

Um panorama sobre a utilização de células-teste para estudos de campo em pesquisas na área da construção civil

An overview of the use of outdoors test cells in research in the study field of civil construction

Giovanna Schiwinski Verussa(1); Leandro Carlos Fernandes(2); Marcio José Sorgato(3)

1 Mestre em Engenharia Civil, Arquiteta e Urbanista, Universidade Federal do Paraná.

E-mail: giovanna.verussa@outlook.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1797-5117>

2 Doutor em Tecnologia e Sociedade, Arquiteto e Urbanista, Universidade Federal do Paraná.

E-mail: leandrofernandes@ufpr.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4393-7322>

3 Doutor em Engenharia Civil, Arquiteto e Urbanista, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

E-mail: sorgato@professores.utfpr.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3944-5299>

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 12, n. 1, p. 55-82, janeiro-junho, 2023 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2023.v12i1.4948>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

Atualmente, há uma demanda por edifícios capazes de abrigar as atividades humanas de maneira eficiente e com baixo impacto ambiental. Essa demanda impulsiona pesquisas nas áreas de desempenho termoenergético de materiais, componentes, sistemas construtivos e edificações. Para a realização dessas pesquisas, podem ser utilizados diferentes métodos e equipamentos de apoio. Entre os equipamentos estão as edificações experimentais: construções convencionais, construções em escala reduzida, células-teste de laboratório e células-teste para estudos de campo (CTEC). Entre outros motivos, as CTEC são de interesse por estarem expostas às condições dinâmicas do ambiente externo e por possibilitarem experimentos sofisticados e de custo relativamente reduzido. Apesar do potencial das CTEC, seu uso ainda é restrito no cenário brasileiro. O objetivo da pesquisa foi elaborar um panorama sobre o estado atual das pesquisas que utilizam células-teste para estudos de campo na área de desempenho térmico de edificações. Foram realizadas revisões bibliométrica e bibliográfica, estratificando em: amostra internacional, latino-americana (excluindo o Brasil) e brasileira. Os resultados apontaram para um atraso das pesquisas com CTEC na América Latina, incluindo o Brasil, comparativamente ao quadro norte-americano e, principalmente, ao europeu. A América Latina não dispõe de redes de pesquisa consolidadas, nem de protocolos padrão para testes ou de células-teste padronizadas e suas pesquisas apresentam baixa inserção internacional. Os resultados também mostraram que as pesquisas locais utilizando CTEC apresentam um grau menor de sofisticação e são voltadas principalmente para o tema resfriamento. Estes resultados permitem avaliar o contexto local e subsidiar a elaboração de estratégias para potencializar a utilização das CTEC em pesquisas relacionadas ao desempenho térmico de edificações.

Palavras-chave: Célula-teste para estudos de campo; Edificações experimentais; Câmaras climáticas; Desempenho térmico de edificações; Avaliação de componentes.

Abstract

Currently, there is a demand for buildings capable of housing human activities efficiently and with low environmental impact. This demand drives research in the areas of thermoenergetic performance of materials, components, construction systems and buildings. To carry out this research, different methods and support equipment can be used. The equipment includes experimental buildings: conventional buildings, small-scale buildings, laboratory test cells and outdoor test cells (OTC). Among other reasons, OTC are of interest because they are exposed to the dynamic conditions of the external environment and because they allow sophisticated experiments at a relatively low cost. Despite the potential of OTC, its use is still restricted in the Brazilian scenario. In view of the above, this research aimed to provide an overview of the current state of research that uses test cells for field studies in thermal performance of buildings. For this, the bibliometric review and bibliographic review methods were used, and three samples were considered: international, Latin American (excluding Brazil) and Brazilian. The results pointed to a delay in research on OTC in Latin America, including Brazil, compared to the North American and, mainly, European framework. Latin America does not have consolidated research networks, nor standard protocols for testing or standardized test cells, and its research has low international penetration. They also pointed out that local research using OTC has a lower degree of sophistication and is mainly focused on the topic of cooling. These results allow us to evaluate the local context and support the development of strategies to enhance the use of OTC in research in the region.

Keywords: Test cell for field studies; Outdoor test cell; Experimental buildings; Climatic chambers; Thermal performance of buildings.

1 Introdução

Ao longo do ciclo de vida de uma edificação são consumidos diversos recursos naturais, renováveis ou não-renováveis, necessários à sua construção, operação e posterior demolição. Para reduzir os impactos ambientais negativos desse consumo de recursos, surge a demanda por edifícios capazes de abrigar as atividades humanas de maneira mais eficiente. Essa demanda impulsiona a realização de pesquisas nas áreas de desempenho termoenergético de novos materiais, componentes e sistemas construtivos. Para a validação destes novos elementos são necessários testes de performance, que podem ser realizados tanto em laboratórios com condições internas controladas, quanto nas condições dinâmicas do ambiente externo.

Para tanto, pode-se fazer uso de diferentes tipos de edifícios para experimentos: 1) construções convencionais, 2) construções em escala reduzida, 3) células-teste de campo e 4) células-teste de laboratório. Uma das principais diferenças entre eles está no nível de controle das variáveis ambientais externas (radiação, temperatura, umidade relativa e velocidade do ar). O nível de controle é maior no tipo 4, no qual o ambiente externo é simulado no interior de um laboratório. Quanto ao controle das variáveis ambientais internas, é possível adotar para as células-teste de campo (tipo 3) um nível de instrumentação e controle semelhante ao das células-teste de laboratório (CATTARIN *et al.*, 2016). Neste sentido, as células-teste para estudos de campo são um instrumento de pesquisa intermediário entre os testes realizados no interior de laboratórios e os estudos com edificações convencionais (STRACHAN; BAKER, 2008). Geralmente, as células-teste para estudos de campo (CTEC) também são uma alternativa de baixo custo quando comparadas com a células-teste de laboratório e com edificações convencionais. Além do custo, as edificações convencionais também podem impor dificuldades práticas para a realização dos experimentos, como dificuldades para a instalação de sensores e para alterações. Em se tratando de edificações em escala reduzida, um obstáculo é o fato de que parte dos fenômenos físicos de interesse podem ocorrer de maneira distinta da maneira como ocorrem em edificações em escala real. Outro obstáculo é a redução dos componentes, que pode ser de difícil execução.

Células-teste são definidas por Hitchin (1993) como edificações simplificadas, construídas exclusivamente para uso experimental, com o objetivo de facilitar a interpretação de processos e interações presentes em edificações mais complexas. Segundo Strachan e Baker (2008), a maior parte dos estudos sobre desempenho térmico com célula-teste se concentra em dois aspectos: avaliar o desempenho de um componente em condições climáticas dinâmicas; e utilizar a célula-teste externa para validação de modelos utilizados em simulações computacionais.

Em relação à funcionalidade, as células-teste são artefatos versáteis que podem ser projetados de acordo com o objetivo da pesquisa e o tipo de componente a ser investigado, possibilitado estudos com graus variados de sofisticação e baixo custo,

o que é interessante tanto para pesquisas iniciais como para avançadas. Podem, por exemplo, ser operadas como calorímetros, possibilitando medições das trocas de calor através do envelope. Funcionam também para medição de parâmetros físicos de um componente mantendo no espaço interno condições ambientais controladas.

As CTEC também podem ser empregadas como câmaras climáticas, desde que tenham dimensões compatíveis com a escala humana e sejam dotadas de sistemas para monitoramento e controle das variáveis ambientais pertinentes (CATTARIN *et al.*, 2016).

Quanto às características físicas das células-teste os aspectos mais relevantes são: a geometria simples; a construção simplificada; o projeto preciso; o emprego de materiais com propriedades térmicas conhecidas e; o dimensionamento compatível com a escala humana. A compatibilidade com a escala humana é importante para a redução dos efeitos da escala ao se aproximar das dimensões do ambiente para o qual o envelope e/ou componente em avaliação foi desenvolvido (HITCHIN, 1993).

Apesar das diversas possibilidades de uso das células-teste, segundo Fernandes *et al.*, 2015^a, a aplicação destas em pesquisas na área de desempenho térmico é pouco difundida no Brasil quando comparada com o que ocorre em outros países, principalmente europeus, que desde a década de 1990 constituíram redes de pesquisa em torno de modelos padronizados do equipamento (DIJK; LINDEN; 1993). Todavia, foram localizados poucos trabalhos de revisão bibliográfica acerca do tema, não sendo possível estabelecer *a priori* um panorama nacional nem internacional para o uso do instrumento.

Dentre as pesquisas mapeadas, Strachan e Vandaele (2008) focaram nas células-teste do projeto PASSYS/PASLINK; Fernandes *et al.*, (2015a) procuraram diferenciar as células-teste de outros tipos de instalações para testes e apresentaram um breve apanhado sobre seu uso no Brasil; e Cattarin *et al.* (2016) buscaram descrever e classificar as células-teste mais recentes localizadas principalmente na Europa. Os demais estudos se concentram na descrição detalhada dos experimentos realizados. Diante deste cenário, no qual o contexto do emprego das células-teste para estudos de campo é em parte desconhecido e considerando a necessidade de se conhecer melhor as possibilidades dessa ferramenta, surgem questionamentos a respeito das finalidades principais do seu uso, das características físicas mais recorrentes, dos métodos de investigação mais utilizados e ainda a respeito da existência de parcerias entre pesquisadores. É possível questionar também se a aplicação ocorre de maneira similar em diferentes países ou se existem características regionais distintas.

Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo elaborar um panorama sobre o estado atual das pesquisas que fazem uso de células-teste para estudos de campo na área de desempenho térmico de edificações. Para isso, foram utilizados os métodos revisão bibliométrica e revisão bibliográfica, estratificando em: amostra internacional, latino-americana e brasileira.

2 Procedimentos Metodológicos

A revisão de literatura realizada inicialmente sugere que existem cenários distintos de uso das células-teste para a avaliação do desempenho térmico de edificações em função da distribuição geográfica dos pesquisadores. Por isso, foram definidas três amostras espaciais: a primeira, chamada de “internacional”, busca visualizar o emprego do instrumento em um cenário global; a segunda, nomeada “latino-americana”, procura compreender a regionalidade das pesquisas sem considerar o Brasil; e a terceira, “brasileira”, visa identificar a realidade nacional. Para tanto, foram utilizados métodos de revisão bibliométrica aplicados às três amostras e de revisão bibliográfica aplicados nos recortes latino-americano (excetuando-se o Brasil) e brasileiro.

No início de 2020, foi realizado um primeiro levantamento de dados na base *Scopus* a partir do Portal de Periódicos da CAPES. Para tanto, foi elaborado uma *string* de busca contendo as palavras-chave que melhor representam o tema em inglês. Definiu-se primeiro uma área composta por edificações ou arquitetura, somou-se a esta o objeto de pesquisa, bem como os termos comumente associados ao artefato, e excluiu-se palavras relacionadas a outras áreas de conhecimento que também fazem uso de células-teste. A *string* final de pesquisa foi: (build* OR architect*) AND (“test cell*” OR “test building” OR “outdoor facilit*” OR “test box”) AND (energy OR temperature* OR envelope OR “thermal performance” OR cooling OR heating OR insulation OR roof OR wall) AND NOT (cytology OR medicine OR “wind tunnels” OR aerodynamics OR “aerodynamic loads”). A busca ainda foi restringida às áreas de Artes e Humanidades; Ciências Ambientais; Ciência da Computação; Ciência dos Materiais; Ciências Sociais; Engenharia; Energia; Física e Astronomia; Matemática; e Multidisciplinar.

Os dados obtidos foram primeiramente organizados em planilhas, sendo tabulados por ano de publicação, área do conhecimento, nome dos autores, países e palavras-chave. Na sequência, essas informações foram analisadas com o auxílio do programa *VOSviewer*, que é uma ferramenta para a construção e visualização de redes bibliométricas. Desta maneira, foi possível verificar a frequência de ocorrência das palavras-chave, visualizar o emprego destas ao longo do tempo, determinar o número de publicações por país e avaliar o vínculo entre os autores. Também foram elaborados gráficos, mapas e tabelas a fim de facilitar a análise dos dados. Contudo, observou-se que a base *Scopus* não é própria para localizar dissertações ou teses e publicações redigidas em português ou espanhol. Sendo assim, visando obter um panorama mais realista das amostras da América Latina e do Brasil, novas buscas foram realizadas.

Um segundo levantamento foi realizado em julho/2020 visando identificar pesquisas da área de desempenho térmico de edificações que utilizaram células-teste e movidas por pesquisadores da América Latina, incluindo o Brasil. Um terceiro e último levantamento foi realizado em julho/2022 com enfoque apenas nas pesquisas

nacionais. Nos dois últimos casos, além da base de dados *Scopus*, foram consultadas também as bases *Scielo* e *Google Acadêmico* utilizando como principais termos de busca “célula-teste” e “edifícios” nos idiomas inglês, espanhol e português. Também foram verificados sites de revistas e eventos da área, como a *Conference on Passive and Low Energy Architecture* (PLEA) e o *Solar World Congress*, de alcance internacional. Também foram consultados os anais de eventos organizados pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), as revistas *Ambiente Construído*, *Pesquisa em Arquitetura Construção* (PARC), *Arquitetura IMED*, bibliotecas de programas de pós-graduação e do Centro de Referência e Informação em Habitação (InfoHAB), no âmbito nacional.

Uma primeira filtragem dos trabalhos localizados buscou confirmar, por meio da leitura do título, autores, resumo e palavras-chave, se estes se enquadravam nos requisitos de pesquisa quanto a área de estudo e localização geográfica. Na sequência, as pesquisas selecionadas foram analisadas na íntegra, com a posterior compilação de dados de ordem bibliométrica e bibliográfica em planilhas. No caso da América Latina, excluindo-se o Brasil, os dados registrados foram: tipo de publicação, local de publicação, título, autores, país, instituição, ano, palavras-chave, elemento testado, dimensões da célula-teste, material da célula-teste e método de investigação. No caso do Brasil, além das informações mencionadas, foram incluídas as categorias: estado, região, quantidade de células-teste, variáveis monitoradas, equipamentos utilizados e sua localização, propriedades calculadas, normas mencionadas e conclusões.

Novamente foi utilizado o software *VOSviewer* para a análise dos dados de ordem bibliométrica com enfoque na ocorrência de palavras-chave e eventuais classificações possíveis para estas. Ao final, também foram elaborados gráficos, mapas e tabelas a fim de facilitar a análise dos dados.

3 Resultados e Discussão

A seguir, são apresentados os resultados obtidos e analisados para cada uma das amostras, configurando assim três panoramas do estado atual das pesquisas na área de desempenho térmico de edificações que utilizam células-teste.

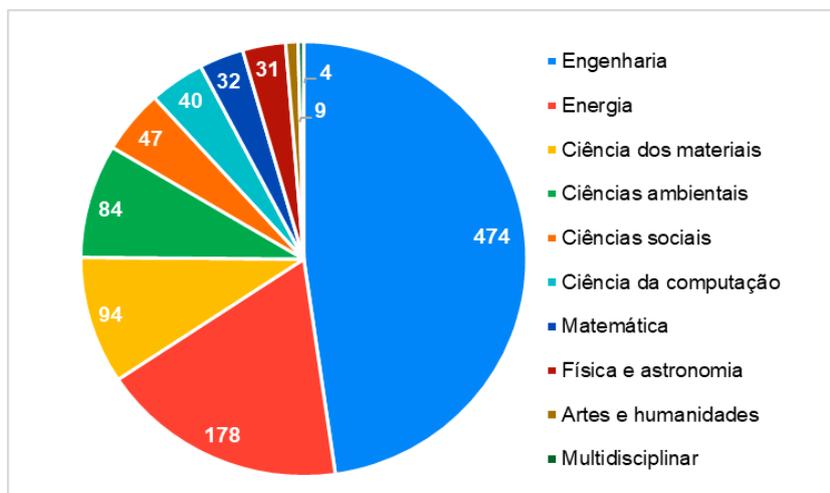
Panorama Internacional

A busca na base de dados *Scopus* teve como resultado uma amostra de 650 documentos distribuídos nas áreas de conhecimento indicadas na Figura 1. Algumas pesquisas foram enquadradas em mais de uma área. Ainda assim, houve um predomínio de pesquisas em Engenharia (48%) e Energia (18%). Quanto ao tipo de publicação, a maior parte foi realizada em periódicos (380), seguida pelos trabalhos

publicados em anais de eventos (247). As revistas mais recorrentes foram *Energy and Buildings* (76), *Solar Energy* (40), *Building and Environment* (37), *ASHRAE Transactions* (30), *Energy Procedia* (25) e *Applied Energy* (11), todas tradicionais para a área de desempenho termoenergético.

