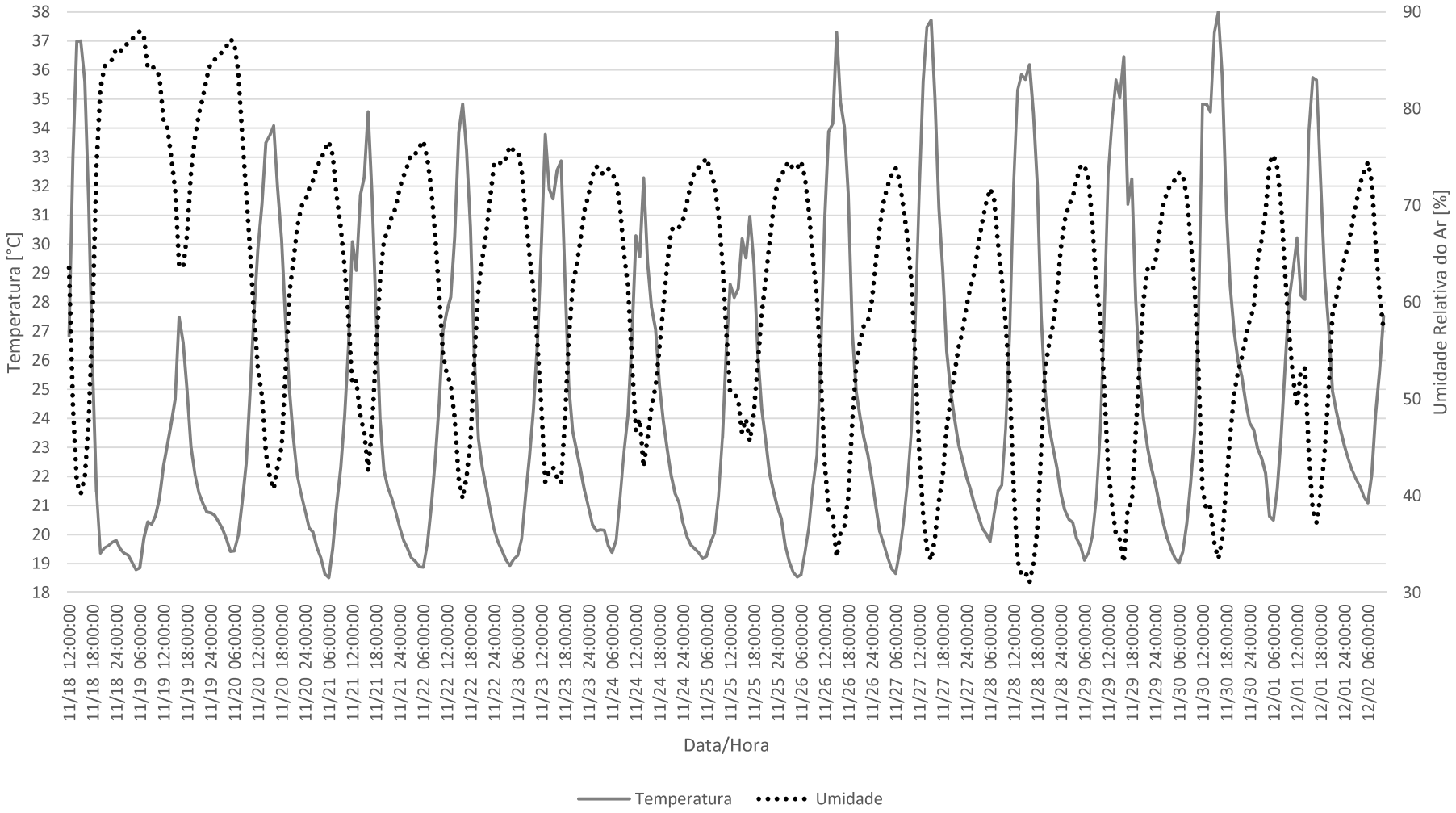
Onde:
DH_{ref} é o valor dos graus-hora superiores a 26°C no dossel urbano para o caso de referência [°Ch];
$DH_{coolstrat}$ é o valor dos graus-hora para a estratégia dada [°Ch];
DH_{ideal} é o valor dos graus-hora para o caso ideal [°Ch].

existirem formas diversas de análise dos resultados, a comparação de temperaturas é a mais amplamente utilizada na área.

