

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS E CONFORTO AMBIENTAL: ANÁLISE INTEGRADA DE CONFLITOS

BIOCLIMATIC STRATEGIES AND ENVIRONMENTAL COMFORT: INTEGRATED ANALYSIS OF CONFLICTS

 Ana Carolina dos Santos ¹

 João Roberto Gomes de Faria ²

¹ Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, Brasil, santoscarol2109@gmail.com

² Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, Brasil, joao.rg.faria@unesp.br

Resumo

O conforto ambiental é tido como um dos principais fatores de satisfação e produtividade em escritórios. Quando é obtido bioclimaticamente, além das vantagens relacionadas à economia de energia, resulta em espaços ambientalmente dinâmicos, o que é considerado um fator de boa qualidade do local. Usuários têm papel fundamental no manejo de controles para o estabelecimento de condições de conforto ambiental em suas salas, mas inadvertidamente, o ajuste para uma variável, como privacidade acústica, pode comprometer as condições bioclimáticas do espaço como um todo. O presente trabalho teve por objetivo analisar de forma integrada como a busca pelos usuários por melhores condições térmicas, acústicas ou luminosas isoladamente pode inviabilizar o uso de salas de escritório projetadas com estratégias de condicionamento térmico e iluminação naturais sem o emprego de ar-condicionado e de iluminação elétrica. Para isso, um estudo de caso foi realizado em salas de docentes de quatro prédios de departamentos de um campus universitário. Tais prédios contam com estratégias bioclimáticas e suas salas, de mesma morfologia, são ocupadas individualmente em sua maioria. Foi adotada na pesquisa uma abordagem mista, com avaliações quantitativas e qualitativas a partir de dados gerados, respectivamente, por simulação térmica computacional e questionários. Os resultados evidenciaram a interferência do controle do ruído, da iluminação natural e da vista externa sobre as condições térmicas e de iluminação, inviabilizando ou, no mínimo, reduzindo o uso de estratégias bioclimáticas.

Palavras-chave: Percepção térmica. Conforto ambiental. Escritórios individuais. Estratégias bioclimáticas.

Abstract

Environmental comfort is considered one of the main factors of satisfaction and productivity in offices. When it is obtained bioclimatically and the advantages related to energy saving, it results in environmentally dynamic spaces, which is considered a factor of good quality in a place. Users have a fundamental role in managing controls for the establishment of environmental comfort conditions in their rooms. However, inadvertently, the adjustment for a variable, such as acoustic privacy, can compromise the bioclimatic conditions of the space as a whole. The purpose of this present work was to analyze in an integrated way how users' search for better thermal, acoustical or lighting conditions separately can make the use of office rooms designed with strategies of natural thermal conditioning and daylighting, without air conditioning and electric lighting. A case study was carried out in the teaching rooms of four department buildings on a university campus. Such buildings have bioclimatic strategies and their rooms, with the same morphology, are mostly individually occupied. A mixed approach was adopted in the research, with quantitative and qualitative evaluations with data generated by computer thermal simulation and questionnaires. The results highlighted the interference of controlling noise, natural lighting and external view on thermal and lighting conditions, making it impossible or, at least, reducing the use of bioclimatic strategies.

Keywords: Thermal perception. Environmental comfort. Individual office rooms. Bioclimatic strategies.

Contribuição dos autores:

ACS: conceituação, análise formal, investigação, metodologia, visualização, escrita – rascunho originalidade, escrita – revisão e edição. **JRGF:** conceituação, análise formal, metodologia, supervisão, visualização, escrita – rascunho originalidade, escrita – revisão e edição.

Fomento: Não houve fomento

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editor Responsável:

Vanessa Gomes da Silva 

How to cite this article:

SANTOS, A. C. dos; FARIA, J. R. G. de. Estratégias bioclimáticas e conforto ambiental: análise integrada de conflitos. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, p. e021021, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v12i00.5656664>

Submitted 16.09.2019 – Approved 26.07.2021 – Published 06.08.2021

e021021-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 12, p. e021021, 2021, ISSN 1980-6809



Introdução

As condições ambientais do local de trabalho (iluminação, acústica e conforto térmico) afetam a satisfação dos ocupantes, a qual, por sua vez, é diretamente relacionada com sua produtividade (VISCHER, 2003). Quando são obtidas bioclimaticamente, além das vantagens relacionadas à economia de energia elas geram espaços ambientalmente dinâmicos, o que é considerado um fator de boa qualidade do local (DE DEAR, 2011).

Os usuários têm papel fundamental no ajuste dos sistemas que visam estabelecer condições de conforto de suas salas. No entanto, em se tratando de ambientes naturalmente ventilados ou mistos, com estratégias bioclimáticas de condicionamento, o acionamento de dispositivos como janelas e persianas para resolver determinada situação de desconforto, como falta de privacidade visual, pode levar a outros tipos de desconforto, como privação da vista externa, da iluminação natural ou da ventilação. Esse aspecto não é abordado nas pesquisas sobre qualidade do ambiente interno (*indoor environmental quality – IEQ*): em geral, elas procuram definir faixas de valores dos parâmetros ambientais associados à maior produtividade ou satisfação dos trabalhadores (AL HERR et al., 2016).

O presente trabalho teve por objetivo analisar de forma integrada como a operação de controles de aberturas pelos usuários na busca de conforto ambiental pode inviabilizar o uso de salas de escritório originalmente concebidas com estratégias para uso de condicionamento térmico e iluminação naturais sem o emprego de ar-condicionado e iluminação elétrica. Para tanto, foi realizado um estudo de caso envolvendo docentes e suas salas em prédios de departamentos de uma faculdade. A abordagem integrou resultados de simulação computacional e tratamento estatístico de respostas de um questionário aplicado a uma amostra dos professores para gerar dados, os quais foram analisados conjuntamente com parâmetros arquitetônicos das salas e à luz da bibliografia especializada.

Referencial teórico

A satisfação com o ambiente de trabalho envolve a relação entre uma série de grupos de variáveis, dentre os quais os de conforto fisiológico (variáveis ambientais) e o de conforto psicológico (como privacidade, apropriação e senso de pertencimento) (VISCHER, 2008).

