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, 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 revisão sistemática 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 revisão sistemática 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 revisão sistemática aplicada foi o método Proknow-C pode 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 revisão sistemática (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).

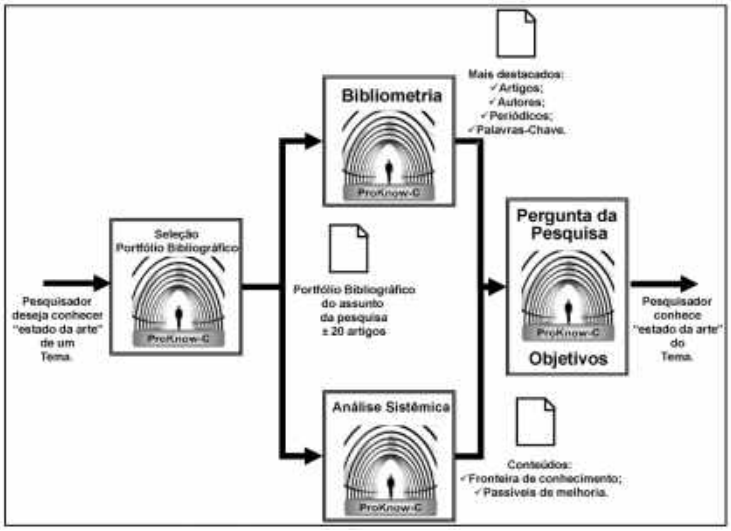

Figura 1 – Metodologia Proknow-C (LACERDA et al., 2012)

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 COMBINAÇÂO	**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 na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – 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.

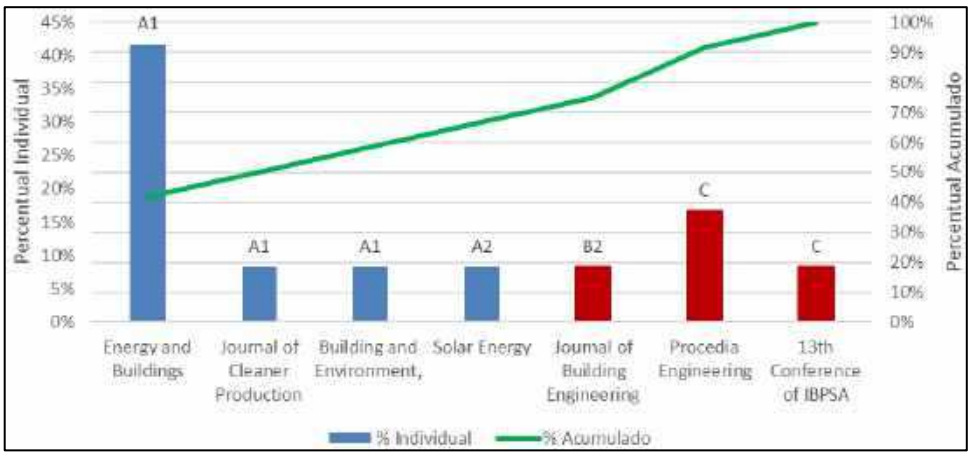

Figura 2 – Relevância dos periódicos via Qualis CAPES

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 13 artigos selecionados quanto à auxiliar no desenvolvimento de simulações de desempenho térmico de edificações que utilizam SVV's. Essas lentes são apresentada na Tabela 3. A Tabela 4 apresenta um resumo da aplicação das lentes nos artigos selecionados, na qual podemos perceber a contribuição de cada artigo para as lentes propostas.

Tabela 3 – 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	-

Tabela 4 – 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 revisão sistemática 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 revisão sistemática 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 analisados artigos 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).

$$EPI = \frac{E_{ref} - E_{coolstrat}}{E_{ref} - E_{ideal}} \qquad \text{Equação 11}$$

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 12

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 coletados 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 altores, sendo assim é de se esperar que estes apliquem os mesmos métodos conforme seguem desenvolvendo e avançando em suas pesquisas.

A segunda interalção 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.

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.