

# CONFORTO TÉRMICO EM SALAS DE AULA: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

## THERMAL COMFORT IN CLASSROOMS: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Paulo José Lima Perillo <sup>1</sup>

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil, paulojperillo@gmail.com

Marcus André Siqueira Campos <sup>2</sup>

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil, marcusscampos@gmail.com

Loyde Vieira de Abreu-Harbich <sup>3</sup>

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil, loydeabreu@gmail.com

### Resumo

Durante os anos escolares, as pessoas passam grande parte do tempo no ambiente escolar, onde a qualidade dessas edificações é essencial para a manutenção da saúde dos usuários e do consumo energético. Considerando a variabilidade de fatores que compõem o estudo do conforto térmico de seres humanos e os vários índices de avaliação do conforto térmico encontrados na literatura, faz-se necessário estudos agregativos que classifiquem e avaliem essas diferenças. Este artigo objetiva analisar as principais publicações sobre conforto térmico em salas de aula por periódicos indexados para gerar informações importantes que auxiliem pesquisadores e profissionais da área de arquitetura e engenharias. A partir do Mapeamento Sistemático (*Systematic Mapping Studies* - SMS) e posterior Revisão Sistemática da Literatura (*Systematic Literature Review* - SLR), foi possível identificar os métodos utilizados pelos pesquisadores, as estratégias de climatização dos ambientes analisados, o valor amostral e os resultados encontrados. Os estudos que utilizam o modelo Adaptativo (ATC – *Adaptive Thermal Comfort*) têm maior compatibilidade com as sensações térmicas dos usuários que os estudos que utilizam o modelo Racional (RTC – *Rational Thermal Comfort*). Em regiões de clima tropical, deve-se considerar a adaptação do usuário ao clima, bem como a aplicação de mais de um método de avaliação de conforto para verificar qual o método mais adequado. Esses resultados expressam a necessidade de serem realizadas pesquisas futuras sobre esse tema no Brasil, bem como a divulgação em revistas internacionais indexadas.

Palavras-chave: Conforto Térmico. Salas de Aula. Revisão Sistemática da Literatura.

### Abstract

*During school years, people spend a significant part of their time in the school environment, which makes the quality of these buildings essential for the maintenance of users' health and energy consumption, especially tropical countries. Considering the variability of factors that make up the study of thermal comfort of human beings and several thermal comfort indexes, studies that classify and evaluate these differences are necessary. This article aims to analyze the main publications on thermal comfort in classrooms to generate important information that helps researchers and other professionals as architects and engineers. From Systematic Mapping Studies (SMS) and subsequent Systematic Literature Review (SLR), it was possible to identify the methods used by the researchers, the conditioning strategies of the analyzed environments, the sample value and the results found. Studies that used the Adaptive Thermal Comfort (ATC) Model were more compatible with thermal sensations of users than studies that used the Rational Thermal Comfort (RTC), Model. In tropical regions, the users' adaptation should be considered, as well as the application of more than one method for assessing thermal comfort, to verify the most suitable model. These results express the need to carry out future research on this topic in Brazil, as well as the dissemination in indexed international journals.*

*Keywords: Thermal Comfort. Classrooms. Systematic Literature Review.*

### How to cite this article:

PERILLO, Paulo José Lima; CAMPOS, Marcus André Siqueira; ABREU-HARBICH, Loyde Vieira. Conforto térmico em salas de aula: revisão sistemática da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 4, p. 236-248, dez. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650268>>. Acesso em: 22 fev. 2018. doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v8i4.8650268>.

## Introdução

Os sistemas de iluminação e condicionamento de ar são os principais responsáveis pelo elevado consumo de energia elétrica em edificações escolares (EPE, 2017a, b). Dito isto, é preocupante que em muitos casos não sejam alcançados nem o conforto luminoso nem o conforto térmico dos usuários, no caso estudantes (RUPP *et al.*, 2015). A qualidade ambiental e a eficiência energética não dependem somente de fatores físicos, como o desempenho da envoltória das edificações, mas também de fatores fisiológicos e psicológicos dos usuários. Se por um lado as mudanças do clima urbano podem influenciar no desempenho da envoltória, por outro, a adaptabilidade das pessoas ao clima pode influenciar nas sensações de conforto (DE DEAR *et al.*, 2015; MISHRA; RAMGOPAL, 2015b). O Mapeamento Sistemático da Literatura (SMS) e a Revisão Sistemática da Literatura (SLR) podem auxiliar na identificação de metodologias para avaliar o conforto térmico, bem como as estratégias de climatização do ambiente escolar.

Além da utilização de índices clássicos de conforto, como o Voto Médio Estimado (PMV, do inglês *Predicted Mean Vote*) e do modelo Adaptativo (Temperatura Operativa - To), a avaliação da satisfação do usuário pode ser conduzida por meio da aplicação de questionários e o subsequente tratamento das respostas obtidas, dentre outras maneiras. Muitos autores dividem os estudos sobre conforto térmico em dois tipos de abordagens: o Modelo Racional de Conforto Térmico (*Rational Thermal Comfort* - RTC) (FANGER, 1970) e o Modelo Adaptativo de Conforto Térmico (*Adaptive Thermal Comfort* - ATC) (AULICIEMS, 1981; HUMPHREYS, 1976; MATTHEWS; NICOL, 1995). Desde a introdução do ATC, os estudos evoluíram para propor atualizações ao modelo e estabelecer índices quantitativos, auxiliando na obtenção de condições de conforto térmico para os indivíduos (HUMPHREYS; NICOL; ROAF, 2016). Esses modelos para a avaliação do conforto térmico de seres humanos foram regulamentados pela normativa 55 da ASHRAE (ASHRAE, 2013). No entanto, há necessidade de verificar qual deles está mais adaptado à realidade Brasileira.

As normas brasileiras relacionadas com a temática de conforto e eficiência energética, descrevem métodos para avaliar o desempenho térmico da envoltória de edificações, tais como as NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 partes 4 e 5 (ABNT, 2013) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, PBE - Edifica (INMETRO, 2013). Apesar dos inegáveis avanços proporcionados por essas normativas e regulamentos, ainda há a necessidade de definir um método de avaliação de conforto térmico para ambientes escolares mais adequado aos trópicos.

Esses avanços alcançados no Brasil são resultados dos esforços de vários pesquisadores que se dedicaram em esmiuçar as avaliações de conforto, na tentativa de construir um modelo nacional. Como exemplo, pode-se citar o estudo desenvolvido na cidade de Natal - RN, clima quente e seco (Aw) (RUBER; KOTTEK, 2011), onde o conforto térmico de usuários de escolas foi avaliado por meio da aplicação do índice PMV. Os resultados apresentaram que a insatisfação com o ambiente térmico alterou a percepção dos usuários acerca dos demais itens avaliados: conforto acústico, luminoso e ergonômico (ARAÚJO, 1999). Em escolas da região de Campinas, São Paulo, com a mesma realidade climática (Aw), foi observado grande desconforto térmico durante o verão, que estava fortemente relacionado com o desconforto acústico (KOWALTOWSKI *et al.*, 1999).