Como o principal método, comparação de temperaturas, demonstra uma utilização majoritária, oito artigos do portfólio (Quadro 32), este foi o método selecionado para a avaliação do potencial de redução de temperatura proporcionado pelo SVV a ser analisado. Os artigos que ratificam essa escolha são os de Feng e Hewage (2014), Larsen, Filippín e Lesino (2014b), Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2015), Flores Larsen *et al*. (2015), Dahanayake e Chow (2017), Olivieri *et al*. (2017) e Sudimac *et al*. (2019).

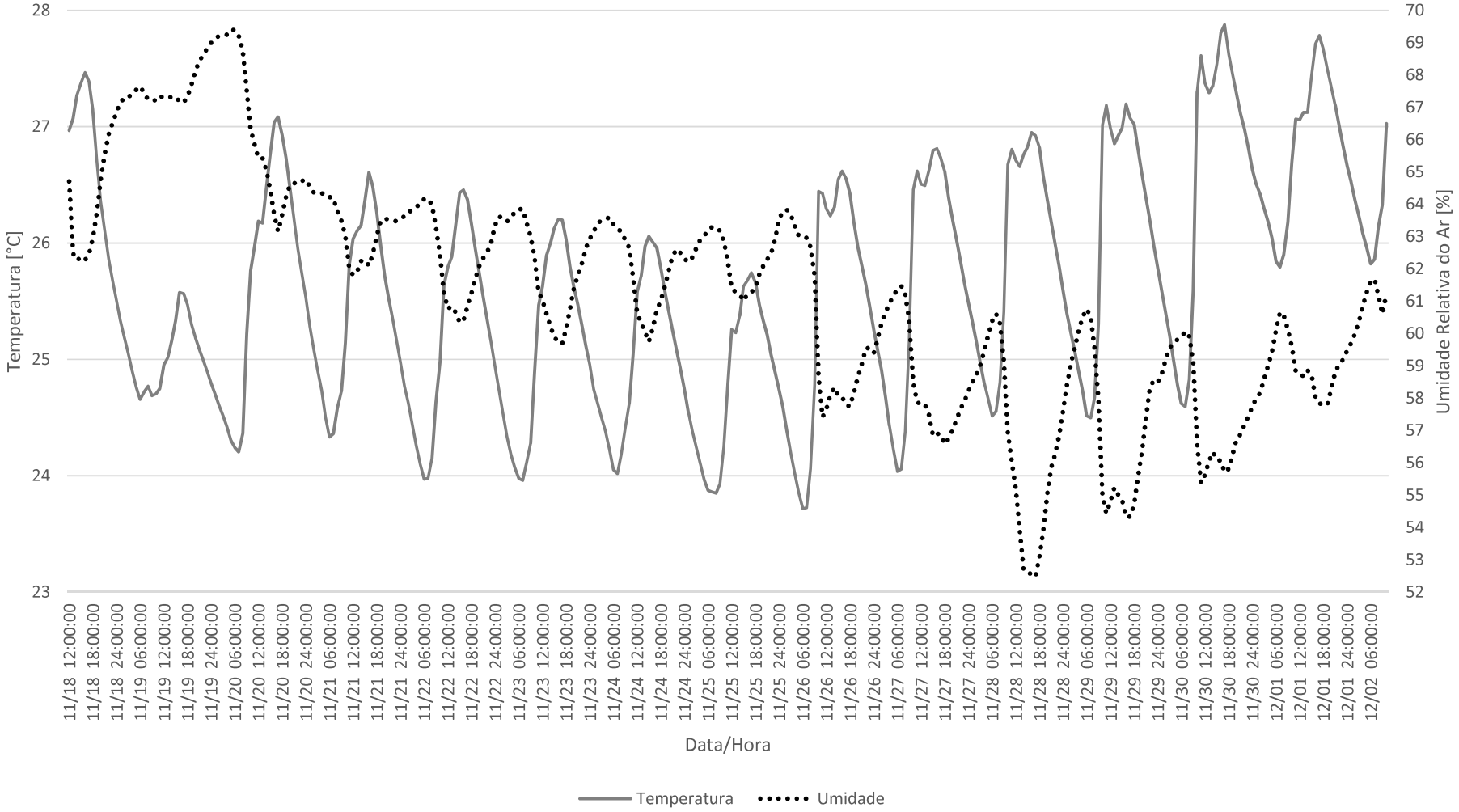
APÊNDICE D. DADOS DE TEMPERATURA E UMIDADE COLETADOS VIA DATA LOGGER

Gráfico 25 – Dados de temperatura e umidade do *data logger* A (Externo)



