

JARDIM VERTICAL: DESEMPENHO TÉRMICO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Data de submissão: 25/09/2023

Data de aceite: 02/10/2023

Antonio Carlos Pereira Junior

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
Bauru - São Paulo.
<http://lattes.cnpq.br/4232081062678357>

Isadora Aparecida Nozawa

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
Bauru - São Paulo.
<http://lattes.cnpq.br/9053800788965691>

Stella Bruna Ananias Affonso

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
Bauru - São Paulo.
<http://lattes.cnpq.br/2951683359922446>

Júlia Marchioretto

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
Bauru - São Paulo.
<http://lattes.cnpq.br/7213808166337661>

Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
Bauru - São Paulo.
<http://lattes.cnpq.br/6410216019672649>

RESUMO: Compreender o desempenho térmico dos jardins verticais de diferentes tipologias é fundamental para sua utilização como estratégia bioclimática. A performance térmica dos jardins verticais pode ser levantada a partir de estudos de campo ou por simulações computacionais. No entanto, os estudos de simulação necessitam de parâmetros coletados em estudos experimentais. Grande parte das pesquisas nessa área utilizam o experimento e, por isso, é necessário maior entendimento sobre os estudos por simulação. Nesse contexto, este trabalho realizou o levantamento de artigos de periódicos e dissertações nas bases: Scopus, Web of Science™ e Biblioteca Digital Brasileira de Dissertações e Teses acerca do desempenho térmico de jardins verticais na modalidade de simulação com objetivo de identificar os parâmetros avaliados e softwares utilizados. Os resultados mostram que, assim como os estudos experimentais, os principais parâmetros avaliados foram temperatura do ar no ambiente interno sob influência do jardim, em comparação com o ambiente controle, a, temperatura superficial externa e interna da parede e velocidade do vento próximo ao jardim. Quanto aos softwares, os mais utilizados foram Energy Plus e

DesignBuilder.

PALAVRAS-CHAVE: Desempenho térmico; Fachada verde; Simulação.

VERTICAL GARDEN: THERMAL PERFORMANCE BY COMPUTATIONAL SIMULATION

ABSTRACT: Understanding the thermal performance of vertical gardens of different typologies is essential for their use as a bioclimatic strategy. The thermal performance of vertical gardens can be assessed through field studies or computational simulations. However, simulation studies require parameters collected from experimental studies. Many researches in this area rely on experimentation, highlighting the need for a better understanding of simulation studies. In this context, this work surveyed journal articles and dissertations in the Scopus, Web of Science™, and Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations databases regarding the thermal performance of vertical gardens using simulation methods, with the objective of identifying the evaluated parameters and software used. The results show that, similar to experimental studies, the main evaluated parameters were the air temperature in the indoor environment under the influence of the garden, compared to the control environment, the external and internal surface temperature of the wall, and the wind speed near the garden. As for software, the most commonly used were EnergyPlus and DesignBuilder.

KEYWORDS: Thermal performance; Green facade; Simulation.

1 | INTRODUÇÃO

A utilização dos jardins verticais em edifícios residenciais e comerciais tem se tornado cada vez mais recorrente, assim como o crescente aumento de pesquisas sobre seu desempenho térmico, especialmente a partir do ano de 2013. Essa maior utilização é porque os Jardins verticais constituem solução bioclimática bastante eficientes, uma vez que sua aplicação contribui para a melhoria no desempenho térmico das edificações. Essa melhoria é proporcionada por quatro mecanismos de ação: sombreamento, isolamento térmico, barreira ao vento e resfriamento evaporativo (Perez *et al.*, 2011; Muñoz *et al.*, 2019).

Através do sombreamento ocorre uma significativa redução no fluxo de calor e da temperatura interna, além de melhoria das condições térmicas internas, especialmente em localidades onde o calor é predominante (Wong *et al.*, 2010); o isolamento térmico é associado à redução da troca de calor por convecção, diretamente relacionada à quantidade de vegetação (Muñoz, 2019), tendo especial eficácia no exterior e durante épocas mais quentes. Como consequência da redução de calor, efeitos positivos na utilização de energia elétrica são observados (Wong; Baldwin, 2016); a barreira ao vento é devido a folhagem do jardim reduzir a velocidade e direção do vento (Pérez, 2014), e que pode melhorar a eficiência energética do prédio (Pérez, 2014; Besir; Cuce, 2018); o resfriamento evaporativo é diretamente afetado pelo clima local, planta utilizada e umidade do solo (Wong; Baldwin, 2016, e ocorre pela conversão da energia solar em energia latente. Essa conversão leva

ao aumento da umidade no entorno da planta, resfriando locais quentes e melhorando a qualidade do ar no entorno imediato (Muñoz *et al.*, 2019; Besir; Cuce, 2018).

Ao atuar tanto na escala micro como macro, os jardins verticais se caracterizam como excelentes infraestruturas verdes que devem ser consideradas no planejamento urbano, uma vez que seus diversos mecanismos de atuação reflete em vantagens que contribuem diretamente para a mitigação da mudança climática (Wong *et al.*, 2010).

Os estudos sobre desempenho térmico dos jardins verticais são feitos através de experimentos com medições *in loco* (Shuhaimi *et al.*, 2022; Safikhan *et al.*, 2014; Wong; Baldwin, 2016; Refati, 2020), ou por simulação computacional (Hong *et al.*, 2013; Lin *et al.*, 2019; Sousa, 2020). No entanto, a maioria utiliza experimentos. Assim, se faz necessário maior entendimento sobre os estudos de simulação.

