

AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO EDIFÍCIO VILANOVA ARTIGAS, SEDE DA FAUUSP EM SÃO PAULO: ESTUDOS ANALÍTICOS

THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF VILANOVA ARTIGAS BUILDING, FAUUSP MAIN BUILDING IN SÃO PAULO: ANALYTICAL STUDIES

-  Joana Carla Soares Gonçalves¹
 Roberta Consentino Kronka Mülfarth²
 Ranny Loureiro Xavier Nascimento Michalski³
 Alessandra Rodrigues Prata Shimomura⁴
 Marcelo de Andrade Roméro⁵
 Cristiane Mitiko Sato Furuyama⁶
 Johnny Klemke Costa Pinho⁷
 Eduardo Gasparelo Lima⁸
 Claudia Ferrara Carunchio⁹
 Sylvia Tavares Segovia¹⁰
 Karen Daiane dos Santos¹¹

1 Architectural Association School of Architecture, Londres, UK, joana.goncalves@aa.school.ac.uk

2 Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, rkronka@usp.br

3 Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, rannym@usp.br

4 Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, arprata@usp.br

5 Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, marcelo_romero@icloud.com

6 Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, cristiane.sato@usp.br

7 MG2, Seattle, Estados Unidos, johnnyklemke@gmail.com

8 Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, eduardo.gasporelo.lima@usp.br

9 Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, claudiacarunchio@gmail.com

10 Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, sylvia.ts@gmail.com

11 Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, karensantos@usp.br

Contribuição dos autores:

Conceituação: JCSG, RCKM, RLXNM, ARPS, MAR, CMSF, JKCP, EGL, CFC. Análise formal: JCSG, RCKM, RLXNM, ARPS, MAR, CMSF, JKCP, EGL, CFC. Aquisição de financiamento: JCSG, RCKM, RLXNM, MAR, CMSF, EGL, CFC, STS, KDS, KDS. Investigação: JCSG, RCKM, RLXNM, ARPS, MAR, CMSF, JKCP, EGL, CFC, STS, KDS. Metodologia: JCSG, RCKM, RLXNM, ARPS, MAR, CMSF, JKCP, EGL, CFC, STS. Supervisão: JCSG, RCKM, RLXNM, ARPS, MAR.

Validação: JCSG, RCKM, RLXNM, ARPS, CMSF, JKCP, EGL, CFC, STS. Visualização: JCSG, RCKM, RLXNM, ARPS, MAR, CMSF, JKCP, EGL, CFC, STS, KDS. Escrita - rascunho original: JCSG, RCKM, RLXNM, ARPS, MAR, CMSF, JKCP, CFC, STS. Escrita - revisão e edição: JCSG, RCKM, RLXNM, ARPS, MAR, CMSF, EGL

Fomento: Fundação de Apoio à Pesquisa no Estado de São Paulo, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editor Responsável: Letícia de Oliveira Neves 

Resumo

O edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP), na cidade de São Paulo, inaugurado em 1969 e tombado em 1982, é um marco da Escola Paulista de Arquitetura Moderna, expressando uma síntese entre estrutura, espaço e ambiente. A área de 40% de cobertura translúcida levanta questionamentos sobre o impacto da radiação solar incidente, durante o período mais quente do ano, nas condições luminosas e térmicas do interior. São apresentados neste artigo estudos de investigação técnica sobre as questões térmicas e de iluminação natural, com foco nos espaços dos estúdios e salas de aula, examinando os efeitos promovidos pela reforma da cobertura de 2014, que promoveu a troca dos domos. As análises de desempenho incluíram estudos analíticos realizados para o projeto da reforma. Dentre os resultados, viu-se que os ofuscamentos inerentes ao projeto original foram eliminados com o novo fechamento em acrílico leitoso, criando um ambiente luminoso homogêneo, sob a grande cobertura. Já as condições térmicas foram amenizadas com a redução de temperaturas internas máximas em 4 °C em um dia quente, devido ao aumento da ventilação alcançado com o levantamento das claraboias, porém o desconforto não foi eliminado, uma vez que as temperaturas máximas atingem por volta de 30 °C nos períodos mais quentes do ano.

Palavras-chave: arquitetura paulista, iluminação zenital, ventilação natural, desempenho ambiental, simulação computacional.

Abstract

The building of the School of Architecture and Urbanism of the University of São Paulo (FAUUSP), in the city of São Paulo, inaugurated in 1969 and listed in 1982, is a landmark of the São Paulo School of Modern Architecture, expressing a synthesis between structure, space and environment. The 40% translucent roof area raises questions about the impact of incident solar radiation during the warmest period of the year upon internal spaces' thermal and daylight conditions. This paper presents technical work, including thermal and daylighting studies focusing on the studio spaces and classrooms, examining the improvements brought by the refurbishment of the roof in 2014, in which the domes were replaced. The environmental assessment included analytical studies carried out for the refurbishment project. Among the results, it was noted that the glare associated with the original design was eliminated with the new skylight of milky acrylic, creating a homogeneous lighting environment under the big roof. On the other hand, the uncomfortable thermal conditions were ameliorated by reducing peak internal temperatures by 4 °C on a warm day due to higher ventilation rates achieved with the lifted skylights. However, the discomfort was not eliminated since peak temperatures reach 30 °C during the year's warmest days.

Keywords: "paulista" architecture, zenithal daylight, natural ventilation, environmental performance, computer simulation.

How to cite this article:

GONÇALVES, J. C. S. et al. As condições ambientais do edifício Vilanova Artigas, sede da FAUUSP em São Paulo: estudos analíticos. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022001, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8661881>

Submitted 02.11.2020 – Approved 10.06.2021 – Published 17.12.2021

e022001-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022001, 2022, ISSN 1980-6809



Introdução

A arquitetura modernista brasileira, produzida entre o início da década de 1930 e o final da de 1960, é conhecida nacional e internacionalmente pelas considerações para com o contexto climático e o conforto ambiental dos usuários, tendo sido qualificada por Corbella e Yannas (2003) como uma “arquitetura sustentável para os trópicos”. Ícones desta geração apresentam soluções arquitetônicas concebidas para o aproveitamento da iluminação e da ventilação natural, ao mesmo tempo em que buscam o controle da radiação solar incidente. Gonçalves et al. (2018) mostraram, através de estudos analíticos de termodinâmica, que a massa térmica típica da estrutura de concreto (que marcou a estrutura de edifícios desta época), tem um papel relevante no controle das temperaturas internas. No entanto, após mais de cinco décadas, a grande maioria destas estruturas, como a do edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, a FAUUSP, requer intervenções de recuperação da sua integridade física (OKSMAN, 2011).

O Edifício Vilanova Artigas (Figura 1), sede da FAUUSP, localizado na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO) na cidade de São Paulo e inaugurado em 1969 é um destes casos. Trata-se de um marco da chamada Escola Paulista de Arquitetura, uma corrente do movimento moderno brasileiro, da qual o arquiteto João Vilanova Artigas, autor do referido projeto com colaboração de Carlos Cascaldi, é uma importante referência até os dias de hoje. O edifício é tombado pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado de São Paulo (CONDEPHAAT), como patrimônio cultural desde 1982 e, por isso, qualquer alteração no mesmo deve estar de acordo com a concepção projetual de seus arquitetos. Indo além dos limites da edificação, o tombamento incluiu a chamada “Área Envolvória do Bem Tombado”, em que são impostas restrições de uso e ocupação na área dentro do raio de 60 metros em torno do edifício de referência¹ (OKSMAN, 2011).

Em 2011 consolidou-se o Plano Diretor Participativo (PDP) da FAUUSP, cujas discussões foram conduzidas pelo Conselho Curador e tiveram como objetivo principal estudos e demandas da comunidade (alunos, professores e funcionários) sobre os edifícios² da FAUUSP em suas dimensões físicas e históricas, estabelecendo-se, assim, princípios, procedimentos e diretrizes para as futuras intervenções espaciais (LEAL et al., 2011).

Na forma de um monobloco retangular de concreto elevado por uma estrutura de pilares e vigas, também em concreto (Figura 2A), o edifício da FAUUSP, com 110 metros de comprimento e 66 metros de largura, tem os espaços internos organizados ao longo de seis meios-níveis (além de subsolos), intercalados longitudinalmente e articulados por meio de imponentes e amplas rampas que garantem continuidade visual e espacial à obra, como apresentado em Barossi (2016).

Uma grande e única cobertura de claraboias quadradas, uniformemente distribuídas e com aproximadamente 40% de área translúcida, traz iluminação natural zenital para todo o espaço interno, ao mesmo tempo em que promove uma ventilação natural contínua por efeito chaminé.

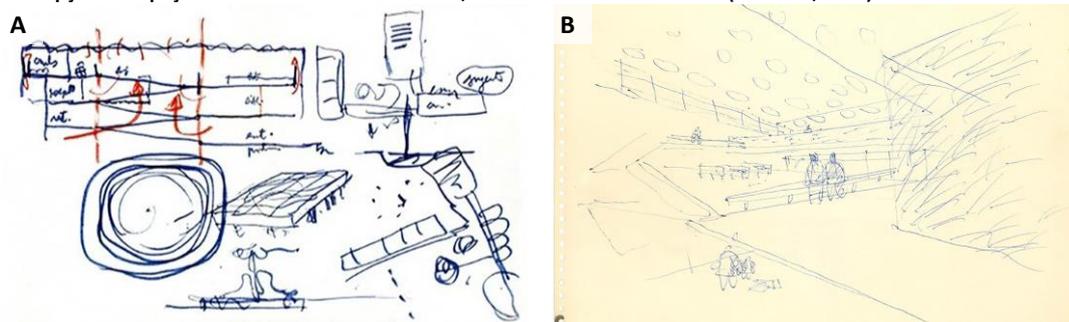
No vazio central, conhecido por Salão Caramelo, o pé-direito do edifício alcança 15 metros de altura (Figura 2B). O piso térreo é parcialmente aberto para o exterior. O espaço central do Salão Caramelo foi projetado como uma praça circundada por diferentes atividades, mas que também é integrada física e visualmente com o espaço externo. Com vistas do interior completo do edifício, as rampas são mais do que uma área de circulação, tendo o papel de espaços de encontro.

Figura 1 – (A) Vista do exterior do edifício da FAUUSP e (B) vista do Salão Caramelo a partir do nível intermediário com as rampas de articulação dos andares ao fundo



Fonte: os autores.

Figura 2 – (A) Croqui do arquiteto João Vilanova Artigas, em 1968, para alunos ingressantes no curso de Arquitetura e Urbanismo, ilustrando a concepção de como seria o edifício, com a ideia da caixa de concreto suspensa e evidenciando as estratégias de ventilação natural (setas vermelhas) e (B) croqui do arquiteto João Vilanova Artigas, ilustrando a concepção do espaço central do edifício da FAUUSP, o conhecido Salão Caramelo (ARTIGAS, 1998)



Fonte: (A) Acervo de Rafael Antonio Cunha Perrone e (B) Acervo da FAUUSP³.