Em Florianópolis, Santa Catarina, Xavier (1999) ao utilizar o PMV encontrou pouca correlação entre o modelo e a sensação dos usuários. Nesse estudo, também foi avaliado o conforto térmico pela carta de Givoni (1992). Muitos estudos realizados em escolas utilizaram o modelo de Givoni para se avaliar conforto, como estudos realizados em Delmiro Gouveia, Alagoas (SANTOS; COSTA; BARROS, 2014) e em Goiânia, Goiás (OCHOA; ARAÚJO; SATTLER, 2012).

Em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, região de clima quente e úmido, observou-se uma proximidade entre os votos de sensação térmica (PPD) dos usuários e o PMV, calculados em uma edificação condicionada artificialmente. No entanto, observou-se que o PPD superestimou a porcentagem real de pessoas insatisfeitas (APD) no período mais quente do ano (ANDREASI; LAMBERTS; CÂNDIDO, 2010).

Em 2011, Vecchi, Cândido e Lamberts (2013) avaliaram, em salas de aula, as relações entre o conforto térmico e o aumento da velocidade do ar com o uso de ventiladores de teto. O conforto térmico dos usuários foi avaliado de acordo com o PMV, o modelo Adaptativo e a Temperatura Efetiva Padrão (SET, do inglês *Standard Effective Temperature*). Notou-se que o aumento da velocidade do ar gera uma oportunidade adaptativa aos usuários, bem como uma maior aceitabilidade e satisfação térmica em climas quentes e úmidos.

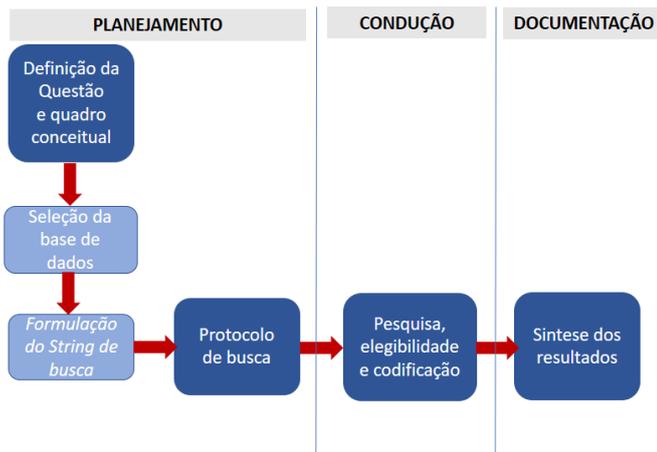
Devido à necessidade de investigar o método adequado para avaliação de conforto térmico em salas de aula, bem como identificar as recomendações para pesquisas futuras, o Mapeamento Sistemático da Literatura (SMS) combinado com a Revisão Sistemática da Literatura (SLR) são capazes de construir um esquema de classificação, permitindo a elucidação sobre os modelos utilizados, as variáveis medidas e outros dados. Este artigo objetiva obter uma visão holística sobre os desafios de se fornecer conforto térmico aos usuários de ambientes escolares e

produzir material bibliográfico auxiliar aos pesquisadores e profissionais da área.

## Método

Baseado no método de Ruiz e Granja (2013) e Gough, Thomas e Oliver, (2012), para a efetivação proposta da Revisão Sistemática da Literatura (SLR), este trabalho seguiu as seguintes etapas: Planejamento, Condução e Documentação, de acordo com a Figura 1. Na etapa Planejamento, foi definida a questão, o quadro conceitual, a seleção das bases de dados, a formulação dos *Strings* e o Protocolo de busca. Na etapa Condução, se identificou as principais correntes teóricas e metodológicas utilizadas pelos pesquisadores de conforto térmico em ambientes de ensino. Na etapa documentação, fez-se a opção por uma SLR agregativa (GOUGH; THOMAS; OLIVER, 2012), que embora possua uma amplitude de pesquisa pequena, é capaz de permitir aos pesquisadores identificar ou testar métodos para determinado fim (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

Figura 1 – Método de Revisão Sistemática da Literatura adotado



Fonte: Os autores.

A seleção das bases de dados se baseou naquelas disponibilizadas pelos convênios CAPES/CNPq. A pesquisa foi realizada nas seguintes bases internacionais: *Science Direct*, *Scopus* e *Engineer Village*, escolhidas por serem repositórios das principais publicações científicas de impacto e relevância para a área analisada. A pesquisa não foi realizada em bases de dados brasileiras, já que essa atitude obrigaria a se pesquisar também em bases de dados específicas de vários países, o que impossibilitaria a condução, dado o número de participantes.

Como o processo de busca ocorre por meio de sistemas indexadores, define-se um conjunto de caracteres (*strings*) que devem ser buscados. Para que esse conjunto seja encontrado na ordem, sequência e completude que se deseja, são inseridas aspas e operadores *booleanos* (*AND*, *OR*, *NOT*). Os *booleanos* derivam da álgebra

computacional e permitem que sejam encontrados resultados que correspondam às limitações impostas e desejadas pelas palavras-chave. As *strings* de busca definidas foram: “*thermal comfort*” e “*classroom*”, conectadas pelo *booleano AND*.

No caso desta pesquisa, aceitou-se que *strings* fizessem parte do título, das palavras-chave e do resumo da publicação. A aplicação dos indexadores nas bases de dados pré-definidas retornará um número de resultados aderentes, que devem ser compilados para a segunda etapa de seleção, a etapa de condução.

Na etapa condução, adotou-se como estrutura conceitual desta pesquisa a busca pelos métodos mais utilizados na avaliação do conforto térmico em ambientes escolares e qual seria o modelo de conforto mais adequado para tais ambientes.

Foram aceitas pesquisas realizadas em qualquer realidade climática, qualquer tipo de sistema de climatização e em ambientes de sala de aula. Além disso, não foram definidas datas limite para as publicações. Os resultados da etapa anterior foram filtrados, objetivando a exclusão de estudos em que:

- Não foram coletadas variáveis climáticas, tais como estudos baseados em dados bibliométricos, simulações ou desenvolvimento de um modelo matemático que tratasse de qualidade do ar;
- Os ambientes analisados não eram salas de aula, uma vez que em laboratórios, anfiteatros, ginásios, salas ao ar livre, dentre outros, a atividade desenvolvida pelos usuários pode variar, influenciando níveis metabólicos;
- O foco era a saúde e segurança do trabalho de docentes e demais funcionários de instituições de ensino.

Como critério de inclusão, foram considerados todos aqueles estudos que tivessem por foco a avaliação do conforto térmico ou ambiental dos usuários finais, ou seja, os estudantes. O Quadro 1 sintetiza o protocolo de busca, resumindo as etapas adotadas durante o processo de mapeamento da literatura.