Nesse contexto, este artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os estudos de desempenho de fachadas verdes que utilizam simulação computacional que foram levantados nas bases Scopus, Web of Science™ e Biblioteca Digital Brasileira de Dissertações e Teses. As principais questões dessa revisão foram: quais softwares mais utilizados, quais parâmetros levantados e os relacionados a vegetação utilizados na simulação.

2 | METODOLOGIA

A estrutura metodológica adotada foi constituída em 3 etapas: i) definição da base de dados e definição das palavras-chave de pesquisa, ii) definição dos critérios de elegibilidade dos artigos científicos e iii) definição dos parâmetros de análise dos artigos.

As bases de dados utilizadas para a revisão bibliográfica foram: Scopus (Elsevier), Web of Science (*Clarivate Analytics*) e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), e a busca dos artigos foram pelas seguintes palavras-chave: “*green facade and simulation and thermal performance*”. A seleção dos artigos seguiu dois critérios: (I) fossem apenas artigos; (II) os artigos com acesso livre.

Desta forma, foram encontrados 44 trabalhos, sendo eles: 12 na base de dados Scopus; 29 na plataforma Web of Science e 3 na Biblioteca Digital Brasileira de Dissertações e Teses. Desses 44 trabalhos, foram excluídos os que se repetiam entre as bases pesquisadas, restando 37 trabalhos e, em seguida, os trabalhos que não eram de abordagens temáticas acerca de jardins verticais e que não fossem analisados por simulação. Assim, o tamanho da amostra foi de 22 trabalhos.

3 I RESULTADOS

3.1 Características gerais dos estudos selecionados

Entre os 22 trabalhos selecionados (Quadro 1), 12 (54,54%) foram da base Web of Science; 04 (18,18%) da Scopus; 03 (13,64%) na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações; e os outros 03 (13,64%) restantes, encontrados em mais de uma plataforma.

Nº	Autores	Título	Plataforma
01	Varini (2013)	ECOENVELOPES R&D. Passive architectural envelopes high thermal performance and low environmental impact for tropical geo-climatic zones.	Web of Science e Scopus
02	Hong et al. (2013)	Assessment of Seasonal Energy Efficiency Strategies of a Double Skin Facade in a Monsoon Climate Region.	Web of Science
03	Sorte (2016)	Simulação térmica de paredes verdes compostas de vegetação nativa do Cerrado.	BDTD
04	Silva (2018)	O impacto das fachadas verdes nos microclimas urbanos.	BDTD
05	Lin et al. (2019)	Green Facade Effects on Thermal Environment in Transitional Space: Field Measurement Studies and Computational Fluid Dynamics Simulations.	Web of Science
06	Li et al. (2019)	Cooling and Energy-Saving Performance of Different Green Wall Design: A Simulation Study of a Block.	Web of Science
07	Suklje et al. (2019)	An inverse modeling approach for the thermal response modeling of green facades.	Web of Science
08	Convertino, Vox e Schettini (2019)	Heat transfer mechanisms in vertical green systems and energy balance equations.	Scopus
09	Shaheen, Sabry e Faggal (2020)	Double Skin Green Facade in Workplace for Enhancing Thermal Performance in Greater Cairo.	Scopus
10	Sousa (2020)	Análise do desempenho térmico de habitações multifamiliares de interesse social com paredes verdes.	BDTD
11	Mohamed et al. (2020)	Impact of plants obscuration on energy balance: Theoretical and numerical study.	Web of Science
12	Lesjak, Pajek e Kosir (2020)	Indirect green facade as an overheating prevention measure.	Web of Science
13	Assimakopoulos et al. (2020)	Green Wall Design Approach Towards Energy Performance and Indoor Comfort Improvement: A Case Study in Athens.	Web of Science e Scopus
14	Campos et al. (2020)	Energy and Environmental Comparison between a Concrete Wall with and without a Living Green Wall: A Case Study in Mexicali, Mexico.	Web of Science
15	Moghaddam et al. (2021)	Evaluation of thermal comfort performance of a vertical garden on a glazed façade and its effect on building and urban scale, case study: An office building in Barcelona.	Web of Science
16	Bahdad, Fadzil e Onubi (2021)	Assessment of the Thermal Performance of Vertical Green Walls Using Overall Thermal Transfer Value Based BIM Simulation Method: Case Study of Residential Buildings in Sub-Tropics.	Scopus
17	Alsaady, Hartmann e Voelker (2022)	Hygrothermal simulation data of a living wall system for decentralized greywater treatment.	Web of Science
18	Skerget, Tadeu e Almeida (2021)	Unsteady Coupled Moisture and Heat Energy Transport through an Exterior Wall Covered with Vegetation.	Scopus
19	Loibl et al. (2021)	Effects of Densification on Urban Microclimate-A Case Study for the City of Vienna.	Web of Science

20	Perera et al. (2021)	Modelling of vertical greenery system with selected tropical plants in urban context to appraise plant thermal performance.	Web of Science
21	Freewan, Jaradat e Amaireh (2022)	Optimizing Shading and Thermal Performances of Vertical Green Wall on Buildings in a Hot Arid Region.	Web of Science e Scopus
22	Convertino et al. (2022)	Effect of Leaf Area Index on Green Facade Thermal Performance in Buildings.	Web of Science e Scopus

Quadro 1 - Estudos sobre simulação e respectivos periódicos e dissertações.

Fonte: Dos autores, 2022.

A Figura 1 apresenta a linha crescente da tendência dos estudos no período de 2013 a 2022. Assim foram levantados dois estudos em 2013, um em 2016 e mais um em 2018, quatro (04) em 2019, em 2020 e 2021 foram seis artigos (06) em cada ano e dois (02) até o mês de junho em 2022, quando finalizou esta revisão.