O método adaptativo, presente na norma ANSI/ASHRAE 55: *Thermal environmental conditions for human occupancy* (ANSI/ASHRAE, 2020) tem se mostrado o mais indicado para análises de desempenho térmico de espaços naturalmente ventilados, dada a sua condição termicamente dinâmica (PARKINSON; DE DEAR; BRAGER, 2020). Ele pressupõe a resposta do organismo a estímulos derivados de variações temporais das condições térmicas, ou alestesia (DE DEAR, 2011), dentro de certos limites. Tal conceito condiz com o da expressividade térmica, ou seja, a preferência por condições térmicas variáveis e distintas das de neutralidade térmica (HESCHONG, 1979), a qual ocorre em ambientes naturalmente ventilados, por conta da dinâmica natural da variação da velocidade dos ventos e da marcha diurna da temperatura do ar. Segundo esse modelo, o usuário tem papel ativo na busca do conforto térmico (NICOL; HUMPHREYS; ROAF, 2012).

Da mesma forma, a iluminação natural é atualmente valorizada como promotora de saúde e bem-estar (PRICE et al., 2019). A satisfação com o ambiente luminoso incorpora também fatores não luminotécnicos, como o prazer da visão da paisagem externa, que alteram a percepção da luz e a tolerância ao desconforto por ofuscamento (ARIES; VEITCH; NEWSHAM, 2010) e melhoram a produtividade (SHISHEGAR; BOUBEKRI, 2016).

A iluminação natural deixa de ser avaliada somente por métricas da iluminação elétrica e passa a ser avaliada segundo novas métricas (IES DAYLIGHT METRICS COMMITTEE, 2012), as quais não mais incluem valores fixos de iluminância como em análises de iluminação artificial, mas faixas relativamente amplas daquela grandeza para contemplar a variabilidade da luz do dia na qual a visão se adapta confortavelmente (NABIL; MARDALJEVIC, 2005).

Privacidade pode ser entendida como o controle do acesso a si e a outras pessoas. Envolve a privacidade de conversação (conversar sem ser ouvido por terceiros e não ouvir conversas de terceiros), a privacidade auditiva ou acústica (contra sons intrusivos), a privacidade visual (desenvolver as atividades sem ser observado) e a privacidade territorial (controle do acesso à área de trabalho), que envolvem o ambiente físico, e a privacidade informacional (controle das informações a serem divulgadas e recebidas) (ANJUM; ASHCROFT; PAUL, 2004). A falta de privacidade acústica (que inclui a privacidade de conversação) induz o trabalhador a distrações, falta de concentração e excesso de esforço na realização das tarefas (VEITCH, 2011). Em geral, níveis de ruído que ultrapassam 45 dB em ambientes são associados à baixa satisfação com a acústica e a intolerância é maior a ruídos de alta frequência (NAVAI; VEITCH, 2003). No entanto, a exemplo da expressividade térmica, alguns sons, como de água em movimento e de pássaros, tornam o ambiente mais agradável (BROWN, 2011). Dessa forma, o contato acústico da sala com o exterior é benéfico na ausência de ruídos perturbadores vindos de fora.

O julgamento sobre o ambiente e o controle sobre ele alteram a sensação de carga de trabalho de maneira inversa: em princípio, quanto maior satisfação com o local de trabalho e a possibilidade de controlá-lo, menor a tensão sentida pelo trabalhador (LAURENCE; FRIED; SLOWIK, 2013). Dentre os fatores comportamentais que levam à satisfação com o ambiente de trabalho, a personalização aparece com grande frequência (WELLS; THELEN, 2002).

A atuação do usuário sobre elementos de controle ambiental é essencial para restabelecer o conforto. Os casos mais comuns são a operação de janelas ou persianas, da iluminação elétrica e do ar-condicionado. O'Brien, Kapsis e Athienitis (2013) observam, a partir de uma revisão bibliográfica, que a maioria dos ocupantes de escritórios opera suas cortinas apenas semanal ou mensalmente, com base na intensidade da radiação solar a longo prazo e nas tendências da geometria solar, e o fazem para melhorar as condições visuais, não as térmicas; além disso, eles são menos cuidadosos com os dispositivos de sombreamento quando o escritório é condicionado artificialmente. Essas observações contradizem o modelo de Reinhart (2004), segundo o qual o usuário opera racionalmente persianas em função da necessidade ou excesso de luz do dia.

Dessa forma, a busca pelo conforto ambiental em edifícios naturalmente ventilados envolve não somente os elementos estáticos presentes no projeto do prédio ou no seu entorno, mas também controles de dispositivos pelo usuário do espaço para adequar as alterações temporais das variáveis envolvidas às suas necessidades.

Método

A abordagem deste trabalho foi experimental e exploratória a partir de um estudo de caso. Foi realizada uma avaliação qualitativa integrada de interferências em diversas variáveis quando do ajuste de elementos de controle ambiental presentes nas salas de professores em quatro prédios de departamentos da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design (FAAC) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Bauru (SP). Os dados foram obtidos pela aplicação de um questionário aos professores

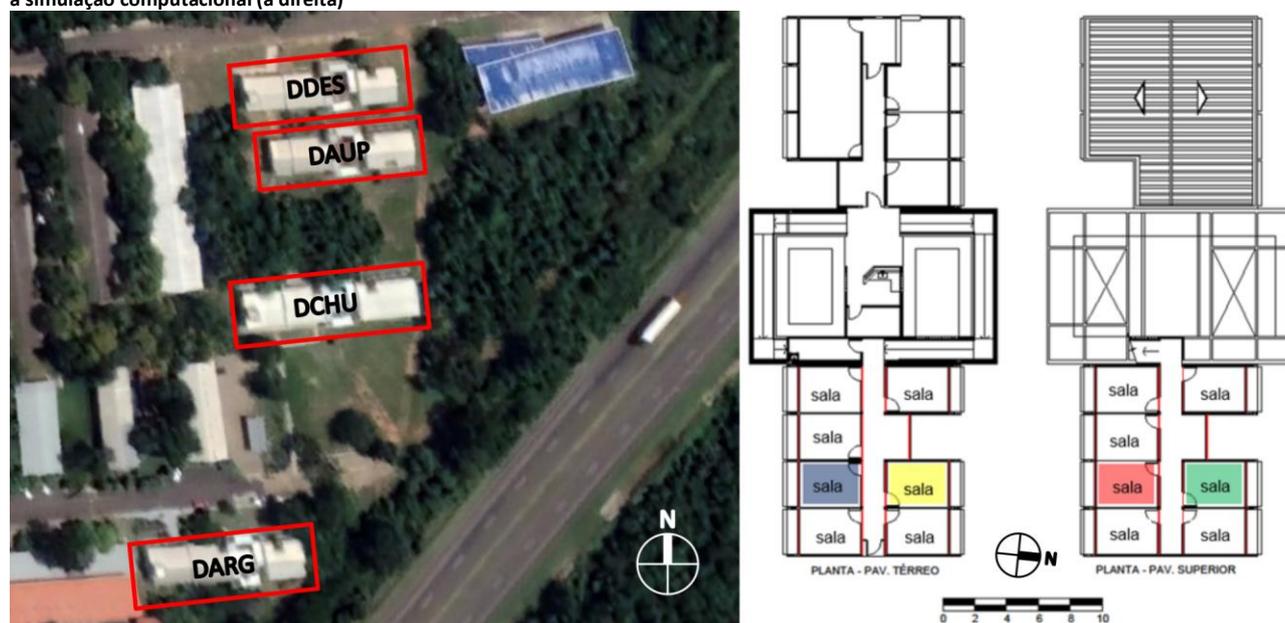
dos departamentos^[1], cujas respostas foram comparadas entre si e com valores gerados por uma simulação de desempenho térmico das salas.