Após aplicação do protocolo de busca, tem início a etapa de Revisão Sistemática da Literatura. As publicações consideradas aderentes foram analisadas sistematicamente segundo os seguintes critérios: localização e classificação climática segundo Köppen (RUBER; KOTTEK, 2011); período das medições de campo; variáveis ambientais - Temperatura do ar (*T<sub>a</sub>*), Umidade Relativa (*UR*), Velocidade do ar (*V*), Temperatura Radiante Média (*T<sub>rm</sub>*) -; estratégias de ventilação do ambiente analisado - Ventilação Natural (*NV*), Ar Condicionado (*AC*), sistemas integrados de aquecimento, ventilação e ar condicionado (*HVAC*), Ventilação Mecânica (*MV*) -; o Modelo de

avaliação de conforto (ATC e RTC); e o número amostral adotado.

Quadro 1 – Protocolo utilizado para o mapeamento sistemático

Protocolo de busca	
<b>Estrutura conceitual</b>	Visou responder quais são os métodos para se avaliar o conforto térmico em salas de aula e qual o melhor modelo
<b>Contexto</b>	Buscou-se pesquisas sobre conforto térmico em salas de aula dentro dos contextos.
<b>Horizonte</b>	Toda a literatura disponível;
<b>Correntes teóricas</b>	Todos os modelos existentes;
<b>Idiomas</b>	Inglês, Português e Espanhol;
<b>Questão da revisão</b>	Qual o melhor método para avaliar o Conforto Térmico em Sala de Aula?
<b>Estratégia</b>	Agregativa;
<b>Crítérios de exclusão</b>	Não há coleta de dados em campos, apenas simulação e modelagem matemática; Foco da pesquisa é a performance acadêmica ou a qualidade do ar (poluição); Estudos desenvolvidos em ambientes que diferem da sala de aula padrão: ao ar livre, ginásios, auditórios, laboratórios, etc.
<b>Crítérios de inclusão</b>	Foco era conforto térmico ou ambiental dos usuários;

Fonte: Os autores.

A aplicação das metodologias *snowball* (busca na literatura cinza), retrospectiva (buscar nas referências dos artigos aderentes) ou prospectiva (buscar trabalhos que citem os artigos já selecionados), sugeridas para SLR, não foram aplicadas devido principalmente à disponibilidade de capital humano para a realização desta pesquisa.

## Resultados do Mapeamento

A busca nas bases retornou um total de 1.166 resultados, que foram filtrados de acordo com o protocolo de busca adotado no método. A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados do SMS.

Tabela 1 – Resultados do Mapeamento Sistemático da Literatura

Processo/base	Science Direct	Scopus	Engineer Village	Total
<b>Busca</b>	698	298	170	1166
<b>Título e Resumo</b>	97	94	67	258
<b>Palavras Chave</b>	31	69	60	160
<b>Idioma</b>	31	63	60	154
<b>Duplicidade</b>	30	39	37	154
<b>Disponibilidade</b>	30	8	6	44
<b>Leitura</b>	27	6	5	36

Fonte: Os autores.

O processo de filtragem se iniciou com a exclusão pela leitura dos títulos, resumos, palavras-chave e dos textos completos, nesta ordem. Ficou evidente que os mecanismos de busca das bases de dados são falhos, uma vez que só pela leitura dos títulos e resumos foram excluídas 908 publicações, o que é uma redução de mais de 77% dos resultados anteriormente obtidos. Seguiu-se a

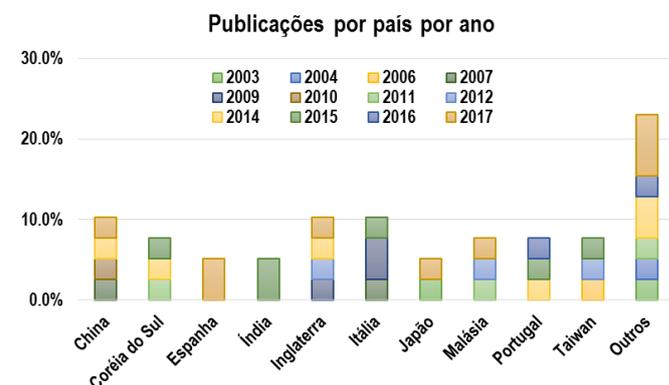
análise das palavras-chave, que levou à exclusão de mais 98 publicações dos resultados.

Embora o idioma inglês possa ser considerado universal para as publicações científicas, foram encontrados seis artigos publicados em línguas desconhecidas dos pesquisadores, como Mandarim ou Cantonês. Assim também, foram excluídos os artigos em duplicidade.

Observou-se que resultados obtidos por meio da base *Science Direct* (SD) foram pouco aderentes. Inicialmente retornaram 698 publicações, mas no processo de extração por leitura de títulos, resumos e palavras chave eliminaram-se 667. Ou seja, aproximadamente 95% dos resultados não eram aderentes à pesquisa. Já nos resultados obtidos pelas demais bases de dados, o percentual de exclusão foi de 76% no *Scopus* e 64% no *Engineer Village*. Os resultados sugerem que, apesar do SD ser o maior repositório, seu método de busca é muito amplo. Por outro lado, todos os trabalhos selecionados na base SD estavam disponíveis para leitura por serem de acesso livre ou constarem do convênio CAPES/CNPq. Nas demais bases a quantidade de publicações disponíveis foi muito pequena. Esses resultados demonstram a importância de se realizar um processo de exclusão criterioso das informações contidas nos artigos, extraindo várias publicações não-aderentes.

A Figura 2 apresenta um gráfico relacionando o ano e o país das publicações. China, Inglaterra e Itália são os países com o maior número de publicações aderentes sobre o tema. Dentre os trabalhos selecionados uma pequena quantidade diz respeito a pesquisas realizadas em climas tropicais, o que evidencia a necessidade de mais estudos nesta que é a realidade climática do Brasil.

Figura 2 – Gráfico representando a distribuição físico-temporal dos artigos aderentes



Fonte: Os autores.

A principal limitação do SMS é o fato de seus resultados dependerem do nível de acesso que os pesquisadores terão às publicações. Isso porque a maioria dos periódicos de qualidade não é gratuito, e o convênio CAPES, embora forneça acesso a uma gigantesca quantidade de

informação, não consegue alcançar a totalidade necessária a esse tipo de análise. Como exemplo temos o artigo *Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms* (DE DEAR *et al.*, 2015) que foi extremamente citado mas excluído durante o processo de filtragem.

## Resultados da Revisão

A extração sistemática de informações permitiu a elaboração do Quadro 2 que apresenta os resultados classificados segundo: país em que a pesquisa foi realizada; classificação climática da região estudada; estratégias de ventilação (MV, NV, AC ou HVAC); estação; tamanho da amostra; variáveis ambientais medidas e modelo utilizado na avaliação do conforto térmico.

A classificação segundo o local de realização da pesquisa permitiu identificar o clima segundo a classificação de Köppen (RUBER; KOTTEK, 2011), o que permite a análise entre os estudos oriundos de localidades geográficas distintas, porém com a mesma realidade climática. Nos resultados aderentes foram encontrados estudos realizados em seis climas também presentes no Brasil: Clima equatorial (Af), Clima Tropical de Monções (Am), Clima Tropical (chuvas no verão) (Aw), Clima Subtropical ou tropical de Altitude (Cwa); Clima subtropical úmido (Cfa) e Clima temperado marítimo úmido (Cfb). Vários pesquisadores omitiram informações tanto sobre o clima quanto sobre a estação do ano em que se realizaram as medições e aplicações de questionários, o que impossibilitou a classificação adequada de suas pesquisas.

