



HAL
open science

A ventilação natural na reabilitação de edifícios de escritórios: desafios e potencialidades

Marilia Ramalho Fontenelle

► **To cite this version:**

Marilia Ramalho Fontenelle. A ventilação natural na reabilitação de edifícios de escritórios: desafios e potencialidades. Civil Engineering. INSA de Toulouse, 2016. Portuguese. NNT : 2016ISAT0022 . tel-01535754

HAL Id: tel-01535754

<https://theses.hal.science/tel-01535754>

Submitted on 9 Jun 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA de Toulouse)

Cotutelle internationale avec Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Présentée et soutenue par :
Marília Ramalho Fontenelle

le 30/3/2016

Titre :

La ventilation naturelle dans la réhabilitation de bâtiments de bureaux en milieu urbain dense: défis et potentiel

École doctorale et discipline ou spécialité :

ED MEGEP : Génie civil

Unité de recherche :

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions de Toulouse (LMDC)

Directeur/trice(s) de Thèse :

Sylvie LORENTE
Leopoldo BASTOS

Jury :

Pierre FERNANDEZ, Président du jury
Lucila LABAKI, Rapporteur du jury
Alessandra PRATA, Rapporteur du jury
Leopoldo BASTOS, Membre du jury
Eduardo CASTRO, Membre du jury
Sylvie LORENTE, Membre du jury
Monica SALGADO, Membre du jury
Maria Julia SANTOS, Membre du jury

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

MARÍLIA RAMALHO FONTENELLE

A VENTILAÇÃO NATURAL NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS
EM MEIOS URBANOS DENSOS: DESAFIOS E POTENCIALIDADES

RIO DE JANEIRO

2016

Marília Ramalho Fontenelle

A VENTILAÇÃO NATURAL NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS
EM MEIOS URBANOS DENSOS: DESAFIOS E POTENCIALIDADES

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências em Arquitetura.

Orientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Coorientadora: Sylvie Lorente

Rio de Janeiro
2016

CIP - Catalogação na Publicação

F683v Fontenelle, Marília Ramalho
A ventilação natural na reabilitação de edifícios de escritórios em meios urbanos densos: desafios e potencialidades / Marília Ramalho Fontenelle. -- Rio de Janeiro, 2016.
240 f.

Orientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos.
Coorientadora: Sylvie Lorente.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 2016.

1. Ventilação natural. 2. Reabilitação. 3. Meios urbanos densos. 4. Edifícios de escritórios. I. Bastos, Leopoldo Eurico Gonçalves, orient. II. Lorente, Sylvie, coorient. III. Título.

Marília Ramalho Fontenelle

A VENTILAÇÃO NATURAL NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS
EM MEIOS URBANOS DENSOS: DESAFIOS E POTENCIALIDADES

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências em Arquitetura.

Aprovada por

Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos, D.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Sylvie Lorente, D.Sc.
Institut National des Sciences Appliquées Toulouse (INSA Toulouse)

Alessandra Rodrigues Prata Shimomura, D.Sc.
Universidade de São Paulo (USP)

Eduardo Breviglieri Pereira de Castro, D.Sc.
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

Maria Júlia de Oliveira Santos, D.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Mônica Santos Salgado, D.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Pierre Georges Joseph Fernandez, D.Sc.
École Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse (ENSA Toulouse)

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo, Leopoldo Bastos, pelas discussões, apoio, correções, oportunidades e tranquilidade transmitida ao longo desta jornada.

A minha orientadora francesa, Sylvie Lorente, pela acolhida, incentivo, compreensão e contribuições, antes, durante e depois do estágio doutoral no INSA Toulouse.

À profa. Alessandra Prata, pelas contribuições como relatora e membro da banca examinadora.

Ao prof. Eduardo Castro, por todo apoio durante o estágio doutoral e pelas contribuições no exame de qualificação e na banca examinadora final.

À profa. Maria Júlia Santos, pelo carinho, pelas oportunidades, pela generosidade no estágio supervisionado e pelas contribuições como membro da banca examinadora.