Na caixa de concreto elevada pela estrutura estão abrigados os principais ambientes das tarefas acadêmicas, sendo estes os cinco estúdios, com áreas entre 483 e 563 m², ao longo da extensão sudoeste (SO), com laterais para as orientações noroeste (NO) e sudeste (SE), enquanto as salas de aula (meio nível acima do piso dos estúdios), com três tamanhos diferentes, 58, 87 e 174 m², aproximadamente, estão no último piso e dispostas ao longo da fachada nordeste (NE). Outras funções como a biblioteca e as salas dos departamentos estão alocadas nos pisos abaixo, com fachadas do tipo cortina-de-vidro e caixilhos que abrem para a ventilação natural, protegidas da insolação direta pela projeção da caixa superior de concreto (Figura 3).

Sem fenestrações laterais na caixa elevada de concreto, a iluminação natural nos estúdios, com 5 metros de pé-direito, e nas salas de aula, com 3,65 metros de altura, é obtida exclusivamente por meio das aberturas zenitais modulares, com claraboias originalmente de fibra de vidro incolor e transparente. Um total de 72 claraboias iluminam cada estúdio, enquanto as salas de aula de tamanho médio possuem 24 destas. Os pés-direitos elevados, tanto das salas de aula como dos estúdios, combinados à distribuição homogênea de elementos de iluminação natural ao longo da área de cobertura, são parâmetros determinantes do projeto arquitetônico, pensados para o alcance de uma distribuição homogênea da luz zenital no plano de trabalho. De acordo com princípios da física aplicada ao projeto de edifícios, quanto mais alto o pé-direito, mais homogênea a distribuição da luz (BAKER; STEEMERS, 2002).

Nos estúdios, as divisórias baixas favorecem ainda mais o acesso da luz natural zenital ao longo do ambiente interno. Por outro lado, é importante ressaltar que aberturas zenitais são mais expostas a uma carga maior de radiação solar, principalmente em regiões de latitudes do cinturão dos trópicos (SZOKOLAY, 2004). No entanto, a princípio, os elevados pés-direitos dos ambientes de estudo minimizam as condições de desconforto por efeito das temperaturas superficiais da face interna das claraboias.

Na concepção arquitetônica, a ausência de janelas nos ambientes superiores foi uma resposta à busca pela concentração e pela separação visual entre interior e exterior nesses espaços. Nos demais espaços, o edifício abre-se para o exterior com fachadas de vidro simples e caixilhos de ferro operáveis para a ventilação natural, com vistas para a vegetação do entorno.

A caixa de vidro na base do edifício é extensamente sombreada pela caixa de concreto superior, com empenas que se projetam a uma distância de 8,3 metros do perímetro do volume inferior, na orientação sudoeste (lado dos estúdios) e 4,4 metros na orientação nordeste (lado das salas de aula), formando uma espécie de grande brise horizontal ao redor de toda a base.

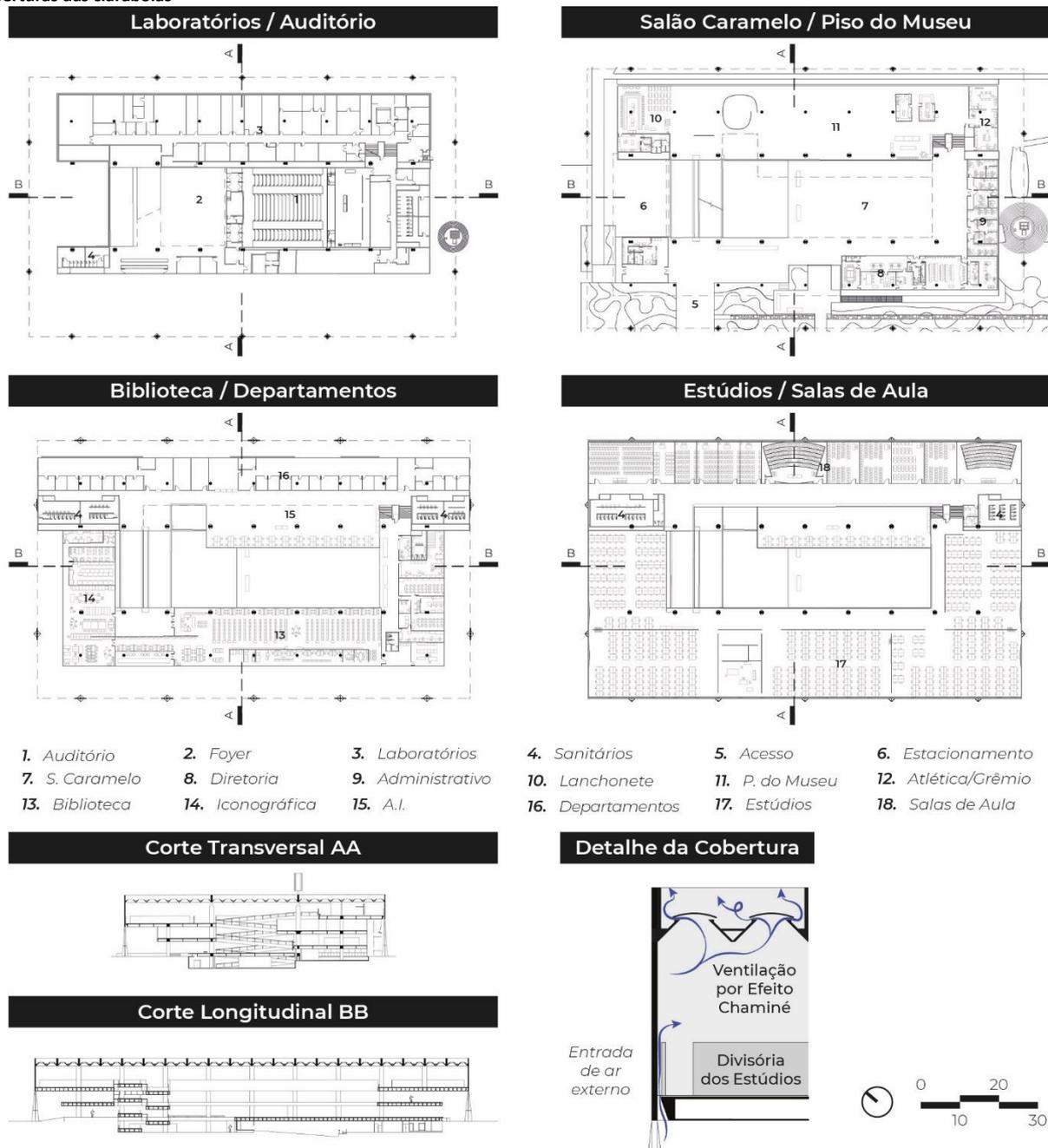
Na concepção do projeto arquitetônico, a significativa carga de calor solar proveniente da cobertura é removida pela ventilação natural criada pelo efeito chaminé, possibilitado pelas aberturas zenitais resultantes do distanciamento das claraboias da estrutura da cobertura, distanciamento esse dimensionado em projeto com 4 centímetros (ARTIGAS, 1998). O Salão Caramelo tem um papel central na concepção do sistema de ventilação natural por efeito chaminé do interior do edifício como um todo.

A fim de incrementar a ventilação natural nos estúdios e nas salas de aula nos dias mais quentes do ano, uma parede dupla ventilada é composta pela empena e uma parede interna de concreto de 2 m de altura, afastada em 4 centímetros da face externa e com abertura controlável para o interior. A parede de concreto ventilada também foi projetada para atuar no corte da transmissão do calor proveniente da radiação solar direta incidente durante os meses de verão nas empenas de concreto das salas de aula, durante as manhãs, e nos estúdios, durante as tardes (Figura 3).

Em suma, o edifício da FAUUSP é resultado de um projeto de soluções inusitadas, em que a estrutura tem um papel central na configuração espacial e nas estratégias para o desempenho ambiental. Contudo, vale destacar que a significativa área de 40% de cobertura translúcida levanta, a priori, questionamentos sobre o impacto da radiação solar incidente nas condições térmicas e luminosas dos espaços internos, principalmente durante os meses mais quentes do ano.

Russo (2004) verificou, por meio de simulações de termodinâmica para análise dos perfis de temperatura operativa nos estúdios e em outros espaços internos do edifício ao longo de diferentes períodos do ano, que a ventilação natural por efeito chaminé, com saída pelas claraboias, não é suficiente para remover o excesso de calor interno proveniente dos ganhos de radiação solar advindos da cobertura e manter as condições de conforto térmico nas salas de aula e estúdios. Indo mais além, apesar do *status* de tombamento do Edifício Vilanova Artigas, para efeito de estudos hipotéticos e entendimento dos limites da proposta arquitetônica do autor da obra, dentre os cenários simulados por Russo (2004), verificou-se o potencial de colocar os estúdios e as salas de aula em condições de conforto durante o período quente do ano por meio de um sombreamento externo sobre as claraboias.

Figura 3 – Plantas dos quatro níveis principais do edifício (laboratórios e auditório; salão caramelo e piso do museu; biblioteca e departamentos; e estúdios e salas de aula), cortes longitudinal e transversal e corte da parede dupla de concreto indicando o esquema de ventilação envolvendo as aberturas das claraboias



Fonte: os autores.

Ao longo do tempo, as claraboias originais de fibra de vidro foram perdendo suas características de transmissão luminosa, tendo em vista a degradação do material pelo tempo e pelo efeito das intempéries. Após quase 50 anos desde a construção do edifício, o estado de deterioração do material das claraboias implicava um grande prejuízo para a obtenção da luz natural. Por essa razão, na reforma da estrutura da cobertura concluída em 2014, foi feita a troca dos componentes de fibra de vidro por claraboias em acrílico simples e de aspecto leitoso, que impõem um peso menor sobre a estrutura (Figura 4). Assim, a luz natural voltou ao interior do edifício, redespertando o olhar para a marcante estrutura de concreto da cobertura e para os espaços internos requalificados pela presença da luz natural zenital, em especial os estúdios, as salas de

aula e o Salão Caramelo, além de reduzir a dependência da iluminação artificial e, com isso, reduzir também o consumo de energia elétrica no edifício.

Figura 4 – (A) Vista interna do Salão Caramelo com o efeito luminoso das claraboias originais de fibra de vidro degradadas. (B) Vista interna do interior do edifício, Salão Caramelo, com o bloco da biblioteca com aberturas para o vazio central. Destaque para o efeito luminoso criado pelas novas claraboias de acrílico. (C) Vista de uma das salas de aula (sala 812), após a reforma da cobertura e a troca das claraboias. (D) Vista de um dos estúdios, com o efeito das novas claraboias



Fonte: os autores.