Em climas “Af”, os estudos realizados utilizaram tanto o RTC quando o ATC. Os estudos de Wong e Khoo (2003) e de Yatim *et al.* (2011) realizam análises por meio do RTC e da aplicação de 504 e 235 questionários, respectivamente, apontando não existir compatibilidade entre o PMV e o PPD. No primeiro o PMV superestimou a temperatura de conforto e no segundo subestimou. Em um terceiro estudo, realizado na Malásia com 1408 entrevistados, utilizou-se o modelo ATC e também não foi encontrada compatibilidade entre o modelo adotado e o voto dos usuários (ZAKI *et al.*, 2017).

Em climas “Am”, observou-se que os dois estudos realizados não encontraram compatibilidade entre os modelos (ATC e RTC) e o voto dos usuários (HAMZAH *et al.*, 2016; NEMATCHOUA; TCHINDA; OROSA, 2014).

De três estudos realizados em climas “Aw”, dois foram realizados na Índia pelos mesmos pesquisadores, onde Mishra e Ramgopal (2015a, 2015b) aplicaram cerca de 550 questionários e mediram variáveis ambientais como temperatura do ar (Ta) e de globo (Tg), velocidade do ar

(V) e umidade relativa do ar (UR). Os resultados apontaram para a existência de compatibilidade entre os modelos (RTC e ATC), porém incompatibilidade entre os modelos e os votos dos usuários. Salienta-se que em um dos estudos foram coletados dados durante o ano todo, em salas dotadas de sistemas de NV e AC (ventilação natural e ar condicionado, respectivamente).

Durante um ano, Wang *et al.* (2017) mediram as variáveis ambientais em escolas situadas em três regiões climáticas diferentes da China, “Cwa”, “Dwb” e “Dwc”, bem como foram coletadas 1126 repostas de sensação térmica. Os resultados apontaram que o modelo Racional (RTC) é o mais adequado para as localidades em questão.

Em climas “Cfa”, foram encontrados 10 (dez) estudos, onde 4 (quatro) utilizaram modelo RTC, 2 (dois) o modelo ATC e 4 (quatro), os dois modelos. Em dois estudos realizados com amostra maior que 900 respostas, foram coletados dados durante um grande período de tempo. A comparação entre os dois modelos retornou a maior compatibilidade entre o modelo ATC e os votos coletados do que o PMV (BURATTI; RICCIARDI, 2009; LIANG; LIN; HWANG, 2012).

Em climas “Cfb”, foram identificados 6 (seis) estudos, a maioria na Inglaterra. Teli, Jentsch e James, em estudo publicado em 2014, verificaram a compatibilidade do modelo ATC com os votos de 2990 usuários durante a primavera em um ambiente naturalmente ventilado (NV) na Inglaterra. Salienta-se que, embora em climas temperados (Cfb) é comum que ambientes possuam sistemas HVAC, alguns estudos fizeram a opção de realizar a pesquisa com equipamentos desligados, permitindo o monitoramento de condições reais, como é o caso dos estudos de Teli, Jentsch e James (2014), sendo que estes autores haviam, anteriormente, desenvolvido estudo similar em condições de ambientes climatizados. Outros optaram por avaliar os ambientes com os aparelhos ligados e desligados, como pode-se observar nos estudos de Zaki *et al.* (2017), Pereira, Silva, e Cardoso (2015), Hwang, Lin e Kuo (2006), Kwok e Chun (2003) e Mumovic *et al.* (2009).

Ao se considerar as variáveis ambientais analisadas e a forma como foram coletadas, verificou-se que muitos estudos não aferiram a temperatura de globo (Tg) e velocidade do ar (V). A aferição da Tg é fundamental para o cálculo da Trm, que é a média das temperaturas superficiais dos elementos que envolvem o ambiente. Quando a variável Tg não é medida, a Trm pode ser estimada pela média das temperaturas superficiais interna da envoltória ou então, adota-se a temperatura interna do ar (Ta) igual à Trm. Porém, quando a envoltória transfere grande quantidade de energia térmica para o ambiente interno ou existem equipamentos e outros elementos geradores de calor no ambiente, a Trm não poderá ser

Quadro 2 – Sumário dos artigos aderentes

Referência	País	Clima (Köppen)	Ventilação	Estação	Amostra	Variáveis ambientais	Modelo
WONG; KHOO (2003)	Singapura	Af	MV	Inverno	506	Ta, UR, V, Tg	Racional
KWOK; CHUN (2003)	Japão	Cfa	NV + AC	Verão	74	Ta, UR, V, Tg	Racional
KRUGER; ZANNIN (2004)	Brasil	Cfb	HVAC	Inverno + Verão	NI	Ta, UR	Givoni
HWANG; LIN; KUO (2006)	Taiwan	Cfa	NV + AC	Verão	1294	Ta, UR, V, Tg	Racional
CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO (2007)	Itália	Cfa	HVAC	Inverno	430	Ta, UR, V, Tg	Racional
ZHANG <i>et al.</i> (2007)	China	Cfa	MV	Primavera	1273	Ta, UR, V, Tg	Racional
BURATTI; RICCIARDI (2009)	Itália	Cfa	HVAC	Outono + Inverno + Primavera	959	Ta, TBU, Tg, V, Ts-piso	Racional e Adaptativo
CORGNATI; ANSALDI; FILIPPI (2009)	Itália	Cfa	NV	Outono + Primavera	230	Ta, UR, V, Tg	Racional e Adaptativo
MUMOVIC <i>et al.</i> (2009)	Inglaterra	Cfb	NV+MV	Inverno	NI	Ta, UR	Racional
YAO; LIU; LI (2010)	China	Cfa	HVAC	Todas	3621	Ta, UR, V	Racional e Adaptativo
MORS <i>et al.</i> (2011)	Holanda	Cfb	HVAC	Inverno + Primavera + Verão	2166	Ta, UR, V, Tg	Racional e Adaptativo
YATIM <i>et al.</i> (2011)	Malásia	Af	AC	NI	235	Ta, UR, V, Tg	Racional
JUNG <i>et al.</i> (2011)	Coréia do Sul	Dfa	HVAC	Primavera + Outono	962	Ta, UR, V, Tg	Racional
LIANG; LIN; HWANG (2012)	Taiwan	Cfa	NV	Todas	3754	Ta, UR, V, Tg	Racional e Adaptativo
TELI; JENTSCH; JAMES (2012)	Inglaterra	Cfb	HVAC	Primavera	1300	Ta, UR, V, Tg	Racional e Adaptativo
WANG <i>et al.</i> (2014)	China	Dwa	HVAC	Inverno + Primavera	488	Ta, UR, V, Ts	Adaptativo
NEMATCHOUA; TCHINDA; OROSA (2014)	Camarões	Am + Aw	NV	Verão + Inverno	2650	Ta, UR, V,	Racional e Adaptativo
PEREIRA <i>et al.</i> (2014)	Portugal	Csa	NV	Primavera	NI	Ta, UR,	Racional
TELI; JENTSCH; JAMES (2014)	Inglaterra	Cfb	NV	Primavera	2990	Ta, UR	Racional e Adaptativo
YUN <i>et al.</i> (2014)	Coréia do Sul	Dfa	NV	Primavera	119	Ta, UR, V, Tg	Racional
KATAYGIOTOU; SERGHIDES (2014)	Chipre	Csa	HVAC	Todas	100	Ta, UR	Racional
NICO; LIUZZI; STEFANIZZI (2015)	Itália	Csa	NV	Inverno	126	Ta, UR, V, Tg	Racional e Adaptativo
NAM <i>et al.</i> (2015)	Coréia do Sul	Dfa	HVAC	Todas	994	Ta, UR, V, Tg	Racional
PEREIRA; CARDOSO; SILVA (2015)	Portugal	Csa	NV + HVAC	Inverno	NI	Ta, UR	Racional
HUANG <i>et al.</i> (2015)	Taiwan	Cfa	NV	Verão	NI	Ta, V, Tg	Adaptativo
MISHRA; RAMGOPAL, (2015b)	Índia	Aw	NV	Todas	548	Ta, UR, V, Tg,	Adaptativo
MISHRA; RAMGOPAL (2015a)	Índia	Aw	AC+NV	Primavera	50 x?	NI	Racional + adaptativo
HAMZAH <i>et al.</i> (2016)	Indonésia	Am	NV	Primavera	118	Ta, UR, Ts, V	Racional
ALMEIDA; RAMOS; FREITAS (2016)	Portugal	Csb	NV	Primavera	490	Ta, UR, V, Ts	Racional + adaptativo
KRAWCZYK; GLADYSZEWSKA-FIEDORUK; RODERO (2017)	Polônia	Dfb	HVAC	Inverno + Verão	138	Ta, UR	Racional
	Espanha	Csa	HVAC		129		
TREBILCOCK <i>et al.</i> (2017)	Chile	Csc	NV	Inverno + Primavera	5414	Ta, UR, V, Tg	Adaptativo
ZAKI <i>et al.</i> (2017)	Malásia	Af	NV + AC	Verão	1428	Ta, UR, V, Tg	Adaptativo
	Japão	Cfa					
VILCKEKOVA <i>et al.</i> (2017)	Eslováquia	Dfb	HVAC	NI	39	Ta, UR	Racional
MARTINEZ-MOLINA <i>et al.</i> (2017)	Espanha	Csa	HVAC	Outono	60	Ta, UR	Racional
WANG <i>et al.</i> (2017)	China	Cwa + Dwb + Dwc	HVAC	Todas	1126	Ta, UR, V, Tg	Racional + adaptativo
MONTAZAMI <i>et al.</i> (2017)	Inglaterra	Cfb	NV	Inverno	662	Tg	Racional