À profa. Mônica Salgado, pelo carinho e companhia, pelo fornecimento de material precioso sobre reabilitação de edifícios e pelas contribuições como membro da banca examinadora.

Ao prof. Pierre Fernandez, pelo grande incentivo a realizar o estágio doutoral na França e pelas contribuições como membro da banca examinadora.

A profa. Lucila Labaki, pela participação como relatora na banca examinadora.

A profa. Cláudia Krause, pelo incentivo e apoio no estágio doutoral, pelo entusiasmo e pelas contribuições como membro suplente da banca examinadora.

Ao professor Stéphane Ginestet, pelas contribuições como membro suplente da banca examinadora.

Aos colegas e amigos do *Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions de Toulouse*, em especial ao Saïd, Youssef, Thomas, Peter, François e Béalal, pela acolhida, discussões, carinho, risadas, *pauses-café* e por tantos momentos de alegria e tristeza compartilhados diariamente durante o estágio doutoral. Teria sido mais difícil sem vocês!

Aos amigos de Toulouse, em especial à querida Maribel, por todo carinho e apoio quando eu mais precisei.

Aos amigos “Capes-Cofecubianos”, em especial a Daniela, Marcelo, Carol e Melina, por tantos momentos inesquecíveis vividos na França. Obrigada pelo apoio, carinho, amizade, viagens e descobertas. Vous êtes tous chocolats caramélisés!

Aos colegas do PROARQ Tathiane Martins e Aline Calazans, pelas trocas de informação, discussões e apoio. Ao Marco Antônio Lacerda, pela ajuda com o programa CFX e reflexões

importantes sobre ventilação natural. A Marina Cortês, por todo suporte nas medições e simulações de acústica. A profa. Maria Lygia Niemeyer, por nos disponibilizar o equipamento de medição de acústica.

A aluna Carolina Dytz, por seu entusiasmo e colaboração na pesquisa enquanto bolsista de iniciação científica.

Aos membros administrativos do PROARQ, em especial a Maria da Guia, Rita e Vanda, pela pronta ajuda sempre que necessário, pelos momentos de descontração e pelo carinho.

Ao amigo Renan Cid, por sua grande contribuição a minha pesquisa, seja nas discussões sobre ventilação natural, nos estudos das ferramentas (CFX e DesignBuilder), na aplicação de sua metodologia e no suporte dado nos momentos de desespero com as simulações. Minha eterna gratidão!

Ao arquiteto Fernando Monte, da Ecotech Arquitetura, pela generosidade em compartilhar o projeto de reabilitação do edifício Galeria e fornecer todas as informações necessárias para realização do estudo de caso.

A querida amiga Lucélia Melo Chaves, por se disponibilizar a fotografar os edifícios reabilitados da av. Paulista especialmente para esta tese.

A minha professora de francês e amiga, Millena Rocha, pelos preciosos ensinamentos e pela revisão do resumo expandido.

À FAPERJ e a CAPES, pelas bolsas de estudo concedidas ao longo destes quatro anos de pesquisa.

Aos meus alunos, pela acolhida, dedicação, entusiasmo e trocas de conhecimento. Aprendi muito com vocês!

A minha família em Fortaleza, por todo carinho, incentivo, companheirismo, apoio nos momentos mais difíceis e pela compreensão na ausência. Vocês são meus maiores exemplos!

A minha família em Salvador, pelo incentivo e compreensão ao longo desta jornada.

Ao meu esposo, Marcelo, por sua admirável generosidade ao me incentivar a fazer o estágio doutoral na França, pelo companheirismo na distância e na presença, pelas correções, discussões e ajudas com planilhas. Não tenho palavras para agradecer pelo seu amor.

Ao meu filho Lucas, que se comportou direitinho na barriga da mamãe na finalização desta tese e que está prestes a me apresentar um novo mundo pós-doutorado...