Caracterização do caso estudado

Os prédios, inaugurados a partir de 2011, possuem a mesma tipologia arquitetônica e sistema construtivo: estrutura e lajes no teto e no piso em concreto armado, fechamentos externos em alvenaria de blocos de concreto e internos em *dry-wall* sobre estrutura de *steel frame*. A implantação também é a mesma, mas os prédios possuem diferentes condições do entorno (Figura 1 à esquerda). Os prédios dos departamentos de Design (DDES) e de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo (DAUP) apresentam uma fachada frente a frente, com afastamento de 10 m, enquanto os demais ficam isolados. Os prédios do DDES e do Departamento de Artes e Representação Gráfica (DARG) apresentam uma fachada voltada para uma via local do campus e o segundo fica próximo a uma rodovia. Finalmente, o Departamento de Ciências Humanas (DCHU) apresenta a fachada NNE parcialmente defronte a uma massa de vegetação arbórea remanescente de cerrado, com espécies de altura igual ou superior à do prédio.

Cada prédio é composto por três blocos: administração, circulação central e salas de docentes (Figura 1 à direita). Como as implantações são em terrenos com declives, a administração, térrea, ocupa a porção mais elevada, e a circulação central contém uma rampa que sobe meio pavimento e outra que desce meio pavimento, levando aos dois pavimentos das salas de professores (Figura 2).

Figura 1 – Localização dos departamentos dentro do Campus Universitário (à esquerda); planta baixa do DDES, destacando as salas escolhidas para a simulação computacional (à direita)



Fonte: os autores, sobre base do Google Earth (esquerda); os autores (direita).

Figura 2 – Fachadas-tipo do bloco de salas de professores do prédio do DDES: NNO (esquerda) e SSE (direita). Em segundo plano, o bloco de circulação (ambas as fotos)



Fonte: os autores.

As salas dos docentes, ambientes estudados na presente pesquisa, são modulares, com 3,85 x 2,95 x 2,95 m (C x L x A), e implantadas simetricamente em relação a um corredor central. Possuem acabamento interno padrão branco neve fosco nas paredes e no teto, piso em granilite cinza claro, caixilhos das janelas e porta azuis e detalhes de vigas e pilares cinza claro. Foram projetadas com estratégias bioclimáticas para o melhor aproveitamento da ventilação e da iluminação natural: janelas basculantes situadas em paredes opostas e aberturas para o exterior no corredor permitem a ventilação cruzada mesmo com a porta da sala fechada (Figura 3 à esquerda e ao centro), e a janela externa é recuada em relação à fachada, com a moldura servindo de elementos de sombreamento, e bipartida horizontalmente por uma prateleira de luz (Figura 3 à direita). Esses blocos apresentam um módulo vazio para iluminação e ventilação do corredor, em posições distintas (Figura 1 à direita). Apesar das estratégias bioclimáticas, todas as salas contam com equipamento individual de ar refrigerado do tipo *split*.

Figura 3 – Vista interna de uma sala, destacando a janela interna (à esquerda) e a janela externa (ao centro), e detalhe dos elementos de sombreamento e da prateleira de luz da janela externa (à direita)

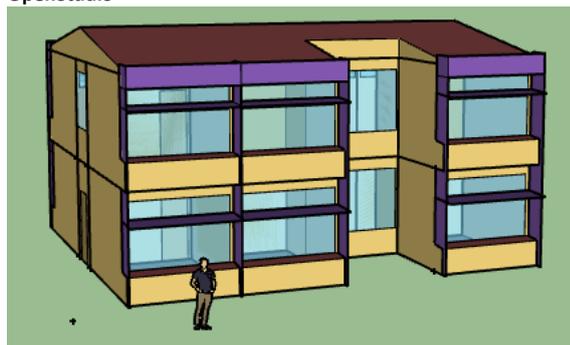


Fonte: os autores.

Simulação térmica

A modelagem para a simulação térmica foi realizada a partir da extensão OpenStudio (GUGLIELMETTI; MACUMBER; LONG, 2011) para o modelador tridimensional SketchUp. A simulação propriamente dita foi feita pelo programa EnergyPlus (CRAWLEY et al., 2001). Foi modelada somente a parte do edifício referente aos blocos de salas dos departamentos (Figura 4). Ressalta-se aqui a grande simplificação do OpenStudio/EnergyPlus: os obstáculos externos inseridos no modelo tridimensional são simples planos opacos, independentemente do que eles representem (como árvores ou outra edificação). O programa não possui meios de inserção de informações mais específicas desses objetos (p. ex. transparência, alterações ao longo do ano e propriedades térmicas superficiais).

Figura 4 – Modelo tridimensional do bloco de salas de professores da edificação modelado no SketchUp com o OpenStudio



Fonte: os autores.

Foram definidas zonas térmicas para cada sala, assim como para os corredores e o ático da cobertura, com o objetivo de obter maior precisão para os cálculos de transferência de calor e melhor detalhamento dos resultados. As características físicas dos materiais construtivos utilizados para a simulação foram obtidas nos trabalhos de Ordenes *et al.* (2003) e Weber *et al.* (2017), e na NBR 15220-2: *Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações* (ABNT, 2008). Para as cargas internas foram considerados os usuários, o sistema de iluminação e o computador. A carga térmica referente à iluminação e ao uso dos equipamentos eletrônicos ficou condicionada aos mesmos horários de uso das salas pelos docentes, considerando-se os períodos da manhã (8 às 12 h), tarde (14 às 18 h) e noite (19 às 23 h). A abertura das janelas deveria ocorrer quando a temperatura operativa nas zonas térmicas fosse superior a 23 °C e igual ou superior a temperatura de bulbo seco do ambiente externo (SEPPANEN; FISK, 2006). Foi empregado o arquivo climático de ano típico de referência (*Test Reference Year – TRY*) para a cidade de Bauru disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>). Consideraram-se os resultados relativos aos períodos de trabalho ao longo do ano todo, exceto os dos meses de janeiro e julho. Os resultados foram agrupados em período quente, correspondente aos meses de novembro, dezembro, fevereiro e março, e período frio, correspondente aos meses de maio, junho, agosto e setembro, nos períodos da manhã, tarde e noite, conforme definidos anteriormente.

