O DESEMPENHO AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS ÍCONES DA ARQUITETURA MODERNISTA EM SÃO PAULO: INTERAÇÕES ENTRE CONFORTOS ACÚSTICO, ERGONÔMICO, LUMINOSO E TÉRMICO NO CASO DOS EDIFÍCIOS ALBATROZ E LOUVEIRA

Fábio Bellucci Figueiredo Dada (1); Júlia Moreira Moura (2); Nícolas Locali de Figueiredo (3); Joana Carla Soares Gonçalves (4); Ranny Loureiro Xavier Nascimento Michalski (5); Roberta Consentino Kronka Mülfarth (6)

(1) Graduando em Arquitetura e Urbanismo pela FAUUSP, fabiobellucci@usp.br
(2) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo pela FAUUSP, julia_smrdel@usp.br
(3) Graduando em Arquitetura e Urbanismo pela FAUUSP, nicolas_figueiredo@usp.br
(4) Professora do Architecture and Environmental Design Master's Programme (University of Westminster) e Environmental Technical Studies (Architecture Association), joana.goncalves@aaschool.ac.uk; Architectural Association School of Architecture, 36 Bedford Square, Bloomsbury, London WC1B 3ES, UK; J.Soaresgoncalves1@westminster.ac.uk; University of Westminster. School of Architecture and Cities, Marylebone, London NW1 5LS, UK
(5) Professora Doutora do Departamento de Tecnologia, rannym@usp.br
(6) Professora Associada do Departamento de Tecnologia, rkronka@usp.br
Universidade São Paulo, Departamento de Tecnologia, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, R. do Lago, 876 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-080, Tel.: (11) 3091 4538 Ramal 213

RESUMO

Este artigo dedica-se a estudar as interações entre aspectos da ergonomia do projeto arquitetônico e os elementos voltados ao conforto acústico, térmico e luminoso em edifícios ícones da arquitetura modernista em São Paulo, produzidos entre as décadas de 1940 e 1960. Para isso, são considerados dimensionamento e distribuição dos cômodos em articulação com o posicionamento, dimensionamento e sistemas de controle das aberturas no envelope dos edifícios, além de sistemas de proteção solar, quando presentes. Os estudos de caso são os dois blocos residenciais do complexo Louveira (projeto de 1946, de Carlos Cascaldi e Vilanova Artigas) e o Edifício Albatroz (1960, projeto de João Kon), ambos localizados na região de Higienópolis, notável pela presença marcante da arquitetura bioclimática. Entre os principais resultados, destacam-se o impacto da infiltração nos dormitórios, os bons níveis de iluminância nas porções centrais das plantas e a adaptabilidade em relação ao conforto acústico.

Palavras-chave: ergonomia, conforto térmico, conforto lumínico, arquitetura moderna, arquitetura bioclimática

ABSTRACT

This article is dedicated to studying the interactions between the ergonomic aspects of architectural design and the elements focused on acoustic, thermal and visual comfort in iconic buildings of modernist architecture in São Paulo, produced between the 1940s and 1960s. Sizing and distribution of the rooms in conjunction with the positioning, sizing and control systems of the openings in the buildings envelope, in addition to shading systems were considered. The case studies are the two residential blocks of the Louveira complex (1946, project by Carlos Cascaldi and Vilanova Artigas) and the Albatroz Building (1960, project by João Kon), both located in the Higienópolis region, notable by the remarkable presence of bioclimatic architecture. Among the main results are the impact of infiltration in the bedrooms, the good levels of illuminance in the central portions of the plants and the adaptability in relation to acoustic comfort.

Keywords: ergonomics, thermal comfort, visual comfort, modern architecture, bioclimatic architecture

1. INTRODUÇÃO

1.1 Sequência de pesquisas

Este artigo é produto direto de três pesquisas desenvolvidas em conjunto, entre 2019 e 2020, por alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo da USP, junto ao Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT). Com focos específicos de análise, todos os trabalhos abordam os mesmos estudos de caso e têm em comum o estudo do conforto ambiental através da análise integrada da Ergonomia.

1.2 Importância da análise integrada

LUIZ (2017) afirma que a Ergonomia, enquanto "estudo das ações e influências mútuas entre o ser humano e o espaço através de interfaces recíprocas", deve ser resgatada no processo de projeto por meio de seu caráter integrador. A autora reafirma, ainda, a face subjetiva do estudo ergonômico, carregada de valores de conveniência, adequação, expressividade, comodidade e prazer. Nesse sentido, a postura adotada no presente trabalho reconhece a importância da análise integrada.

Para avaliar da melhor forma o desempenho de um determinado espaço, cumpre, portanto, articular as valiosas informações de ordem quantitativa (medições, simulações computacionais) com a percepção subjetiva de seus usuários. Esta abordagem acompanha todas as análises aqui apresentadas.

1.3 Modernismo Bioclimático

Os estudos de caso são os dois blocos residenciais do complexo Louveira (projeto de 1946, de Carlos Cascaldi e Vilanova Artigas) e o Edifício Albatroz (1960, projeto de João Kon), ambos localizados na região de Higienópolis, notável pela presença marcante da arquitetura moderna. Além de Cascaldi, Artigas e Kon, outros importantes arquitetos, como Franz Heep, Rino Levi e David Libeskind, assinam projetos construídos na região.

Os edifícios Louveira e Albatroz (figura 1) são ícones da produção residencial paulistana, classificados pela crítica arquitetônica, segundo Serapião (2014), como exemplos projetados para lidar com os desafios e potenciais do clima subtropical úmido de São Paulo, em que a proteção contra a radiação solar influencia o projeto arquitetônico, junto com a eficiência da ventilação natural e outras estratégias passivas, como a massa térmica. Destacam-se as dimensões generosas dos ambientes e aberturas, a planta em fita, a qual potencializa a ventilação natural cruzada, como elementos característicos da arquitetura bioclimática que se manifestam nos estudos de caso. Por outro lado, vale apontar em ambos os prédios os panos de vidro sem dispositivo de proteção solar, à semelhança do Palácio Capanema (CORBELLA; YANNAS, 2003).