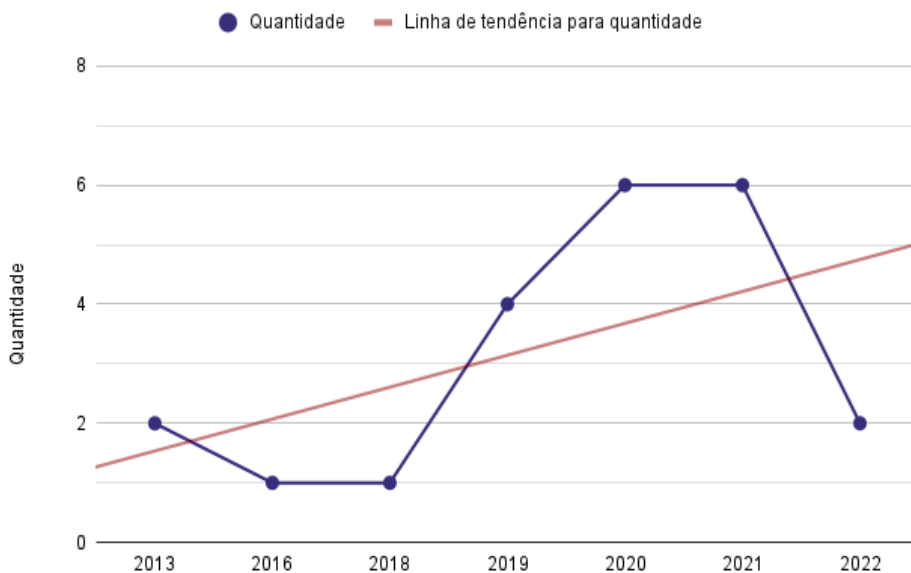


Figura 1 - Quantidade e linha de tendência dos trabalhos acerca da temática abordada

Fonte: Dos autores, 2022.

Quanto aos periódicos publicados, predomina a *Sustainability*, com 05 (26,3%) artigos (05, 13, 14, 15 e 22 do Quadro 1), seguido pela revista *Energies*, que contém 03 (15,8%) artigos (02, 06, 18 do Quadro 1). Os outros periódicos contém apenas 01 (5,3%) cada, e os outros 03 (15,8%) correspondem a dissertação.

A partir do Quadro 2 é possível observar algumas especificações desses artigos, tais como: países e clima, local de plantio, período de duração da coleta de dados e orientação solar da superfície estudada. Observa-se uma predominância de estudos conduzidos em

países dos continentes da Europa (10), seguido pela Ásia (06), América Latina (05), e África com apenas um (01).

Em relação à orientação das fachadas utilizadas, nove (09) utilizam a fachada sul (07, 08, 11, 12, 15, 16, 17 e 21 do quadro 1), o que pode ser explicado pelos estudos serem no hemisfério norte, gerando maior incidência solar nesta fachada; 02 utilizaram a fachada oeste (10 e 14), 01 utilizou a fachada sudeste (04 do Q1), 04 artigos adotaram duas ou mais orientações (01, 03, 05 e 09) e 06 deles não identificaram as fachadas analisadas (02, 06, 13, 18, 19 e 20).

Quanto aos climas, o quente (Artigos 05, 09, 12, 21 e 22 do quadro 1), o tropicais (artigos 01, 03, 04, 16 e 20 do Q1) e o mediterrâneo (artigos 08, 13 e 15 do Q1) foram mais analisados. Alguns trabalhos não especificaram o clima do local de análise (artigos 18; 19 e 06).

Nº	Localidade	Clima	Período	Orientação
01	Colômbia	Tropical úmido	21 de julho 2013 (Inverno)	Todas as fachadas
02	Coréia do Sul	Clima de monção do leste asiático, com estações claras de verão e inverno.	05 de dezembro (Inverno) e 03 de agosto (Verão)	-
03	Brasil	Tropical	08 de setembro 2008 (Inverno)	Simulação: todas. Experimento: Nordeste.
04	, Brasil	Tropical	05 e 09 de dezembro 2016 (Primavera)	Fachada Sudeste
05	China	Clima quente e úmido	2 a 3 de agosto de 2017 (Verão)	Fachadas Leste e Sul
06	China	-	23 e 24 de julho 2016 (Verão)	-
07	Eslovênia	-	01 de julho a 31 de agosto (Verão)	Fachada sul
08	Itália	Mediterrâneo verões quentes, secos e suaves e inverno chuvoso	17 de julho e 17 de setembro 2015 (Verão)	Fachada sul
09	Egito	Clima quente e árido	Agosto (Verão)	Fachadas Oeste, Sul e Leste
10	Brasil	São consideradas as 8 zonas bioclimáticas do país.	Zonas bioclimáticas ZB1, ZB3 e ZB8.: clima extremo de inverno, clima mediano e clima extremo de verão.	Fachada Oeste
11	França	Clima temperado	Final do período de verão de 2014	Fachada sul
12	Croácia	Quente (verão)	Verão de 2018	Fachada sul
13	Grécia	Mediterrâneo	-	-
14	México	Clima seco e muito árido (não consta a sua classificação)	21 a 23 de julho de 2018 (Verão)	Fachada Oeste

15	Espanha	Mediterrâneo	Junho e dezembro (Verão e Inverno)	Fachada sul
16	Yemen	Subtropical seco	1 de junho a 30 de setembro de 2020 (Verão)	Fachada sul
17	Alemanha	Clima temperado Oceânico,	12 meses	Fachada sul
18	Portugal	-	-	-
19	Áustria	-	10 e 12 de agosto de 2014 (Verão)	-
20	Sri Lanka	Tropical	Setembro e outubro (Outono)	-
21	Jordânia	Clima semidesértico	23 de novembro a 6 de dezembro de 2020 (Inverno)	Fachada sul
22	Itália	Clima temperado ameno	Agosto 2020 (Verão)	Fachada sul

Quadro 2: Especificações acerca das condições de análise das simulações.