RESUMO

FONTENELLE, Marília Ramalho. **A ventilação natural na reabilitação de edifícios de escritórios: desafios e potencialidades.** Tese (Doutorado em Ciência da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Atualmente, a reabilitação é entendida como uma oportunidade de adaptar os edifícios existentes às transformações urbanas sofridas pelo entorno. Tais modificações geram impactos ao desempenho ambiental do imóvel, e a ventilação natural é um dos aspectos mais afetados. O adensamento do tecido urbano é responsável, em alguns casos, pela redução da velocidade do ar, que pode dificultar a dissipação do calor, ruído e poluentes. Nos climas quentes e úmidos, esses fatores provocam frequentemente a adoção de refrigeração mecânica, especialmente em edifícios de escritórios. Dada a relevância do tema, este trabalho tem por objetivo discutir os desafios e potencialidades de adotar a ventilação natural no projeto de reabilitação de edifícios de escritórios situados em meios urbanos densos. Assume-se como hipótese que o projeto de reabilitação pode promover uma utilização eficiente da ventilação natural nos edifícios de escritórios, por meio de sua adequação ao contexto urbano presente. A metodologia adotada é composta por quatro etapas. Inicialmente, realiza-se uma revisão bibliográfica sobre a reabilitação de edifícios a fim de compreender o contexto específico sobre o qual será trabalhado o tema da ventilação natural. Em seguida, analisa-se o estado-da-arte da ventilação natural no contexto da reabilitação, buscando identificar os principais avanços obtidos no cenário nacional e internacional. Depois, efetua-se uma revisão da literatura sobre os efeitos da urbanização no escoamento do ar. Finalmente, propõe-se uma reabilitação de um edifício de escritórios no centro do Rio de Janeiro, para verificar os benefícios de uma solução de ventilação no conforto dos ocupantes. O trabalho destaca a complexidade de desenvolver soluções reversíveis que possibilitem aumentar a vazão de ar nos edifícios e preservar suas características construtivas. O desafio é ainda maior em meios urbanos densos, onde o ruído, a poluição do ar e a baixa permeabilidade do tecido urbano podem impor limitações. As pesquisas desenvolvidas na Europa, Ásia e América do Norte destacam as ventilações híbrida e noturna como as soluções mais indicadas. No Brasil, os trabalhos sobre o tema ainda são incipientes, e a refrigeração mecânica é a solução predominante nas reabilitações de espaços corporativos. O estudo de caso indica, por meio de simulações fluidodinâmicas e térmicas, que a densificação da área analisada reduziu a velocidade e vazão do ar no edifício, diminuindo as horas de conforto térmico. Os pavimentos

mais baixos são os menos favorecidos pelos ventos e ruído. Este diagnóstico indica a necessidade de aumentar a vazão de ar durante a ocupação e viabilizar a ventilação noturna para dissipar o calor acumulado durante o expediente. Neste sentido, propõe-se a abertura das folhas fixas sobre as janelas existentes, o que não compromete a preservação das características originais das fachadas e a segurança do edifício quando desocupado. Os resultados indicam que esta intervenção aumenta entre 0,5 e 35% as horas de conforto dos ocupantes. Conclui-se que a ventilação natural, por si só, não satisfaz o conforto térmico durante o ano todo, mas pode ser complementada pela ventilação mecânica, de modo a conciliar eficiência energética e bem-estar dos usuários.

Palavras-chave: ventilação natural; reabilitação; meios urbanos densos; edifícios de escritórios.

RÉSUMÉ

FONTENELLE, Marília Ramalho. **La ventilation naturelle dans la réhabilitation de bâtiments de bureaux en milieu urbain dense : défis et potentiel.** These (Doctorat en Architecture). Faculté d'Architecture et Urbanisme, Université Fédérale de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