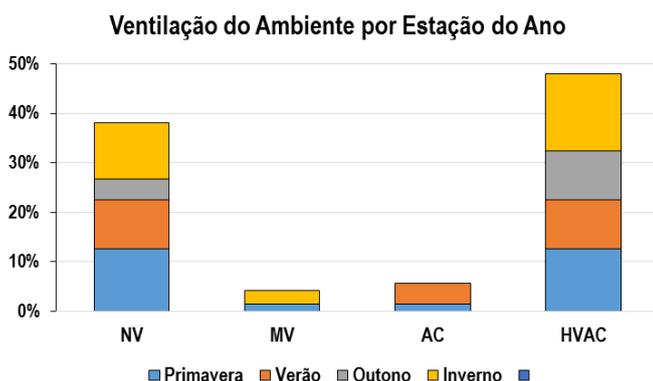
Legenda: NI – Não Informado. Fonte: Os autores.

considerada a mesma da  $T_a$  (HUMPHREYS; NICOL; ROAF, 2016). Outra variável de grande importância é a velocidade do ar ( $V$ ), fundamental para a realização de trocas térmicas por convecção, influenciando grandemente a sensação térmica de usuários, sobretudo em climas quentes (VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013). Quando não há aferição dessa variável *in loco*, considera-se 0,1 m/s. No cálculo da Temperatura Operativa ( $T_o$ ) ou do PMV, essas simplificações poderão gerar incompatibilidade com as sensações de conforto dos usuários.

Dentre os estudos que se valeram do modelo RTC para o cálculo do conforto térmico dos usuários, 64% coletaram a  $T_g$  nos ambientes analisados. Nos estudos baseados no modelo ATC esse percentual saltou para 76% dos estudos. Dentre todos os estudos analisados, 42% não coletaram a  $T_g$  dos ambientes analisados, sendo que 10% dos casos utilizaram as temperaturas superficiais dos ambientes internos para cálculo da  $T_{rm}$ . Do total, 21% das análises foram desenvolvidas a partir da coleta apenas da  $T_a$  e UR. Esses resultados sugerem que a escolha do modelo a ser adotado depende da disponibilidade de equipamentos apropriados para a coleta de dados.

A Figura 3 é um resumo entre o sistema de condicionamento de ar adotado no ambiente com a estação do ano em que os dados foram coletados. Existem estudos que foram realizados com duas ou mais condições de ventilação, bem como estudos que foram realizados durante mais de uma estação. Nestes casos, foram pontuados individualmente cada sistema e cada estação.

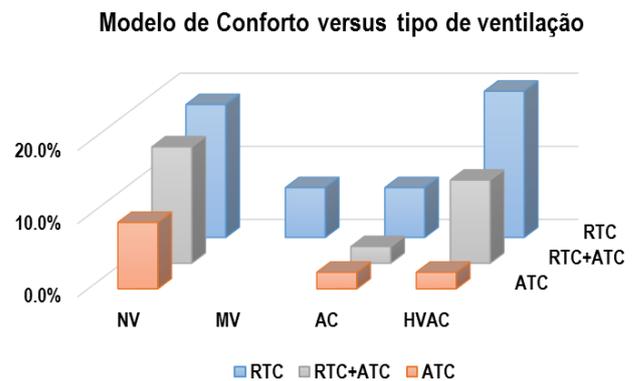
Figura 3 – Tipo de ventilação dos espaços analisados versus estação do ano em que as pesquisas foram conduzidas



Fonte: Os autores.

O sistema de ventilação utilizado durante a análise foi classificado de acordo com o modelo de conforto adotado, resultando no gráfico representado na Figura 4.

Figura 4 – Modelo de conforto adotado comparado com o tipo de ventilação



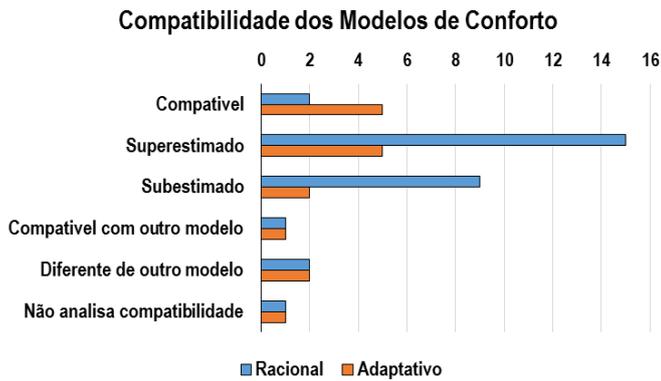
Fonte: Os autores.