Os dados gerados pelas simulações foram analisados a partir do método adaptativo da ANSI/ASHRAE 55. Os valores de graus-hora de desconforto e as horas de conforto e de desconforto térmico por frio e por calor foram calculados a partir dos limites de conforto estabelecidos pela norma e as últimas foram expressas em fração de tempo dos períodos considerados na análise.

Participantes

Foram considerados potenciais participantes na pesquisa para responder ao questionário a totalidade dos docentes dos quatro departamentos. Conforme a Tabela 1, a amostra de participantes, ou seja, de docentes que responderam ao questionário, foi composta por 48 pessoas, todos com titulação mínima de doutor.

Estrutura e aplicação do questionário

O questionário teve por finalidade levantar informações que permitissem caracterizar o estado de satisfação do participante com o ambiente físico de sua sala ao longo do ano em relação a uma série de parâmetros apontados pela bibliografia especializada. Sua

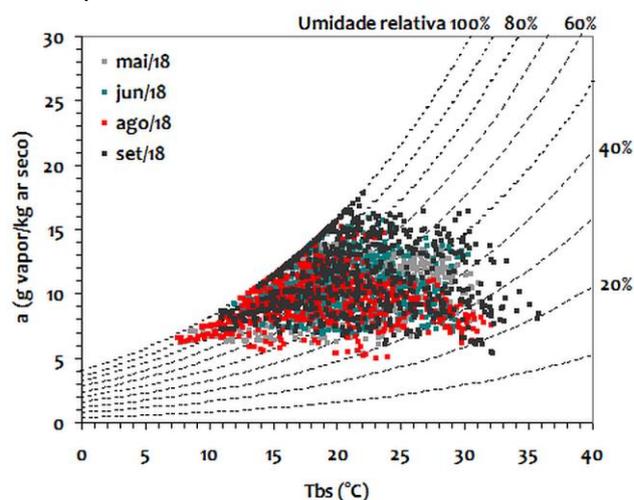
aplicação foi feita inicialmente *online* em maio e junho de 2018 e complementada por distribuição de exemplar físico aos participantes e posterior recolhimento nos meses de agosto e setembro do mesmo ano. O período de aplicação foi marcado por grande variabilidade de temperaturas e umidades relativas do ar (Figura 5), sendo que agosto apresentou temperaturas extremas mínima de 7,5 °C e máxima de 31,5 °C. Deve-se ressaltar que, embora o questionário tenha sido aplicado num único período, as informações coletadas se referiam ao ano todo; assim, a variabilidade térmica, acima citada, poderia influenciar as respostas de questões relacionadas à sensação térmica.

Tabela 1 – Perfil da amostra de participantes

Departamento	Docentes		Gênero		Faixa etária (anos)						
	Total	Participantes	M	F	31 a 35	36 a 40	41 a 45	46 a 50	51 a 55	56 a 60	61 a 65
DDES	10	9	6	3	1	0	0	2	5	1	0
DAUP	16	16	9	7	0	0	1	3	6	3	3
DCHU	19	11	7	4	0	2	0	2	2	3	2
DARG	16	12	4	8	0	0	1	4	2	1	4
Total	61	48	26	22	1	2	2	11	15	8	9

Fonte: os autores.

Figura 5 – Distribuição de temperatura e umidade relativa do ar horárias em Bauru durante o período do levantamento de dados



Fonte: os autores, a partir de dados do Centro de Meteorologia da UNESP (IPMet)

O questionário não possuía identificação dos participantes e a maioria das questões era fechada, com respostas de múltipla escolha. Tomou-se por base a escala de quatro pontos da norma internacional ISO 10551 – *Ergonomics of the thermal environment – assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales* (ISO, 2001): a) confortável; b) um pouco desconfortável; c) desconfortável; d) muito desconfortável. Adaptações foram feitas de acordo com a questão abordada, mantendo uma escala compatível de quatro pontos e a mesma ordem de avaliação (da resposta mais positiva para a menos positiva). Questões dissertativas abertas foram inseridas quando necessário para complementar e auxiliar a interpretação das respostas das questões fechadas. Era formado por seis seções:

- Seção 1 – informações gerais: departamento de vinculação do participante, pavimento e orientação da fachada da sala que ocupa, se a ocupação é individual ou compartilhada, e período típico de ocupação;
- Seções 2 a 4 – percepção das variáveis ambientais (calor, som e luz) e ações adotadas para restabelecer a situação de conforto;

- Seção 5 – percepção de variáveis afetivas (nível de satisfação do docente com seu ambiente de trabalho);
- Seção 6 – dados pessoais (faixa etária e gênero).

Algumas respostas das partes 2 a 4, como sensação térmica e uso de ar-condicionado, são discretas por período de trabalho (manhã, tarde e noite) e por época do ano, períodos quente e frio; a sensação frente à iluminação natural foi verificada por período do dia, enquanto a sensação frente ao ruído é anual, por conta da forma de variação das variáveis implicadas (por períodos do dia, do ano ou aproximadamente constante, respectivamente).

Tratamento dos dados da pesquisa

A verificação de consistência ou confiabilidade interna das questões com respostas fechadas do questionário foi realizada com o indicador *alfa de Cronbach* para variáveis ordinais e o *kapa de Kuder-Richardson (KR-20)* para variáveis dicotômicas (BOLARINWA, 2015), sendo adotados, para ambos os casos, os limites de classificação propostos por Landis e Koch (1977). Posteriormente, identificaram-se as correlações pelo menos moderadas ($0,40 \leq \text{valor absoluto de } r_s \text{ de Spearman} < 0,70$) (SCHOBER; BOER; SCHWARTE, 2018) entre as variáveis estudadas que pudessem apresentar relações de causa-efeito, além de estatísticas descritivas. Associações entre variáveis (p. ex. uso/não uso do ar-condicionado x conforto/desconforto térmico) foram testadas através de tabelas de contingência com o índice V de Cramer (HAMMER, 2015)^[2].

Considerando-se as imprecisões de julgamento envolvidas na prospecção da percepção ambiental ao longo do ano, a sensação dos participantes frente ao calor, à iluminação natural ou ao ruído foi considerada *confortável* caso as respostas fossem *confortável* OU *pouco desconfortável* e *desconfortável* caso elas fossem *desconfortável* OU *muito desconfortável*. O participante encontrava-se em *conforto ambiental* quando as condições de *conforto térmico* E *em relação à iluminação natural* E *em relação ao ruído* fossem atendidas, e em *desconforto ambiental* caso contrário. Soluções análogas foram adotadas para a avaliação de outras variáveis (p. ex. *janela totalmente aberta* OU *parcialmente aberta = aberta*).