A avaliação qualitativa do desempenho dos espaços internos, pelo olhar da Ergonomia, debruça-se sobre a realização das tarefas em um edifício residencial e as expectativas dos usuários em relação à moradia. Em edifícios pensados há mais de 50 ou 60 anos, as demandas contemporâneas enfrentam cômodos desenhados para contextos muito diferentes e essa relação aponta para grandes potencialidades de apropriação da arquitetura moderna pelos usos contemporâneos. A análise de tarefa para os ambientes internos das unidades-tipo dos edifícios, realizada em um primeiro momento, soma-se às informações levantadas sobre o detalhamento de desenho e funcionamento das aberturas e dispositivos de controle de iluminação e ventilação.



Figura 1 - Edifícios Louveira (à esquerda) e Albatroz (à direita). Fotos: Nelson Kon.

Em um contexto no qual a produção arquitetônica mantinha forte relação com os parâmetros de qualidade ambiental e o processo de projeto integrava preocupações referentes ao conforto no interior do espaço construído (com foco no controle da insolação e ventilação natural), a Janela Ideal foi largamente utilizada. Sua configuração em "guilhotina" permite o posicionamento estável das folhas a qualquer altura, inclusive proporcionando a abertura total do vão para ventilação e iluminação.

2. OBJETIVO

Por meio de métodos qualitativos e quantitativos de avaliação, busca-se identificar o papel de cada aspecto do projeto na resposta térmica, acústica e luminosa do edifício, com vistas a formular explicações técnicas sobre as características arquitetônicas que se destacam como de maior impacto no desempenho da edificação e a sua articulação com aspectos da ergonomia associadas ao projeto dessas características.

3. MÉTODO

3.1 Revisão bibliográfica e levantamentos iniciais

Nesta etapa incluem-se todos os procedimentos iniciais de levantamento das edificações e revisão bibliográfica. Foram realizadas visitas de campo (figura 2) aos edifícios, a fim de realizar entrevistas com os moradores e reunir dados atualizados a respeito das habitações, tais como o estado de manutenção e operabilidade dos dispositivos de controle das janelas e disposição do mobiliário. Além das plantas originais dos dois edifícios, foram levantadas as plantas de alteração das três unidades visitadas, de modo a buscar compreender os impactos das reformas. Foram instalados equipamentos de medição nas unidades, embora as restrições decorrentes da pandemia de COVID-19 tenham inviabilizado o processamento dos dados produzidos.

O acesso aos arquivos da Prefeitura de São Paulo, referentes aos trâmites de aprovação dos edifícios, as conversas com o arquiteto João Kon e o material fornecido por ele a respeito do Albatroz, bem como a documentação referente ao Louveira, disponibilizada pela biblioteca da FAUUSP, foram fontes documentais importantíssimas para o desenvolvimento deste trabalho.

3.2 Estudos preliminares de ergonomia

A fundamentação teórica deste artigo ocorre a partir da metodologia apresentada por Mülfarth (2017), para a análise integrada de conforto ambiental no ambiente construído. Esta divide-se em 3 etapas:

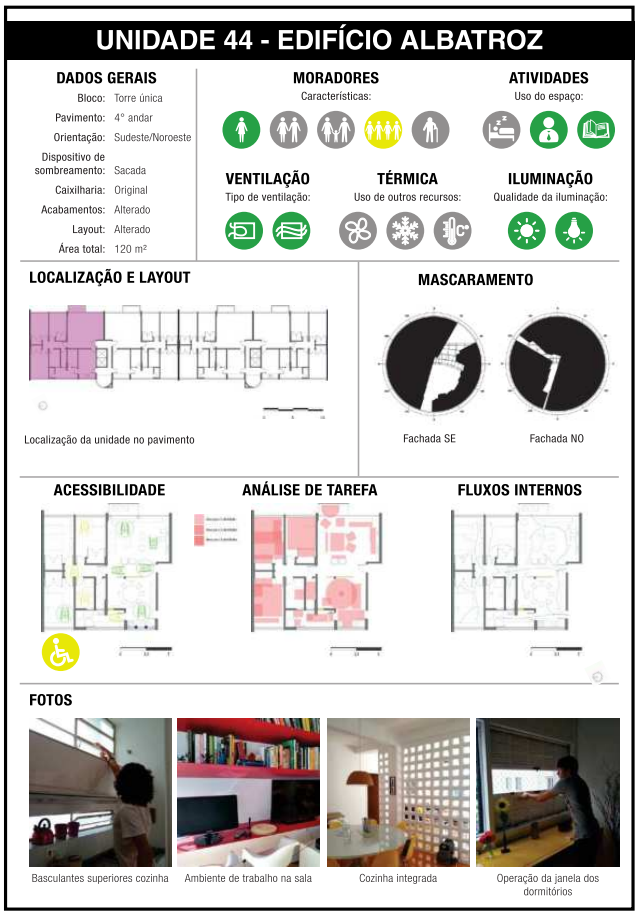
- avaliação ergonômica, a qual inclui:
  - análise de tarefa e análise antropométrica de tarefa;
  - levantamento da disposição do mobiliário;
  - análise preliminar de conforto ambiental;
- levantamento da percepção dos usuários;
- relação da ergonomia com os demais aspectos do conforto ambiental.