O projeto das novas claraboias e seus efeitos no desempenho luminoso e térmico dos principais espaços do edifício foram objeto da investigação científica aqui apresentada, trazendo estudos de natureza analítica sobre o potencial de melhoria no desempenho térmico e luminoso dos estúdios e salas de aula com as mudanças no projeto da cobertura, possibilitadas pela reforma de 2014.

Contexto climático

A cidade de São Paulo, latitude 23,85°S, está localizada em uma região de clima subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen–Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), caracterizado por dias quentes e úmidos no verão, acompanhados de dias amenos e de baixa umidade relativa no inverno. Da análise do arquivo climático (RORIZ, 2012), vê-se que a temperatura do ar é moderada por grande parte do ano, com uma média de 19 °C. Devido à condição subtropical, a frequência anual de céu encoberto é de aproximadamente 60%. Por isso, a componente de radiação difusa no céu é de cerca de 50% do total da radiação solar, no plano horizontal, ao longo do ano.

A temperatura do ar em um dia típico de verão com céu claro pode ultrapassar os 30 °C. Já sob uma condição de céu parcialmente encoberto, a temperatura do ar em um dia de verão fica ao redor dos 20 °C. Dias assim ocorrem também no outono e na primavera. Em um dia típico de inverno com céu claro, a temperatura do ar pode chegar aos 24 °C ou um pouco acima, baixando sensivelmente para uma condição de céu encoberto, quando a temperatura máxima fica ao redor dos 15 °C.

O mês de janeiro é o mais quente do ano, com uma média de 22,8 °C, mínima absoluta de 14 °C e máxima absoluta chegando aos 34 °C, com umidade relativa variando entre 31% e 100%. A radiação global no plano horizontal, em janeiro, chega ao máximo de 1.068 W/m². Julho é o mês mais frio, com uma temperatura média de 16 °C, mínima absoluta chegando a 8 °C e máxima a 27 °C, com umidade relativa variando entre 26% e 100%. A radiação global no plano horizontal, em julho, atinge o máximo de 719 W/m². Paralelamente, variações diurnas de temperatura (ΔT) ao longo do ano ficam entre 6 °C e 12 °C.

Com respeito às estratégias de projeto para a moderação das temperaturas do ar durante os dias quentes do ano, os valores significativos de radiação fazem do sombreamento uma estratégia fundamental junto à ventilação natural. Em princípio, nos dias mais frios do ano, o aquecimento solar passivo é uma estratégia potencial para

elevar as temperaturas internas. Paralelamente, atenção deve ser colocada no controle da ventilação natural.

O Edifício Vilanova Artigas fica localizado na Cidade Universitária, que compreende uma grande área verde. Por isso, foi considerado para os estudos de desempenho ambiental do edifício que o microclima local é semelhante às condições do banco climático usado para esse diagnóstico e que não contempla os efeitos de aquecimento urbano.

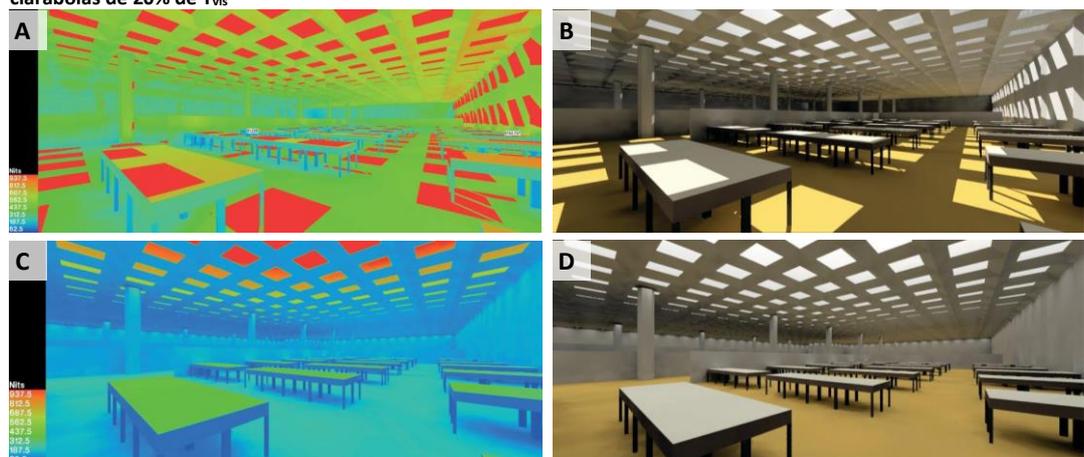
Avaliação ambiental da nova cobertura: Estudo analítico de desempenho luminoso

São apresentados, a seguir, estudos técnicos de desempenho luminoso de espaços de atividades acadêmicas do edifício da FAUUSP. Simulações computacionais realizadas durante a etapa de projeto da nova cobertura tiveram o papel de fomentar as decisões projetuais a serem adotadas na reforma de 2014, incluindo especificação termo física e luminosa das claraboias e detalhe de instalação das mesmas para a maximização da ventilação.

Estudos analíticos de desempenho luminoso: Cálculo de iluminâncias - Método e procedimentos

A fim de informar a especificação de transmissão luminosa do acrílico previamente escolhido por questões estruturais para as novas claraboias, duas alternativas de transmissão visual (T_{vis}) foram consideradas inicialmente: 50% e 20%. Tal especificação foi considerada no estudo analítico de desempenho luminoso realizado previamente por Pinho (2013), que constatou que, em um dia de céu claro, a especificação de 50% de T_{vis} permitia a passagem da radiação direta, enquanto a opção de 20%, dando um efeito leitoso à superfície iluminante, mostrou-se eficiente para a transmissão difusa da luz natural zenital, sem os efeitos da radiação solar direta nos espaços internos (como acontecia no projeto original) e, conseqüentemente, reduzindo os riscos de ofuscamento (Figura 5).

Figura 5 – Simulações de iluminação natural para as 9h da manhã do dia 21 de março, com céu claro, para os cenários de claraboias com 50% e 20% de transmissão visual, mostrando luminâncias na forma de cores falsas à esquerda e imagem de “render” à direita, para o Estúdio 3. (A e B) Resultados com claraboias de 50% de T_{vis} e (C e D) resultados com claraboias de 20% de T_{vis}



Fonte: Pinho (2013, p. 104 -105).

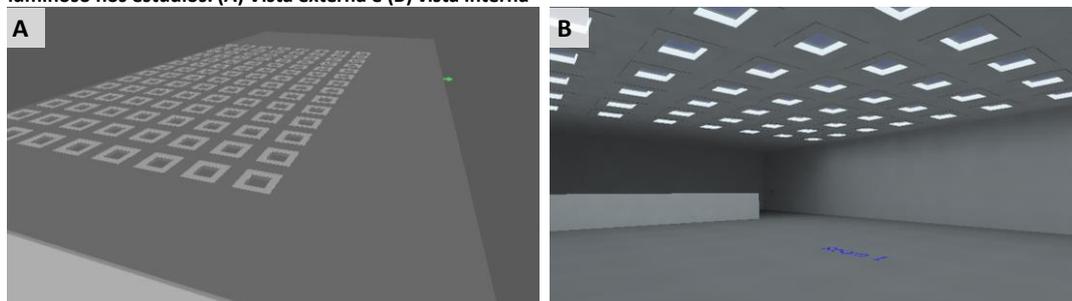
Nas salas de aula, exclusivamente, Pinho (2013) identificou a necessidade das duas fileiras de claraboias mais próximas da parede de projeção e de desenho terem uma transmissão visual menor, a fim de escurecer o ambiente junto a este plano e viabilizar a legibilidade das projeções de vídeo, chegando a um T_{vis} de 7% para estes casos. Vale

mencionar que as especificações de 50%, 20% e 7% de T_{vis} (além da transmissão máxima de 85%) foram as únicas opções de transmissão luminosa para o acrílico encontradas no mercado local na época (PINHO; GONÇALVES; MULFARTH, 2013).

As análises de iluminação de Pinho (2013) focaram no desempenho das salas de aula e estúdios. Nas salas de aula, foram identificados níveis de iluminância ao redor de 300 lux, no período da manhã (9 h) de um dia nublado de inverno em agosto, o que significa dizer que esses espaços têm luminosidade natural suficiente durante o dia para tarefas no plano de trabalho, mesmo no período de inverno. Diferentemente das salas de aula, onde um dos principais usos, atualmente, é o de projeções de imagem, para o qual um mínimo de luz natural é suficiente, nos estúdios uma diversidade de atividades de trabalho (inclusive manuais) demandam níveis mais elevados de iluminância (ABNT, 2013). Para os estúdios, os resultados foram similares com a claraboia de T_{vis} de 20%, enquanto que com a de 50% a radiação solar direta continua a atingir o plano de trabalho, como no projeto original.

Dando continuidade aos trabalhos de Pinho (2013), demais estudos analíticos de simulação computacional foram organizados pelo Departamento de Tecnologia da FAUUSP com proposta de claraboia com T_{vis} de 20% nas salas de aula e nos estúdios (PINHO; GONÇALVES; MULFARTH, 2013). A quantificação do desempenho potencial da luz natural criada pela proposta da nova cobertura foi estimada para diferentes épocas do ano e horários do dia, especificamente no espaço dos estúdios. Para tal, foram realizadas simulações com a ferramenta computacional DIALux EVO 8.0 (DIAL GmbH, 2018). O modelo digital de um estúdio é apresentado na Figura 6. Quanto à refletância das superfícies internas, adotou-se o seguinte no modelo de simulação: 50% para o concreto aparente e 35% para o piso em epóxi amarelo, seguindo as recomendações de Dornelles (2008).

Figura 6 – Modelo computacional construído no *software* DIALux EVO para os estudos de simulação do desempenho luminoso nos estúdios. (A) Vista externa e (B) vista interna



Fonte: os autores.

O cálculo dos valores de iluminância ao longo do dia foram feitos para três situações anuais distintas de clima e radiação solar, representadas por dias específicos: solstício de verão (dia 21 de dezembro), solstício de inverno (dia 21 de junho) e equinócios (dias 21 de março e de setembro) – períodos que limitam a trajetória solar na abóbada celeste e, com isso, os ângulos de incidência da radiação direta, assim como as intensidades da radiação global. Para cada um desses três períodos foram considerados dois cenários de condição de céu para a simulação, sendo um de céu claro e outro encoberto.