As comparações de tipos de respostas diferentes (como graus-hora e horas de desconforto térmico em relação à frequência de respostas dos participantes por tipo de sensação térmica) serviram para verificar a coerência de tendências dos dois tipos de dados, mas não para a obtenção de valores absolutos.

Resultados e discussão

A avaliação de confiabilidade interna do questionário foi no mínimo moderada (Quadro 1), o que significa, no geral, que as respostas dos participantes foram coerentes entre si.

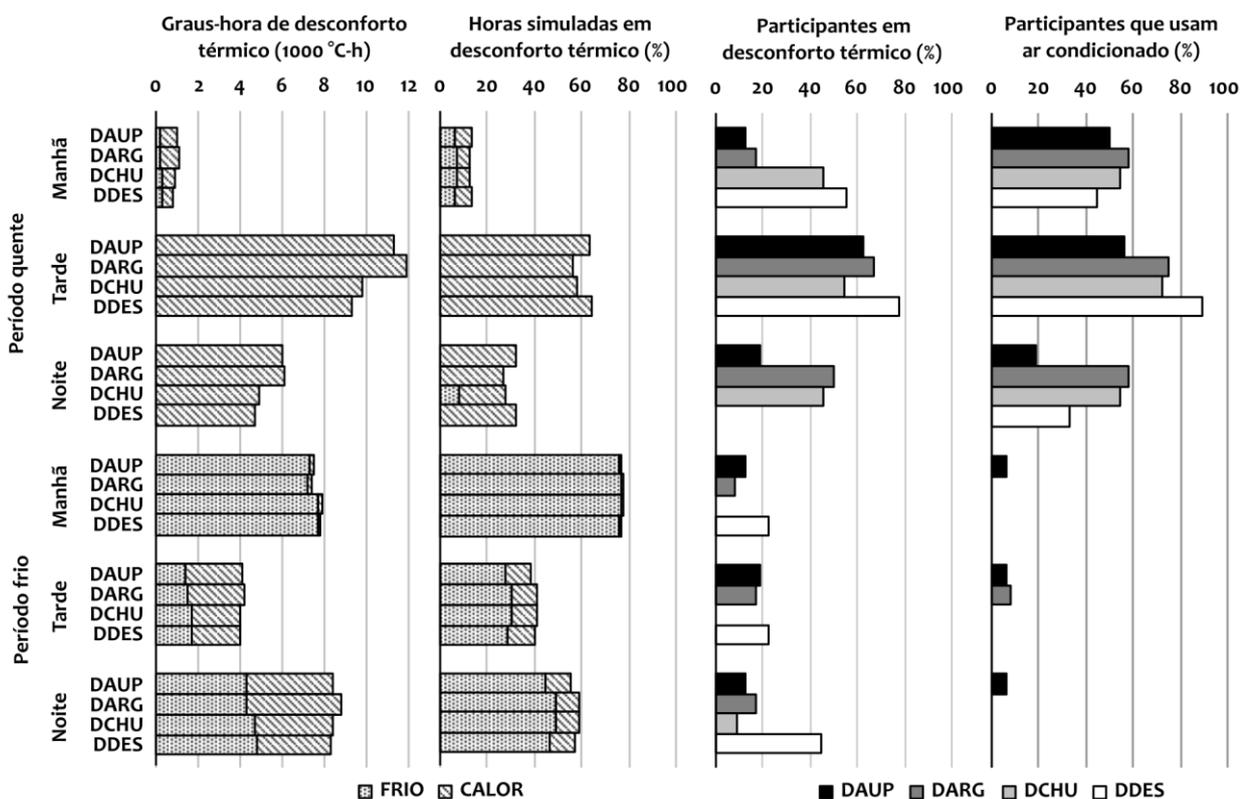
Verifica-se que a percepção térmica dos participantes foi consistente apesar da variação dos dados meteorológicos verificados no período do levantamento (Figura 6). Embora não tenha havido correspondências com significado estatístico, as tendências de percentuais de desconforto térmico e de uso de ar-condicionado acompanharam as distribuições de graus-hora e de horas de desconforto. As exceções foram as manhãs do período quente, quando o uso do ar-condicionado foi desproporcional ao desconforto térmico por calor. A explicação pode estar nos ajustes de controle para o dia todo, ou seja, como o ar-condicionado seria usado ao longo do dia no período quente, então ele era ligado logo pela manhã (GALASIU; VEITCH, 2006).

Quadro 1 – Verificação da confiabilidade interna do questionário

Seção do questionário	Indicador de confiabilidade	Valor	Avaliação
Sensação térmica (manhã/tarde/noite) – verão	alfa de Cronbach	0,61	Substancial
Uso de ar-condicionado (manhã/tarde/noite) – verão	alfa de Cronbach	0,79	Substancial
Sensação térmica (manhã/tarde/noite) – inverno	alfa de Cronbach	0,88	Quase perfeita
Uso de ar-condicionado (manhã/tarde/noite) – inverno	alfa de Cronbach	0,86	Quase perfeita
Atitude em relação ao ruído (fechar portas/janelas)	kapa de KR-20	0,45	Moderada
Operação de janelas externas (manhã/tarde/noite)	alfa de Cronbach	0,79	Substancial
Operação de janelas do corredor (manhã/tarde/noite)	alfa de Cronbach	0,97	Quase perfeita
Sensação luminosa (manhã/tarde)	alfa de Cronbach	0,77	Substancial
Ações para corrigir luminosidade (manhã/tarde)	kapa de KR-20	-0,40	Moderada

Fonte: os autores.