Observa-se a predominância, dentro do universo analisado, do RTC, já que 78% das análises se utilizaram do modelo baseado no PMV (FANGER, 1970). Em 47% dos estudos, o RTC foi o único modelo adotado. Já 31% dos resultados tiveram suas análises desenvolvidas tanto com o RTC como com o ATC. Estudos mais recentes, como o de Wang *et al.*, (2017) fizeram opção por usar uma derivação do PMV, o aPMV (*adaptive PMV*).

Dentre as pesquisas que utilizaram RTC, apenas em 6,5% os modelos foram compatíveis com o TSV (Voto de Sensação Térmica, da sigla em inglês) dos usuários. Nestes resultados, as situações climáticas avaliadas eram de inverno, como no estudo desenvolvido no ensino básico em Portugal por Pereira, Silva e Cardoso (2015) ou de climas temperados, como fica expresso na análise desenvolvida por Krawczyk, Gładyszewska-Fiedoruk e Rodero (2017).

A Figura 5 analisa a compatibilidade dos modelos de conforto em números absolutos, ou seja, compara os dados das respostas dos usuários com os limites propostos pelos métodos de conforto (PMV e ATC). Em 50% das análises desenvolvidas com o RTC, este índice superestimou as condições de conforto. Embora o estudo desenvolvido por Fanger (1970) tenha partido de análises com indivíduos em situação escolar (universitários), a adoção deste modelo é indicada em ambientes de escritórios, onde o usuário possui mais opções para se adaptar as condições, como constatado por Nico, Liuzzi e Stefanizzi (2015). Posteriormente, Hamzah *et al.* (2016) apontam que a utilização do RTC em climas com características tropicais pode ser considerada inadequada, dada a baixa compatibilidade deste modelo com os votos de sensação térmica dos usuários (TSV).

Figura 5 – Gráfico representando a compatibilidade dos modelos de conforto adotados



Fonte: Os autores.

A maior parte das análises foi desenvolvida com estudantes do ensino superior. Isso pode ter sido influenciado pela facilidade de aplicação do questionário, visto que esse grupo de indivíduos possui maior compreensão sobre as questões propostas, reduzindo a necessidade de adaptação dos métodos de coleta. Além disso, a coleta em instituições de ensino superior garante uma elevada padronização dos respondentes em relação à idade, atividade e vestimenta, variáveis que influenciam o conforto térmico e que, ao apresentarem semelhança, ajudam a caracterizar o grupo de análise. Como o RTC se baseia no metabolismo de adultos, pode ser considerado mais adequado para ser aplicado em estudantes do ensino superior. Vale lembrar que crianças e adolescentes possuem um metabolismo mais acelerado e diferentes concentrações hormonais, que somados geram uma grande variabilidade entre os indivíduos de um mesmo grupo de análise (MONTAZAMI *et al.*, 2017).

Como exemplo, Martinez-Molina *et al.* (2017) e Nam *et al.* (2015) encontraram diferenças entre os votos de alunos e professores ao aplicarem os modelos para um grupo de indivíduos em instituições de ensino fundamental e médio. Posteriormente, a análise conduzida por Montazami *et al.* (2017) apontou que na maior parte das situações, os professores foram responsáveis por controlar a climatização do ambiente o que, conseqüentemente, causou desconforto aos estudantes. Além disso, foram constatadas taxas metabólicas distintas entre os indivíduos, proporcionadas pelas diferenças: de idade, de desenvolvimento de atividades, e de vestimentas.

Dentre os artigos analisados, apenas o estudo de Almeida, Ramos e Freitas (2016) avaliou as condições de conforto em salas de aula nos três níveis de ensino utilizando os modelos RTC e ATC. O estudo conduzido por Vilcekova *et al.* (2017) foi único por ter coletado respostas de crianças em situações especiais de ensino. Neste caso, o modelo RTC se mostrou superestimado. Como esperado, nesta revisão foram encontradas seis publicações em que

o RTC não apresentou correlação com o ATC, sendo que o primeiro modelo possui uma faixa de conforto mais estrita que os votos dos usuários e que o modelo Adaptativo.

Os estudos desenvolvidos por Mishra e Ramgopal (2015a e 2015b) na Índia analisaram a performance de universitários por meio dos dois modelos, além do conforto nos ambientes internos a partir do ATC. Não foi encontrada relação entre a aplicação de diferentes modelos para climatização dos ambientes e o rendimento estudantil. A análise, porém, apresentou compatibilidade entre o modelo ATC e o TSV dos usuários, sendo o único estudo desenvolvido em clima quente em que o ATC apresentou compatibilidade.

Dois estudos realizados na Itália com alunos do ensino superior, em 2009, concluíram que o ATC não apresentou correlação com o TSV. Contudo, em um dos casos foi encontrada correlação entre o RTC e a ATC (BURATTI; RICCIARDI, 2009) enquanto no outro não (CORGNATI; ANSALDI; FILIPPI, 2009).

Outro ponto a ser considerado é o número amostral adotado nas análises. Fanger (1970) sugere uma amostra com cerca de 1300 entrevistados. Logo, observou-se que os estudos como de Teli, Jentsch e James (2014), Trebilcock *et al.* (2017), Yao, Liu e Li, (2010) atingiram ou ultrapassaram essa tamanho amostral de respondentes. Porém, estudos com número reduzido de respondentes apresentaram tanta confiabilidade quanto estudos com grande número de inquiridos (MARTINEZ-MOLINA *et al.*, 2017; MISHRA E RAMGOPAL, 2015b; VILCEKOVA *et al.*, 2017).

É notória a existência de grande quantidade de estudos realizados em países em desenvolvimento, sobretudo no sudeste asiático (16 publicações). Muitas destas publicações preocupam-se com a qualidade do ambiente construído e com o consumo energético das edificações. Os estudos chineses são realizados em áreas de climas frios, enquanto os demais do sudeste asiático em condições de clima tropical, tipicamente em meses chuvosos e quentes. Apenas um estudo realizado no continente Africano foi encontrado, o de Nematchoua, Tchinda e Orosa (2014), que compara condições de conforto em edificações educacionais e de escritórios em duas cidades em Camarões, cada uma classificada em uma zona climática distinta (Am e Aw).

Na América Latina foram encontrados dois estudos: o primeiro, realizado no Brasil, avaliou o conforto térmico a partir da Carta Bioclimática de Givoni (1992) (KRUGER; ZANNIN, 2004) e não realizou a coleta de respostas dos usuários. Assim, não foi possível estabelecer relações entre o método de conforto adotado e a sensação térmica.

O segundo artigo é um chileno que utilizou o ATC para avaliar o conforto térmico de 5414 respondentes (TREBILCOCK *et al.*, 2017). Neste, foi observado que os estudantes de escolas localizadas em regiões de maior vulnerabilidade social possuíam maior capacidade de adaptação às situações de desconforto que os estudantes de escolas localizadas em zonas com renda per capita maior.