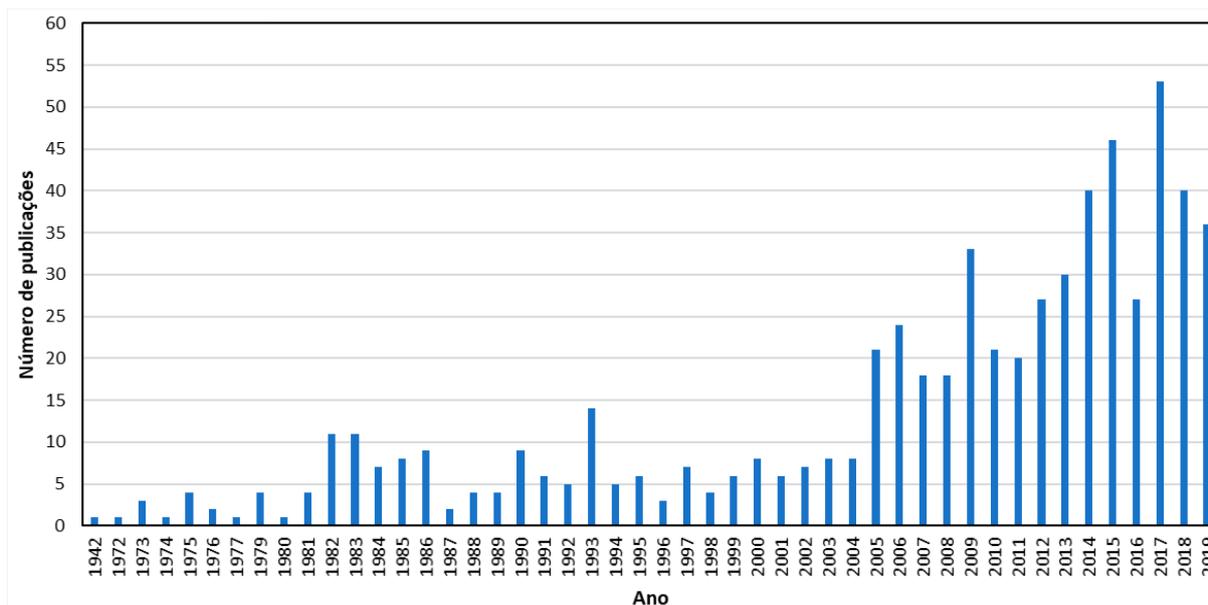
Quanto ao número de publicações ao longo do tempo (Figura 2), verificou-se que até 2005 ocorreram menos de 10 publicações anuais e, posteriormente, consolidam-se mais de 15 publicações por ano, com ápice em 2017 com 53 trabalhos. Tais dados podem indicar uma tendência de aumento do uso de células-teste entre os pesquisadores. Todavia, cabe ressaltar que a base *Scopus* não abrange todo o universo de pesquisas e que parte dos trabalhos mais antigos podem não estar disponíveis no formato digital.

Figura 1. Publicações por área de conhecimento



Fonte: os autores.

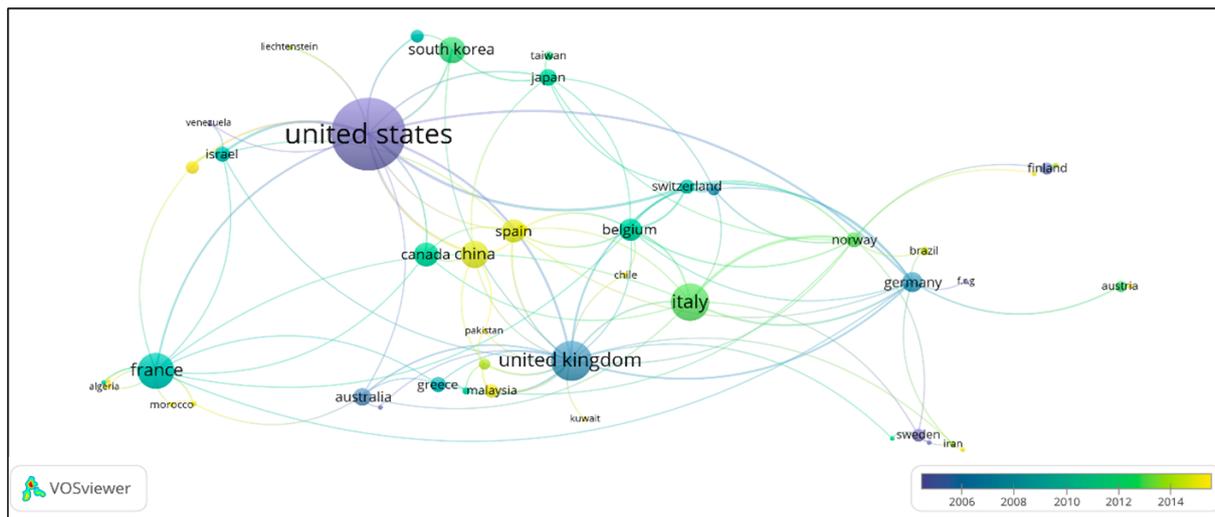
Figura 2. Número de publicações por ano



Fonte: os autores.

A análise dos dados no *VOSviewer* sugere ainda que alguns países possuem posição de protagonista, tendo ao seu redor países colaboradores (Figura 5). São exemplos desses núcleos: Estados Unidos, Reino Unido, Itália e França. O Brasil é indicado como um país com poucos laços, com parcerias diretas apenas com a Alemanha e a Noruega, sem vínculo com países vizinhos da América Latina. Quanto ao número de pesquisas ao longo do tempo, Estados Unidos e Austrália aparecem como usuários tradicionais de células-teste, enquanto China, Espanha, Malásia e Brasil aparecem como usuários mais recentes do artefato.

Figura 5. Uso de células-teste ao longo do tempo e vínculo entre países



Fonte: os autores.

Em relação ao emprego das palavras-chave, a Figura 6 mostra que o termo PCM (materiais de mudança de fase) teve a maior ocorrência. Verifica-se ainda que as pesquisas com células-teste tendo como foco a “eficiência energética” foram mais numerosas nos últimos anos, assim como aquelas utilizando os termos “*EnergyPlus*” e “envelope da edificação”. Outros termos com recorrentes são: conforto térmico, desempenho térmico, edificação, resfriamento passivo, economia de energia e simulação de edificações.

Uma análise mais detalhada das palavras-chave utilizadas possibilita agrupá-las em temas de pesquisa (Tabela 1), observando-se que estes não são estanques, pois algumas palavras-chave podem se encaixar em mais de uma categoria. Por exemplo, aquecimento solar pode ser encaixado tanto na categoria “Energia Solar” quanto na categoria “Aquecimento”. De maneira geral, a análise do número de ocorrências de palavras-chave por tema indica que as células-teste são utilizadas principalmente em pesquisas sobre “Propriedades térmicas de materiais e dos componentes” e “Eficiência energética”.

| TEMA | PALAVRAS-CHAVE | OCORRÊNCIAS |
|--------------------|---|-------------|
| Aquecimento | Aquecimento, aquecimento solar, aquecedor de ambiente e equipamento de aquecimento. | 118 |
| Desempenho térmico | Performance térmica, avaliação de desempenho, comportamento térmico. | 86 |
| Qualidade do ar | Qualidade do ar, ar, ar interior, poluição do ar interior e dióxido de carbono. | 65 |

Fonte: os autores.

Entre as pesquisas da amostra internacional, destacam-se os trabalhos vinculados ao projeto PASSYS-PASLINK, que teve início na década de 1980 com o objetivo de desenvolver um modelo de célula-teste que pudesse ser replicado no território europeu. A instalação do equipamento em diversos países estimulou a criação de uma rede de pesquisa que permanece ativa atualmente. Neste caso, a adoção de protocolos padronizados permitiu a comparação direta dos experimentos realizados em diferentes condições climáticas (WOUTERS *et al.*, 1993; GARCÍA-GÁFARO *et al.*, 2020).

Panorama Latino-Americano excluindo o Brasil

Visando compreender o estado atual das pesquisas nos demais países da América-Latina, nesta sessão serão desconsiderados os estudos brasileiros. A busca inicial na base de dados *Scopus* localizou 14 trabalhos da América Latina. Em função do pequeno número encontrado foi realizado um segundo levantamento, no qual foram localizadas mais 20 publicações, totalizando 34 documentos. Destes, 17 são artigos publicados em periódicos e 17 são artigos divulgados em anais de eventos. O periódico com maior número de publicações é o *Energy and Buildings* (5) e dentre os eventos destaca-se a *Conference on Passive and Low Energy Architecture – PLEA* (7).

A distribuição geográfica das pesquisas (FIGURA 7) se restringe a cinco países, México (20), Venezuela (6), Chile (4), Peru (3) e Argentina (1), e indica um protagonismo mexicano. Além disso, ressalta-se que na amostra analisada onze publicações são fruto de parcerias internacionais com os seguintes países: Bélgica, Brasil, Espanha, Estados Unidos, França, Israel, Malásia e Reino Unido. Dentre os autores mais recorrentes em publicações ligadas à região, destacam-se o arquiteto israelense Baruch Givoni (com participação em 6 publicações), presente em parcerias com o México e a Venezuela; os pesquisadores mexicanos J. Xamán (6), José García Chávez (5), I. Hernández-Peréz (5), E. Simá (3), E. V. Macías-Melo (3) e I. Zavala-Guillén (3) e ainda o professor Eduardo González (5) vinculado a uma instituição venezuelana.

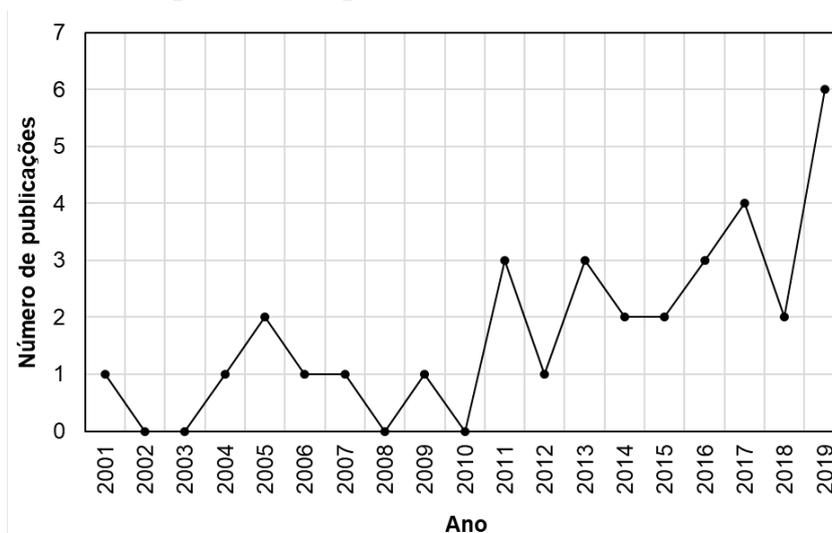
A distribuição temporal das publicações (FIGURA 8) mostra uma concentração maior nos últimos dez anos. No período de 2011 até 2019 ocorreram cerca de 79 % das publicações, variando de um a seis trabalhos ao ano, contrapondo-se ao período de 2000-2010, com 21 % das publicações, variando de nenhum a dois trabalhos anuais.