Figura 6 – Distribuições por período do dia e por época do ano de graus-hora e de horas em desconforto térmico simuladas e das respostas do questionário de participantes com sensações de desconforto térmico e que usam o ar-condicionado



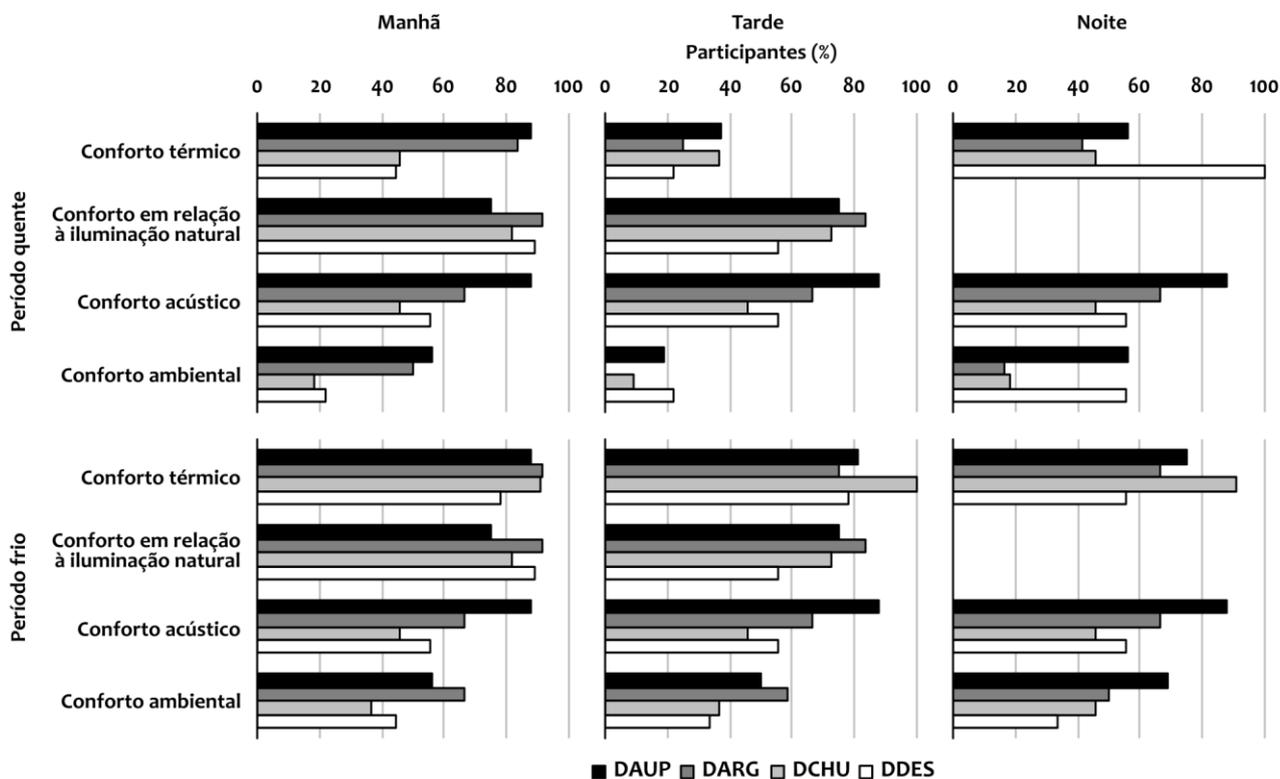
Fonte: os autores.

Os participantes apresentaram baixas frequências de conforto térmico sob condições naturais no período quente vespertino em relação às frequências de conforto para a iluminação natural e ao ruído, sendo aquela variável, portanto, determinante para o conforto ambiental (Figura 7). No período frio a necessidade de ventilação é reduzida e a frequência de participantes em conforto térmico aumenta.

O entorno condiciona a percepção das variáveis nos prédios: mais aberto e exposto ao pavimento de uma via vizinha, o DDES apresenta as menores frequências de conforto térmico e em relação à iluminação natural no período vespertino quente; a luz natural filtrada pela vegetação ao redor das salas do DCHU lhe conferem as maiores frequências de conforto em relação à iluminação natural; o maior distanciamento do DAUP em relação ao tráfego de veículos, inclusive de estacionamentos, resulta na maior frequência de conforto acústico, e, pelo contrário, o DARG tem a menor frequência dessa variável pela proximidade da rodovia. No período frio, a frequência de conforto ambiental é maior pela possibilidade de manter as janelas fechadas o dia todo, o que

confere às salas condições de conforto térmico e acústico, mantendo a iluminação natural.

Figura 7 – Distribuição das respostas condicionantes do conforto ambiental dos participantes por departamento e por períodos do dia e do ano



Nota: As variáveis cujos valores se repetem em períodos do dia ou do ano não foram levantadas separadamente nesses períodos. Fonte: os autores.

Não houve associações ou correlações de variáveis do perfil da amostra (*faixa etária e gênero*), afetivas (*satisfação com o ambiente de trabalho e personalização da sala*), e informativas (*ocupação individual ou compartilhada e período típico de ocupação da sala*) em relação a conforto ou desconforto ambiental e às demais variáveis estudadas; assim, elas foram descartadas das análises posteriores.

Embora o ar-condicionado tenha sido usado predominantemente por participantes em desconforto térmico sob ventilação natural (52%), não houve associação estatisticamente significativa entre as variáveis (baixa associação, $V = 0,21$; $p = 0,13$). Entretanto, houve associação moderada do uso do ar-condicionado nesse contexto com o pavimento superior dos prédios ($V = 0,31$; $p < 0,05$) e com a fachada NNO ($V = 0,30$; $p < 0,05$), indicando assimetria horizontal e vertical no desempenho térmico dos prédios.

Não foram encontradas correlações com causa-efeito pelo menos moderadas envolvendo diretamente os principais indicadores de conforto ambiental: conforto térmico, frente ao ruído e em relação à iluminação. Assim, o efeito das ações dos usuários nos controles das salas sobre o conforto ambiental foi estudado de forma indireta a partir das correlações do Quadro 2.

Quadro 2 – Correlações selecionadas com possibilidade de causa-efeito

Nº	Variáveis (questões)	r_s	p
1	Uso do ar-condicionado de manhã no verão x uso do ar-condicionado à tarde no verão	0,74	***
2	Posição da janela externa de manhã x posição da janela externa à tarde	0,82	***
3	Posição da janela externa de manhã x posição da janela externa à noite	0,53	***
4	Posição da janela externa de tarde x posição da janela externa à noite	0,62	***
5	Posição da janela externa de manhã x posição da persiana	0,54	***
6	Posição da janela externa à tarde x posição da persiana	0,43	**
7	Posição da janela do corredor de manhã x posição da janela do corredor à tarde	1,00	***
8	Posição da janela do corredor de manhã x posição da janela do corredor à noite	1,00	***
9	Posição da janela do corredor à tarde x posição da janela do corredor à noite	1,00	***
10	Sensação em relação à iluminação natural de manhã x sensação em relação à iluminação natural à tarde	0,63	***
11	Uso de iluminação artificial x fechamento da persiana	0,84	***
12	Fechamento da persiana x gosta da vista externa	-0,64	***
13	Sensação frente ao ruído x posição da janela do corredor de manhã	0,56	**
14	Sensação frente ao ruído x posição da janela do corredor à tarde	0,59	**
15	Sensação frente ao ruído x posição da janela do corredor à noite	0,56	**

Nota: ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Fonte: os autores.