Fonte: Dos autores, 2022.

3.2 Processos metodológicos: parâmetros analisados e mecanismos de ação

A simulação computacional sobre o desempenho térmico dos jardins verticais ajudam “...na visualização e interpretação do comportamento do ambiente, e podem gerar respostas próximas à realidade, contribuindo nos processos de projeto em arquitetura” (Bremenkamp *et al.*, 2016). Os softwares mais utilizados foram: DesignBuilder, com 06 artigos, que correspondem a 27,27% (02, 10, 12, 13 e 16 e 21 do quadro 1); Energyplus também com 06 artigos (artigos 02, 09, 10, 12, 13 e 16) e ENVI-met com 05 artigos, que representa 22,73% deles (03, 04, 06, 17 e 20). Os dois primeiros são constantemente utilizados em conjunto (artigos 02, 09, 12, 13 e 16), pois enquanto o Energyplus simula cargas térmicas que permitem analisar o consumo de energia, o Design Builder permite interfaces para análises de diferentes panoramas. Assim, a utilização em conjunto desses softwares fazem com que se tornem mecanismos complementares para o desenvolvimento eficiente da simulação. O ENVI-met mostra-se como um *software* com mecanismos similares aos do DesignBuilder, mas sua aplicação é na escala urbana.

Um aspecto de grande importância para os estudos de simulação é compreender os parâmetros de análise, uma vez que sua delimitação é fundamental para a inserção de dados nos *softwares*. Dos parâmetros mais analisados estão: as temperaturas superficiais externa e interna, temperatura do ar interna do ambiente com e sem influência da vegetação, velocidade do vento, umidade relativa do ar. Para isso, alguns dados de entrada referentes à vegetação são necessários, tais como índice de área foliar e densidades foliar, como mostra o Quadro 3.

Nº	Software	Métodos e técnicas	Parâmetros analisados	Parâmetros exclusivos da vegetação
01	Voxel 3D	Simulação para compreender a redução térmica interna do edifício em comparação ao ambiente externo.	Temperatura Interna e externa do ar.	-
02	DesignBuilder e EnergyPlus.	Simulação para investigar o desempenho energético de parede viva da edificação nos períodos de verão e no inverno.	Temperatura interna e externa do ar.	Altura das plantas; espessura do solo; Índice de área foliar; Refletividade e emissividade da folha; Absorção de CO2.
03	ENVI-met	Seleção de três espécies trepadeiras do cerrado, germinação, plantação e acompanhamento da taxa de crescimento das mesmas. Coleta de dados em campo (área a ser simulada, propriedades das espécies e índices climáticos) para preenchimento dos parâmetros no software ENVI-met.	Temperatura do ar, umidade relativa do ar.	Assimilação máxima de CO2; Taxa de transpiração; Condutância estômática; Luz incidente e refletida nas folhas; Tipo da folha; Altura da vegetação; Profundidade da raiz; Densidade de área foliar e de área de raiz.
04	ENVI-met	Método dedutivo, exploratório, através de medições de parâmetros da vegetação utilizada na fachada verde. Na etapa seguinte o método é indutivo, com testes de sensibilidade do modelo em cenário hipotético.	Temperatura radiante média; Radiação Solar; Temperatura externa do ar; Umidade relativa do ar	Densidade foliar; Temperatura de superfície da folha.
05	Rayman Pro Version 2.1	Coleta dos parâmetros em campo, realizada em uma fachada verde existente em um edifício. Aplicação dos parâmetros coletados no software Rayman Pro para simulação de diferentes tipologias de jardins verticais em diferentes orientações.	Temperatura externa do ar; Temperatura de globo; Umidade relativa do ar; Velocidade do vento; Índice PET	Índice de transmitância e espessura da folhagem.
06	ENVI-met	Coleta de dados meteorológicos, seleção das espécies no próprio software e escolha de diferentes tipologias de jardins verticais para simulação.	Temperatura do ar; Velocidade e direção do vento; Umidade relativa do ar.	Espessura da folhagem; Índice de área foliar; Distribuição de ângulo foliar; Espessura do substrato; Emissividade; Albedo; Coeficiente da água.
07	Novo modelo matemático para verificar desempenho térmico de um sistema de jardim vertical	O método é formulado como um problema de condução de calor em uma camada homogênea da envolvente de um edifício com propriedades termofísicas e radiativas aparentes.	Condutividade térmica aparente; Calor específico aparente; Densidade aparente; Absortividade e transmissividade	-