Figura 7. Número de publicações na América Latina (excluindo o Brasil)



Fonte: os autores.

Figura 8. Número de publicações por ano na América Latina (excluindo o Brasil)



Fonte: os autores.

Quanto às palavras-chave, foi observada uma grande heterogeneidade de termos, sendo a maioria de ocorrência única. As palavras-chave com mais repetições foram: resfriamento passivo (7), cobertura verde (4), conforto térmico (4), economia de energia (3), ganho de calor (3) e desempenho térmico (3). Tal qual na amostra anterior, os termos foram agrupados em torno de temas de pesquisa, conforme apresentado na Tabela 2. Destaca-se o tema “propriedades térmicas de materiais e dos componentes”, com maior número de ocorrências, repetindo o comportamento da amostra internacional. O segundo tema foi “resfriamento”, que ocupava a quinta posição no recorte global, indicando uma maior importância regional ao tema. Em relação ao recorte global, os temas como “eficiência energética”, “simulação computacional” e “energia solar” apresentaram menor interesse por parte dos pesquisadores latino-americanos que se concentram mais em aspectos de “conforto térmico” e “desempenho térmico”.

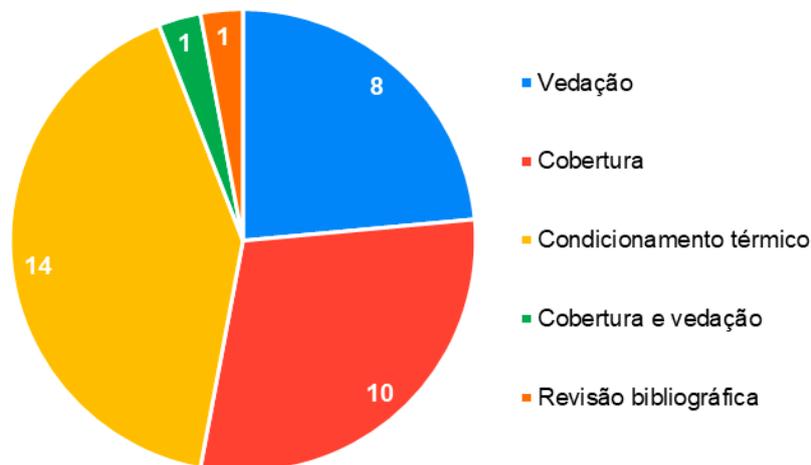
Tabela 2. Temas de pesquisa e palavras-chave na América Latina

| TEMA | PALAVRAS-CHAVE | OCORRÊNCIAS |
|--|---|-------------|
| Propriedades térmicas de materiais e dos componentes | Materiais frios, coberturas frias, isolantes, revestimentos reflexivos, materiais reflexivos, materiais de mudança de fase, acumulador térmico, atraso térmico, massa térmica, condutividade térmica, armazenamento de energia térmica, calor específico, isolamento térmico e fluxo térmico. | 24 |
| Resfriamento | Resfriamento evaporativo, resfriamento passivo, resfriamento de cobertura, resfriamento passivo radiante- evaporativo, resfriamento radiante e resfriamento evaporativo indireto. | 14 |
| Conforto térmico | Conforto, saúde e conforto e conforto térmico. | 8 |
| Desempenho térmico | Desempenho térmico, comportamento térmico e avaliação térmica. | 7 |
| Eficiência energética | Consumo de energia, eficiência energética e economia de energia. | 7 |
| Modelagem matemática de processos físicos | Estimativa de temperaturas. | 4 |
| Coberturas e paredes verdes | Cobertura verde. | 4 |
| Simulação computacional | Programação evolutiva, <i>EnergyPlus</i> , simulação e <i>machine learning</i> . | 4 |
| Energia solar | Estratégias passivas solares, radiação solar e parede solar. | 4 |

Fonte: os autores.

Em relação ao elemento testado e método de pesquisa, é possível dividir a amostra em cinco categorias: condicionamento térmico (14), cobertura (10), vedação (8), cobertura e vedação (1) e revisão bibliográfica (1). Nas pesquisas vinculadas ao condicionamento predominam estudos com a aplicação de técnicas passivas de resfriamento e/ou aquecimento (CHÁVEZ *et al.*, 2016; GONZALEZ-CRUZ, GONZALEZ-GARCIA, 2013) ou o acréscimo de camadas na composição das coberturas como elementos vegetais, ou materiais de mudança de fase (RODRIGUEZ, LA ROCHE, 2018; NAVARRO *et al.*, 2016). Quanto aos elementos de cobertura destacam-se as avaliações do desempenho térmico de novos materiais como tintas reflexivas (HERNÁNDEZ-PÉREZ *et al.*, 2017), novas composições de argamassas (ALAVÉZ-RAMIREZ *et al.*, 2018) ou ainda sistemas de ventilação natural (TZUC *et al.*, 2019). Dentre as investigações de elementos de vedação vertical são comuns os testes com materiais locais que remetem à arquitetura vernacular, como adobe e palha (HUARZA *et al.*, 2018; WHITMAN, 2012), além da aplicação de estratégias para condicionamento passivo, como parede trombe e fachada dupla (ARGUTO *et al.*, 2020; SÁNCHEZ *et al.*, 2016). Ressalta-se ainda a revisão conduzida por Hernández-Pérez *et al.*, (2014) com enfoque na coleta de pesquisas internacionais sobre materiais reflexivos aplicados no exterior de edifícios, classificando estas quanto ao método de investigação dentre os quais está o uso de células-teste.

Figura 9. Elemento investigado nas células-teste da América-Latina



Fonte: os autores.

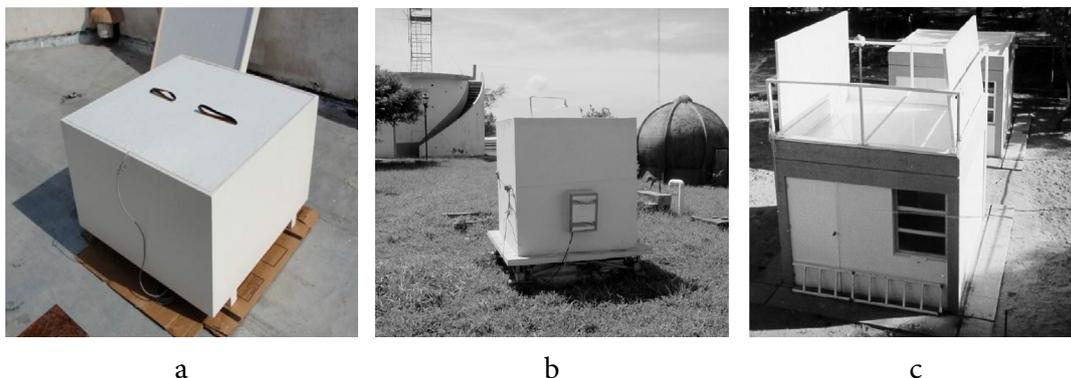
Quanto às dimensões das células-teste, foi estabelecida uma classificação considerando de tamanho pequeno aquelas com pé-direito menor ou igual a 1,00m; tamanho médio as que possuem pé-direito entre 1,00m e 2,20m; e grande as com pé-direito superior a 2,20m. Na amostra latino-americana a maior parte dos equipamentos são grandes (Figura 10). Nota-se que o trabalho que não foi enquadrado na classificação corresponde a uma revisão de literatura. A Figura 11 ilustra exemplos dos três tamanhos utilizadas.

Figura 10. Células-teste por tamanho na América Latina



Fonte: os autores.

Figura 11. Exemplos de células-teste na América Latina: a) pequena, b) média e c) grande



Fonte: a) González-Cruz; González-Garcia (2013), b) García Chávez; Givoni; Viveros (2009), c) González-Cruz; Givoni (2004).

Ao se verificar o material de fechamento das células-teste (FIGURA 12), observa-se a predominância de vedações do tipo sanduíche com camada externa, camada interna e preenchimento com isolamento térmico resistivo. É o caso do uso de chapa de madeira e isolamento (11 casos); chapa metálica e isolamento (2); e material variável (6), quando são empregadas mais camadas não sendo possível identificar o material principal. Os demais exemplos utilizam bloco cerâmico vazado (5), bloco de concreto vazado (4), bloco de concreto celular (2) e bloco cerâmico maciço (2).

Figura 12. Células-teste por tipo de vedação na América Latina



Fonte: os autores.