Correlações

Seguem detalhes e possíveis explicações para essas correlações.

As correlações entre controles ambientais em períodos diversos (nºs 1 a 4 e 7 a 9), algumas com valores bastante elevados, corroboram as observações de O'Brien, Kapsis e Athienitis (2013): as aberturas ou seus controles tendem a ficar em posições ajustadas em algum período anterior. Isso se aplica particularmente às janelas do corredor, as quais praticamente nunca são abertas (73% das respostas). Importante ressaltar que na correlação nº 1 o uso do ar-condicionado de manhã implica também em seu uso à tarde, mas o inverso não é necessariamente verdadeiro.

As correlações entre o fechamento das janelas do corredor e o desconforto frente ao ruído (nºs 13 a 15) indicam a proveniência de ruído do corredor ou problemas com privacidade acústica em relação ao interior do próprio prédio; analogamente, o fechamento da porta foi indicado como solução recorrente para o problema do ruído (58% das respostas). O conforto acústico é determinante para o conforto ambiental quando o trabalho é predominantemente intelectual (YANG; MOON, 2019); assim, ao se fechar a janela para isolar acusticamente a sala, mantém-se a luz natural, mas a ventilação é perdida.

As janelas devem ser fechadas quando as persianas o são, para evitar ruídos destas provocadas pelo movimento do ar (nºs 5 e 6). Assim, o controle da luminosidade proveniente da luz do dia ou da privacidade visual, pelo fechamento da persiana, tem consequência indireta na ventilação natural da sala.

A preferência pela iluminação natural independe do período do dia (nº 10) e é predominante entre os participantes (85% de manhã e 74% à tarde). Esse resultado está de acordo com o do estudo realizado nos mesmos prédios por Faria, Inskava e Planitzer (2017): a distribuição da iluminância horizontal natural nas salas apresenta boa qualidade, com Exposição Anual à Luz do Sol (Annual Sunlight Exposure – ASE1000,250h) nula e (Spatial Daylight Availability – sDA300,50%) de “nominalmente aceitável” a “suficiência preferencial de luz do dia” (IES DAYLIGHT METRICS COMMITTEE, 2012), além de valores de Probabilidade de Ofuscamento por Luz do Dia (Daylight Glare Probability – DGP) na faixa de “ofuscamento imperceptível” (WIENOLD; CHRISTOFFERSEN, 2006).

Por outro lado, aqueles autores demonstraram também que a iluminação natural das salas apresenta uma componente horizontal direcional bastante elevada, prejudicial à modelagem tridimensional e potencialmente causadora de desconforto visual, segundo

os parâmetros da norma DIN EN 12464-1: lighting of work places – part 1: indoor work places (LICHT.DE, 2012). Ainda segundo os autores, o fechamento da persiana em conjunto com a iluminação artificial (nº 11) resulta num melhor balanceamento entre as iluminâncias horizontal e vertical, melhorando a qualidade da iluminação. Ressalta-se que, nesse caso, como visto nas correlações nºs 5 e 6, a janela também acaba por ser fechada.

As correlações nºs 11 e 12 indicam indiretamente a associação negativa entre iluminação artificial e gosto pela vista externa, ou seja, o usuário da sala fecha a persiana e aciona a iluminação elétrica quando a vista externa é desagradável. Nas respostas abertas da questão sobre o que o participante não gostava da sala, verificou-se que “vista externa desagradável” também incluía situações nas quais o ocupante da sala podia ser observado a partir do exterior, ou seja, a falta de privacidade visual.

As associações e correlações encontradas na pesquisa foram sujeitas à limitação da aplicação assíncrona do questionário: as respostas dos participantes foram relativas a suas lembranças de percepção sobre a ambiência da sala e comportamentos frente a diferentes contextos ambientais, e não exatamente à percepção sobre a sala e sobre seu comportamento associado a uma determinada condição ambiental.

Conclusão

No presente trabalho estudou-se como variáveis de fatores ambientais de determinada natureza interferem nas condições de conforto de natureza diversa, comprometendo o desempenho de estratégias bioclimáticas de um edifício.

Nos edifícios estudados predominam atividades intelectuais, que demandam concentração. Assim, a privacidade acústica é uma das variáveis de maior peso no conforto ambiental. As atividades envolvem também esforço visual, o que exige iluminação de qualidade.

Os resultados mostraram que, no contexto exposto, o controle do calor excessivo leva diretamente ao uso do ar-condicionado. Entretanto, o controle do ruído, da qualidade da iluminação natural e da vista externa provocam reações diretas ou em cadeia que prejudicam o desempenho bioclimático da sala como um todo.

Diferentemente do apontado da bibliografia, o estudo não detectou interferência de variáveis não ambientais, como as afetivas e as relacionadas ao perfil da amostra de participantes, nas frequências de conforto ou desconforto térmico, acústico ou em relação à iluminação natural, e em ações de controle dos dispositivos das salas (ar-condicionado, aberturas e persianas).

Assim, a principal contribuição do presente trabalho foi mostrar a necessidade da análise integrada das variáveis envolvidas no desempenho ambiental de um prédio e, conseqüentemente, no conforto ambiental de seus usuários, uma vez que elas são interdependentes. Essa abordagem é fundamental no sucesso de estratégias bioclimáticas adotadas por ocasião do projeto da edificação e pela conseqüente qualidade ambiental.

Notas

[1] O projeto da presente pesquisa, incluindo o TCLE e o questionário, foi aprovado pelo Comitê de Ética da FAAC (CAAE nº. 80347617.5.0000.5663).

[2] Os testes estatísticos foram realizados no programa computacional PAST – *PAleontological STatistics* (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001), disponível gratuitamente em

<https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/index.html>. Os resultados dos testes foram considerados estatisticamente relevantes para o nível de confiança de 95% ($p < 0,05$).

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – parte 2: método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2008.

AL HORR, Y. *et al.* Occupant productivity and office indoor environment quality: a review of the literature. **Building and Environment**, v. 105, p. 369–389, 15 ago. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.001>.

ANJUM, N.; ASHCROFT, R.; PAUL, J. Privacy in the workplace design. **The Design Journal**, v. 7, n. 1, p. 27–42, mar. 2004. DOI: <https://doi.org/10.2752/146069204789355236>.

ANSI/ASHRAE – AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE/AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2020. Disponível em: <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>. Acesso em: 1 dez. 2020.

ARIES, M. B. C.; VEITCH, J. A.; NEWSHAM, G. R. Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. **Journal of Environmental Psychology**, v. 30, n. 4, p. 533–541, dez. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.12.004>.