O estudo das aberturas ocorreu a partir do levantamento de desenhos originais dos projetistas, redesenho e modelagem 3D pelos autores, o que forneceu informações importantes sobre as medidas e proporções dos conjuntos dos caixilhos, bem como os diferentes elementos que os compõem. A possibilidade de operar as aberturas nas visitas de campo trouxe a necessária perspectiva dos apartamentos já décadas após a inauguração dos edifícios, bem como compreensão de elementos importantes das dinâmicas domésticas de ocupação em cada unidade.

Como produto dos estudos preliminares de ergonomia, foram desenvolvidas fichas-síntese (figuras 3 e 4) das três unidades visitadas, as quais possibilitaram a sistematização das informações mais importantes ao desenvolvimento das simulações. Nelas, constam as alterações do *layout* em relação às plantas originais, análises antropométricas de tarefa, apontamentos sobre a operação das aberturas e impressões a respeito do uso do espaço e das condições de conforto, fornecidas pelos usuários.



Figura 2 - Visitas de campo.





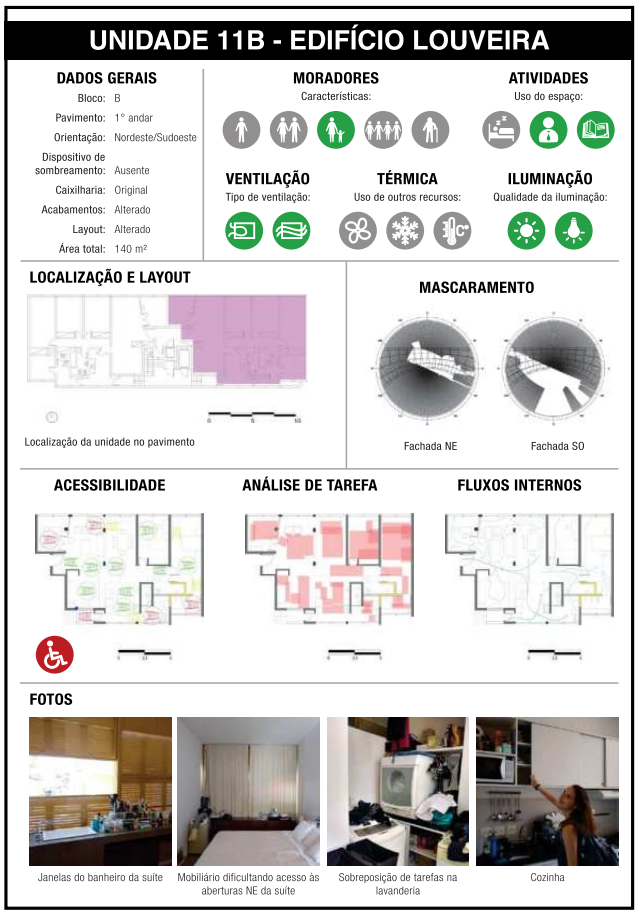




Figura 3 - Fichas-síntese da unidade 44 do Albatroz e da unidade e 11B do Louveira.