08	Software de simulação de microclima urbano	O sistema foi simulado por modelo unidimensional, considerando apenas o fluxo de energia normal à parede, desprezando os fluxos horizontais de energia.	Fluxo de calor; temperatura interna; e temperatura externa.	-
09	DesignBuilder e EnergyPlus.	Modelo <i>Double Skin GF</i> aplicado em edifícios de escritórios para investigar seu desempenho térmico.	Largura da cavidade; Temperatura interna	-
10	EnergyPlus (Componente HAMT)	Fachada verde simulada em modelo de habitação do programa MCMV nas zonas bioclimáticas ZB1, ZB3 e ZB8 para verificar a capacidade de isolamento térmico.	Temperatura interna da edificação com e sem camada verde e considerando a umidade; temperatura externa.	-
11	Software de simulação térmica de edifícios.	Resolução das equações de balanço de energia realizada em Matlab usando o método de Newton-Raphson. Para cada passo de tempo, a temperatura calculada "teórica" da superfície da parede é avaliada com cálculo iterativo.	Parâmetros externos que influenciam as trocas de calor (condução, convecção e radiação).	-
12	DesignBuilder e EnergyPlus.	A radiação solar horizontal global (G3) foi medida em um plano horizontal desobstruído próximo. Os pontos de medição sobre e atrás do IGF. O desenvolvimento da planta foi observado e registrado usando uma câmera. As fotos foram processadas para cálculo do percentual de cobertura da fachada.	Desenvolvimento da planta, percentual de cobertura da fachada interna.	Desenvolvimento da planta, percentual de cobertura verde
13	DesignBuilder e Energy Plus	Escolha de um apartamento real para simulação das dimensões. Uso arquivo meteorológico ASHRAE IWEC, disponível no próprio software, para aquisição dos dados meteorológicos. Para a fachada verde foi utilizado um modelo validado introduzido por Sailor e desenvolvido em um módulo do próprio software.	Temperatura do ar; Temperatura do ponto de orvalho; Umidade relativa; Pressão barométrica; Radiação normal direta e horizontal difusa; Velocidade e direção do vento.	Troca radiativa dentro do dossel da planta; Evapotranspiração; Transferência de calor.
14	"calculador de equivalências de gases de efeito estufa para o cálculo cumulativo de eletricidade.	Estudo experimental. Já os dados de consumo energéticos são retirados da Agência de Proteção Ambiental de equivalências de GEE.	Temperatura da superfície e do ar; radiação global; fluxo de calor; densidade do fluxo de calor, transferência de calor, temperatura do ar, temperatura da superfície da fachada verde e da parede, radiação de ondas curtas, velocidade do vento e consumo cumulativo de eletricidade.	-
15	IES VE	Seleção de um edifício existente para modelagem do mesmo em software. Uso do arquivo meteorológico El Prat Barcelona para aquisição dos dados climáticos. Uso do sistema Louver para aquisição dos dados da vegetação que irá compor a fachada verde.	Radiação solar, temperatura do ar e vento; velocidade do ar.	Espessura da folhagem; Índice de transmitância térmica

16	Autodesk, Revit, DesignBuilder e EnergyPlus.	Modelagem da edificação realizada com base nas dimensões de residências típicas da cidade. Dados climáticos retirados do site Weather Atlas. Dados da vegetação foram retirados de estudos bibliográficos realizados pelos autores.	Temperatura do ar interno; Desempenho da energia de resfriamento; Valor total de transferência térmica; Ganhos de calor.	-
17	ENVI-Met 4.4; solver Envi-Core; Envi-Met; Delphin	Este conjunto de dados foi adquirido através de simulação numérica usando o acoplamento de duas ferramentas de simulação, a saber, Envi-Met e Delphin.	Temperatura do ar; Velocidade do vento; Radiação total de ondas curtas e longas (recebidas pela superfície atrás da folhagem); Direção do vento na frente da parede viva.	Umidade relativa na folhagem; Densidade da área foliar; Índice de transmitância térmica
18	Solar energy software The HYDRUS-1D Software	Dados para modelagem da edificação retirados da literatura. Não consta o local de retirada dos dados da vegetação. Foi realizada a comparação da parede nua com a parede vegetada, considerando diferentes velocidades do vento e fluxo de calor.	Umidade relativa do ar; Fluxo de calor; Concentração de CO ₂ ; Pressão total do ambiente; Velocidade do vento; Emissividade da parede; Reflectância da superfície da fachada; Coeficiente de extinção de ondas curtas e longas.	Índice de área foliar; Cobertura vegetal; Dimensões da folhagem; Capacidade térmica, densidade e temperatura da folha; Reflectância do dossel.
19	Rhinoceros 3D plug-in environment Grasshopper ArcGIS software software STAR-CCM+ AutoCAD SketchUp ArchiPhysik Thesim3d	Análise de microclima (1) explorou fenômenos de ilha de calor urbana, análise de padrão de vento (2) investigou ventilação e conforto do vento no nível da rua e análise de energia e conforto climático interno (3) comparou tipos de construção e cenários de ecologização e analisou seu impacto na demanda de energia e nas temperaturas internas.	Fluxo de ar, temperatura interna e temperatura externa	-
20	ENVI-met	Os parâmetros de crescimento da planta (altura da planta, LAI) foram medidos por dois meses (setembro - outubro) em um intervalo semanal, medidos a partir da base usando uma fita métrica. Um total de 48 folhas foram selecionadas de cada espécie.		Altura, Índice de área foliar
21	Autodesk Revit e DesignBuilder	Realizada usando medições de experimentos reais e simulação computacional para medir a temperatura da superfície da parede (Ts), temperatura do ar ambiente (Ta) e taxa de iluminação natural em um espaço com parede verde, e comparando os resultados com uma base sem uma parede verde.	Temperatura da superfície da parede e do ar ambiente; Velocidade do vento; Infravermelho; Iluminância, Porcentagem de cobertura da Planta e da Cavidade de Ar; Porosidade da Parede Verde	Porcentagem de cobertura; Porosidade da vegetação

22	Software, I.B.	A fachada verde foi realizada de acordo com a tipologia de dupla pele na parede sul de um edifício com um plano retangular (4,20 m de comprimento, 1,50 m de largura) com uma altura média de 2,00 m.	Temperatura do ar; Umidade relativa; velocidade do vento	Índice de área foliar
----	----------------	---	--	-----------------------

Quadro 3: Principais *softwares*, parâmetros e métodos utilizados em simulação

Fonte: Dos autores, 2022.

