

CONFORTO TÉRMICO EM SALAS DE AULA: ESTADO DA ARTE DAS PESQUISAS NACIONAIS¹

PETRINI DA SILVEIRA, G. W., Universidade Estadual Paulista (Unesp), email: guipetrini@gmail.com; SPAGNUOLO, A. Y. N., Universidade Estadual Paulista (Unesp), email: augusto.spagnuolo@gmail.com; ZANELLA, H. F. Z., Universidade Estadual Paulista (Unesp), email: hb.zanella@gmail.com; FARIA, J. R. G., Universidade Estadual Paulista (Unesp), email: joaofari@faac.unesp.br; FONTES, M. S. G. C., Universidade Estadual Paulista (Unesp), email: sgfontes@faac.unesp.br.

ABSTRACT

The physical space of the school is, by its nature, the territory of development of the teaching and learning process; therefore, school architecture must be concerned with the comfort of people in physical spaces, especially aspects related to environmental and functional conditions. In view of the above, the objective of this study is to perform a quantitative analysis, through the literature review of researches developed and published on the topic "thermal comfort in classrooms in Brazil" in the last 18 years. The method used for this evaluation constitutes study of state of the art type, which allows the knowledge of a given scientific area through the observation of all the recorded production in a set of scientific databases. A total of 88 studies were identified. Data were analyzed in relation to methods and fields of study. One finding is that this information is insufficient for the global understanding of thermal comfort in the Brazilian school environment. Finally, gaps were identified and a series of recommendations to future researches are suggested.

Keywords: Thermal comfort. School architecture. Literature review.

1 INTRODUÇÃO

O espaço físico da escola é por natureza o local do desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem e as condições ambientais, em especial o conforto térmico, exerce grande influência sobre o desempenho nesse processo (KOWALTOWSKI, 2011, GIVONI, 1991).

O aprimoramento dos projetos escolares depende dos resultados de avaliações sistemáticas, como a Avaliação Pós Ocupação (APO), que utilizam de métodos e técnicas eficazes para qualificar as condições ambientais e de uso, bem como observar a resposta humana quanto a satisfação com o espaço. Para Kowaltowski (2011) a APO é importante para evitar as repetições de erros, pois nem sempre os problemas encontrados são sanados com as normas vigentes.

Em relação à avaliação de conforto térmico, os métodos abrangem levantamentos de dados microclimáticos ou simulações e aplicação de questionários junto aos usuários, para identificar a influência microclimática na sensação térmica dos usuários, como estudos desenvolvidos por Labaki et al. (2001); Lazzaroto (2007) e Araújo (2008).

¹ PETRINI DA SILVEIRA, G. W., SPAGNUOLO, A. Y. N., ZANELLA, H. B., FARIA, J. R. G., FONTES, M. S. G. C. Conforto térmico em salas de aula: estado da arte das pesquisas nacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

Neste contexto, este artigo objetiva mostrar uma análise das pesquisas sobre o tema conforto térmico dentro de salas de aula, realizadas no Brasil nos últimos 18 anos, que foram publicadas nos principais eventos da área e periódicos. A revisão destaca os métodos e campos de estudos, além de indicar as lacunas e sugerir recomendações a serem trabalhadas em pesquisas futuras sobre o tema.

2 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

O método adotado foi uma revisão sobre o estado da arte das publicações sobre conforto térmico em salas de aula. Segundo Vosgerau e Romanowski (2014) a descrição do estado da arte é um dos métodos de revisão de literatura, que permite esclarecer e caracterizar um objeto de estudo, a partir de um determinado período temporal e através da observação dos registros em uma ou mais bases científicas. A leitura e catalogação dos resultados podem auxiliar a identificação de tendências de crescimento ou obsolescência de campos científicos, além de facilitar a descoberta de lacunas no conhecimento.