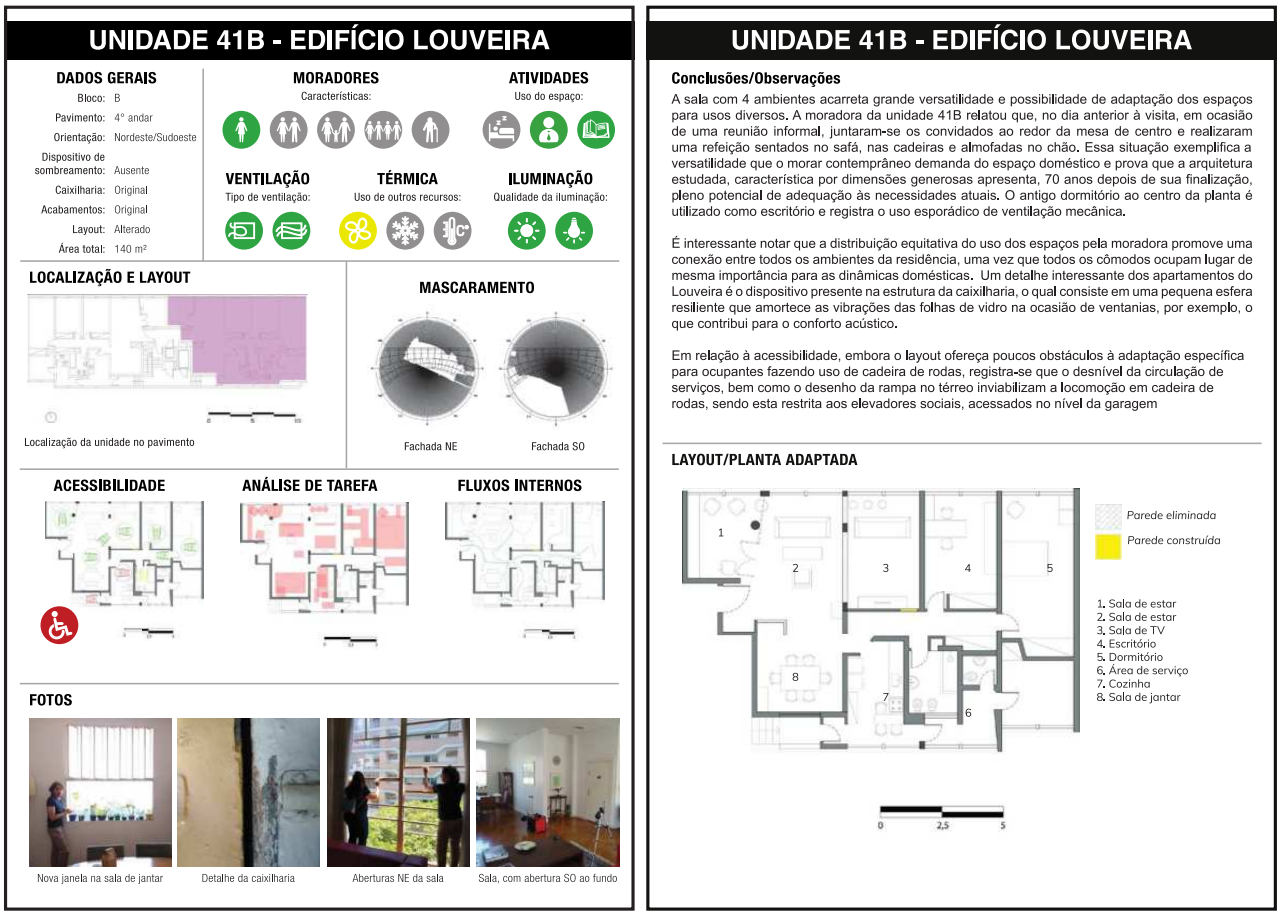


Figura 4 - Ficha-síntese da unidade 41B do Louveira.

A escolha dos ambientes a serem simulados, bem como a variação de cenários de simulação, foi fortemente influenciada pelas informações sistematizadas nas fichas.

3.3 Simulações computacionais

3.3.1 Análise Climática

Para o estudo do desempenho dos edifícios em relação à iluminação natural e ao conforto térmico, este trabalho se valeu de método dedutivo simulacional, beneficiando-se em grande medida da vasta gama de cenários elaborados.

Além das três unidades visitadas, e sobre as quais desenvolveram-se as avaliações ergonômicas, optou-se por simular as unidades em três posições diferentes no volume dos edifícios. De modo a fundamentar a escolha das outras três unidades a simular (duas no Albatroz e uma no Louveira, de acordo com a figura 6), foram realizados estudos de radiação incidente na fachada durante três ocasiões do ano: o equinócio de primavera e os solstícios.

As simulações de radiação (exemplo na figura 5) produzem, com pouco esforço computacional, visualizações de grande valia para a fácil compreensão das condições de insolação sobre diversos pontos da envoltória. Este estudo buscou identificar as porções dos edifícios correspondentes às unidades mais expostas à radiação solar, o que sugere maior potencial de ganhos térmicos (possivelmente crítico nos períodos mais quentes do ano) e as unidades que, por outro lado, estariam sujeitas a maiores efeitos de sombreamento, o que levaria a maior potencial de desconforto por frio durante o inverno, devido ao menor ganho solar.

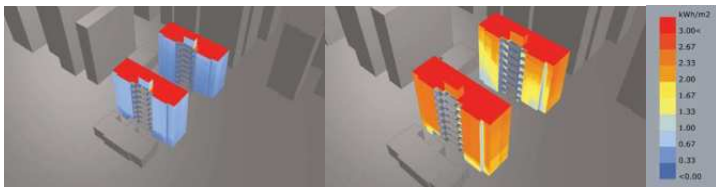


Figura 5 - Radiação incidente (Ed. Louveira) 21/06 e 21/12. Fonte: os autores.

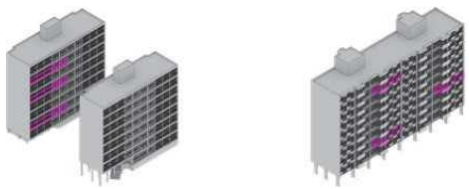


Figura 6 - Posições simuladas. Atenção às diferentes prumadas no Albatroz. Fonte: os autores.

Além disso, considerou-se que os ambientes correspondentes a zonas mais sombreadas das fachadas observariam mais dificuldades em relação à iluminação natural. Ao todo, foram simulados 11 ambientes, identificados na figura 7.

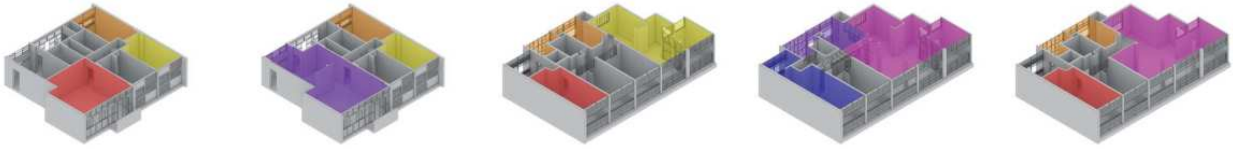


Figura 7 - Da esquerda para a direita, unidades 44 original, 44 adaptada (Albatroz), 11B original, 11B e 41B adaptadas (Louveira). Em destaque, os ambientes simulados. Fonte: os autores.

Os estudos de simulação computacional consideraram, para cada edifício, todas as configurações de planta levantadas na avaliação de ergonomia, cada uma nas três posições definidas anteriormente. Essa estratégia busca viabilizar a análise comparativa do desempenho de cada configuração em diferentes alturas (o que implica variação de fator de visão de céu, horas de exposição ao sol e quantidade de radiação incidente na fachada, entre outros). Acrescenta-se, no caso do Edifício Albatroz, a questão das diferentes condições de exposição entre as prumadas.

3.3.2 Conforto térmico e luminoso

3.3.2.1 Caracterização física dos ambientes

A partir dos levantamentos, foram realizados diagramas dos componentes construtivos e a relação entre eles, demonstradas em destaque no funcionamento dos dispositivos de controle das aberturas e na apresentação das propriedades físicas das diferentes vedações. A figura 8 apresenta dois exemplos de diagrama.

3.3.2.2 Parâmetros de simulação

As simulações de desempenho térmico foram conduzidas por meio do *software* Energy Plus, manipulado através da interface dos *plug-ins* LadyBug e Honeybee (por sua vez, incorporados ao *software* Rhinoceros). Os estudos de iluminação natural realizaram-se com base nos programas Radiance e DAYSIM, através da mesma interface.