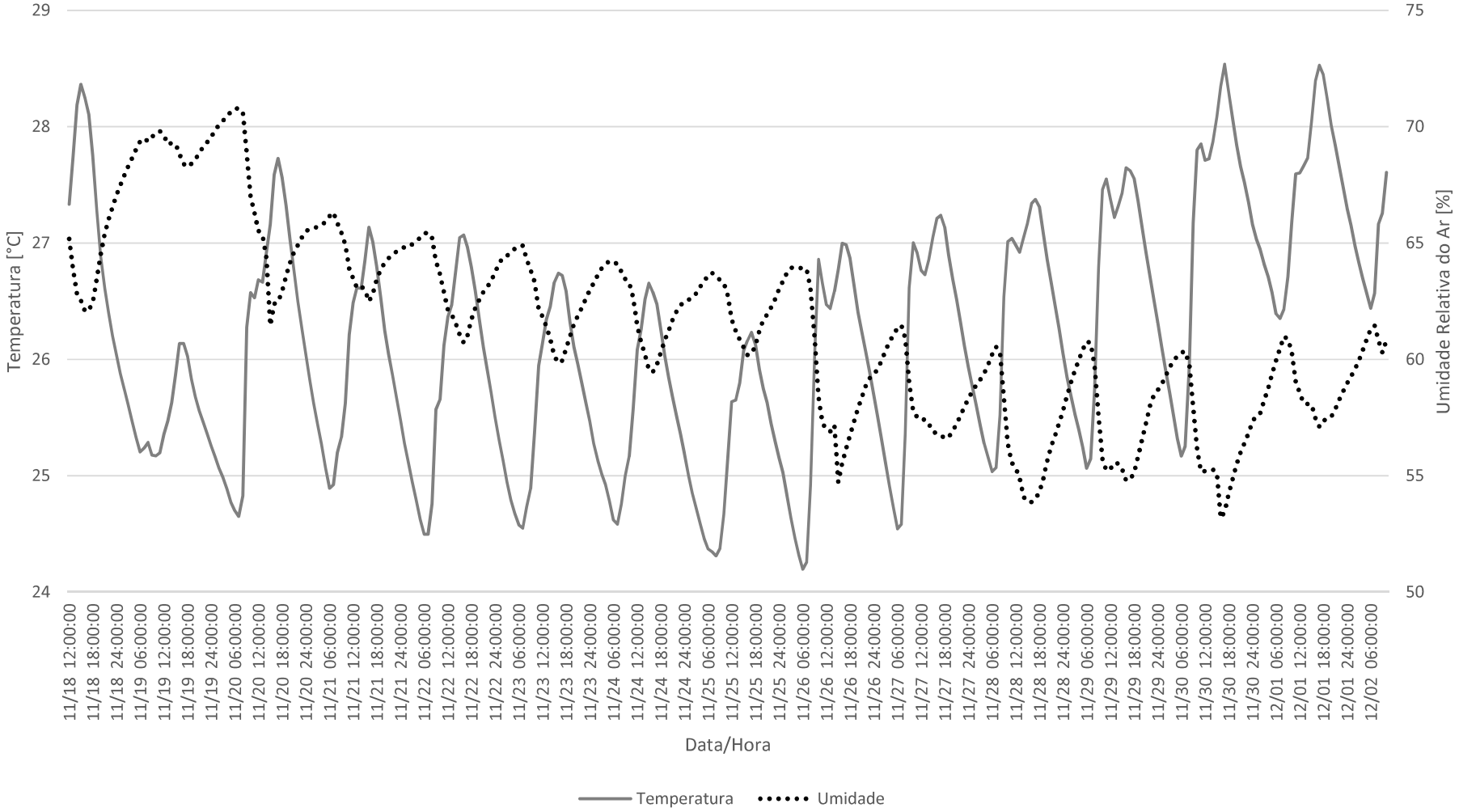
Fonte: O autor.