O Índice de Área Foliar (IAF) representa uma medida quantitativa que expressa a área de superfície das folhas, utilizado para avaliar a quantidade de folhagem e a capacidade das plantas realizarem fotossíntese. O IAF é uma característica vegetal a ser considerada, pois o sombreamento solar e a evapotranspiração da planta são os principais mecanismos de resfriamento. (CONVERTINO et al., (2022)). A determinação do IAF pode ser feita pelos métodos direto e indireto, cujos procedimentos de determinação podem ser consultados pelas referências (02, 06, 18, 20, 22)

Os programas de simulação também requerem outras informações sobre os parâmetros da vegetação e, por isso, é necessário estudos experimentais para a coleta das informações necessárias, além da densidade de área foliar e IAF, que interferem diretamente na redução da radiação solar e transferência de calor. As espécies mais pesquisadas são: a hera (*Hedera helix*), devido ao seu rápido desenvolvimento no que tange o crescimento e capacidade de utilização em fachadas diretas, presente em 03 pesquisas (13,64%) (06, 11 e 21 do Quadro 1) dos estudos. No entanto, 09 (40,90%) (artigos 04, 09, 10, 13, 15, 16, 17, 18 e 19 não identificam as espécies utilizadas.

Nº	Espécies
01	IMBÉ (<i>Philodendron</i>); GLÓRIA-DA-MANHÃ (<i>Ipomoea</i>); ONZE-HORAS (<i>Portulaca</i>); PLANTA-TAPETE (<i>Episcia Fulgida</i>); ASA-DE-ANJO (<i>Pilea spruceana</i>); CAMBARÁ (<i>Lantana camara L.</i>); TINHORÃO (<i>Caladium</i>); BOA-NOITE (<i>Vincas</i>); DRACENA-CONFETI (<i>Dracaena godseffiana</i>); BELDROEGA (<i>Portulaca</i>).
02	STONECROP LARANJA (<i>Sedum Kamtschaticum</i>)
03	FLORA DA BAHIA (<i>Banisteriopsis anisandra</i>); CIPÓ-DE-FOGO (<i>Cissus erosa</i>); CUSPIDARIA PULCHRA (<i>Arrabidaea pulchra</i>).
04	-
05	Espécies de trepadeiras não identificadas
06	HERA (<i>Hedera helix</i>)
07	FEIJÃO COMUM (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
08	TREPADEIRA-DE-ARCO (<i>Pandorea jasminoides variegata</i>)
09	-
10	-
11	HERA (<i>Hedera helix</i>); TREPADEIRA-DA-VIRGÍNIA (<i>Parthenocissus quinquefolia</i>).
12	WISTÉRIA CHINESA (<i>Wisteria sinensis</i>)
13	-

14	PRIMAVERA (<i>Bugambilia brasiliensis</i>)
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	AMOR-DO-CAMPO (<i>Desmodium triflorum</i>); ABACAXI-ROXO (<i>Roheo spathacea</i>); CENTELLA-ASIÁTICA (<i>Centella asiática</i>); GRAMA-JESUÍTA (<i>Axonopus fissifolius</i>); GRAMA-SÃO-CARLOS (<i>Axonopus compressus</i>); CAPIM-PÉ-DE-GALINHA (<i>Eleusine indica</i>); COMIGO-NINGUÉM-PODE (<i>Dieffenbachiae spp</i>) (<i>Tectaria spp</i>); ASA-DE-ANJO (<i>Bignonia spp</i>)
21	HERA (<i>Hedera helix</i>)
22	JASMIM-ESTRELA (<i>Rhyncospermum jasminoides</i>)

Quadro 4: Espécies utilizadas nos trabalhos selecionados

Fonte: Dos autores, 2022.

4 | DISCUSSÃO

Dos vinte e dois (22) trabalhos selecionados para essa revisão é possível observar, através das informações contidas no Quadro 5, o impacto positivo nas tipologias de jardins verticais no que tange a redução da temperatura nas simulações feitas em edificações. Das especificidades apresentadas em cada estudo, é possível observar que, em Silva (2018) e Convertino *et al.* (2022), a evapotranspiração das vegetações analisadas influenciam no resfriamento das superfícies, na redução temperatura do ar e aumento da umidade próximo ao jardim vertical .

Outras informações relevantes são ressaltadas nas pesquisas de Varini (2013), Silva (2018), Shaheen *et al.* (2019), Alsaady *et al.* (2021) e Loibl *et al.* (2021) que constata o impacto dos jardins verticais na redução das temperaturas internas. Em se tratando do ambiente externo, os autores Lesjak *et al.* (2020), Assimakopolous *et al.* (2020), Alsaady *et al.* (2021), Skerget *et al.* (2021), Perera (2021), Freewan e Convertino (2022) também evidenciam impactos positivos na redução de temperatura, aumento de umidade.