Quanto a critérios de desempenho, tomou-se como limite mínimo de 300 lux e máximo de 3.000 lux, seguindo as recomendações de Mardaljevic et al. (2011). A partir dos resultados das simulações, foram extraídos os intervalos de horário para os três períodos selecionados em que os níveis de iluminância nos estúdios são suficientes para o cumprimento de tarefas no plano de trabalho, estabelecido a 0,75 m do piso, com

conforto visual. Foram geradas imagens de resultados para cada hora do dia, de cada um dos três períodos de análise. Contudo, no corpo deste artigo, optou-se por apresentar apenas os resultados das simulações para o período com o intervalo mínimo e o máximo de iluminâncias recomendado como de bom desempenho para a realização das atividades no estúdio.

Estudo analítico de desempenho luminoso: Cálculo de iluminâncias - Resultados

Observando os resultados para os solstícios e equinócios, apresentados na Figura 7, vê-se que, com respeito ao solstício de verão, no dia de céu claro, entre 8 h e 16 h, tem-se no plano de trabalho um nível médio de 300 lux, sendo este já suficiente para as atividades de estúdio (ABNT, 2013). Para a situação de céu nublado neste mesmo dia, naturalmente, o período com iluminâncias de no mínimo 250 lux diminui para o intervalo entre 10 h e 15 h. Continuando, para o solstício de inverno, no caso da situação de céu claro, iluminâncias mínimas aceitáveis são identificadas apenas às 9 h e às 15 h, enquanto, para a condição de céu encoberto, o número de horas com desempenho minimamente satisfatório é reduzido sensivelmente para o intervalo entre 11 h e 14 h. Os resultados para os equinócios, sob a condição de céu claro, mostram que a iluminação natural é suficiente das 8 h às 16 h, semelhante ao dia de verão. Porém, sob céu encoberto, o período do dia com iluminâncias mínimas é reduzido para o intervalo das 11 h às 15 h.

Figura 7 – Simulações de iluminâncias para o solstício de verão, equinócio e solstício de inverno, para céu claro e encoberto (lux)



Fonte: os autores.

Apesar do período caracterizado por quantidades suficientes de luz natural variar em cada caso simulado para as diferentes épocas do ano, um padrão se repete ao longo das diferentes estações: nos dias de céu encoberto as iluminâncias ao longo do ambiente em questão, na altura do plano de trabalho, são significativamente mais homogêneas do que nos dias de céu claro, em função da própria homogeneidade do céu.

Nesse sentido, no dia de céu encoberto durante o verão os valores variam entre 141 e 381 lux pela manhã e entre 153 e 372 lux pela tarde. Já no dia de céu claro, a variação aumenta para o intervalo entre 412 e 3.462 lux no período da manhã e entre 277 e 3.179 lux no período da tarde (Figura 7).

Para condições de céu encoberto no solstício de inverno, os valores variam entre 94 e 262 lux no período da manhã e entre 113 e 254 lux no período da tarde. No dia de céu claro, essa variação aumenta para o intervalo entre 120 e 1.501 lux no período da manhã e entre 179 e 1.193 lux no período da tarde. Com respeito às condições de céu encoberto nos dias de equinócio, os valores variam entre 104 e 391 lux no período da manhã e entre 103 e 377 lux no período da tarde. No dia de céu claro, esta variação aumenta para o intervalo entre 130 e 2.643 lux no período da manhã e entre 111 e 2.435 lux no período da tarde.

Com especial atenção aos resultados de iluminâncias para os dias de céu claro, as áreas com maiores quantidades de luz se deslocam no espaço de acordo com o dia e a hora do ano. No entanto, vale destacar que a diferença entre as quantidades mínimas e máximas de iluminâncias nos dias de céu claro se referem à intensidade luminosa apenas, sem a penetração da radiação solar direta, ou seja, sem a formação de manchas de luz e sombra no plano de trabalho, como também visto anteriormente por Pinho (2013).

Estudo analítico de desempenho luminoso: Cálculo de ofuscamento - Método e procedimentos

Dando continuidade aos estudos técnicos sobre a qualidade do ambiente luminoso com a nova cobertura, foi avaliado o risco de ofuscamento para a Sala de Aula 812 e o Estúdio 3, segundo a metodologia de cálculo da Probabilidade de Ofuscamento por Luz Natural (em inglês, *Daylight Glare Probability*, DGP), proposta por Weinold e Christoffersen (2005), com simulações feitas com as ferramentas computacionais DIVA for Rhino, *Point-in-Time Glare Simulation* (SOLEMMA, 2016) e Evalglare (WIENOLD; CHRISTOFFERSEN, 2005). O cálculo do ofuscamento em DGP considera, a partir de um ponto específico no ambiente, a iluminação geral, a posição do sol e a ocorrência ou não de contrastes luminosos para uma determinada hora de um determinado dia do ano. O modelo de céu adotado foi o Céu Claro com Sol, da *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE, 2004), sendo esse o tipo de céu com maiores chances de ocorrência de ofuscamentos. Os horários selecionados para as simulações foram 9, 12 e 16 h, dos solstícios e equinócios. Somado ao cálculo do DGP para horários específicos, foi estimado, também, o Ofuscamento Anual (*Annual Glare*), para cada um dos dois pontos de estudo, a partir da somatória dos cálculos horários.

Para a construção do modelo, foram adotadas as seguintes especificações para fechamento translúcido das claraboias: reflexão especular 0 (zero) para indicar material fosco, transmissão especular 0 (zero) para indicar material difuso e transmissão visual (T_{vis}) de 20%. Para as claraboias escuras da sala de aula, a transmissão difusa foi reduzida para 0,1. No que tange as demais superfícies internas, foi utilizada a mesma especificação das simulações de iluminâncias.

Estudo analítico de desempenho luminoso: Cálculo de ofuscamento - Resultados

As Figuras 8 e 9 mostram os resultados das simulações de ofuscamento para um determinado ponto de vista nos dois espaços de estudo, o Estúdio 3 e a Sala de Aula 812, respectivamente, para às 9, 12 e 16 h, nos solstícios e equinócios, contendo imagens com os valores de DGP (Probabilidade de Ofuscamento por Luz Natural), acompanhadas por

outras contendo as linhas de isolux. Ao final, estão os resultados de Ofuscamento Anual (*Annual Glare*).

De acordo com as simulações de DGP, não há ofuscamento em nenhum horário do ano nas vistas estudadas para o Estúdio 3 e Sala de Aula 812. Estudos apresentados por Wienold e Christoffersen (2006) estipularam que para até 35% de DGP o ofuscamento é imperceptível, entre 35% e 40% é perceptível, entre 40% e 45% é perturbador ou desconfortável (em inglês, *disturbing glare*) e acima de 45% o ofuscamento é intolerável. Para a vista estudada no Estúdio 3, o maior valor de DGP encontrado foi de 5% às 12 h no solstício de verão, e para a vista da Sala de Aula 812, o maior valor foi de 4% às 12 h no solstício de inverno. Ambos os valores são considerados imperceptíveis e estão bem abaixo dos 35%. Isso também pode ser visto nos estudos anuais de ofuscamento, que demonstram 100% do ano na faixa de ofuscamento imperceptível para as duas vistas.

Nas imagens de isolux, também apresentadas nas Figuras 8 e 9, é possível ver que nos campos das duas vistas estudadas, há momentos do ano em que são obtidos valores de iluminância acima da marca dos 3.000 lux, sendo este o limite máximo da faixa de iluminâncias úteis, segundo Mardaljevic et al. (2011). O conceito de iluminâncias úteis (em inglês, *Useful Daylight Illuminances – UDI*), foi proposto por Nabil e Mardaljevic (2005), provando que a luminosidade homogênea não é necessária para o conforto visual no interior dos edifícios. Apesar da ocorrência de altos níveis de iluminâncias, não é registrada, em nenhuma das imagens de isolux, uma diferença maior que 3 vezes entre as áreas mais iluminadas e a iluminância média, o que caracteriza a ausência de contrastes significativos. Dessa forma, os resultados das simulações confirmam a capacidade das claraboias translúcidas de gerar uma iluminação homogênea, nos dois ambientes simulados, contribuindo para os baixos valores de DGP.

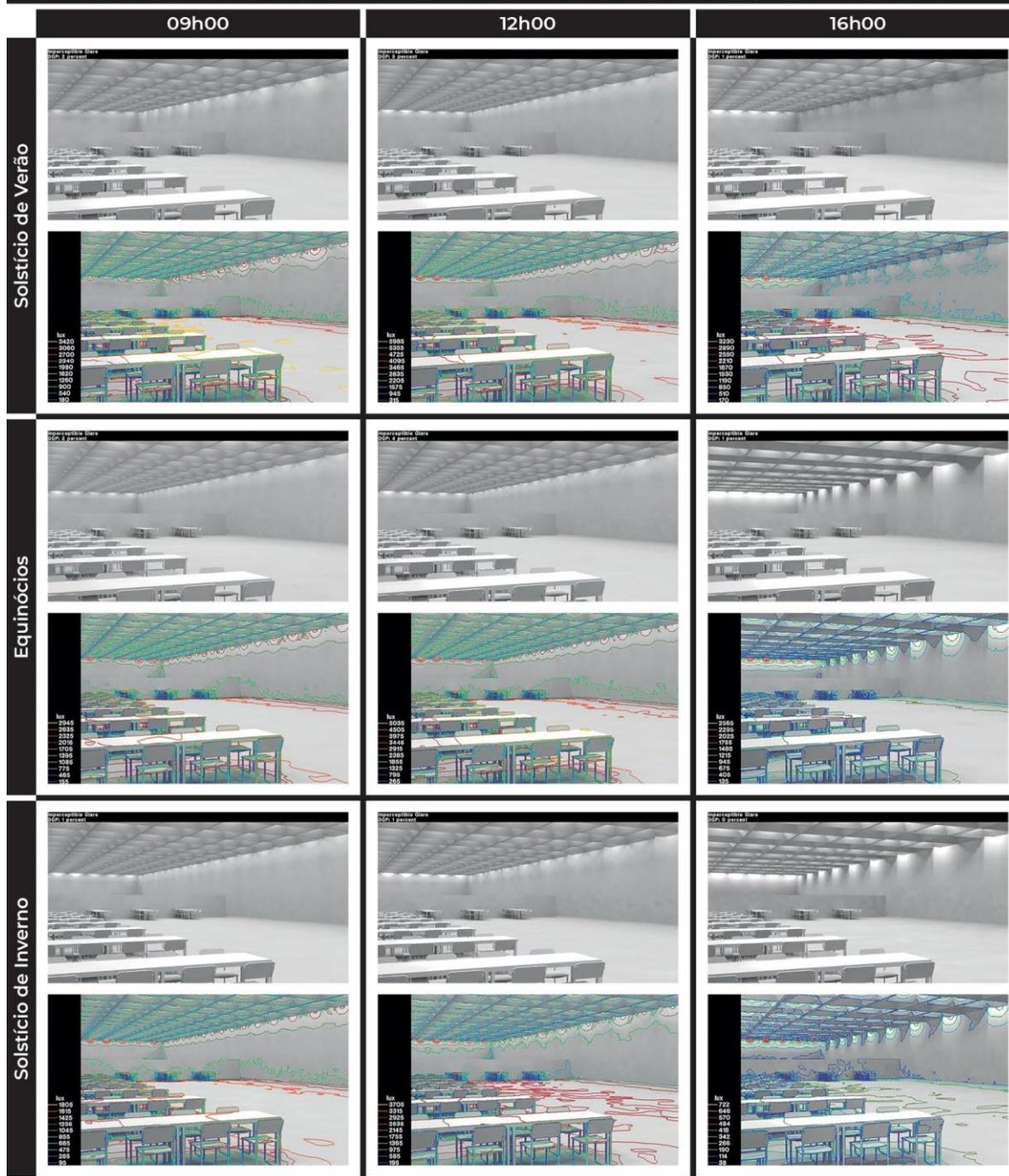
Avaliação ambiental da nova cobertura: Estudo analítico de desempenho térmico