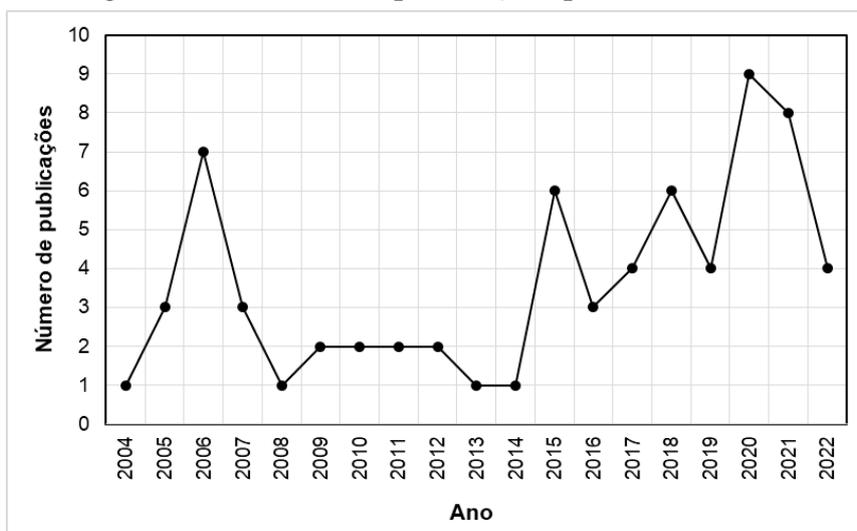
Enfim, ressalta-se que na amostra latino-americana não foram identificadas iniciativas de padronização das células-teste para estudos de campo nem dos protocolos de investigação. E que, apesar de haver algumas publicações em parceria com outros países, estas se dão de maneira pontual e isolada, na qual pesquisadores de fora da região participam como colaboradores de estudos locais sem a intenção de replicar os estudos em outros contextos climáticos.

Panorama Brasileiro

A consulta inicial na base *Scopus* indicou apenas seis trabalhos brasileiros, justificando a necessidade de prosseguir com novas buscas a fim de alcançar uma amostra mais significativa. Desta maneira, um segundo levantamento foi realizado em julho/2020 no qual foram localizadas 41 publicações e um terceiro levantamento foi movido em julho/2022 encontrando mais 16 estudos, totalizando 69 documentos a serem analisados. Deste total, 7 são trabalhos de conclusão de curso, 15 são dissertações, 3 são teses, 24 são artigos em anais de eventos e 20 são artigos em periódicos. No entanto, apenas onze trabalhos foram publicados em periódicos ou anais internacionais (*Construction and Building Materials* (2), *Energy and Buildings* (4), *Frontiers of Architectural Research* (1), *Building and Environment* (1), *PLEA - Passive and Low Energy Architecture* (4)), evidenciando a baixa internacionalização das pesquisas brasileiras envolvendo células-teste.

A análise do número de publicações ao longo do tempo (FIGURA 13) permite visualizar um primeiro pico no ano de 2006, um segundo momento em 2015 e uma tendência de crescimento entre 2016-2021. O baixo número de pesquisas registrado em 2022 é decorrente da limitação temporal da pesquisa, restrita ao primeiro semestre desse ano.

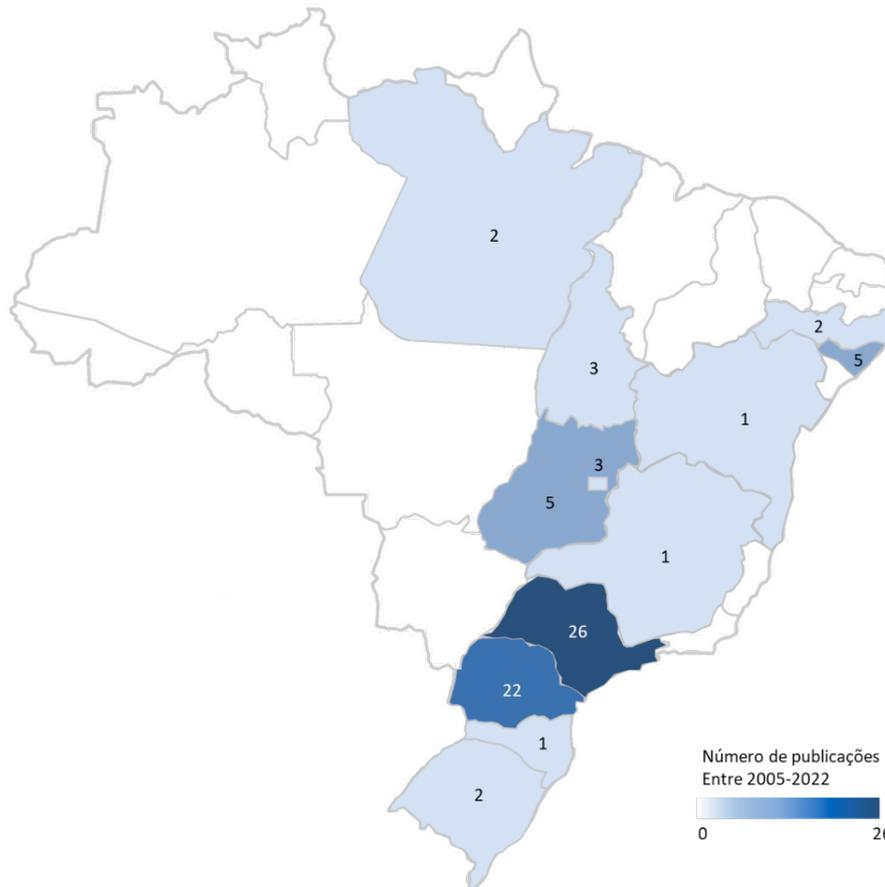
Figura 13. Número de publicações por ano no Brasil



Fonte: os autores.

A distribuição geográfica das pesquisas (Figura 14) demonstra que estas estão concentradas nos estados de São Paulo (26) e do Paraná (23), que juntos somam 70% dos trabalhos. Dentre as instituições, destacam-se a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) com 22 trabalhos, a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) com 11 publicações e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) também com 11 pesquisas. Observa-se ainda que em 20 estudos foram identificadas parcerias entre instituições, o que representa quase 29% do total.

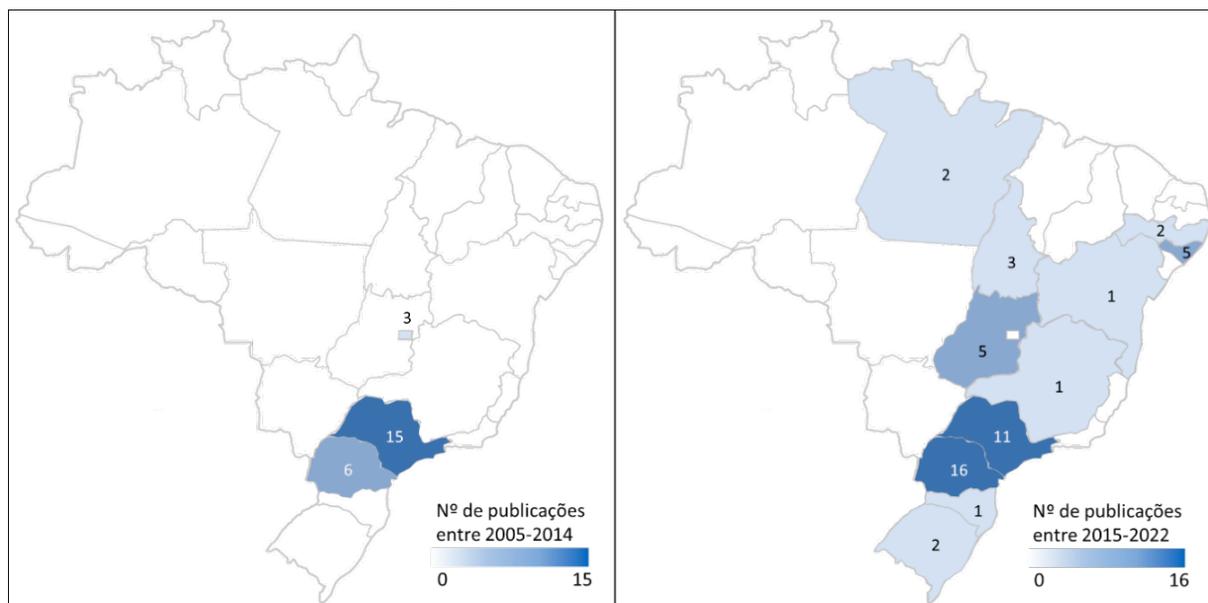
Figura 14. Distribuição das publicações por Estado entre 2005-2022



Fonte: os autores.

Traçando um paralelo com o ano de publicação (Figura 15), verifica-se que as instituições paulistas, paranaenses e do Distrito Federal foram pioneiras no emprego do artefato, com estudos iniciais que datam de 2004, 2005 e 2006. Nota-se, porém, que nos últimos anos outros estados têm desenvolvido pesquisas que utilizam células-teste, caso de Alagoas, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Pará, Pernambuco, Santa Catarina e Tocantins, que iniciaram seus estudos a partir de 2017. Apesar do permanente protagonismo dos estados de São Paulo e do Paraná, os números recentes indicam uma tendência de disseminação do equipamento pelo território brasileiro.