À present, la réhabilitation des bâtiments est entendue comme une opportunité d'adapter les immeubles existants aux transformations urbaines. Ces modifications ont un impact sur la performance environnementale du parc immobilier, et la ventilation naturelle est l'un des aspects les plus affectés. La densification du tissu urbain est responsable, dans certains cas, de la réduction de la vitesse de l'air, qui peut rendre difficile la dissipation de la chaleur, du bruit et des polluants. Sous un climat chaud et humide, ces facteurs provoquent fréquemment l'adoption d'une climatisation mécanique, surtout dans les bâtiments de bureaux. Étant donné l'importance du sujet, ce travail a pour objectif de discuter les défis et le potentiel d'adopter la ventilation naturelle dans les projets de réhabilitation des bâtiments de bureaux en milieu urbain dense. On soutient l'hypothèse que le projet de réhabilitation peut promouvoir l'utilisation efficace de la ventilation naturelle dans les bâtiments de bureaux, à travers son adéquation au contexte urbain et environnemental présent. La démarche adoptée est composée de quatre étapes. Tout d'abord, on effectue une revue de la littérature sur la réhabilitation des bâtiments pour comprendre le contexte spécifique sur lequel on travaille le thème de la « ventilation naturelle ». Ensuite, on analyse l'état de l'art sur la ventilation naturelle dans le cadre de la réhabilitation dans les contextes nationaux et internationaux afin d'identifier les avancées atteintes. Après, on réalise une revue de la littérature sur les effets de l'urbanisation sur l'écoulement de l'air. Pour clore, on propose une réhabilitation d'un bâtiment de bureaux dans le centre-ville de Rio de Janeiro, qui permettra de vérifier les bénéfices d'une solution de ventilation pour le confort des occupants. Le travail souligne la complexité de trouver des solutions de réhabilitation qui permettent d'augmenter le débit d'air dans les bâtiments tout en conciliant l'intégralité de leur patrimoine architectural, l'adaptation aux nécessités présentes et la possibilité des transformations futures. Le défi augmente dans les milieux urbains denses, où le bruit, la pollution de l'air et la faible perméabilité du tissu urbain peuvent poser des limitations. Dans le cadre des recherches en Europe, Asie et Amérique du Nord, plusieurs réhabilitations ont été réalisées pour analyser la performance des solutions de ventilation. Les ventilations hybride et nocturne sont les plus indiquées. Au Brésil, les recherches sur ce sujet restent balbutiantes et la climatisation mécanique est la solution

prédominante dans les rénovations des espaces corporatifs. L'étude de cas montre, à l'aide des modélisations CFD, que la densification de la région analysée a réduit la vitesse et le débit d'air des étages et, par conséquent, a diminué les heures de confort thermique. Les étages plus bas sont les moins favorisés par le vent et le bruit. Ce diagnostic montre la nécessité d'amplifier le débit d'air du bâtiment pendant son occupation et de rendre possible la ventilation nocturne pour dissiper la chaleur accumulée pendant la journée. Dans ce sens, on propose l'ouverture de la partie fixe supérieure de toutes les fenêtres, une intervention qui préserve les caractéristiques originales des façades et ne nuit pas à la sécurité du bâtiment lorsqu'il est inoccupé. Les résultats indiquent que cette intervention a augmenté les heures de confort thermique des occupants entre 0,5 et 35%, selon l'étage et de l'indicateur utilisé dans l'interprétation des résultats. Cela renforce l'hypothèse que la ventilation naturelle, toute seule, n'est pas suffisante pour préserver le confort des occupants pendant toute l'année. Cependant, elle peut être complétée par la ventilation mécanique, afin de concilier le bien-être des usagers et la réduction de la consommation d'énergie des bâtiments.

Mots-clés : ventilation naturelle ; rehabilitation ; milieu urbain dense ; bâtiments de bureaux