Somado ao tratamento dado à luz natural, a colocação das novas claraboias foi uma oportunidade para a melhoria das condições térmicas nos espaços de estúdios e salas de aula do Edifício Vilanova Artigas. Neste sentido, na impossibilidade da colocação de uma estrutura externa de sombreamento por esta ser uma obra de arquitetura tombada, a principal estratégia explorada nos estudos analíticos da fase de projeto da nova cobertura para a diminuição das temperaturas internas, nos dias mais quentes do ano, foi o incremento da ventilação natural por efeito chaminé, com aumento do distanciamento entre a estrutura da cobertura e as claraboias. Para efeitos de conhecimento técnico, exclusivamente, a opção de uma estrutura externa de sombreamento da cobertura foi também testada. Outra estratégia analisada nessa etapa de projeto foi o fechamento das claraboias em acrílico duplo, com o intuito de verificar o impacto de uma resistência maior da cobertura às trocas de calor por condução (com um coeficiente global de transmissão térmica (U) menor em relação ao acrílico simples) nas temperaturas do ar interno.

Contudo, das soluções viáveis arquitetonicamente, a hipótese estabelecida no início desses estudos analíticos foi que o incremento das renovações do ar é mais eficaz na redução das temperaturas internas do que o material duplo da cobertura translúcida. Isso porque, ao mesmo tempo em que o fechamento de camada dupla não bloqueia efetivamente os ganhos de calor provenientes da radiação solar incidente no plano horizontal da cobertura devido ao seu grau de transmissão luminosa, a camada dupla do acrílico oferece uma maior resistência nas perdas de calor do ambiente interno para o exterior durante a noite, quando o céu e o ambiente interno têm o potencial de agirem

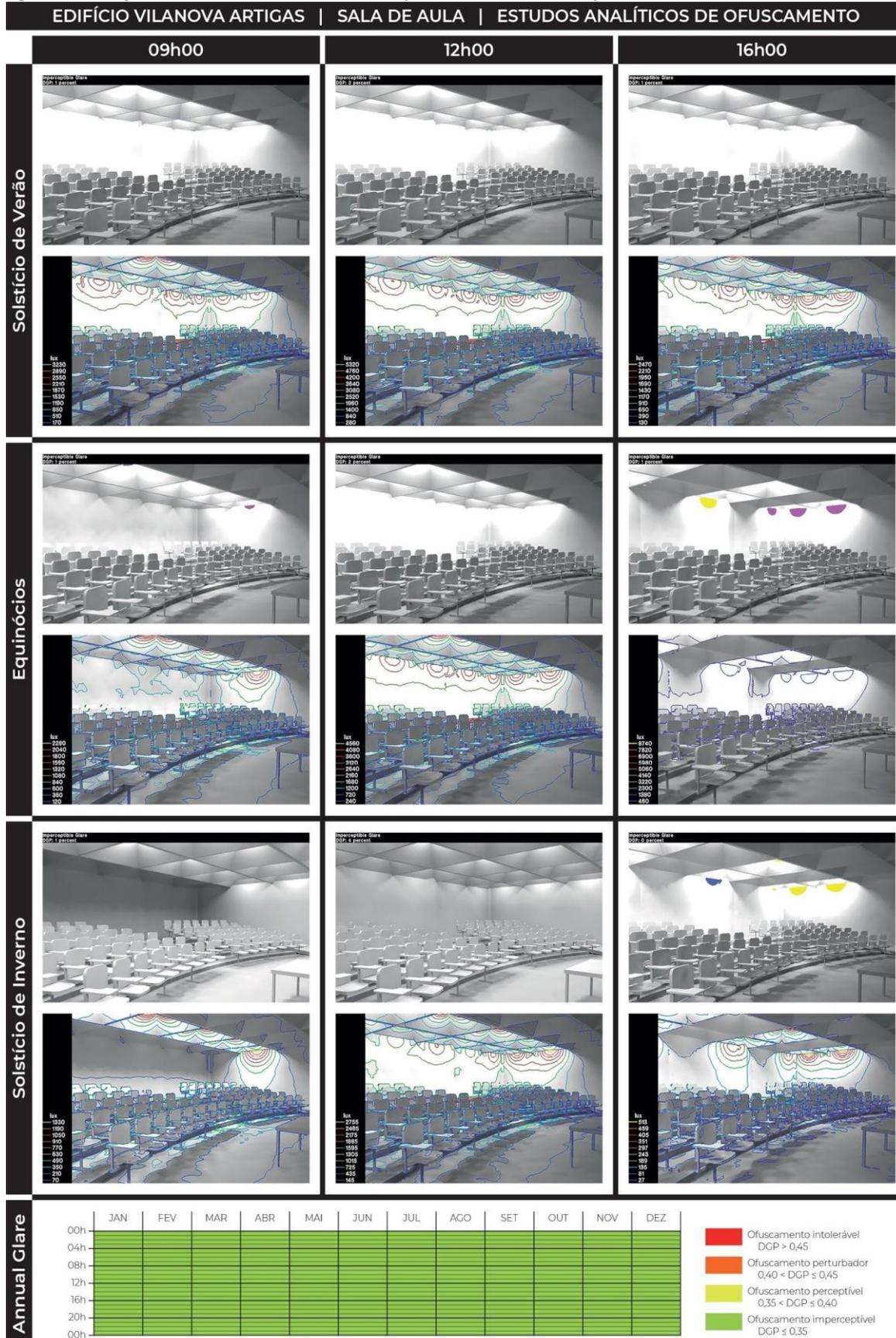
como sumidouros de calor. Ao final, foi adotada a solução de acrílico simples e que oferece uma maior ventilação natural. Com a obra concluída, medições *in situ* foram realizadas em um período quente do ano, com a finalidade de aferir o desempenho previsto na etapa de projeto.

Figura 8 – Simulação de ofuscamento no Estúdio 3 para o solstício de verão, equinócio e solstício de inverno, às 9h, 12h e 16 h
EDIFÍCIO VILANOVA ARTIGAS | ESTÚDIO | ESTUDOS ANALÍTICOS DE OFUSCAMENTO



Fonte: os autores.

Figura 9 – Simulação de ofuscamento na Sala de Aula 812 para o solstício de verão, equinócio e solstício de inverno, às 9h, 12h e 16 h

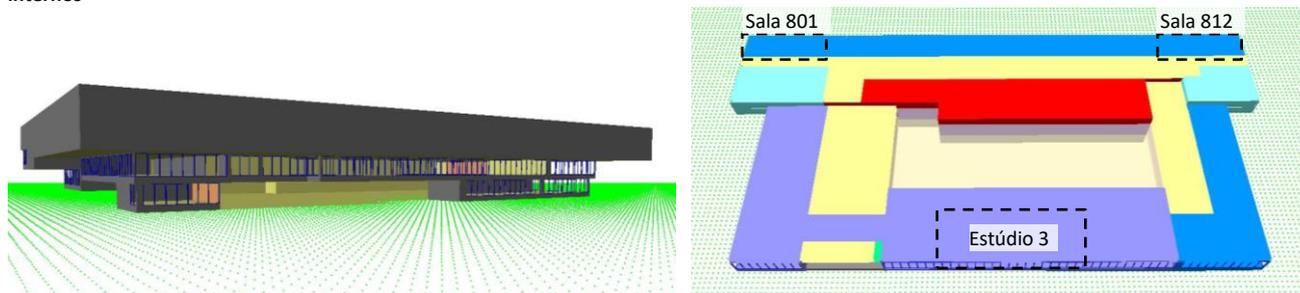


Fonte: os autores.

Estudo analítico de desempenho térmico - Métodos e procedimentos

As avaliações de desempenho térmico do edifício se basearam em método analítico desenvolvido com o auxílio da ferramenta de simulação computacional de termodinâmica *Thermal Analysis Simulation – TAS Building* (EDSL, 2013). Dada a comunicação entre os vários espaços internos do edifício da FAUUSP, o modelo preparado para as simulações incluiu a inserção de todos os espaços da edificação. Foi utilizado o banco de clima criado por Roriz (2012), que consta de dados horários de variáveis climáticas coletados entre os anos de 2000 e 2010. O zoneamento térmico do modelo computacional levou em consideração a proximidade física quanto às características de trocas de calor. Desse modo, as zonas ocupadas foram modeladas em torno de uma zona central, representando o átrio da edificação; os estúdios foram divididos em cinco zonas térmicas e as salas de aula foram divididas em três zonas - uma em cada ponta do corredor, correspondentes às salas 801 e 812, e uma central englobando as demais salas (Figura 10).

Figura 10 – Vistas do modelo digital do edifício da FAUUSP, construído no *software* TAS para as simulações termodinâmicas dos ambientes internos



Fonte: os autores.

Foram quatro os cenários testados nas simulações termodinâmicas de alternativas para a solução da claraboia, descritos no Quadro 1 com suas especificações termo físicas, aberturas para ventilação natural, ganhos internos de calor e período de ocupação. O caso-base do modelo de simulação, o Cenário 1, reproduz a solução original da claraboia de fibra de vidro no que tange ao desempenho térmico, considerando uma camada simples de acrílico, afastada 4 cm da estrutura da cobertura, seguindo medidas tomadas *in situ*, com uma saída para a ventilação natural por efeito chaminé equivalente a 5% da área de projeção horizontal do componente translúcido. No Cenário 2, a camada de acrílico simples foi substituída por uma de acrílico duplo de aspecto leitoso, a fim de testar o impacto do aumento da resistência das trocas térmicas pela área translúcida da cobertura. Nesse caso, o Fator Solar (FS) cai de 85% do Cenário 1 para aproximadamente 50%, seguindo a especificação do material com efeito difusor de luz natural, necessário para o desempenho luminoso satisfatório nos espaços de estudo.