Nº	Principais resultados
01	Real redução na temperatura interna do edifício em 5 a 6° C devido às estruturas verdes aplicadas na edificação.
02	Redução de até 3,97% no consumo de energia por aquecimento e 12,62% por resfriamento.
03	Houve uma redução na temperatura do ar que variou de 0,17°C (fachada sul ao 12h) até 1,59°C (fachada oeste às 18h). Sendo que a umidade do ar não apresentou aumento superior a 2pp.
04	À noite, na ausência da evapotranspiração, o resfriamento é mais influenciado pela troca convectiva. Durante o dia percebe-se o efeito da evapotranspiração no ligeiro aumento da umidade do ar em 1,0g/kg, à temperatura do ar de 26°C, e na diminuição da temperatura do ar, em ambos os casos quando comparadas ao cenário sem vegetação, em 0,17°C, 0,36°C e 0,68°C com os incrementos sucessivos do IAF, para umidade do solo 50%, às 14h, principalmente a sota-vento.
05	O GF reduziu a Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET) média em 2,54 C, e as simulações de CFD revelam que três tipologias de GFs são mais eficazes na regulação no verão. Os resultados desta pesquisa fornecem suporte para novos estudos sobre a eficácia térmica e opções de <i>design</i> de GFs para o conforto humano.
06	Os resultados revelaram a diferença no desempenho de resfriamento e economia de energia de diferentes paredes verdes
07	A temperatura prevista das fachadas verdes desvia menos de 1,3 °C, enquanto o fluxo de calor no lado interno do envelope do edifício desvia menos de 0,3 W/m ² em comparação com os valores medidos.
08	O modelo desenvolvido pode ser considerado capaz de prever o comportamento térmico de fachadas verdes. Os resultados obtidos podem ser implementados em modelos, simulando o microclima do edifício, para definir ferramentas úteis especificamente projetadas para fachadas verdes.
09	Melhora a temperatura do ar interno após a aplicação do <i>Double Skin Green Façade</i> .
10	O uso da parede verde proporciona uma redução da temperatura interna de até 2,8°C no verão e um aumento de até 1,2°C no inverno
11	A previsão numérica foi muito próxima dos valores experimentais, e o erro médio foi de cerca de 1 °C. Esta diferença permite validar o modelo desenvolvido.
12	A fachada verde indireta (IGF) pode ser usada como uma medida eficaz de prevenção de superaquecimento em edifícios expostos a condições climáticas.
13	A densidade do isolamento da parede não afeta os resultados, a camada de isolamento fornece a principal economia de energia de aquecimento, a camada verde traz uma pequena penalidade no inverno e uma boa melhora na necessidade de energia no verão, a camada verde traz uma pequena penalidade no inverno e uma boa melhora na necessidade de energia no verão, comparado a todos os outros.
14	A planta selecionada foi capaz de reduzir 49% do fluxo de calor e reduzir a carga térmica de 102.212 Btu/h. A espécie vegetal aplicada apresentou um crescimento lento.
15	A aplicação de uma fachada verde como camada de vegetação provocou uma redução nas temperaturas da superfície interna e externa da fachada, bem como da temperatura do ar interno do local de trabalho.
16	Em conclusão, dado o ambiente subtropical do lîmen, a combinação de construção de parede VGW e baixo OTTV produziu os melhores resultados
17	O Rsi e Rse são as resistências de superfície interior e exterior
18	Os experimentos numéricos provaram que a vegetação pode efetivamente reduzir as temperaturas da superfície da fachada externa, o fluxo de calor através do envelope do edifício e as flutuações diárias de temperatura

19	Os resultados das simulações de microclima mostram que a densificação em grande escala levou a um aumento nas áreas sombreadas e melhorou o resfriamento local no nível da rua e pátios internos durante o dia, pois a temperatura média de radiação caiu entre 3 e 10 K MRT (temperatura radiante média), especialmente nas ruas com orientação oeste-leste.
20	De acordo com este estudo <i>Roheo spathacea</i> , <i>Elusine indica</i> e <i>Axonopus fissifolius</i> apresentou a maior taxa de sobrevivência (100%) e cobertura em parede vertical verde viva. <i>Desmodium triflorum</i> , <i>Centella asiática</i> , <i>Axonopus compressus</i> , <i>Dieffenbachiae spp</i> , <i>Tectaria spp</i> e <i>Begonia sptém</i> taxas de sobrevivência em declínio nas paredes verticais verdes vivas.
21	Os resultados mostraram que os sistemas de paredes verdes são protetores solares naturais eficazes e sistemas de sombreamento. Uma parede verde ajudou a reduzir as temperaturas da superfície da parede externa em uma faixa de 6 a 11°C em comparação com o caso base da parede sem VGS em dias diferentes.
22	O LAI influenciou significativamente o desempenho de resfriamento da fachada verde. À medida que o LAI aumentava, o sombreamento solar e o calor latente aumentavam.

Quadro 5 - Síntese dos principais resultados da análise de simulação

Fonte: Dos autores, 2022.

5 I CONCLUSÃO

Os resultados obtidos sobre estudos de desempenho térmico de jardins verticais (paredes vivas e fachadas verdes) por simulação computacional evidenciam um crescente número de estudos; resultados positivos na utilização de *softwares* de simulação para observar e analisar o potencial amenizador de diferentes tipologias de jardins verticais para a melhoria das condições térmicas de edifícios, nas condições de conforto térmico, bem como na redução do consumo energético dessas edificações, de modo que beneficia não só os agentes que circulam e/ou vivem diretamente no edifício de aplicação, mas também nas pessoas que vivem no entorno imediato externo.

No entanto, ressalta-se a necessidade de compartilhar maiores informações acerca dos softwares utilizados para o desenvolvimento dessas simulações, uma vez que são escassas as explicações acerca da sua funcionalidade, efetiva aplicação, além das maiores dificuldades encontradas durante os processos.

Cada *software* exige dados de entrada que precisam ser conhecidos para incentivar estudos semelhantes, através das especificações de cada parâmetro exigido em relação à vegetação utilizada no jardim vertical. Essas informações também são essenciais para impulsionar os estudos experimentais, necessários para a coleta de dados como densidade foliar, índice de Área Foliar, Índice de Transmitância da Folha, entre outros.