As pesquisas de artigos científicos foram conduzidas com a revisão dos anais dos dois principais congressos da área, Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo (NUTAU), do periódico Ambiente Construído, publicados entre 2000 e 2017, além da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (BDTD). Para isso, utilizaram-se individualmente as palavras chave “escola”, “conforto”, “térmico”, “educação” e “aula” nos títulos e extensões dos artigos. Após a triagem inicial, foram excluídos os artigos que não se relacionavam diretamente com o tema. Foi conduzida pesquisa similar nas bases de dados internacionais SCOPUS e SCIENCE DIRECT com a utilização dos termos “thermal comfort school”, excluídos os termos “house”, “housing”, “comercial” e “supermarket” nos títulos, palavras chave e resumos e filtrados os resultados de pesquisas originárias do Brasil.

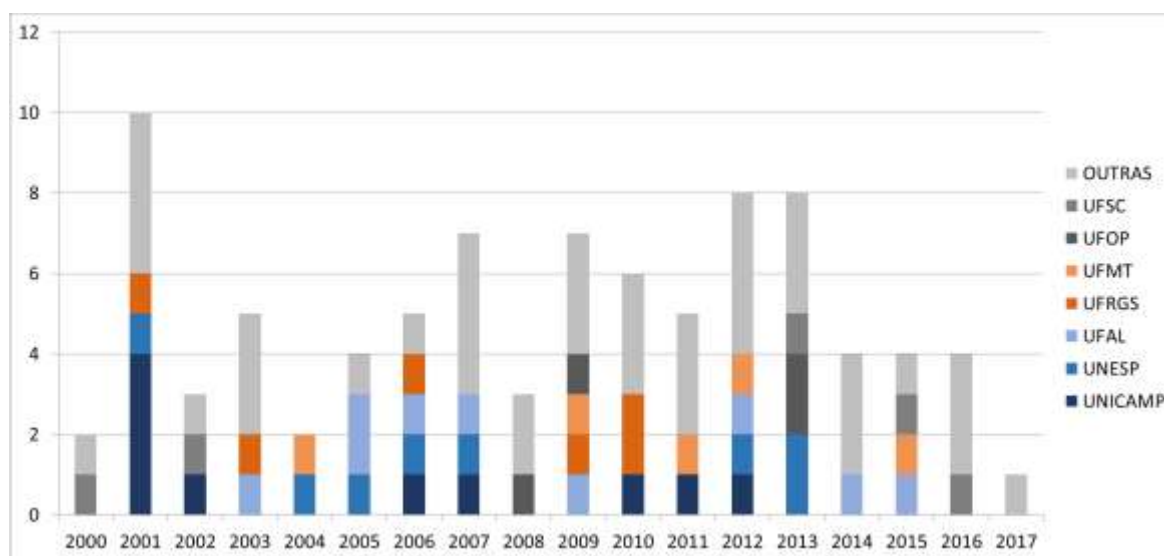
Posteriormente classificaram-se as informações por ano de publicação, instituição de origem, cidade onde se realizou a pesquisa, zona bioclimática, condicionamento artificial ou ventilação natural do ambiente, nível de ensino, técnica utilizada, software, estação do ano e modelo de conforto. Neste caso, quando possível, foram também levantados o tamanho da amostra dos usuários e as temperaturas limites da zona de conforto. Finalmente, desenvolveu-se uma análise quantitativa dos dados resumidos, observando as características das pesquisas nacionais e apontando suas qualidades e lacunas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O levantamento da literatura retornou um total de 88 trabalhos científicos com a temática do conforto térmico em salas de aula. O gráfico 01 mostra a

distribuição de trabalhos encontrados por ano, em que se observa uma oscilação/ano, mas um incremento em 2001, com trabalhos realizados pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Campinas (UNICAMP). Outro pico nos trabalhos foram nos anos 2012 e 2013, cujas pesquisas foram realizadas pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) e Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Gráfico 01 – Número de publicações por ano e principais universidades.



Fonte: Os autores

As principais instituições pesquisadoras da temática são, em ordem decrescente de número de publicações identificadas: UNICAMP, UFAL, UNESP e UFRGS. As pesquisas desenvolvidas na UNICAMP têm como principais tópicos o desenvolvimento de métodos de avaliação de projeto para se atingir índices de conforto ambiental, principalmente térmico (DELIBERADOR et al., 2011; FERNANDES et al., 2010; GRAÇA et al., 2007). Os trabalhos da UFAL se diferenciam por apresentarem principalmente a avaliação de materiais das envoltórias e de elementos construtivos da arquitetura bioclimática no contexto escolar com a utilização de simulação computacional (BITTENCOURT et al., 2007; COSTA et al., 2009; LAAN et al., 2011; LAMENHA, 2016; LEAL et al., 2006; SILVA et al., 2015).