No Cenário 3 é retomado o fechamento de acrílico simples, com um FS de 50% pelas mesmas razões mencionadas no caso anterior, com um aumento da abertura na base da claraboia, a fim de testar, separadamente, a eficiência de um fluxo maior de ar na ventilação natural por efeito chaminé, na redução das temperaturas internas nos dias quentes do ano. Para isso, uma variação da abertura foi testada dos 4 cm (abertura original) aos 24 cm, distância com a qual foi verificado o limite da maximização do fluxo de ar, aumentando a área de abertura da ventilação para 30% de projeção horizontal do componente translúcido. No Cenário 4, uma estrutura de sombreamento externo, que barra o acesso da radiação solar direta, é colocada sobre o plano de claraboias definidas no Cenário 3, de camada simples e afastadas ao máximo da estrutura.

Com relação à ventilação natural, vale esclarecer que, por motivos de viabilidade construtiva e econômica, a abertura entre claraboia e estrutura foi proposta aqui como uma solução fixa, ou seja, resultando em uma ventilação permanente ao longo do ano, inclusive nos períodos mais frios. Já as frestas presentes nas empenas de concreto (resultantes da parede dupla), pensadas para incrementar o fluxo de entrada de ar nas salas de aula e estúdios, foram consideradas abertas para as simulações de verão e fechadas para as simulações de inverno. Além disso, as portas das salas de aula foram consideradas fechadas em todos os cenários, como são normalmente usadas. É importante ressaltar que o sombreamento parcial da estrutura de vigas invertidas sobre a superfície das claraboias foi considerado em todas as simulações, tendo em vista a geometria do modelo. É importante ressaltar que o programa de atividades do edifício consta de uma ocupação das salas de aula e estúdios de atividades práticas tanto durante o dia como durante a noite, períodos em que são ministrados, respectivamente, os cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo e de Design.

Quadro 1 – Cenários de simulação para as soluções alternativas da cobertura do edifício da FAUUSP. Dados da especificação termo física dos materiais, aberturas para a ventilação, ganhos internos de calor e período de ocupação

Cenários	Componente de fechamento da claraboia	Especificação termo física e abertura para a ventilação	Ganhos internos de calor	
			Estúdios	Salas de aula
Cenário 1	Camada de acrílico simples	U = 5,5 W/m ² °C; FS = 85%; Distância entre cobertura e claraboia = 4 cm.		
Cenário 2	Camada de acrílico duplo	U = 3,5 W/m ² °C; FS = 50%; Distância entre cobertura e claraboia = 4 cm.	- Iluminação: 15 W/m ² - Ganhos sensíveis de ocupação: 11 W/m ² - Ganhos latentes de ocupação: 9 W/m ² - Ganhos sensíveis de equipamentos: 5 W/m ²	- Iluminação: 15 W/m ² - Ganhos sensíveis de ocupação: 5,5 W/m ² - Ganhos latentes de ocupação: 4,5 W/m ² - Ganhos sensíveis de equipamentos: 16 W/m ²
Cenário 3	Camada de acrílico simples + maximização da ventilação	U = 5,5 W/m ² °C; FS = 50%; Distância entre cobertura e claraboia = 24 cm.		
Cenário 4	Camada de acrílico simples + maximização da ventilação + sombreamento externo	U = 5,5 W/m ² °C; FS = 50%; Distância entre cobertura e claraboia = 24 cm; Sombreamento externo		
Período de ocupação		Inclui os dois cursos de graduação da FAUUSP: Arquitetura e Urbanismo e o curso de Design. Sendo assim, o período de ocupação é das 8h da manhã às 11h da noite.		

Fonte: os autores.

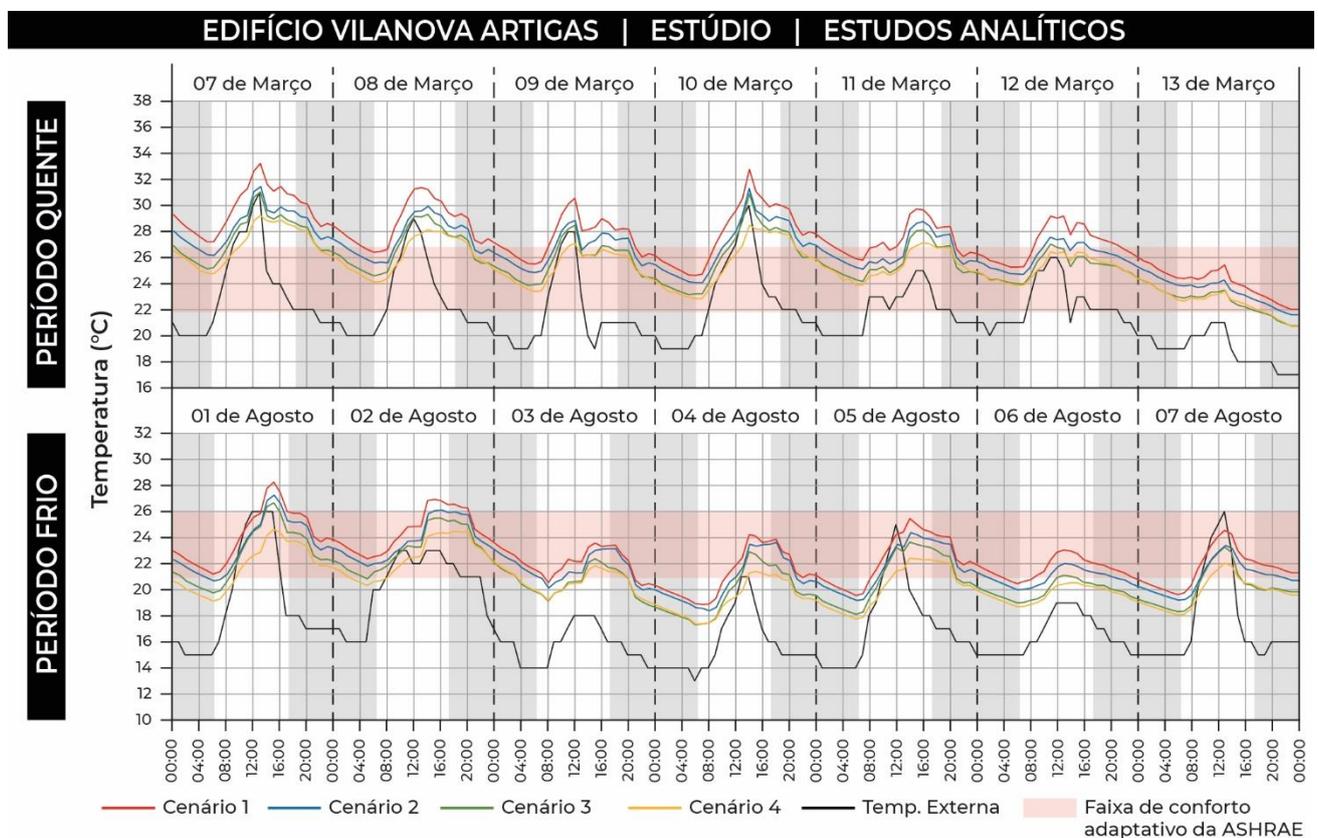
O desempenho térmico dos espaços de estúdio e de sala de aula, para as quatro alternativas de fechamento da cobertura, foi analisado em dois períodos do ano: uma semana típica de verão, do mês de março, e outra de inverno, do mês de agosto, durante os quais foram analisadas as respostas térmicas da edificação em relação ao clima externo e à zona de conforto gerada a partir do modelo de conforto térmico adaptativo apresentado na norma internacional ASHRAE-55 (ASHRAE, 2017). O estudo das condições de conforto térmico foi aprofundado em uma leitura mensal, em que foram comparados os resultados do Cenário 1, sendo este o caso-base, e o Cenário 3, que apresentou o melhor desempenho térmico para a situação de verão, dentre as soluções viáveis de implementação, que exclui o Cenário 4.

Estudo analítico de desempenho térmico - Resultados e discussão

Os resultados de temperatura do ar extraídos das simulações de termodinâmica do estúdio e da sala de aula, para os quatro cenários de fechamento da cobertura do edifício da FAUUSP estão apresentados nas Figuras 11 e 12. Para o período de dias quentes, as simulações de desempenho térmico para os dois ambientes mostraram uma elevação constante e significativa das temperaturas internas em relação às temperaturas externas, nos casos dos Cenários 1 e 2. No caso do Cenário 1 para o ambiente do estúdio (caso-base), as temperaturas mais elevadas ficam de 2 a 5 °C acima da temperatura externa, com as temperaturas internas, chegando a 33 °C no horário de

pico do dia mais quente da semana, 7 de março, enquanto a temperatura externa fica ao redor dos 31 °C (Figura 11). Os resultados para o Cenário 2 ficam abaixo dos do Cenário 1, mas com uma diferença que não passa de 1 °C nos horários de pico, próximo ao meio-dia, comprovando a ineficiência da estratégia de aumento da resistência térmica da claraboia, exclusivamente. No Cenário 3, com o aumento significativo da abertura para a ventilação, a temperatura interna máxima fica bem próxima à externa, em todos os dias do período quente, mostrando a eficiência da estratégia da ventilação natural. É apenas no Cenário 4, com a colocação do sombreamento externo sobre a claraboia do Cenário 3 (que já tem a ventilação otimizada), que a temperatura interna máxima fica ao redor de 3,5 °C abaixo das máximas externas. Com exceção dos dias em que a temperatura externa fica abaixo dos 30 °C, mesmo com o sombreamento, por grande parte das horas do dia as temperaturas internas ficam acima do limite de 27 °C da zona de conforto.