Gráfico 26 – Dados de temperatura e umidade do data *logger* B (2° andar)



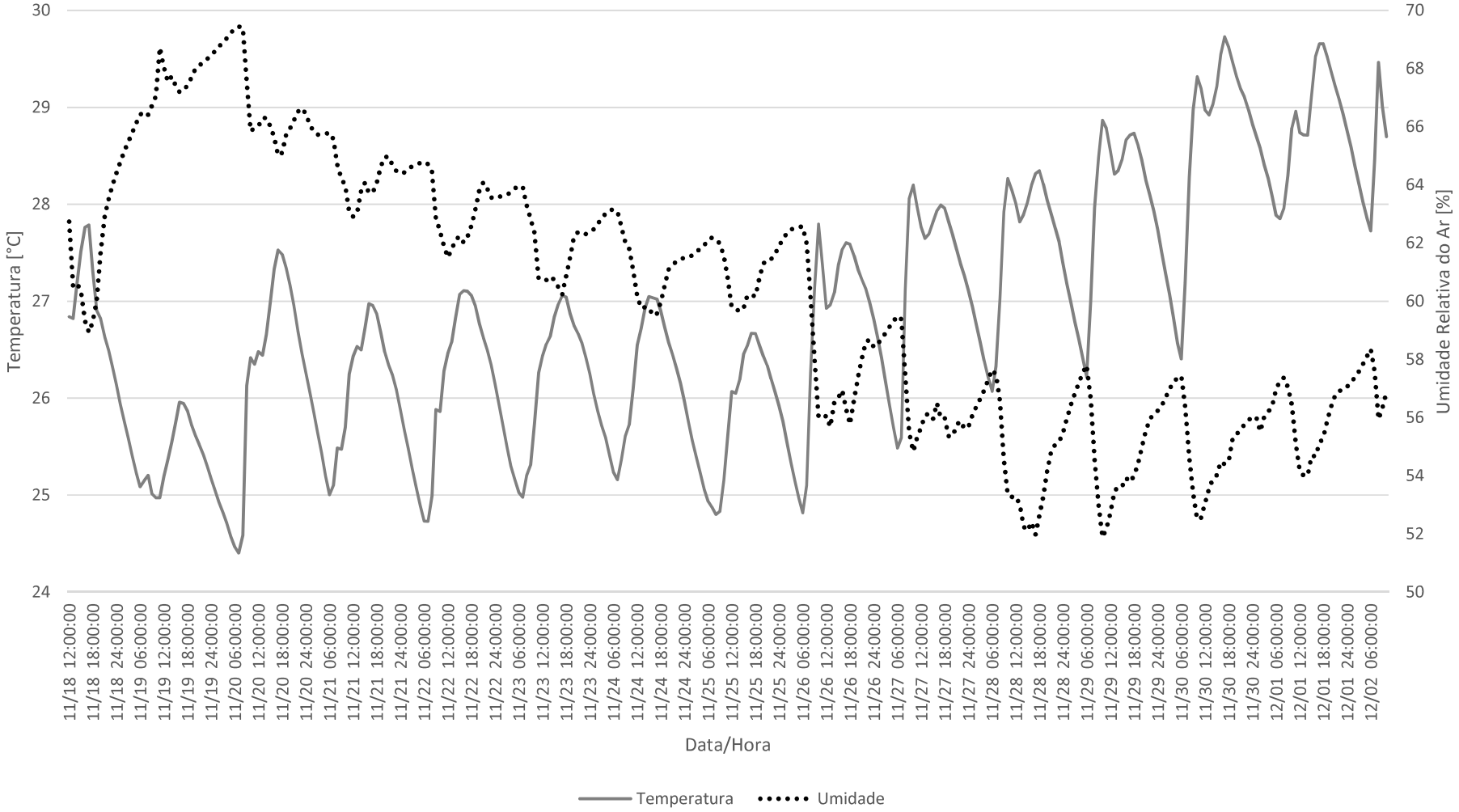
Fonte: O autor.

Gráfico 27 – Dados de temperatura e umidade do *data logger* C (3° andar)



Fonte: O autor.

Gráfico 28 – Dados de temperatura e umidade do *data logger* D (4° andar)



Fonte: O autor.