Os métodos de pesquisa adotados pelos pesquisadores da UNESP e UFRGS são similares, baseados em medições ambientais, aplicação de questionários e entrevistas com os usuários (GEMELLI, 2009; PIZARRO, 2005; VIANA, 2013, KRUM et al., 2010; PASQUOTTO et al., 2006, FARIA et al., 2001).

Com relação ao tempo das pesquisas a maioria, 69%, realizam estudos em curtos períodos e em uma determina estação do ano, não comparando situações climáticas distintas em que estão expostos os usuários.

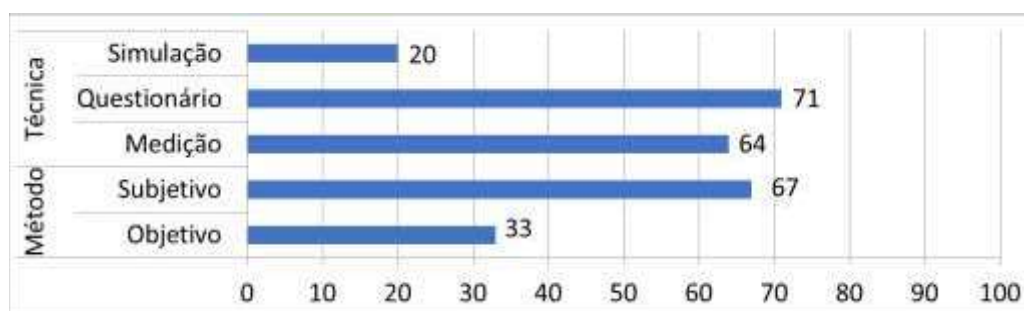
Nas pesquisas subjetivas analisadas, 49% não apresentam informações sobre a amostra de usuários, não podendo aferir o nível de confiança das mesmas. Das que relatam a quantidade identificou-se uma variação entre 21 (KRUM

et al., 2010) e 2292 (De Vecchi et al., 2013) usuários, sendo a sua maioria, 42%, entre 100 e 500 pessoas.

3.1 Avaliação do método de estudo

As pesquisas analisadas podem ser classificadas em objetivas, que têm como campo de estudo a catalogação e análise das informações físicas ambientais através de medições físicas e simulações computacionais, e subjetivas, as quais se baseiam em questionários e entrevistas com o intuito de compreender as sensações térmicas dos usuários (gráfico 02).

Gráfico 02 – Percentual de publicações por método e técnica.