ABSTRACT

FONTENELLE, Marília Ramalho. **Natural Ventilation in office building retrofit in dense urban context: challenges and potential.** Thesis (Doctorate in Architecture). Architecture and Urbanism School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Nowadays, retrofitting is understood as an opportunity to adapt existing buildings to the urban transformations of its surroundings. The changes in the urban fabric can cause impacts to the building environmental performance and, generally, natural ventilation is one of the most affected aspects. The densification process is responsible, in some cases, for the reduction of wind speed, which can disturb the dissipation of heat, noise and pollutants. In hot and humid climate, these factors cause frequently the adoption of mechanical ventilation, mainly in office buildings. Given the relevance of the subject, this work aims to discuss the challenges and potential of adopting natural ventilation in the retrofit of office buildings located in dense urban areas. Our hypothesis is that the retrofit project can promote the efficient use of natural ventilation in office buildings, through its adaptation to the present urban and environmental conditions. The methodology includes 4 stages. First, we carry out a literature review about building retrofits to understand the specific context with which we are dealing the subject of "natural ventilation". Next, we analyze the state of the art of natural ventilation in the retrofit context to identify the main findings. Then, we investigate the effects of urbanization on the airflow pattern. Finally, we propose retrofitting an office building in downtown Rio de Janeiro to verify the benefits offered by a ventilation solution to the occupants' thermal comfort. We highlight the complexity of developing solutions that increase the airflow in buildings while balancing the protection of its past, the response to the present requirements and the possibility of future changes. This challenge increases in dense urban areas, where noise, air pollution and low permeability of the urban fabric can place some limitations. As part of the research carried out by European, Asian and North American countries, several renovations were conducted to analyze the performance of ventilation solutions. Hybrid and night ventilation were indicated as the most appropriate ones. In Brazil, investigations in this subject remain incipient and air conditioning is the predominant solution in office spaces. By means of CFD simulations, the case study shows that the densification of the analyzed region reduced the wind speed and airflow in all floors and, therefore, reduced the thermal comfort hours. The lower floors are the least favored by the wind and the noise. This diagnostic points out the need to increase buildings airflow during its occupancy and allow night ventilation to dissipate the heat gains accumulated during the day. In this way, we propose to open the upper fixed

portion of all windows, a solution that protects the original façade features and do not harm the buildings security when it is not occupied. Thermal simulations indicate that this procedure increases the thermal comfort annual hours in 0,5-35%, depending on the floor and the adaptive comfort model used to interpret the results. We conclude that natural ventilation itself is not sufficient to ensure occupants comfort throughout the year, however it can be complemented by mechanical ventilation in order to balance thermal comfort and energy efficiency.

Keywords: natural ventilation; retrofit; dense urban context; office buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A inserção da vida útil no ciclo de vida de uma edificação. Fonte: a autora.	29
Figura 2 – Níveis de intervenção. Fonte: adaptado de Douglas (2006).	34
Figura 3 – Padrão de desempenho alcançado: manutenção x reabilitação. Fonte: adaptado de Douglas (2006).	35
Figura 4 – Relação entre os aspectos do edifício que caracterizam o alvo da reabilitação. Fonte: a autora	39
Figura 5 – Porcentagem de CO ₂ incorporado nos componentes e materiais do edifício construído. Fonte: adaptado de Baker (2009).	42
Figura 6 – Emissão de CO ₂ para edifício reconstruído e edifício reabilitado em função do tempo. Fonte: adaptado de Baker (2009).	43
Figura 7 – Etapas da reabilitação. Fonte: autora, com base em Douglas (2006), Roders (2007), Carvalho, Salgado, Bastos (2009) e Ma et al. (2012).	49
Figura 8 – Metodologia pré-reabilitação para auxílio na decisão entre reabilitar ou demolir. Fonte: adaptado de Ma et al. (2012).	52
Figura 9 – Metodologia para análise da viabilidade da reabilitação. Fonte: adaptado de Wilkinson et al (2014).	53
Figura 10 – Corte com esquema de funcionamento da ventilação no edifício; detalhe da entrada do ar na sala de aula; vista da chaminé solar. Fonte: a autora e HYBVENT (2015).	62
Figura 11 – Reabilitação do edifício Albatros, na Holanda, antes e após reabilitação. Fonte: Baker (2009).	63
Figura 12 – Vista externa da grelha em alumínio, vista interna da fachada dupla e detalhe construtivo. Fonte: Beuvingmartensen (2005) e Baker (2009).	64
Figura 13 – Escola Zirbitzkogel Grebenzen (Áustria), antes e após a reabilitação. Fonte: Geier; Kopeinig (2012).	67
Figura 14 – Ed. Panorama Paulista Corporate, antes e após reabilitação. Fonte: AW (2014).	72
Figura 15 – Ed. Paulista 2028, antes e após reabilitação. Fonte: Google (2011a) e Chaves (2015).	73
Figura 16 – Ed. Bela Paulista, antes e após reabilitação. Fonte: Google (2010) e Chaves (2015).	74
Figura 17 – Sesc Paulista, antes e após reabilitação. Fonte: Google (2011b) e Chaves (2015).	74
Figura 18 – Ed. Paulista Star, antes e após reabilitação. Fonte: Google (2011c) e Chaves (2015).	75