Figura 15. Distribuição das publicações por Estado entre 2005-2014 e 2015-2022



Fonte: os autores.

Quanto à autoria das pesquisas, percebe-se também um número restrito de pesquisadores com as maiores recorrências: Eduardo Krüger (UTFPR) com 18 autorias; Leandro Carlos Fernandes (UFPR) com 8; Lucila Labaki (UNICAMP) e Francisco Vecchia (EESC-USP) com 6; Márcia Adriaola (UTFPR), Núria Gallardo (Unifesspa), Ricardo Barbosa (UFAL) e Wellington Silva (UFAL), com 4.

Em relação às palavras-chave, a TABELA 3 apresenta os termos mais citados separados por temas, com destaque para “desempenho térmico” (34), “coberturas e paredes verdes” (19), “resfriamento” (16), “conforto térmico” (16) e “propriedades térmicas de materiais e dos componentes” (12). Chama atenção o fato de o tema “eficiência energética” ter pouca representatividade, em contraste com o verificado nas pesquisas internacionais, quando o tema foi o segundo mais citado. Também foram poucas as referências à “simulação computacional” ou “energia solar”, situação semelhante à observada na amostra latino-americana.

Tabela 3. Temas de pesquisa e palavras-chave das publicações brasileiras

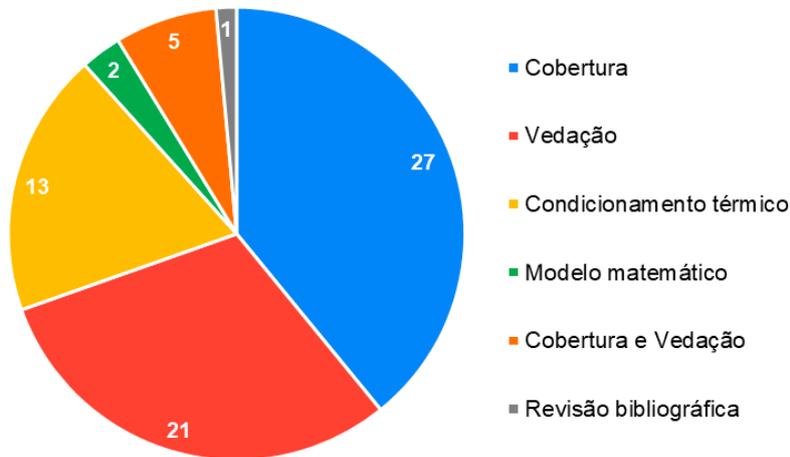
| TEMA | PALAVRAS-CHAVE | OCORRÊNCIAS |
|---|---|-------------|
| Desempenho térmico | Avaliação do desempenho térmico, comportamento, desempenho térmico e monitoramento térmico | 34 |
| Coberturas e paredes verdes | Cobertura, fachada, parede e teto verde, telhado verde leve. | 19 |
| Resfriamento | Resfriamento evaporativo, evaporativo indireto, passivo e radiante. | 16 |
| Conforto térmico | Conforto, conforto térmico, conforto ambiental, conforto humano e percepção térmica. | 16 |
| Propriedades térmicas dos materiais e dos componentes | Inércia térmica, isolamento térmico, materiais isolantes térmicos, massa térmica, Medição do fluxo térmico e transmitância térmica. | 12 |
| Modelagem matemática de processos físicos | Dia típico, episódio representativo, equações preditivas, estimativa de temperaturas internas e internas horárias, temperatura, temperatura interna, temperatura superficial. | 9 |
| Aquecimento | Aquecimento solar, ganho solar de calor e parede trombe. | 6 |
| Eficiência energética | Consumo de energia, consumo energético, eficiência energética, sistema de baixa energia. | 6 |
| Energia solar | Condicionamento térmico ambiental, condicionamento térmico passivo, energia solar, estratégias passivas de condicionamento. | 4 |
| Simulação computacional | EnergyPlus, simulação computacional, simulação numérica, simulação térmica. | 3 |

Fonte: os autores.

Observa-se que as palavras-chave também fazem referência à finalidade da investigação, sendo possível dividir as pesquisas em seis categorias quanto ao elemento de investigação e método de pesquisa (Figura 16): cobertura (27), vedação (21), condicionamento térmico (13), cobertura e vedação (5), modelo matemático (2) e revisão bibliográfica (1). Como exemplo de elementos de cobertura testados encontram-se principalmente comparações entre diferentes tipos de telhas (GONÇALVES, 2020) e variações de telhados verdes (ANDRADE; RORIZ, 2015). Dentre os elementos de vedação, destacam-se a avaliação de diferentes tipos de alvenaria (RODRIGUES, 2022), diversos tipos de vidros (CASTRO, 2006) ou ainda estratégias bioclimáticas

como paredes vegetadas ou fachada dupla ventilada (SOUZA *et al.*, 2018). As pesquisas envolvendo condicionamento térmico investigam sistemas de resfriamento/aquecimento passivos com o emprego de diferentes técnicas como o teto-reservatório (FERNANDES, 2018) ou a parede trombe (SUZUKI, 2012).

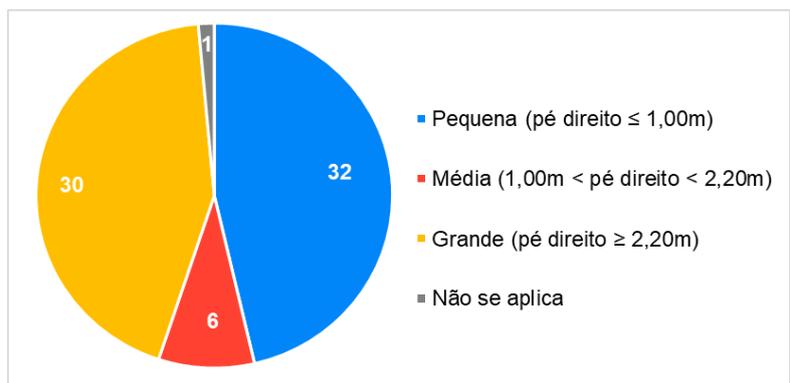
Figura 16. Tema ou elemento investigado nas células-teste do Brasil



Fonte: os autores.

Quando analisadas as dimensões das células-teste (Figura 17), observa-se um equilíbrio entre o uso de artefatos de tamanho pequeno (normalmente pesquisadores do estado do Paraná) e grande (geralmente pesquisadores do estado de São Paulo). Um dos trabalhos realizou uma revisão bibliográfica sobre o tema, não se enquadrando na classificação proposta. A Figura 18 ilustra exemplos do equipamento com os três tamanhos. A área interna média das células-teste equivale a 2,61m², o volume médio interno é de 5,69m³ e as dimensões 1,00m x 1,00m x 1,00m são as mais recorrentes.

Figura 17. Células-teste por tamanho no Brasil



Fonte: os autores.

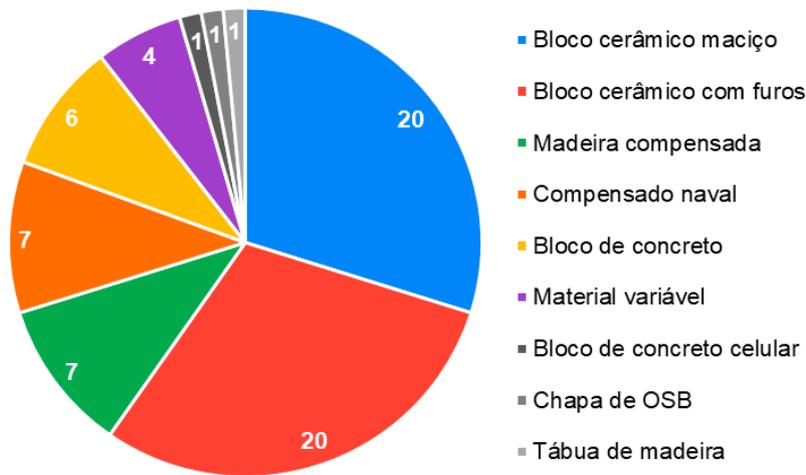
Figura 18. Exemplos de células-teste no Brasil: a) pequena, b) média e c) grande



Fonte: a) Krüger *et al.* (2006); b) Gonçalves (2022), c) Suzuki (2012).

Quanto ao material principal que compõem o fechamento das células-teste (FIGURA 18), prevalece o uso do bloco cerâmico maciço (20) e com furos (20), seguido pelo emprego de chapas de madeira compensada (7), compensado naval (7) e bloco de concreto (6). Quatro pesquisas utilizaram células-testes com materiais variáveis entre cada unidade e nos demais casos foram empregados bloco de concreto celular, chapas de OSB ou tábuas de madeira.