BOLARINWA, O. Principles and methods of validity and reliability testing of questionnaires used in social and health science researches. **Nigerian Postgraduate Medical Journal**, v. 22, n. 4, p. 7, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4103/1117-1936.173959>.

BROWN, A. L. Advancing the concepts of soundscapes and soundscape planning. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN ACOUSTICAL SOCIETY, 2011, Gold Coast. **Proceedings [...]**. Gold Coast, Australia: Australian Acoustical Society, 2011. p. 298–305.

CRAWLEY, D. B. *et al.* EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. **Energy and Buildings**, Special Issue: BUILDING SIMULATION'99. v. 33, n. 4, p. 319–331, 1 abr. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6).

DE DEAR, R. Revisiting an old hypothesis of human thermal perception: alliesthesia. **Building Research & Information**, v. 39, n. 2, p. 108–117, abr. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/09613218.2011.552269>.

FARIA, J. R. G.; INSKAVA, A. Y.; PLANITZER, S. T. Lighting preferences in individual offices. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 39–53, mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000100122>.

GALASIU, A. D.; VEITCH, J. A. Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 728–742, jul. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.001>.

GUGLIELMETTI, R.; MACUMBER, D.; LONG, N. OpenStudio: an open source integrated analysis platform. In: BUILDING SIMULATION 2011, Sydney. **Proceedings [...]**. Sydney: IBPSA, 2011.

HAMMER, Ø. **PAST: PALEontological STatistics version 4.06: reference manual**. Manual. Oslo: Natural History Museum, University of Oslo, 2021. Disponível em: <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/downloads/past4manual.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2011.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.

HESCHONG, L. **Thermal delight in architecture**. Cambridge, MA: MIT Press, 1979.

IES DAYLIGHT METRICS COMMITTEE. **Approved method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. Method, n. LM-83-12. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2012.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551**: Ergonomics of the thermal environment: assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Brussels, 2001.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. DOI: <https://doi.org/10.2307/2529310>.

LAURENCE, G. A.; FRIED, Y.; SLOWIK, L. H. "My space": A moderated mediation model of the effect of architectural and experienced privacy and workspace personalization on emotional exhaustion at work. **Journal of Environmental Psychology**, v. 36, p. 144-152, 1 dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.07.011>.

LICHT.DE. **Guide to DIN EN 12464-1: lighting of work places - Part 1: indoor work places**. 2. ed. Frankfurt: Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2012. Disponível em: https://www.licht.de/fileadmin/Publications/More_publications/1303_E_Guide-DIN-EN-12464-1_web.pdf. Acesso em: 23 mar. 2015.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research and Technology**, v. 37, n. 1, p. 41-57, 3 jan. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>.

NAVAL, M.; VEITCH, J. A. **Acoustic satisfaction in open-plan offices: review and recommendations**. Research Report, n. RR-151. Ottawa: Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, 2003.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M. A.; ROAF, S. **Adaptive thermal comfort: principles and practice**. New York, Abingdon (UK): Routledge, 2012.

O'BRIEN, W.; KAPSIS, K.; ATHIENITIS, A. K. Manually-operated window shade patterns in office buildings: A critical review. **Building and Environment**, v. 60, p. 319-338, fev. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.003>.

ORDENES, M. *et al.* **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1**. Relatório Técnico. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Biblioteca_Materiais_VisualDOE.pdf. Acesso em: 26 fev. 2019.

PARKINSON, T.; DE DEAR, R.; BRAGER, G. Nudging the adaptive thermal comfort model. **Energy and Buildings**, v. 206, p. 1-13, 1 jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109559>.

PRICE, L. L. A. *et al.* Linking the non-visual effects of light exposure with occupational health. **International Journal of Epidemiology**, v. 48, n. 5, p. 1393-1397, 1 out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/ije/dyz131>.

REINHART, C. F. Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. **Solar Energy**, v. 77, n. 1, p. 15-28, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.003>.

SCHOBBER, P.; BOER, C.; SCHWARTE, L. A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. **Anesthesia & Analgesia**, v. 126, n. 5, p. 1763-1768, maio 2018. DOI: <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>.

SEPPANEN, O.; FISK, W. Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or health. **HVAC&R Research**, v. 12, n. 4, p. 957-973, 1 out. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/10789669.2006.10391446>.

SHISHEGAR, N.; BOUBEKRI, M. Natural light and productivity: analyzing the impacts of daylighting on students' and workers' health and alertness. **International Journal of Advances in Chemical Engineering and Biological Sciences**, v. 3, n. 1, p. 72-77, 21 maio 2016. DOI: <https://doi.org/10.15242/IJACEBS.AE0416104>.

VEITCH, J. Workplace design contributions to mental health and well-being. **Healthcare Papers**, v. 11, n. Special Issue, p. 38–46, 2011. DOI: <https://doi.org/10.12927/hcpap.2011.22409>.

VISCHER, J. C. Designing the work environment for worker health and productivity. In: DESIGN & HEALTH WORLD CONGRESS & EXHIBITION (WCDH), 2003, Montreal. **Proceedings** [...]. Montreal, Canada: International Academy for Design and Health, 2003. p. 85–93.

VISCHER, J. C. Towards an environmental psychology of workspace: how people are affected by environments for work. **Architectural Science Review**, v. 51, n. 2, p. 97–108, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3763/asre.2008.5114>.

WEBER, F. da S. et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Relatório Técnico. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina/Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2017. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Biblioteca_ComponentesConstrutivos_0.pdf. Acesso em: 16 out. 2018.

WELLS, M.; THELEN, L. What does your workspace say about you?: The influence of personality, status, and workspace on personalization. **Environment and Behavior**, v. 34, n. 3, p. 300–321, maio 2002. DOI: <https://doi.org/10.1177/0013916502034003002>.

WIENOLD, J.; CHRISTOFFERSEN, J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 743–757, jul. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.017>.

YANG, W.; MOON, H. J. Combined effects of acoustic, thermal, and illumination conditions on the comfort of discrete senses and overall indoor environment. **Building and Environment**, v. 148, p. 623–633, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.040>.

1 Ana Carolina dos Santos

Arquiteta. Mestre em Arquitetura pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual Paulista (Unesp). Arquiteta autônoma. Endereço postal: Rua Albino Trevisan, 504, Santa Cruz do Rio Pardo, SP, Brasil, CEP 18900-310

2 João Roberto Gomes de Faria

Engenheiro de Produção-Materiais. Doutor. Professor Associado na Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design da Universidade Estadual Paulista (Unesp). Endereço postal: Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Bauru, SP, Brasil, CEP 17033-360