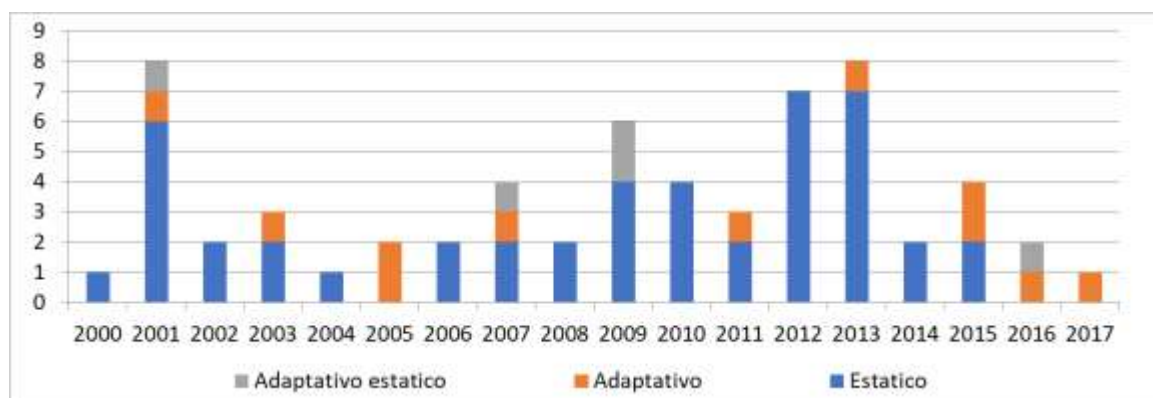


Fonte: Os autores

3.2 Avaliação dos campos de estudo

Identificou-se a utilização dos dois principais índices de conforto térmico: o estático de Fanger (1970) e o dinâmico de Humphreys (1976). O uso deste último é crescente, sobretudo a partir de 2011, devido à sua inclusão na edição de 2010 da AHRAE 55 (ASHRAE, 2010), conforme gráfico 03.

Gráfico 03 – Quantidade de publicações conforme índice de conforto/ano.



Fonte: Os autores

Finger et al. (2016) e Lazzarotto (2007) destacam maior aderência da realidade ao modelo adaptativo de conforto, por serem as unidades de ensino em sua maioria ventiladas naturalmente, com ressalva para as baixas temperaturas.

Gonçalves et al. (2001) e Lyra (2007) apontam a necessidade de calibração

dos modelos de conforto térmico internacionais para o território nacional, com o fim de evitar os prejuízos na interpretação e discussão de resultados das pesquisas.

É necessária a definição de novos limites de condições de conforto térmico, de acordo com a diversidade climática do país. Neste sentido resumem-se no quadro 01 os principais trabalhos que auxiliaram nesta busca de zona de conforto térmico para a realidade escolar no Brasil.

Quadro 01 – Zonas de conforto definidos a partir de respostas de usuários.

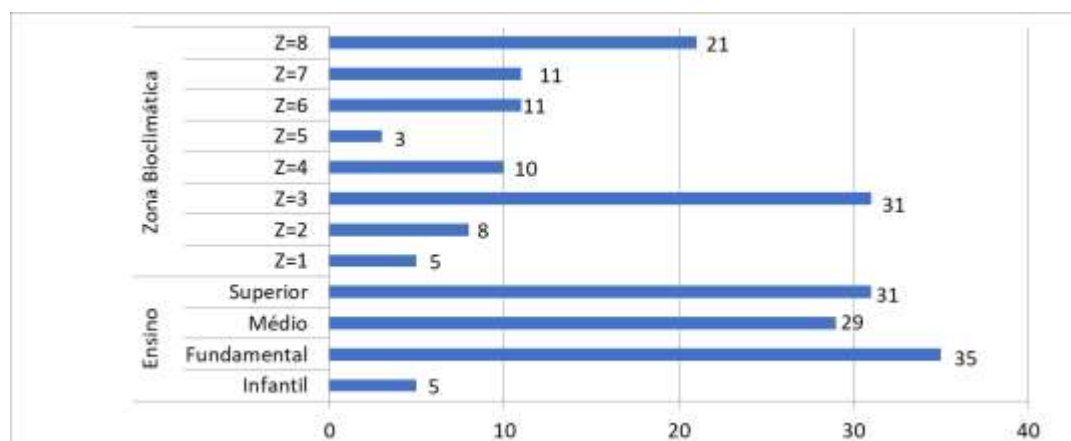
Referência	Local	Zona Bioclimática	Limite Superior	Limite Inferior
Araújo (1996)	Natal/RN	8	28,1 °C	25,1 °C
XAVIER (1999)	Florianópolis/SC	3	26 °C	20 °C
SILVEIRA et al. (2003)	Teresina/PI	7	31,6 °C	27,4 °C
STRAUB et al. (2017)	Várias cidades do Mato Grosso	5, 6, 7, 8	26,9 °C	25,4 °C

Fonte: Os autores

Identificou-se apenas uma pesquisa que avaliou a relação entre conforto térmico e aprendizagem. Neste campo Torres (2016), após aplicação de baterias de provas de raciocínio, conhecido como instrumento BPR-5, e controlando-se a temperatura interna do ambiente, observou que a situação de desconforto por frio prejudicou o desempenho cognitivo na realização de provas de raciocínio do usuário.