3.3.2.3 Cenários propostos

A partir de todo o repertório adquirido na primeira fase desta pesquisa em relação às dinâmicas de uso dos ambientes e aos sistemas de operação das aberturas, foi possível elaborar cenários de simulação de modo a reproduzir aquelas dinâmicas e, ao mesmo tempo, proporcionar dados que alimentaram o eixo quantitativo de análise do estudo. A articulação entre os resultados de diferentes cenários tem como guia as considerações de ergonomia e fundamenta a compreensão a nível quantitativo do impacto das decisões dos usuários sobre o espaço.

Uma proposta de cenário bastante notável, por exemplo, tem como protagonista a Janela Ideal. Dentre sua vasta gama de possibilidades de arranjo entre as folhas, identifica-se a potencialidade de redução da carga térmica em razão da radiação solar, articulada à manutenção de vazão significativa de ar, contribuindo para a qualidade do ar interno e para o resfriamento passivo. Nesse sentido, foram simulados dois cenários no verão para todos os dormitórios contemplados com esse tipo de abertura, nos dois edifícios. No primeiro, as venezianas são mantidas abertas durante o dia, deixando exposta toda a área envidraçada.

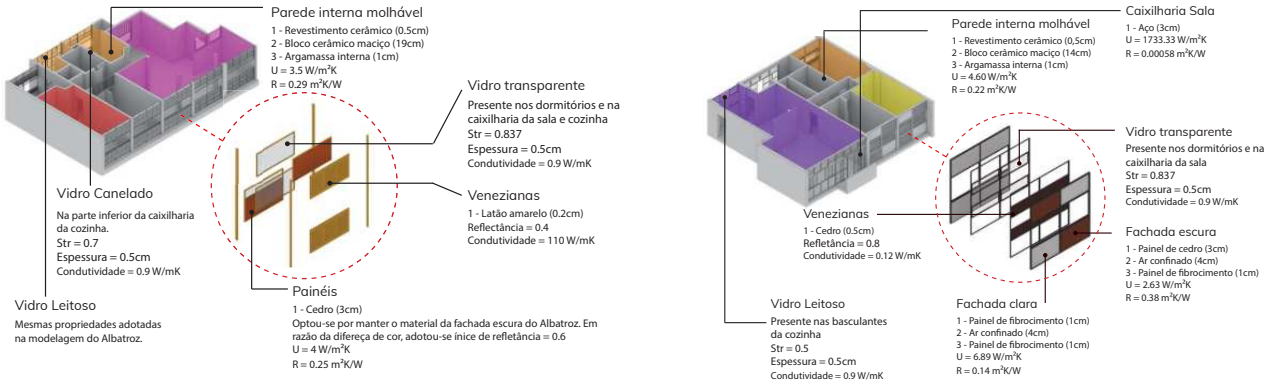


Figura 8 - Caracterização física dos ambientes (valores de R e U desconsiderando camada de ar superficial). Fonte: os autores.

Em um segundo momento, a simulação compreende venezianas parcialmente fechadas, de modo a garantir a manutenção de níveis aceitáveis de iluminação natural e buscar reduzir o ganho solar.

3.3.3 Conforto Acústico

Foram utilizados métodos experimentais e qualitativos, apoiados por métodos numéricos. Os parâmetros acústicos foram obtidos por meio de medições em campo e comparados com critérios e limites estabelecidos em normas ou na legislação, além da realização de cálculos numéricos.

Para tanto, foram necessárias informações sobre os materiais e áreas das superfícies internas dos ambientes, além dos volumes, para os cálculos dos tempos de reverberação de cada ambiente. Cada material possui um coeficiente de absorção sonora diferente, que também é necessário para os cálculos. Para os cálculos dos índices de isolamento das fachadas de cada ambiente, são necessários os respectivos tempos de reverberação dos ambientes, além de informações sobre os elementos construtivos da divisória externa e suas áreas. Neste caso, cada elemento construtivo possui uma perda na transmissão para sons aéreos diferentes, que também é necessária para os cálculos.

Foram escolhidos os seguintes ambientes para os cálculos dos tempos de reverberação e isolamentos sonoros das fachadas:

- Edifício Louveira Ap. 11B: sala, cozinha + lavanderia e dormitório principal;
- Edifício Louveira Ap. 41B: sala, cozinha + lavanderia e escritório;
- Edifício Albatroz Planta Original: sala, dormitório SE e dormitório NO;
- Edifício Albatroz Ap. 44: sala + cozinha, dormitório SE e dormitório NO.

3.4 Análise Integrada

Com base em todos os dados levantados a respeito dos diferentes aspectos de conforto ambiental nos estudos de caso, foi possível realizar uma análise crítica integrada, relacionando a Ergonomia aos desempenhos acústico, térmico e luminoso dos ambientes.

4. RESULTADOS

Foram selecionados nove resultados entre os mais notáveis, distribuídos em oito tópicos principais, com o intuito de fornecer um panorama mais completo sobre o processo de estudo e detalhar pontos importantes. A partir das análises, observou-se que os desempenhos dos edifícios, tanto térmico quanto luminoso e acústico, são razoáveis, já que há desconfortos mínimos gerados para a situação em que estão sendo utilizados.

Diferenças significativas entre os edifícios também foram constatadas: o Albatroz teve um melhor desempenho global, considerando todas as esferas de conforto. Apesar disso, o Louveira não deixa a desejar, mostrando que houve poucas diferenças entre um apartamento e outro, e um grande poder de adaptação dos ambientes à rotina dos moradores.

4.1 Dormitórios NE Louveira

Desempenho melhor do ambiente nos andares mais altos, embora ainda ocorra expressivo desconforto por frio, de acordo com a figura 9. Esses resultados corroboram a informação levantada nos relatos de problemas mais significativos em relação aos períodos frios. A suíte adaptada apresentou resultados semelhantes.