Figura 11 – Temperaturas resultantes das simulações termodinâmicas dos quatro cenários de soluções alternativas para o fechamento da cobertura, no ambiente de estúdio (Estúdio 3). Na parte superior da figura está o gráfico com os dados para a semana do período quente (de 7 a 13 de março) e na parte inferior aqueles para a semana do período frio (de 1 a 7 de agosto)

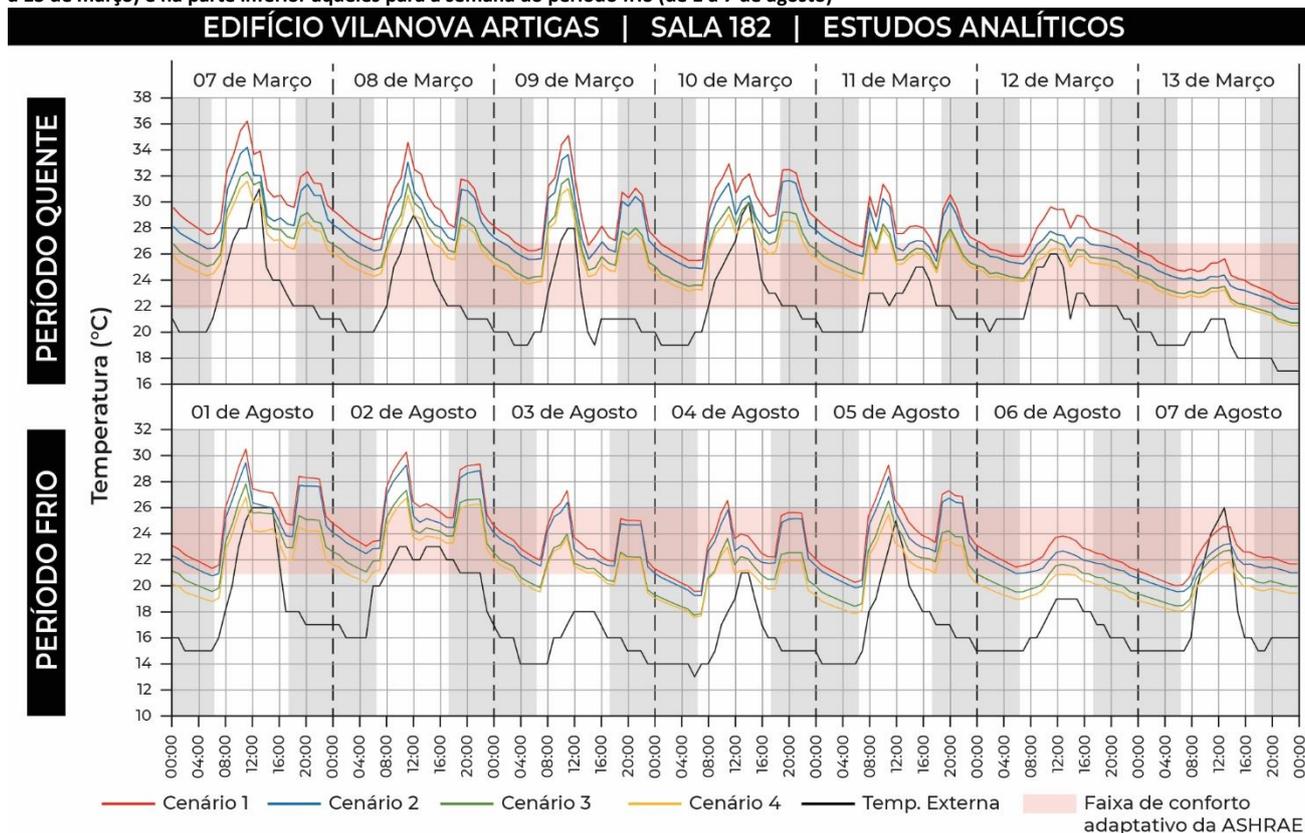


Fonte: os autores.

Para o caso da sala de aula (Figura 12), os perfis de temperaturas do ar dos quatro cenários simulados seguem a mesma tendência, porém, são mais elevados do que os do estúdio. A exemplo disso, no dia mais quente do período, 7 de março, a temperatura interna máxima no Cenário 1, com acrílico simples, chega a 36 °C, 3 °C acima do que foi identificado no estúdio, enquanto no Cenário 2, com fechamento de acrílico duplo, a temperatura máxima é de 34 °C. No Cenário 3, o efeito da ventilação resulta em uma diferença de 4 °C abaixo do que é visto no Cenário 1 (caso base), nos períodos mais quentes dos dias simulados. Além disso, diferente do que foi visto no estúdio, mesmo com a maior ventilação promovida no Cenário 3, as temperaturas internas máximas na sala de aula ficam acima das externas de 1 a 3 °C. Na sala de aula, a introdução do

sombreamento no Cenário 4 leva a uma redução da temperatura do ar de menos de 1 °C em relação ao Cenário 3. Na melhor situação (vista nos Cenários 3 e 4), com os efeitos da ventilação natural e do sombreamento, as temperaturas internas só se encontram dentro da zona de conforto quando as externas não ultrapassam o limite dos 26 °C. Tanto no estúdio como na sala de aula, as temperaturas nos horários noturnos (quando funciona o curso de *Design*) do período quente, estão dentro da zona de conforto.

Figura 12 – Temperaturas resultantes das simulações termodinâmicas dos quatro cenários de soluções alternativas para o fechamento da cobertura, no ambiente de sala de aula (Sala 812). Na parte superior da figura está o gráfico com os dados para a semana do período quente (de 7 a 13 de março) e na parte inferior aqueles para a semana do período frio (de 1 a 7 de agosto)



Fonte: os autores.

Por outro lado, durante a semana de inverno, no estúdio, a grande maioria das horas de desconforto por frio acontece primordialmente nos Cenários 3 e 4, de maior ventilação permanente somada ao sombreamento, quando a temperatura externa fica abaixo dos 18 °C, como visto nos dias 4 e 6 de agosto (Figura 11). Nos dias mais quentes da semana de inverno, os Cenários 1 e 2 (de ventilação reduzida) apresentam horas de superaquecimento, superando o limite da zona de conforto, quando as temperaturas externas estão acima dos 26 °C.

Assim como na semana de verão, na semana de inverno as temperaturas na sala de aula são mais elevadas do que as do estúdio, resultando em mais horas de ocupação dentro da zona de conforto (Figura 12). É principalmente nos Cenários 3 e 4 em que temperaturas abaixo da zona de conforto são identificadas no período noturno. Também são identificadas temperaturas acima da zona de conforto nos Cenários 1 e 2, chegando ao redor dos 30 °C no período da manhã, devido ao impacto da radiação solar (mesmo no período de inverno), sem o efeito de uma ventilação mais incrementada.

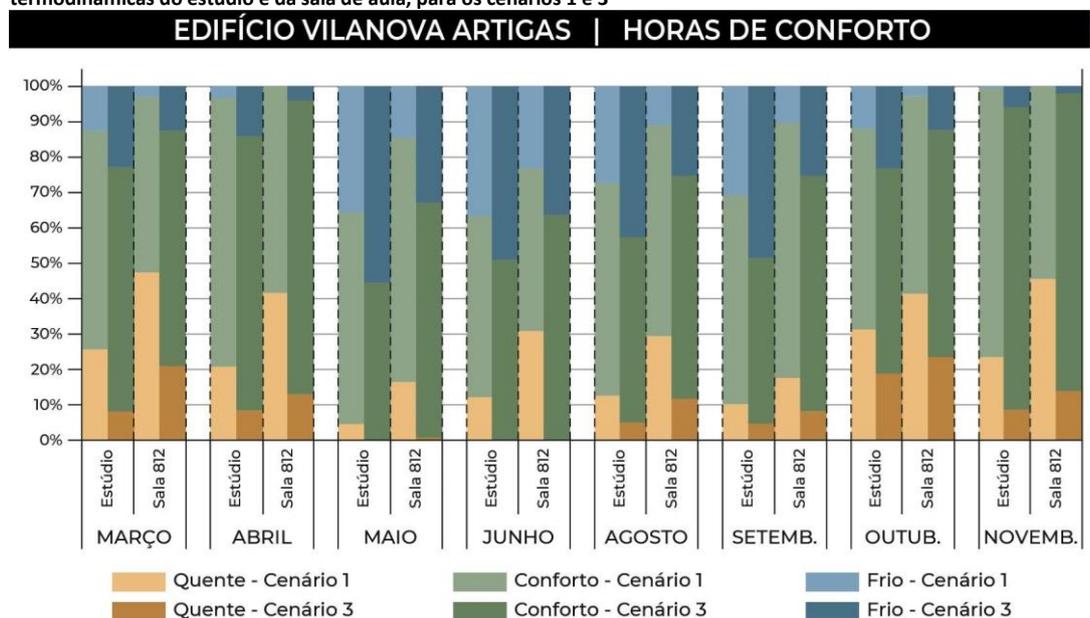
Em suma, viu-se que, no projeto original da cobertura (Cenário 1), a saída do fluxo de ar quente é insuficiente para a remoção de calor necessária para o alcance de condições de conforto no período quente. A impossibilidade de controle do fluxo de ar da

ventilação natural é outra limitação do projeto para o conforto térmico também nos dias de frio. Ou seja, no que tange ao seu impacto na ventilação, a abertura original e fixa das claraboias está subdimensionada para o período quente e superdimensionada para o frio.

A solução dada no Cenário 3 foi a adotada para a reforma da cobertura do edifício da FAUUSP, concluída em 2014, lembrando que o Cenário 4, que leva o sombreamento externo, é inviável pelo tombamento do edifício e consequente impossibilidade de adição de qualquer componente construtivo novo.

Sendo assim, foi feita uma análise comparativa da distribuição das horas de conforto térmico, em percentual, para o Cenário 1, o caso-base com as temperaturas mais elevadas, e o Cenário 3, executado na reforma da cobertura, que está apresentada na Figura 13. A análise se restringiu aos meses letivos do ano. Como esperado, as horas de conforto térmico nos meses mais quentes (março, abril, outubro e novembro) aparecem em um percentual maior no Cenário 3.

Figura 13 – Percentual de horas de conforto térmico ao longo dos meses letivos, resultantes das simulações termodinâmicas do estúdio e da sala de aula, para os cenários 1 e 3



Fonte: os autores.

Olhando para a situação no mês de novembro, por exemplo, o Cenário 3 oferece 90% de horas de conforto no estúdio e 85% na sala de aula, versus 75% no estúdio e 52% na sala, para o Cenário 1. Nos meses mais frios do ano letivo (de maio a agosto), o inverso é observado, quando o percentual de horas em conforto é maior no Cenário 1. Tomando o mês de maio como referência, identificou-se 60% de horas em conforto no estúdio e 67% na sala, no Cenário 1, versus 45% no estúdio e 60% na sala, para o Cenário 3. O desempenho mais insatisfatório do Cenário 3 no inverno está associado à ventilação permanente causada pela abertura entre as claraboias e a estrutura da cobertura. Analisando o ano letivo de forma global, os ganhos percentuais nas horas de conforto durante os meses mais quentes são mais expressivos para o total anual das horas em conforto do que aqueles decorrentes do Cenário 1, com impacto positivo nos meses mais frios.

Considerações finais

Os estudos analíticos de avaliação do desempenho luminoso e térmico do edifício Vilanova Artigas mostraram que a estratégia projetual de abrir aproximadamente 40% sua área de cobertura à exposição para a radiação solar global estabelece uma relação direta entre condições ambientais internas e externas que impõe restrições ao conforto ambiental nos estúdios e salas de aula, em particular para o conforto térmico.