No gráfico 04 apresentam-se os diversos campos de estudos avaliados nesta revisão da literatura, discriminando as Zonas Bioclimáticas e nível de ensino onde se realizaram as pesquisas.

Gráfico 04 – Percentual de publicações por zonas bioclimática e nível de ensino.



Fonte: Os autores

4. CONCLUSÕES

O campo de pesquisas sobre conforto térmico no ambiente escolar é um tema importante para a área da arquitetura escolar uma vez que exerce relação direta sobre o aprendizado.

As dimensões territoriais do país, a diversidade de técnicas e de elementos construtivos, a incerteza quanto aos padrões adequados de conforto térmico para o território nacional, os diversos níveis de ensino e as condições socioeconômicas regionais são variáveis que individualmente geram extensas pesquisas. Por isso, a reunião destas informações se apresentou insuficiente para a compreensão ou generalização de indicação de parâmetros de conforto térmico no ambiente escolar brasileiro.

Os estudos consultados, no entanto, apresentam uma série de recomendações para o ambiente de ensino e sugerem lacunas que podem ser trabalhadas, como as descritas a seguir:

- Ampliar as análises em mais de uma estação do ano, já que pesquisas foram geralmente realizadas em apenas uma estação, assim como aumentar o número de respondentes e as localidades, para permitir sua generalização em áreas com padrões de conforto térmico homogêneas;
- Explorar a simulação computacional, pois foi utilizada em um número reduzido de trabalhos. A partir das simulações é possível realizar comparações e análises anuais e em diversas localidades;
- Aumentar pesquisas com a avaliação de conforto a partir do modelo adaptativo, já que para a realidade nacional a maioria das salas são ventiladas naturalmente;
- Ampliar pesquisas para outras regiões do país e em instituições de ensino infantil, que foram muito pouco estudadas. Esses ambientes são essenciais na formação inicial de uma pessoa;
- Definir faixas de conforto térmico para diversas zonas bioclimáticas, pois a utilização das definidas por estudos internacionais apresentaram-se questionáveis. As pesquisas podem definir novos limites de acordo com a diversidade climática do país, buscando-se a adequada melhoria do conforto térmico do ambiente;
- Aumentar pesquisas sobre a importância do conforto térmico no desenvolvimento cognitivo do aluno. O acréscimo de pesquisa sobre o tema contribuiria para a verificação dos prejuízos causados sobre a aprendizagem.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. R. O. **Conforto térmico em salas de aula localizadas em clima quente e úmido: uma avaliação do limite inferior da zona de conforto.** 2008. 177 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

ARAÚJO, V. M. D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro.** 1996. Tese de Doutorado - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55: Thermal environmental conditions for human occupancy.** Atlanta, 2010.

BITTENCOURT, L. S.; LEAL, T. A.; CÂNDIDO, C. M. Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 3, p. 59–69, 2007.

COSTA, A. M.; BARBIRATO, G. Arquitetura adaptada ao clima: análise comparativa dos centros de atenção integral à criança de Maceió. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal. **Anais...** Natal: ANTAC, 2009. p. 883 – 892.

DELIBERADOR, M. S.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Improving school building quality in the State of São Paulo, Brazil. In: 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2011, Louvain-la-Neuve. **Proceedings**. Louvain-la-Neuve: PLEA, 2011.

DE VECCHI, R.; CANDIDO, C.; LAMBERTS, R. 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**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 189-202, Dec. 2013.

FARIA, J. R. G. DE; KANEKO, P. M. Análise Térmica das salas de aula do campus da Unesp – Bauru. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.

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

FERNANDES, L. O.; ANDRADE, N. C.; LABAKI, L. C.; BERNARDI, N.; BERTOLI, S. R. Avaliação do Conforto Térmico de salas de aula de prédio escolar da Rede Pública em Campinas/SP. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela/RS. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010.

FINGER, F.; GOEDERT, G.; MELO, N. R. Avaliação das condições de conforto térmico em sala de estudos: aplicabilidade dos modelos estático e adaptativo comparados aos dados comportamentais do usuário. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2016, São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2016.