Outros estudos, não aderentes a esta revisão, consideraram a adaptação dos usuários ao ambiente a partir da vestimenta e indicam uma preferência do brasileiro por ambientes ventilados e de controle individual, sobretudo em situações de desconforto por calor (CÂNDIDO *et al.*, 2010; VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013; VECCHI; LAMBERTS; CANDIDO, 2017).

## Considerações Finais

A combinação entre SMS e SLR permitiu levantar e avaliar a aplicação de diferentes métodos de avaliação do conforto térmico em ambiente escolar. Embora haja algumas limitações neste método, foi possível identificar estudos com mesmos objetivos, isto é, a avaliação do conforto térmico em salas de aula. Embora existam muitos estudos sobre conforto térmico em ambientes de sala de aula, esta análise encontrou poucos estudos que se situam na realidade climática brasileira nas bases de dados internacionais. Para responder à questão levantada nesta revisão sistemática foram analisados 36 artigos, em que 18 utilizaram exclusivamente o RTC, 12 o RTC e o ATC, cinco o ATC e um utilizou Givoni.

Embora o amplo espectro de modelos e índices de avaliação de conforto, apenas sete dos estudos analisados apontaram para a compatibilidade entre o modelo ou

índice utilizado e a resposta dos usuários. Destes sete, cinco analisaram o conforto pelo ATC e dois pelo RTC. A dificuldade em estabelecer uma correlação entre o modelo e/ou índice e a sensação térmica dos usuários pode ser explicada pela falta de adequação dos modelos e/ou índices com a preferência térmica dos usuários, que se baseiam nas médias mensais das temperaturas externas, observadas nos locais em que os estudos foram conduzidos.

Várias análises apontaram que o modelo RTC tende a superestimar os resultados, ou seja, a sensação térmica dos usuários se encontra acima dos limites superiores das zonas de conforto propostas pelo modelo. Ainda, observou-se que seis estudos que utilizaram o modelo ATC mediram apenas temperatura do ar e a umidade relativa, e estimaram a Trm e a velocidade do ar. Não se observaram estudos baseados no RTC que trabalharam com os mesmos dados, permitindo a observação de que a escolha do modelo e/ou índice de avaliação de conforto pode estar relacionada à disponibilidade e à qualidade dos dados climáticos coletados no ambiente em estudo.

Em regiões tropicais, sugere-se: aplicar mais de um método de avaliação de conforto para verificar qual a adequação do modelo, bem como considerar a adaptação do usuário ao clima, conforme o estudo de Wang *et al.*, (2017). Além disso, no desenvolvimento de pesquisas futuras sobre este tema salienta-se a importância de publicações em revistas internacionais indexadas. Caso contrário, a divulgação de resultados fica limitada, dificultando a compatibilização de diferentes métodos de avaliação de conforto para a realidade brasileira.

---

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Governo Federal do Brasil por permitir a pesquisa por meio das instituições de fomento através de bolsa de mestrado e PNPd financiados pela CAPES.

## Referências

ALMEIDA, Ricardo M. S. F.; RAMOS, Nuno M. M.; FREITAS, Vasco P. De. Thermal comfort models and pupils' perception in free-running school buildings of a mild climate country. **Energy and Buildings**, v. 111, p. 64–75, 1 jan. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.066>.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2013.

ANDREASI, Wagner Augusto; LAMBERTS, Roberto; CÂNDIDO, Christhina. Thermal Acceptability assessment in buildings located in Hot Humid regions in Brazil. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 1225–1232, 2010. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.11.005>.

ARAÚJO, A. P. R. De. O conforto ambiental no planejamento da qualidade dos ambientes escolares : estudo de caso do Colégio Sagrado Coração de Maria. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5. **Anais...** Fortaleza - CE, 1999. p. 83-89.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575: Edifícios habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2013

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2013

AULICIEMS, A. Towards a psycho-physiological model of thermal perception. **Journal of Biometeorology**, v. 25, p. 109–122, 1981.

BURATTI, Cinzia; RICCIARDI, Paola. Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 674–687, abr. 2009. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.001>.

CÂNDIDO, C. *et al.* Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 222–229, 2010. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.005>.

CORGNATI, Stefano Paolo; FILIPPI, Marco; VIAZZO, Sara. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 951–959, fev. 2007. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.027>.

CORGNATI, Stefano P.; ANSALDI, Roberta; FILIPPI, Marco. Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: Assessment through objective and subjective approaches. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 785–792, abr. 2009. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.023>.

DE DEAR, Richard *et al.* Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms. **Building Research and Information**, v. 43, n. 3, p. 383–398, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2015.991627>.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel P.; ANTUNES JR, José Antônio V. **Design Science Research**. 1. ed. Cham: Springer International Publishing, 2015. 176 p. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-07374-3>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2017**: ano base 2016. Brasília. EPE. 2017a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica DEA 001/2017**: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026). Brasília. EPE. 2017b.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. 1. ed. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. 244 p.

GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy & Buildings**, v. 1, p. 11–23, 1992.

GOUGH, David; THOMAS, James; OLIVER, Sandy. Clarifying differences between review designs and methods. **Systematic Reviews**, v. 1, n. 1, p. 1, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1186/2046-4053-1-28>.

HAMZAH, Baharuddin *et al.* Thermal comfort analyses of naturally ventilated university classrooms. **Structural Survey**, v. 34, n. 4/5, p. 427–445, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/SS-12-2015-0055>.

HUANG, Kuo-tsang *et al.* Implementation of green building specification credits for better thermal conditions in naturally ventilated school buildings. **Building and Environment**, v. 86, n. December 2013, p. 141–150, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.006>.

HUMPHREYS, M. A. Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied. **Building Services Engineer**, v. 44, p. 5–27, 1976.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, Fergus; ROAF, Susan. **Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis**. London: Routledge, 2016.