O desempenho da solução arquitetônica original foi testado, respeitando as restrições impostas pelo CONDEPHAAT. Nesse sentido, foi mantida a área de superfície transparente da cobertura e o esquema da ventilação natural por efeito chaminé, mas trocou-se o material da superfície iluminante da claraboia e aumentou-se o afastamento da mesma da estrutura. Os resultados mostram que o edifício tombado tem limitações para o alcance das condições de conforto térmico no verão e no inverno.

Com a reforma de 2014, que introduziu claraboias de acrílico simples, o risco de ofuscamento do projeto original decorrente do grau de transparência da claraboia de fibra de vidro foi eliminado com o fechamento em acrílico leitoso, de característica difusora de luz direta, resultando em um ambiente luminoso de qualidade e luz homogênea, no espaço sob a grande cobertura. Verificou-se que a quantidade de luz nos espaços sob a cobertura varia ao longo do dia e ao longo do ano e de acordo com as condições de céu, porém sempre mantendo o efeito de luz difusa e sem riscos de ofuscamento.

Quanto ao desempenho térmico, o desconforto nos períodos mais quentes do ano foi amenizado, porém não eliminado por completo. Isso porque os resultados das simulações computacionais mostraram a ocorrência de temperaturas máximas (no início da tarde), em torno dos 30 °C nos estúdios e entre 30 °C e 32 °C nas salas de aula, ou seja, 4 °C a menos do que na situação do projeto original, devido ao aumento da ventilação alcançado com o levantamento das claraboias, mas ainda acima do limite da zona de conforto. Além do impacto da nova cobertura nas temperaturas do ar interno, ao se criar um ambiente de luz difusa, evita-se o desconforto térmico por conta da exposição do usuário à radiação solar direta (minimizando a temperatura radiante do ambiente interno).

A impossibilidade da colocação de uma estrutura de sombreamento externo ditada pelo CONDEPHAAT configura uma limitação cujo efeito na redução dos ganhos de calor não tem como ser compensado pela ventilação natural. Quanto a isso, o papel do sombreamento externo na redução das temperaturas de pico no período quente do ano foi testado a título de investigação puramente científica e constatou-se que, com ele, o perfil de temperaturas ao longo de um dia quente fica dentro da zona de conforto, por grande parte das horas. No inverno, desconforto térmico no cenário da nova cobertura acontece essencialmente no período noturno.

Mesmo com a ocorrência de horas de desconforto térmico nos períodos mais extremos de calor e frio, de uma forma geral, a reforma da cobertura levou a uma melhoria sensível das condições ambientais de iluminação e térmica nos espaços do Edifício Vilanova Artigas, resultando em uma valiosa oportunidade para a discussão dos potenciais e limites do projeto do edifício para o alcance de condições de conforto ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (Processos n°: 2014/15961-9; 2015/04646-8 e 2018/25711-0), ao CNPq e à CAPES pelos auxílios concedidos às pesquisas que embasaram o conteúdo deste artigo (incluindo o Processo n°: 307842/2015-0).

Por fim, agradecimentos às Diretorias da FAUUSP (gestões de 2011 a 2014, 2015 a 2018 e a atual) por todo o apoio dado às várias atividades de pesquisa realizadas no Edifício Vilanova Artigas.

Notas

- (1) Quanto à definição de área de envoltória, o Decreto Estadual de nº. 48.137, de 07.10.2003 estabelece que “a Resolução de Tombamento preverá, no entorno do bem imóvel tombado, edificação ou sítio, uma área sujeita a restrições de ocupação e de uso quando estes se revelarem aptos a prejudicar a qualidade do bem sob preservação, definindo, caso a caso, as dimensões desta área envoltória”.
- (2) Atualmente fazem parte do conjunto desses edifícios: Edifício Vilanova Artigas, Edifício Anexo, Canteiro Experimental Antonio Domingos Battaglia e Ateliê Fraccaroli, situados no campus da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, e Edifício Vila Penteados, situado na Rua Maranhão, 88, Higienópolis, São Paulo - SP.
- (3) Imagem que consta do Caderno dos Riscos Originais do Prédio da FAUUSP na Cidade Universitária, de 1961. O conjunto dos desenhos dessa publicação foi depois copiado e organizado numa pequena tiragem pelo GFAU em 1979, por Roberto Portugal Albuquerque e José Armênio de Brito Cruz. A referida imagem foi reestampada em 1991 e reproduzida pela FAUUSP, mais uma vez, em 1998, para a comemoração dos 50 anos da FAUUSP.

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI ASHRAE 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2017.

ARTIGAS, J. B. **Vilanova**. Caderno de riscos originais. São Paulo: FAUUSP, 1998.

BAROSSO, A. C. **O edifício da FAU-USP de Vilanova Artigas**. São Paulo: Editora da Cidade, 2016, 208 p. ISBN 9788564558212.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Daylight Design of Buildings**. London: James & James, 2002, 260 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315073750>.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – Conforto Ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003, 305 p. ISBN 9788571063976.

DIAL GmbH. **DIALux EVO. Versão 8.0**. Disponível em: <https://www.dial.de/en/dialux-desktop/download/>. Acesso em: fev. 2020.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2008.429167>.

EDSL - ENVIRONMENTAL DESIGN SOLUTIONS LIMITED. **TAS Building 9.2.1.6 ed**. United Kingdom: Environmental Design Solutions Limited (EDSL), 2013.

GONÇALVES, J. C. S.; UZUM, M. D.; MULFARTH, R. C. K.; LIMA, E. G.; FERREIRA, A. Revealing the thermal environmental quality of the high-density residential tall building from the Brazilian bioclimatic modernism: the case-study of Copan building. **Energy and Buildings**, v. 175, p. 17-29, set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.054>.

LEAL, A.; KÜHL, B. M.; YOSHIOKA, E. Y.; FRANCO, F. T. S. R.; FERNANDES, G. de A.; HAYAKAWA, G. Y.; STRAUSS, L.; ROLNIK, R. Plano diretor participativo da FAU: uma proposta pactuada de intervenção nos edifícios da escola. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, [S. l.], v. 18, n. 30, p. 252-269, 2011. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v18i30p252-269>

MARDALJEVIC, J.; ANDERSEN, M.; ROY, N.; CHRISTOFFERSEN, J. Daylighting Metrics: Is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability? In: IBPSA-ENGLAND CONFERENCE ON BUILDING SIMULATION AND OPTIMIZATION. 1., 2012, Loughborough. **Proceedings [...]**. Loughborough: IBPSA, 2012.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Res. Technology**, v.37, p.41-59, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1191/1365782805li1280a>.

OKSMAN, S. **Preservação do patrimônio arquitetônico moderno: a FAU de Vilanova Artigas**. 2011. 128 p. Dissertação (Mestrado em Projeto, Espaço e Cultura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/d.16.2011.tde-18012012-144727>.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. In: **Hydrol. Earth Syst. Sci.** v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>.

PINHO, J. K. C. **FAU-USP: Desempenho Ambiental em Cenário de Mudança Climática**. 2013. 130 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/D.16.2016.tde-05092016-131856>.

PINHO, J. K. C.; GONÇALVES, J. C. S.; MULFARTH, R. C. K. **Estudos Técnicos de Desempenho Ambiental da Cobertura do Edifício Vilanova Artigas na Cidade Universitária**. Relatório Técnico (Acesso Restrito). LABAUT-FAUUSP. São Paulo: FAUUSP, 2013.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos: ANTAC, 2012. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/sobre_epw.pdf.

RUSSO, F. **Climatic Responsive Design in Brazilian Modern Architecture**. 2004. Dissertation (MPhil Degree in Architecture and Urban Design) - Martin Centre for Architectural e Urban Studies, Cambridge University, 2004.

SOLEMMMA LLC. **Diva for RHINO 3.0**. 2016, Disponível em: <https://www.solemma.com/diva>.

SZOKOLAY, S. V. **Introduction to architectural science: the basis of sustainable design**. Oxford: Architectural Press, Elsevier, 2004, 392 p. ISBN 9780415824989.

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

WIENOLD, J.; CHRISTOFFERSEN, J. Towards a new daylight glare rating. In: EUROPEAN LIGHT CONGRESS, 10., 2005, Berlin. **Proceedings [...]**. Berlin: Ludwig Erhard Haus Berlin Chamber of Commerce and Industry, 2005.

1 Joana Carla Soares Gonçalves

Arquiteta-Urbanista. Livre-Docente. Architectural Association School of Architecture. Endereço postal: 36 Bedford Square, London, United Kingdom. ZIP: WC1B 3ES.

2 Roberta Consentino Kronka Mülfarth

Arquiteta-Urbanista. Livre-Docente. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Endereço postal: Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo, SP – Brasil. CEP: 05508-060.

3 Ranny Loureiro Xavier Nascimento Michalski

Engenheira Mecânica. Doutora. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Endereço postal: Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo, SP – Brasil. CEP: 05508-060.

4 Alessandra Rodrigues Prata Shimomura

Arquiteta-Urbanista. Doutora. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Endereço postal: Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo, SP – Brasil. CEP: 05508-060.

5 Marcelo de Andrade Roméro

Arquiteto-Urbanista. Professor Senior da Universidade de São Paulo. Centro Universitário Belas Artes. Endereço postal: Rua Dr. Álvaro Alvim, 90, Vila Mariana, São Paulo, SP – Brasil. CEP: 04018-010.

6 Cristiane Mítico Sato Furuyama

Arquiteta-Urbanista. Doutora. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. Endereço postal: Rua do Matão, 1226, Butantã, São Paulo, SP – Brasil. CEP: 05508-090.

7 Johnny Klemke Costa Pinho

Arquiteto-Urbanista. Mestre. Consultor de Desempenho Ambiental de Edificações da empresa MG2. Endereço postal: 1101 Second Ave, Suite 100, Seattle, WA. ZIP: 98101.

8 Eduardo Gasparelo Lima

Arquiteto-Urbanista. Mestrando. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Endereço postal: Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo, SP – Brasil. CEP: 05508-060.

9 Cláudia Ferrara Carunchio

Arquiteta-Urbanista. Mestranda. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Endereço postal: Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo, SP – Brasil. CEP: 05508-060.

10 Sylvia Tavares Segovia

Arquiteta-Urbanista. Mestranda. Architecture and Environmental Design Master Course, School Architecture and Cities, University of Westminster. Endereço postal: 309 Regent Street, London, United Kingdom. ZIP: W1B 2HW.

11 Karen Daiane dos Santos

Graduanda em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Endereço postal: Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo, SP – Brasil. CEP: 05508-060.