GEMELLI, C. B. **Avaliação de Conforto Térmico, Acústico e Lumínico de Edificação Escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: O caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico**. 2009. Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GIVONI, B. Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. *Atmospheric Environment*, Oxford, v.25B, n.3, 1991. p.289-199

GONÇALVES, W. B.; VALLE, R. M.; GARCIA, E. S. Estudo de índices de conforto térmico para aplicação em Belo Horizonte - MG, com base em pesquisa de população universitária. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano Sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.

GRAÇA, V. A. C. DA; KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PETRECHE, J. R. D. An evaluation

method for school building design at the preliminary phase with optimization of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 984–999, 2007.

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

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 272 p.

KRUM, C. C.; TUBELO, R. C. S.; FEDRIZZI, B. M. Avaliação da percepção dos usuários em relação ao conforto térmico e lumínico de uma sala de aula na escola de Feliz - RS. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela/RS. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010.

LAMENHA, M. de A. **A escola técnica do programa Brasil profissionalizado: um projeto padrão para diferentes zonas bioclimáticas?** 2016. 138 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

LAAN, B. V. D.; KNOP, S.; DA CUNHA, E. G.; GONÇALVES, M. R. F. Avaliação do desempenho térmico de um sistema construtivo modular simulado no projeto de reforma de uma escola pública da cidade de Pelotas, RS. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino-Americano Sobre Conforto no Ambiente Construído, 2011, Búzios/RJ. **Anais...** Búzios: ANTAC, 2011.

LABAKI, L. C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas-SP. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano Sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.

LAZZAROTTO, N. **Avaliação do conforto térmico de estudantes do ensino fundamental na cidade de Ijuí-RS**. 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

LEAL, T. D. A.; BITENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. A influência da forma do peitoril ventilado na ventilação natural de escolas no clima quente e úmido. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006. p. 494–503.

LYRA, Débora Santa Fé Monteiro. **Aplicabilidade dos Índices de Conforto Térmico: um estudo de caso em Salvador – Bahia**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

PASQUOTTO, G. B.; FONTES, M. S. G. C.; SALCEDO, R. F. B. Avaliação do conforto térmico no centro de convivência infantil (CCI) da UNESP de Bauru-SP no período de inverno. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006. p. 739–748.

PIZARRO, Paula Roberta. **Estudo das variáveis do conforto térmico e luminoso em**

ambientes escolares. 2005. 179 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, 2005.

SILVA, L. G. O. D.; NASCIMENTO, V. S.; BITTENCOURT et al. Estudo preliminar para uma escola modelo do UNICEF a ser implantada em Coribe-BA. In: XIII Encontro Nacional e IX Latino Americano de Conforto Ambiente Construído, 2015, Campinas/SP. **Anais...** Campinas: ANTAC, 2015.

SILVEIRA, A. L. R. C.; KALLAS, L. E.; RIBEIRO, S.C. Determinação de zona de conforto térmico para ambientes escolares em Teresina. In: VII Encontro Nacional Sobre Conforto no ambiente Construído e II Conferência Latino Americana Sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 2003, Curitiba/Pr. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003. p. 343-353.

STRAUB, K. W.; LEÃO, E. F. B.; KUCHEN, E.; LEÃO, M. Determinação da temperatura de neutralidade em salas de aula do ensino superior para as zonas bioclimáticas do estado de Mato Grosso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 97-109, jan./mar. 2017.

TORRES, M. G. L. **Conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com inovações tecnológicas** – estudo de multicasos no nordeste brasileiro. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Paraíba - João Pessoa/ PB, 2016.

VIANA, S. S. M. **Conforto térmico nas escolas estaduais de Presidente Prudente/SP.** 2013. 216 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2013.

VOSGERAU, D. S. R.; ROMANOWSKI, J. P. Review studies: conceptual and methodological implications. **Revista Diálogo Educacional**, [S.l.], v. 14, n. 41, p. 165-189, jul. 2014. ISSN 1981-416X. Disponível em: <<https://periodicos.pucpr.br/index.php/dialogoeducacional/article/view/2323>>. Acesso em: 24 jun. 2018. doi:<http://dx.doi.org/10.7213/rde.v14i41.2323>.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis/SC, 1999.