REFERÊNCIAS

ASSIMAKOPOULOS, M. N.; DE MASI, R.F.; DE ROSSI, F.; PAPADAKI, D.; RUGGIERO, S. Green wall design approach towards energy performance and indoor comfort improvement: A case study in Athens. *Sustainability*, v. 12, n. 9, p. 3772, 2020.

ALSAAD, H., HARTMANN, M., VOELKER, C. Hygrothermal simulation data of a living wall system for decentralized greywater treatment. *Data in Brief*, v. 40, p. 107741, 2022.

BAHDAD, A. A. S.; FADZIL, S. F. S.; ONUBI, H. O. Assessment of the Thermal Performance of Vertical Green Walls Using Overall Thermal Transfer Value Based BIM Simulation Method: Case Study of Residential Buildings in Sub-Tropics. **Journal of Daylighting**, v. 8, n. 2, p. 294-312, 2021.

BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 915-939, 2018.

CAMPOS-OSORIO, A. et al. Energy and Environmental Comparison between a Concrete Wall with and without a Living Green Wall: A Case Study in Mexicali, Mexico. **Sustainability**, v. 12, n. 13, p. 5265, 2020.

CONVERTINO, F.; VOX, G.; SCHETTINI, E. Heat transfer mechanisms in vertical green systems and energy balance equations. **Urban Agriculture and City Sustainability**, p. 83, 2019.

CONVERTINO, F.; SCHETTINI, E.; BLANCO, I.; BIBBIANI, C.; VOX, G. Effect of Leaf Area Index on Green Facade Thermal Performance in Buildings. **Sustainability** 2022

FREEWAN, A. A.; JARADAT, N. M.; AMAIREH, I. A. Optimizing shading and thermal performances of vertical green wall on buildings in a hot arid region. **Buildings**, v. 12, n. 2, p. 216, 2022.

HONG, T. et al. Assessment of seasonal energy efficiency strategies of a double skin façade in a monsoon climate region. **Energies**, v. 6, n. 9, p. 4352-4376, 2013.

LESJAK, V.; PAJEK, L.; KOŠIR, M. Indirect green façade as an overheating prevention measure. **Gradevinar**, v. 72, p. 569-583, 2020.

LI, J. et al. Cooling and energy-saving performance of different green wall design: A simulation study of a block. **Energies**, v. 12, n. 15, p. 2912, 2019.

LIN, H. et al. Green façade effects on thermal environment in transitional space: Field measurement studies and computational fluid dynamics simulations. **Sustainability**, v. 11, n. 20, p. 5691, 2019.

LOIBL, W. et al. Effects of densification on urban microclimate—a case study for the city of Vienna. **Atmosphere**, v. 12, n. 4, p. 511, 2021.

MOGHADDAM, F. B. et al. Evaluation of Thermal Comfort Performance of a Vertical Garden on a Glazed Façade and Its Effect on Building and Urban Scale, Case Study: An Office Building in Barcelona. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 1-21, 2021.

MOHAMED-AMINE K., LAURENT L., STEPHANE L., DIDIER D. Impact of plants obscuration on energy balance: Theoretical and numerical study. **Journal of Building Engineering**, v. 29, p. 101112, 2020.

MUÑOZ, L. S. et al. Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019013-e019013, 2019.

PÉREZ, G. *et al.* Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. **Energy Conservation and Management**, v. 52, n. 4, p. 1861-1867, 2011.

- PÉREZ, G. *et al.* Vertical greenery systems (VGS) for energy saving in buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 139-165, 2014.
- PERERA, T. A. N. T. *et al.* Modelling of vertical greenery system with selected tropical plants in urban context to appraise plant thermal performance. **Ecological Indicators**, v. 128, p. 107816, 2021.
- REFATI, Kassiana Kamila Pagnoncelli *et al.* **Cortina verde com diferentes espécies trepadeiras e os efeitos termo-higrométricos em um ambiente**, em Francisco Beltrão - PR, 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.
- SAFIKHANI, T. *et al.* Thermal impacts of vertical greenery systems. **Environmental and Climate Technologies**, v. 14, n. 1, p. 5-11, 2014.
- SHAHEEN, A.; SABRY, H.; FAGGA, A. L. Double Skin Green Facade in Workplace for Enhancing Thermal Performance in Greater Cairo. **Engineering Research Journal**, v. 168, p. 1-12, 2020.
- SHUHAIMI, N. D. A. M. *et al.* The impact of vertical greenery system on building thermal performance in tropical climates. **Journal of Building Engineering**, v. 45, p. 103429, 2022.
- SILVA, Priscila Weruska Stark da. **O impacto das fachadas verdes nos microclimas urbanos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- ŠKERGET, L.; Tadeu, A.; Almeida, J. Unsteady Coupled Moisture and Heat Energy Transport through an Exterior Wall Covered with Vegetation. **Energies**, v. 14, n. 15, p. 4422, 2021.
- SORTE, Pedro Dias Boa. **Simulação térmica de paredes verdes compostas de vegetação nativa do Cerrado**. 2016. xviii, 125 f, il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/21314>.
- SOUSA, Luana Resende de. **Análise do desempenho térmico de habitações multifamiliares de interesse social com paredes verdes**. 2020. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020. <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/12368>.
- ŠUKLJE, T. *et al.* An inverse modeling approach for the thermal response modeling of green façades. **Applied energy**, v. 235, p. 1447-1456, 2019.
- VARINI, C.. ECOENVELOPES R&D. Passive architectural envelopes high thermal performance and low environmental impact for tropical geoclimatic zones. **Informes de la Construcción**, v. 65, p. 23-30, 2013.
- WONG, I.; BALDWIN, A. N. Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region. **Building and Environment**, v. 97, p. 34-39, 2016.
- 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, n. 3, p. 663-672, 2010.