- HWANG, Ruey Lung; LIN, Tzu Ping; KUO, Nai Jung. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 1, p. 53–62, 2006. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.05.001>.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013.
- JUNG, Gun Joo *et al.* Experimental research on thermal comfort in the university classroom of regular semesters in Korea. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 25, n. 2, p. 503–512, 2011. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12206-010-1219-1>.
- KATAFYGIOTOU, Martha C.; SERGHIDES, Despina K. Thermal comfort of a typical secondary school building in Cyprus. **Sustainable Cities and Society**, v. 13, p. 303–312, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.03.004>.
- KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. *et al.* Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares na região de campinas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 1999, Fortaleza - CE. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.
- KRAWCZYK, D. A.; GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK, K.; RODERO, A. The analysis of microclimate parameters in the classrooms located in different climate zones. **Applied Thermal Engineering**, v. 113, p. 1088–1096, 25 fev. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.089>.
- KRUGER, Eduardo L; ZANNIN, Paulo H T. Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. **Building and Environment**, v. 39, p. 1055–1063, 2004. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.030>
- KWOK, Alison G.; CHUN, Chungyoon. Thermal comfort in Japanese schools. **Solar Energy**, v. 74, n. 3, p. 245–252, 2003. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(03\)00147-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(03)00147-6).
- LIANG, Han-Hsi; LIN, Tzu-Ping; HWANG, Ruey-Lung. Linking occupants' thermal perception and building thermal performance in naturally ventilated school buildings. **Applied Energy**, v. 94, p. 355–363, jun. 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.004>.
- MARTINEZ-MOLINA, Antonio *et al.* Post-occupancy evaluation of a historic primary school in Spain: Comparing PMV, TSV and PD for teachers' and pupils' thermal comfort. **Building and Environment**, v. 117, p. 248–259, 15 maio 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.010>.
- MATTHEWS, J.; NICOL, F. Standards for Thermal Comfort. In: NICOL, J. F. *et al.* (Orgs.). **Standards for Thermal Comfort**. Londres: Chapman & Hall, 1995.
- MISHRA, Asit Kumar; RAMGOPAL, Maddali. A comparison of student performance between conditioned and naturally ventilated classrooms. **Building and Environment**, v. 84, p. 181–188, 2015a. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.008>.
- MISHRA, Asit Kumar; RAMGOPAL, Maddali. A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India. **Building and Environment**, v. 92, p. 396–406, out. 2015b. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.024>.
- MONTAZAMI, Azadeh *et al.* Developing an algorithm to illustrate the likelihood of the dissatisfaction rate with relation to the indoor temperature in naturally ventilated classrooms. **Building and Environment**, v. 111, p. 61–71, jan. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.009>.
- MORS, Sander Ter *et al.* Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts. **Building and Environment**, v. 46, n. 12, p. 2454–2461, dez. 2011. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.025>.
- MUMOVIC, D. *et al.* Winter indoor air quality, thermal comfort and acoustic performance of newly built secondary schools in England. **Building and Environment**, v. 44, n. 7, p. 1466–1477, jul. 2009. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.014>.
- NAM, Insick *et al.* A study on the thermal comfort and clothing insulation characteristics of preschool children in Korea. **Building and Environment**, v. 92, p. 724–733, out. 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.041>.
- NEMATCHOUA, Modeste K.; TCHINDA, René; OROSA, José A. Adaptation and comparative study of thermal comfort in naturally ventilated classrooms and buildings in the wet tropical zones. **Energy & Buildings**, v. 85, p. 321–328, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.029>.

- NICO, Maria Anna; LIUZZI, Stefania; STEFANIZZI, Pietro. Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis. **Applied Ergonomics**, v. 48, p. 111–120, maio 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2014.11.013>.
- OCHOA, Juliana H.; ARAÚJO, Daniel L.; SATTLER, Miguel Aloysio. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 91–114, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212012000100007>
- PEREIRA, Luísa D. *et al.* Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: Methodology and results. **Building and Environment**, v. 81, p. 69–80, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.008>
- PEREIRA, Luísa D.; CARDOSO, Edna; SILVA, Manuel G. da. Indoor air quality audit and evaluation on thermal comfort in a school in Portugal. **Indoor and Built Environment**, v. 24, n. 2, p. 256–268, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/1420326X13508966>
- RUBER, Franz; KOTTEK, Markus. Comments on: “The thermal zones of the Earth” by Wladimir Köppen (1884). **Meteorologische Zeitschrift**, v. 20, n. 3, p. 361–365, 2011.
- RUIZ, Joyce de A.; GRANJA, Ariovaldo D. Um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre valor e colaboração na construção. In: SIBRAGEC - Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, Inovação e Sustentabilidade, 8, Salvador - BA, **Anais...**, Salvador, 2013.
- RUPP, Ricardo Forgiarini *et al.* A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, v. 105, p. 178–205, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>.
- SANTOS, K. P.; COSTA, G. M. da; BARROS, B. R. Conforto Ambiental Em Instituições De Ensino: Análise Do Campus Do Sertão Da UFAL. In.: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., Maceió - AL. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014. p.865–874.
- TELI, Despoina; JENTSCH, Mark F.; JAMES, Patrick A.B. B. Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Energy and Buildings**, v. 53, p. 166–182, out. 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.022>.
- TELI, Despoina; JENTSCH, Mark F.; JAMES, Patrick A.B. B. The role of a building’s thermal properties on pupils’ thermal comfort in junior school classrooms as determined in field studies. **Building and Environment**, v. 82, p. 640–654, dez. 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.005>.
- TREBILCOCK, Maureen *et al.* The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary schools in Chile. **Building and Environment**, v. 114, p. 455–469, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.036>.
- VECCHI, Renata de; CÂNDIDO, Christhina; LAMBERTS, Roberto. O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 189–202, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000400013>
- VECCHI, Renata de; LAMBERTS, Roberto; CANDIDO, Christhina Maria. The role of clothing in thermal comfort: how people dress in a temperate and humid climate in Brazil. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 69–81, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100124>
- VILCEKOVA, Silvia *et al.* Indoor environmental quality of classrooms and occupants’ comfort in a special education school in Slovak Republic. **Building and Environment** v. 120, p. 29–40, 1 ago. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.001>.
- WANG, Dengjia *et al.* Student responses to classroom thermal environments in rural primary and secondary schools in winter. **Building and Environment**, v. 115, p. 104–117, abr. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.006>.
- WANG, Zhaojun *et al.* Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. **Energy and Buildings**, v. 77, p. 192–196, jul. 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.054>.
- WONG, Nyuk Hien; KHOO, Shan Shan. Thermal comfort in classrooms in the tropics. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 4, p. 337–351, maio 2003. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00109-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00109-3).

XAVIER, Antônio A. de P. **Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. 209p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

YAO, Runming; LIU, Jing; LI, Baizhan. Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 1015–1022, 2010. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.028>.

YATIM, S. R M *et al.* Thermal comfort in air-conditioned learning environment. In.: INTERNATIONAL SYMPOSIUM AND EXHIBITION IN SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENT, 3., 2011, Melaka. **Anais...** Melaka - Malaysia: ISESEE, jun. 2011. p.194–197. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ISESEE.2011.5977088>.

YUN, Hyunjun *et al.* A field study of thermal comfort for kindergarten children in korea: An assessment of existing models and preferences of children. **Building and Environment**, v. 75, p. 182–189, maio 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.02.003>.

ZAKI, Sheikh Ahmad *et al.* Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan. **Building and Environment**, v. 122, p. 294–306, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.016>.

ZHANG, Guoqiang *et al.* Thermal Comfort Investigation of Naturally Ventilated Classrooms in a. **Indoor and Built Environment**, v. 16, n. 2, p. 148–158, 2007. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/1420326X06076792>.

---

<sup>1</sup> **Paulo José Lima Perillo**

Arquiteto e Urbanista. Especialista. Endereço Postal: Av. Universitária, 1.488, Goiânia, GO, Brasil, 74.605-220

<sup>2</sup> **Marcus André Siqueira Campos**

Engenheiro Civil. Doutor. Professor Adjunto da Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás. Endereço Postal: Av. Universitária, 1.488, Goiânia, GO, Brasil, 74.605-220

<sup>3</sup> **Loyde Vieira de Abreu-Harbich**

Arquiteta e Urbanista. Doutora. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás. Endereço Postal: Av. Universitária, 1.488, Goiânia, GO, Brasil, 74.605-220