Figura 19. Material principal das células-teste no Brasil

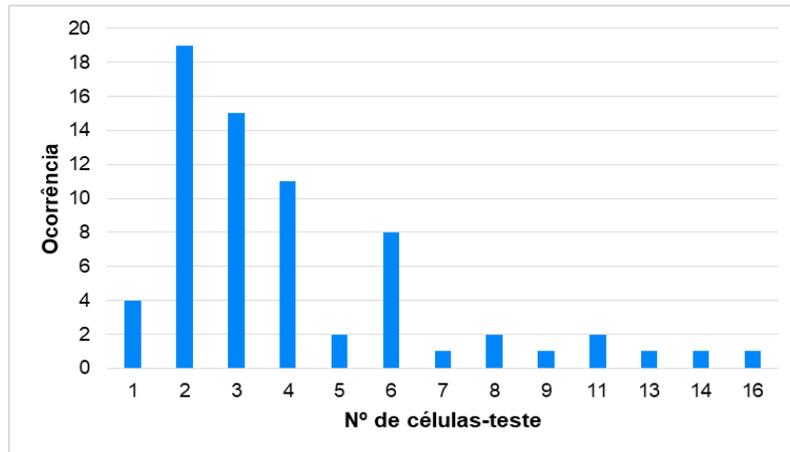


Fonte: os autores.

Segundo Cattarin *et al.* (2016), pode-se empregar as células-teste para estudos de campo em dois tipos de testes: absolutos e comparativos. Testes absolutos (TA) avaliam o desempenho de um componente em termos absolutos usando um ou mais índices de desempenho, sem comparação direta com outro elemento do mesmo tipo. Testes comparativos (TC) analisam o desempenho de um componente em relação a outro elemento que esteja sendo testado ao mesmo tempo. Em linhas gerais, os testes absolutos podem ser realizados com apenas uma célula-teste, ao passo que testes comparativos utilizam duas ou mais unidades, adotando comumente uma destas

como célula de controle enquanto as outras são configuradas como células de teste. Ou seja, as células-teste são próprias para pesquisas que utilizam o método experimental. Analisando o contexto brasileiro (FIGURA 20), observou-se que apenas quatro pesquisas utilizaram uma célula-teste para a realização de testes absolutos (NEVES e RORIZ, 2012; FERNANDES *et al.*, 2015b; KRÜGER *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2018;). Os demais trabalhos empregaram de duas a dezesseis configurações diferentes para fins comparativos, sendo o emprego de duas unidades o mais comum.

Figura 20. Quantidade de células-teste por experimento no Brasil



Fonte: os autores.

A predominância dos testes comparativos e a preferência por materiais com maior durabilidade (blocos cerâmicos) favorecem a instalação de conjuntos permanentes de células-teste que são utilizadas em diversos estudos das instituições às quais pertencem, bem como em parcerias com outros pesquisadores. São exemplos disto o conjunto de quinze células-teste (Figura 21a) instaladas na cidade de Itirapina/SP e utilizadas principalmente por pesquisadores vinculados a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), bem como o conjunto de nove unidades (Figura 21b) localizadas no campus da UNICAMP, em Campinas/SP.

Figura 21. Células-teste do CRHEA, em Itirapina/SP, e do campus da UNICAMP, em Campinas/SP



Fonte: (a) Kayano *et al.* (2018), (b) Teixeira (2013).

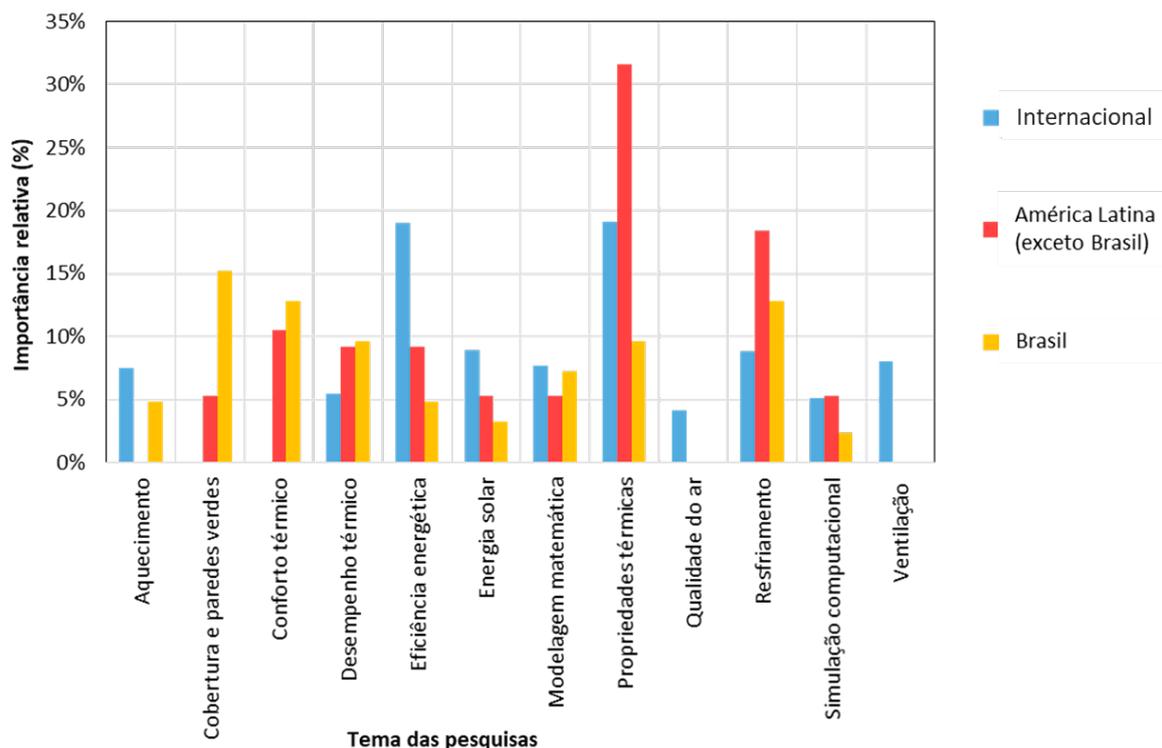
Em relação aos protocolos de pesquisa, cada pesquisador desenvolveu os seus procedimentos de maneira individualizada sem preocupação com a padronização. As exceções são os trabalhos de Cardoso e Vecchia (2014) e Seixas (2015), que verificaram qual seria o melhor posicionamento dos sensores térmicos no interior da célula-teste, e os estudos de Fernandes *et al.* (2015b) e Krüger *et al.* (2017), que desenvolveram um modelo de equações preditivas para as temperaturas internas horárias, permitindo ampliar as configurações testadas sem aumentar a quantidade de células-teste construídas, visto que são feitas comparações diretas para condições climáticas idênticas.

Ao final, observar-se que apesar da expansão do emprego das células-teste para estudos de campo no território brasileiro ao longo dos últimos anos, da existência de alguns conjuntos relevantes e da ocorrência de algumas parcerias entre as instituições nacionais, não foi possível identificar a existência de uma rede de pesquisadores com efetivo intercâmbio de conhecimento. A falta de padronização dos protocolos de pesquisa parece ser um dos fatores que dificulta a comparação dos resultados e inibe a replicação dos testes em localidades com condições climáticas diferentes. Ainda assim, o levantamento realizado indica que o emprego de células-teste para o estudo do desempenho térmico de edificações é bastante vantajoso, visto que o investimento financeiro é pequeno quando comparado com as possibilidades de investigação oferecidas, dada a versatilidade do artefato que possibilita a avaliação de diferentes elementos e sistemas construtivos.

Comparação das amostras

A análise das palavras-chave agrupadas em torno de temas apontou diferenças entre as três amostras (FIGURA 22). O tema “propriedades térmicas de materiais e componentes” é relativamente importante em todos os casos, mas principalmente na América Latina. Diferentemente do que se verificou no panorama internacional, temas como “eficiência energética”, “simulação computacional” e “energia solar” são menos relevantes no contexto latino-americano e brasileiro. Por outro lado, o tema “resfriamento” aparece com destaque em toda a América Latina, o que pode ter relação com as demandas da arquitetura passiva na região.

Figura 22. Importância dos temas de pesquisa utilizando células-teste nos três universos amostrais (Internacional, América Latina e Brasil)



Fonte: os autores.

4 Considerações Finais

Com base na revisão desenvolvida, identificou-se um atraso nas pesquisas com células-teste para estudos de campo na América Latina, incluindo o Brasil, comparativamente ao quadro norte-americano e, principalmente, ao europeu. A América Latina, incluindo o Brasil, não dispõe de redes de pesquisa consolidadas, nem de protocolos padrões para testes ou de células-teste padronizadas. Os estudos levantados foram realizados predominantemente de modo isolado, utilizando métodos únicos que dificultam a comparação direta dos resultados com outras investigações. Especialmente no Brasil, o uso de células-teste em pesquisas ligadas à construção civil é recente e ainda restrito a poucos estados, instituições e pesquisadores.

A distribuição geográfica dos trabalhos apontou que, na América Latina o protagonismo vem sendo exercido pelos pesquisadores mexicanos e brasileiros. E, embora o número de publicações do México seja menor (20) que do Brasil (69), as pesquisas mexicanas apresentam mais parcerias com pesquisadores de outros países e maior internacionalização, com 18 publicações em periódicos ou eventos internacionais, contra 12 publicações brasileiras.