4.2 Dormitórios Albatroz

Em consonância com os cenários utilizados nos estudos de térmica, buscou-se identificar os efeitos da operação das venezianas. Os estudos mostram bons níveis de iluminação natural, mesmo com as venezianas fechadas a 80% do vão. Melhor desempenho do ambiente, entre todos os cenários, na unidade 82. Registrou-se grande divergência entre os percentuais de conforto dos diferentes apartamentos, de acordo com a figura 10. Observa-se, ainda, o impacto maior da infiltração sobre as perdas no apartamento 44.

Em relação aos dormitório SE do Albatroz, uma conclusão muito importante reside na verificação do impacto das venezianas sobre a mitigação do desconforto por frio. Em comparação com a opção de venezianas fechadas à noite, houve aumento de 5% e 7% (unidades 22 e 82, respectivamente) das horas em desconforto ao manter as superfícies envidraçadas expostas durante as 24 horas. A unidade 44, por sua vez, apresentou pouca sensibilidade a esta mudança, o que indica que as perdas de calor nesta posição sofrem relativamente menos impacto da operação das aberturas e provavelmente estão mais sujeitas às perdas pela envoltória (trocas térmicas pelas superfícies e por infiltração). Nota-se, em todos os cenários, menor grau de suscetibilidade da unidade 44 às mudanças decorrentes da operação das aberturas.

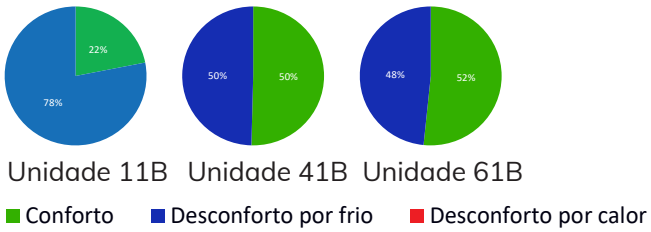


Figura 9 - Percentuais de horas em conforto térmico, no inverno resultantes de simulação computacional , no dormitório orginial do Louveira. Fonte: os autores.

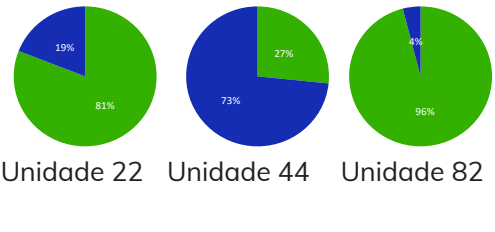


Figura 10 - Percentuais de horas em conforto térmico, no inverno resultantes de simulação computacional, no dormitório SE do Albatroz. Fonte: os autores.

4.3 Cozinha Louveira

Sem dispositivos de sombreamento, a zona térmica que integra cozinha e área de serviço apresenta temperaturas acima do limite superior da zona de conforto no início da tarde. Vale destacar as condições um pouco melhores na unidade 11B, sombreada por uma construção vizinha a SO. Apesar dos resultados das simulações, ao levar em consideração o que se sabe a respeito das impressões dos ocupantes dos apartamentos, cumpre informar que não há situações críticas em se tratando de calor na parte da cozinha.

Os resultados mais dramáticos não contemplam a possibilidade de correntes de ar devido à integração com outros ambientes, tampouco os efeitos da ventilação cruzada sobre os ocupantes. Identifica-se, portanto, como desdobramento deste estudo, a possibilidade de simulações futuras envolvendo *softwares* de CFD, com a recomedação para a modelagem da cozinha, sala e área de serviço como uma única zona térmica.

4.4 Salas Louveira e Albatroz

A comparação entre o desempenho da sala original e da sala adaptada da unidade 41B (figuras 11 e 12) revela a melhora expressiva nas condições de conforto térmico nesta última, reduzindo em até 10% a quantidade de horas em desconforto por calor. O gráfico das TO da sala original (figura 11) ilustra a dificuldade do ambiente em dissipar a carga acumulada durante o dia, enquanto a sala adaptada apresenta desempenho mais favorável. Observa-se que as três unidades apresentam temperaturas operativas muito semelhantes na semana típica de verão.

Os resultados revelam situações críticas de desconforto por calor na sala original, o que aponta para a insuficiência da ventilação natural para conter os picos de temperatura externa e radiação próximos ao meio dia. Nesse sentido, as adaptações das unidades 41B e 11B promovem um incremento importante nas condições de conforto no verão. Com um incremento substancial no volume interno, acompanhado de um acréscimo proporcionalmente muito menor do ganho solar, tanto a sala 41B quanto a da unidade 11B apresentam resultados parecidos e bastante positivos.

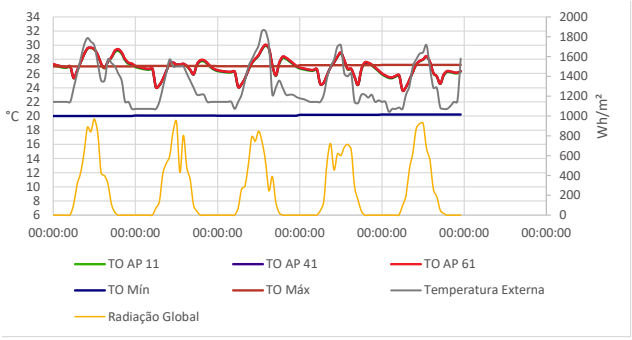


Figura 11 - Temperaturas operativas no verão, segundo simulação computacional, e faixa de conforto (21/01 a 25/01). Sala original do Louveira. Fonte: os autores.

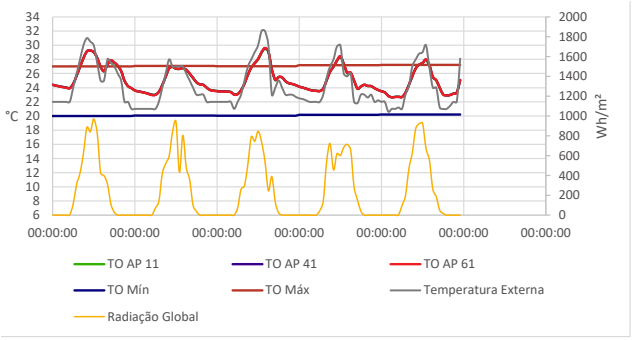


Figura 12 - Temperaturas operativas no verão, segundo simulação computacional, e faixa de conforto (21/01 a 25/01). Sala Adaptada 41B. Fonte: os autores.

As simulações de iluminação natural (figura 13) indicam boa distribuição da luz nas salas, com ênfase na melhora sensível dos níveis de iluminância nas porções mais centrais da planta, no Albatroz. No apartamento 41B do Louveira, a abertura realizada abaixo da janela original contribui para maior acesso da luz natural, mesmo durante a parte da manhã, na sala de jantar (voltada a SO).

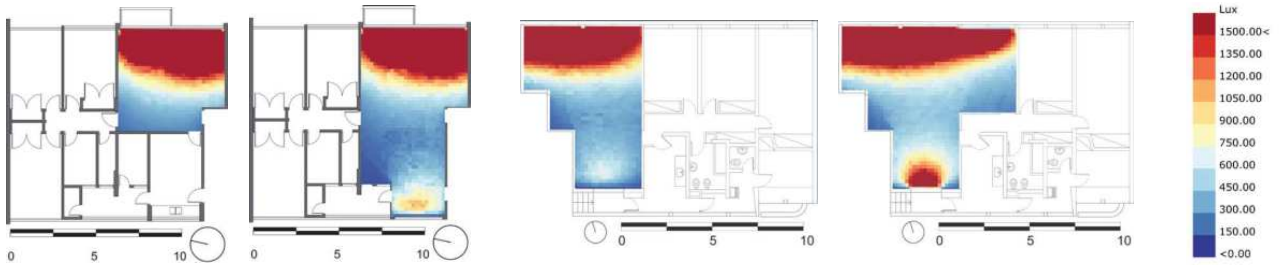


Figura 13 - Resultados de simulação computacional. Iluminâncias a 75cm do piso acabado, no dia 24/01, às 9h. Da esquerda para a direita, salas original e adaptada do Albatroz. salas original e adaptada 41B do Louveira. Fonte: os autores.

4.5 Cozinha Albatroz

Destaca-se a questão das basculantes superiores da cozinha do edifício Albatroz. Embora contribuam para ótimas condições de aproveitamento da iluminação natural, bastante importante no caso da sala integrada da unidade 44, a presença dos armários logo abaixo dificulta a operação. Tanto as simulações quanto o relato da moradora mostraram, no entanto, que esta situação é facilmente contornada, com o uso de escadas. Além disso, a ventilação cruzada através dos cômodos, favorecida pela planta estreita, diminui o risco de desconforto por calor na cozinha.

4.6 Circulação coletiva Louveira

As boas dimensões dos ambientes favorecem a adaptação da planta às demandas contemporâneas, inclusive as com foco na acessibilidade universal. Nota-se, entretanto, que o acesso por pessoas em cadeira de rodas pela entrada de serviço é inviabilizado em razão de um desnível de 80cm na área da circulação coletiva, entre a parada do elevador e a entrada dos apartamentos.

4.7 Desempenho acústico

Os menores resultados para o tempo de reverberação foram os obtidos para os dormitórios do Edifício Albatroz e os maiores resultados (4,72 segundos para 500Hz) foram para os dormitórios e escritórios do Edifício Louveira, para os ambientes vazios. Considerando os ambientes mobiliados, os tempos de reverberação diminuem significativamente para 3,72 segundos/500Hz. No caso dos cálculos de isolamento de fachada, considerando as janelas fechadas, os maiores resultados foram encontrados para a suíte adaptada do apartamento 11B do Edifício Louveira e para o escritório do apartamento 41B do Edifício Louveira. Os menores valores de isolamento foram obtidos para os ambientes sala + cozinha e dormitório NO do Edifício Albatroz.

5. CONCLUSÕES

Os três apartamentos estudados são exemplo da notável capacidade desses edifícios de evoluir junto às demandas de cada tempo. Ícones da arquitetura de alta qualidade produzida em São Paulo entre 1940 e 1960, Louveira e Albatroz conservam, após mais de meio século de existência, excelentes condições de habitabilidade, passíveis de serem otimizadas e adequadas face às demandas contemporâneas. De modo geral, os estudos analíticos de conforto térmico corroboram o repertório existente sobre as virtudes e o bom desempenho ambiental da Arquitetura Bioclimática. Não obstante, os resultados apontados no item 4.2 destacam as limitações colocadas pela baixa estanqueidade da fachada, recorrente no conjunto de edifícios estudados, à autonomia dos usuários no controle das condições ambientais internas.

Na falta dos resultados das medições *in loco,* o eixo quantitativo de análises consiste nas simulações computacionais, que permitiram explorar múltiplos de cenários inspirados nas dinâmicas observadas nos apartamentos. Salienta-se que as considerações expostas nesta pesquisa reconhecem o caráter arbitrário dos modelos adaptativos em geral e da norma EN 16798: 2019, utilizada como parâmetro de avaliação de conforto nesta pesquisa. Por mais consolidados que sejam os cálculos de limite de conforto, a interpretação dos dados necessita o apoio da avaliação qualitativa, que envolve a experiência dos verdadeiros ocupantes dos ambientes. Nesse sentido, os resultados das simulações merecem ser relativizados à luz do repertório levantado durante a pesquisa, em relação horizontal com as considerações de ordem qualitativa.