A análise das palavras-chave apontou que o tema “propriedades térmicas de materiais e componentes” é relativamente importante em todos os três cenários

pesquisados, mas principalmente na América Latina. Diferentemente do que se verificou no panorama internacional, temas como “eficiência energética”, “simulação computacional” e “energia solar” são menos relevantes no contexto latino-americano e brasileiro. Por outro lado, o tema “resfriamento” aparece com destaque em toda a América Latina, o que pode ter relação com as demandas da arquitetura passiva na região.

Os resultados observados permitem avaliar o contexto local quanto ao uso de células-teste em pesquisas no campo da arquitetura e do urbanismo. Por outro lado, permitem subsidiar a elaboração de estratégias para potencializar a utilização das CETEC em pesquisas na região. Entre as possibilidades estão: a formação de uma rede de pesquisadores que utilizam células teste para pesquisas de campo, a padronização dos procedimentos; e o desenvolvimento de células-teste padronizadas.

Por fim, ressalta-se que esta revisão faz parte do embasamento teórico de uma dissertação defendida em dezembro/2022 cujo objetivo principal foi o desenvolvimento do projeto arquitetônico de um modelo de célula-teste para estudos de campo em desempenho de edificações e conforto ambiental que configure um possível padrão a ser replicado no território brasileiro.

Referências

- ALAVÉZ-RAMÍREZ, R. et al. Thermal lag and decrement factor of constructive component reinforced mortar channels filled with soil–cement–sawdust. *Indoor and Built Environment*, [s. l.], v. 27, p. 466-485, 2018.
- ANDRADE, N. C. de; RORIZ, M. Comportamento térmico de cobertura verde utilizando a grama *Brachiaria Humidicola* na cidade de São Carlos, SP. *Revista Pesquisa em Arquitetura e Construção (PARC)*. Campinas, p. 1-16, 2015.
- ARGUTO, L. et al. Design and experimental study of a low-cost prefab Trombe wall to improve indoor temperatures in social housing in the Biobío region in Chile. *Solar Energy*, [s. l.], v. 198, p-704-721, 2020.
- CARDOSO, G. T; VECCHIA, F. Comparison of thermal performance between tests cells with different coverage systems for experimental typical day of heat in Brazilian Southeastern. *Frontiers of Architectural Research*, [s. l.], v. 3, p. 271-282, 2014.
- CASTRO, A. P. de A. S. *Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste*. 239f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Campinas, Campinas, 2006.
- CATTARIN, G. et al. Outdoor test cells for building envelope experimental characterisation – A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 54, p. 606-625, 2016.
- CHÁVEZ, U. et al. A thermal assessment for an innovative passive cooling system designed for flat roofs in tropical climates. In: International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, Istanbul. *Anais... Istanbul: Energy Procedia*, 201, p. 284-293.
- DIJK, H.; LINDEN, G.; The PASSYS Method for Testing Passive Solar Components. *Building Environment*, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 115-126, 1993.
- FERNANDES, L. C. Experimentos de campo com teto-reservatório: desempenho térmico e percepção do usuário. 330f. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.
- FERNANDES, L. et al. Revisão de estudos baseados no uso de células teste no Brasil. In: 4º SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS - 1º FÓRUM DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES 2015, Passo Fundo. *Anais... Passo Fundo: IMED*, 2015a.
- FERNANDES, L. et al. Estimativa de Temperaturas Internas Horárias de Pequenas Edificações a Partir de Temperaturas Externas: Proposta de Método Alternativo. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Campinas, 2015. *Anais... Campinas*, 2015b.
- GARCÍA CHÁVEZ, J.; GIVONI, B.; VIVEROS, O. Potential of Indirect Evaporative Passive Cooling with Embedded Tubes in a Humid Tropical Climate Applications in a typical hot humid climate. In: 23th PLEA - CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE. 2009, Quebec. *Anais... Quebec: PLEA*, 2009.

- GARCÍA-GÁFARO, C. et al. Dynamical edge effect factor determination for building components thermal characterization under outdoor test conditions in a PASLINK test cell: A methodological proposal. *Energy and Buildings*, v. 210, 2020.
- GONÇALVES, T. B; OLIVEIRA, M. C. A. de; OMENA, T. H. Comparações no desempenho térmico entre protótipos de telha cerâmica e telha de concreto em Palmas-TO. *Revista Sítio Novo*, Palmas, v. 6, n. edição especial, p.139-148, 2022.
- GONZÁLEZ-CRUZ, E.; GIVONI, B. Radiative and Radiative / Evaporative Passive Cooling Systems for a Hot Humid Climate – Maracaibo. In: 21th PLEA - CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE 2004, Eindhoven. *Anais...* Eindhoven: PLEA, 2004.
- GONZÁLEZ-CRUZ, E.; GONZÁLEZ-GARCIA, S. Estudio experimental sobre el comportamiento térmico de un nuevo tipo de techo-estaque para el enfriamiento pasivo en clima húmedo. *Ambiente Construído*, [s. l.], p. 149–171, 2013.
- GONZALEZ-CRUZ, E.; KRÜGER, E. Experimental study on a low energy radiante-capacitive heating and cooling system. *Energy and Buildings*, [s. l.], v. 255, p. 111674, 2022.
- HERNÁNDEZ-PÉREZ, I. et al. Thermal performance of reflective materials applied to exterior building components—A review. *Energy and Buildings*, [s. l.], v. 80, p. 81-105, 2014.
- HERNÁNDEZ-PÉREZ, I. et al. Experimental thermal evaluation of building roofs with conventional and reflective coatings. *Energy and Buildings*, [s.l.], v. 158, p. 569-579, 2018.
- HITCHIN, R. Editorial. *Building and Environment*, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 105–106, 1993.
- HUARZA, A; MAROCHO, L; COPA, K. Confort térmico en una habitación de adobe con Sistema. *Journal of High Andean Research*, [s. l.], v. 20, p. 289-300, 2018.
- KAYANO K. T. Y. et al. Avaliação do comportamento térmico de cobertura e fachada verde em células de testes. *Revista de Arquitetura IMED*, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 145, 2018.
- KRÜGER, E. L.; SUETAKE, G. Y.; ADRIAZOLA, M. K. O. Comparação do desempenho térmico de coberturas manta reflexiva e placas de EPS. In: XI ENTAC - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2006, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ANTAC, 2006.
- KRÜGER, et al.; Proposition of a simplified method for predicting hourly indoor temperatures in test cells. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 57-70, 2017.
- MOLINA, J.; HORN, M.; GÓMEZ, M. Design of a “Test Cell” to be located at 4500 masl in a high Andean region of Peru and dynamic simulation of the thermal performance of housing wall materials. *Journal of Physics Conference Series*, 2019.
- NAVARO, L. et al. Experimental evaluation of a concrete core slab with phase changematerials for cooling purposes. *Energy and Buildings*, [s.l.], v. 116, p. 411-419, 2016.
- NEVES, L. de O; RORIZ, M. Procedimentos estimativos do potencial de uso de chaminés solares para promover a ventilação natural em edificações de baixa altura. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 177-192, 2012.
- RODRIGUES, M. G. *Simulação numérica do desempenho térmico de alvenaria construída com*

blocos de concreto. 97f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade, Universidade Federal de Goiás, 2022.

RODRIGUEZ, L; LA ROCHE, P. Green roofs for cooling: tests in a hot and dry climate. In: 34th PLEA - CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE 2018, Hong Kong. *Anais...* Hong Kong: PLEA, 2018.

SÁNCHEZ, R. *et al.* Thermal Performance of Double Skin Envelope in Full Scale Testing Module in Mexico City. *Social Sciences & Humanities*, [s. l.], v. 25, p. 167-174, 2017.

SEIXAS, G. T. C. de. *Climatologia aplicada à arquitetura: investigação experimental sobre a distribuição de temperaturas internas em duas células de teste*. 126f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

SOUZA, L. *et al.* Experimental and numerical analysis of a naturally ventilated double-skin façade. *Energy and Buildings*, [s. l.], v. 165, p. 328-339, 2018.

STRACHAN, P.; BAKER, P. Editorial - Outdoor testing, analysis and modelling of building components. *Building and Environment*, [s. l.], v. 43, n. 2, p. 127–128, 2008.

STRACHAN, P.; VANDAELE, L. Case studies of outdoor testing and analysis of building components. *Building and Environment*, [s. l.], v. 43, n. 2, p. 129–142, 2008.

TEIXEIRA, P. D. E. C. *Qualidade da água drenada por coberturas verdes para fins de aproveitamento em edifícios*. 2013. Dissertação (Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2013.

TZUC, O. *et al.* Multi-gene genetic programming for predicting the heat gain of flat naturally ventilated roof using data from outdoor environmental monitoring. *Measurement*, [s. l.], v. 138, p. 106-117, 2019.

WHITMAN, C. Straw Bale Construction in a South American Mediterranean Climate. In: 28th PLEA - CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE 2012, Lima. *Anais...* Lima: PLEA: 2012.

WOUTERS, P. *et al.* The use of outdoor test cells for thermal and solar building research within the PASSYS Project. *Building and Environment*, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 107-113, 1993.