Apontam-se, por fim, como potenciais desdobramentos deste trabalho, simulações com software CFD e estudos com mesa d'água para ampliar a compreensão sobre o comportamento da ventilação natural nos apartamentos, bem como a influência das janelas abertas na compatibilização entre conforto térmico e acústico, que ainda precisa ser investigada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 9050/2015 – **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

ABNT NBR 10151, Acústica – **Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral** ABNT, 2019.

ABNT NBR 10152, Acústica – **Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. ABNT, 2017.

ABNT NBR 16313, Acústica – **Terminologia**. ABNT, 2014.

ABNT NBR 15575, **Edificações Habitacionais – Desempenho**. ABNT, 2013.

ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55: **Thermal environmental conditions for human occupancy**, 2013

BSi – BRITISH STANDARDS. BS EN 16798: 2019. **Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics**, 2019.

CARUNCHIO, Claudia Ferrara. **Adaptação do espaço residencial ao morador idoso**. Trabalho Final de Graduação - FAUUSP, 2017.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Revan, 2003.

FILIPINI, Nicole. **Avaliação Ergonômica de Edifícios Ícones da Arquitetura Modernista Brasileira, em São Paulo, produzida entre 1930 e 1964: Áreas Internas**. Relatório de Iniciação Científica (Processo FAPESP: 2016/10775-8). FAUUSP, 2018. Acesso Restrito.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel, 2003.

GUERRA, Abílio; GIMENEZ, Luis Espallargas; SERAPIÃO, Fernando. **João Kon**: arquiteto. Romano Guerra, 2016.

ISO. ISO 26800-2011 **Ergonomics - General approach, principles and concepts**. 2011.

LIMA, Eduardo Gasparelo; SEGOVIA, Sylvia Tavares. **Copan: uma proposta ainda atual de uma geração passada. Reflexões sobre o morar no centro a partir da ergonomia como eixo de análise**. in: MÜLFARTH, Roberta C. K. Repensando ERGONOMIA: do edifício ao ambiente urbano, 2020 no prelo.

LIMA, Nathália Maria Lorenzetti. **Reabilitação de edifícios do centro da cidade de São Paulo - novas moradias em antigos espaços: avaliação de desempenho, sob o enfoque ergonômico, das funções e atividades da habitação.** 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/D.16.2018.tde-05072017-094424. Acesso em: 2019-07-03.

LUIZ, Larissa Azevedo. Morar. Trabalho Final de Graduação - FAUUSP. 2017

MüLFARTH, Roberta Consentino Kronka. **Proposta metodológica para avaliação ergonômica do ambiente urbano: a inserção da ergonomia no ambiente construído**. 2017. Tese (Livre Docência em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/T.16.2019.tde-07012019-141802. Acesso em: 2019-07-03.

PANERO, J., ZELNIK, Martin. **Dimensionamento Humano para Espaços Interiores**. Barcelona, Gustavo Gili, 2001.

PASSERO, C. R. M. e ZANNIN, P. H. T. Study of the Acoustic Suitability of an Open Plan Office Based on STI and DL2 Simulations. Laboratory of Environmental and Industrial Acoustics and Acoustic Comfort e LAAICA, Federal University of Paraná, PR, Brasil, 2012.

OLIVEIRA PEDRO, J.A.C.B de - **Definição e Avaliação da Qualidade Arquitetônica Habitacional**, Tese de Doutorado. Universidade do Porto - Lisboa, 2000.

ROMANELLI, Matheus. **Avaliação do Desempenho Térmico e Luminoso de Edifícios Residenciais da Arquitetura Modernista Brasileira: Estudo de Caso do Complexo Residencial Louveira, no Bairro de Higienópolis, São Paulo**. Relatório de Iniciação Científica (CNPq). FAUUSP, 2018. Acesso Restrito.

SEGOVIA, Sylvia Tavares. **Interações de Conforto Ergonômico e Lumínico: Áreas Internas de Edifícios Ícones da Arquitetura Modernista Brasileira, em São Paulo, produzida entre 1930 e 1964**. Relatório de Iniciação Científica. (Processo FAPESP: 2017/08451-2). FAUUSP, 2019. Acesso Restrito.

SERAPIÃO, Fernando. **Moderno nas Alturas**. In: Revista Monolito, Higienópolis. No. 19, pp. 14 – 26. Serapião, Fernando (Ed.). São Paulo: Editora Monolito, 2014.

SERAPIÃO, Fernando. **Silêncio e Anonimato**. In: Revista Projeto Design, No. 278. São Paulo: Editora Arco, 2003. Disponível em https://www.arcoweb.com.br/projetodesign/artigos/artigo-silencio-e-anonimato-01-09-2003. Acesso em 2019-11-07

YANG, W., MOON, H. J. **Combined effects of acoustic, thermal, and illumination conditions on the comfort of discrete senses and overall indoor environment**. South Corea, 2019.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte da **FAPESP**, da **Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade de São Paulo**, da **Biblioteca da FAUUSP** e da **Prefeitura do Município de São Paulo**. Reconhecem, ainda, o papel fundamental de Alessandra Shimomura, Antonio da Silva, Beatriz Nascimento, Carolina Bley, Carolina Leme, Claudia Carunchio, Eduardo Gasparelo, Eliane Finamor, Eloisa Véras, Felipe Gripa, Guilherme Reis, João Kon, Jorge Assali, Laís Coutinho, Letícia Hein, Matheus Romanelli, Monica Dolce, Monica Junqueira, Nelson Kon, Ranieri Higa, Samuel Bertrand e os moradores dos apartamentos estudados, para o desenvolvimento desta pesquisa, e a eles estendem os agradecimentos.