Figura 19 – Parque edificado no Rio de Janeiro: percentual de edifícios por tipo e por período de construção. Fonte: adaptado de IPP (2000).....	76
Figura 20 – Parque edificado do centro do Rio de Janeiro: percentual de edifícios por tipo e por período de construção. Fonte: adaptado de IPP (2000).	77
Figura 21 – Acima: Ed. Castelo, antes e após reabilitação. Abaixo: esquadrias do ed. Castelo, antes e após intervenção. Fonte: PONTUAL (2014) e a autora.	78
Figura 22 – Torre Vargas, após reabilitação. Fonte: Latour (2014).	79
Figura 23 – Ed. Galeria, antes e após reabilitação. Fonte: Speyer (2011).....	79
Figura 24 – Ed. Rio Branco 115, antes e após reabilitação. Fonte: BNCORP (2013).....	80
Figura 25 – Ed. RB12, antes e após reabilitação. Fonte: Globo (2014) e Arcoweb (2014b).80	
Figura 26 – Biblioteca Estadual do Rio de Janeiro, antes e após reabilitação. Fonte: Campello (1984) e Magalhães (2013).....	81
Figura 27 – Ed. Portugal, antes e durante reabilitação. Fonte: Google (2014) e a autora. ...	81
Figura 28 – Poluição visual nas fachadas gerada pelos aparelhos de ar-condicionado. Fonte: a autora.	83
Figura 29 – O escoamento do ar no entorno de um edifício isolado: (a) perspectiva; (b) e (c) vista de topo. Fonte: Blocken e Carmeliet (2004).....	90
Figura 30 – Ação dos ventos sobre um agrupamento de edifícios dispostos no espaço de forma escalonada. Fonte: Blocken e Carmeliet (2004).....	91
Figura 31 – Padrões de escoamento do ar para diferentes espaçamentos entre edifícios. Fonte: Oke (1987).....	92
Figura 32 – O efeito da diferença de altura no escoamento do ar em cânion urbano. Fonte: Blocken e Carmeliet (2004).....	94
Figura 33 – Cenários de variação de altura testados por Ng e Wong (2005).	94
Figura 34 – Geometrias urbanas complexas estudadas por Kubota et al (2008).....	97
Figura 35 – Geometrias urbanas complexas estudadas por Hu e Yoshie (2013). Edifícios brancos e hachurados têm alturas diferentes.	97
Figura 36 – Edifícios retangulares: escoamento do ar considerando diferentes taxas de ocupação do solo. Fonte: Lee e Wong (2014).....	98
Figura 37 – Edifícios quadrados: escoamento do ar considerando vento incidindo a 45°. Fonte: Lee e Wong (2014)	98
Figura 38 – Impacto de 4 cenários urbanos distintos na incidência dos ventos sobre um conjunto de torres residenciais em Fortaleza-CE. Fonte: adaptado de Leite (2015).	99
Figura 39 – Diferentes desenhos de fachada para edifícios de escritórios, vistos em corte. Fonte: adaptado de Marcondes (2010).	104
Figura 40 – Combinações de tipologias de esquadria distintas com mesmo desenho. Fonte: a autora.	105

Figura 41 – Funcionamento de torres de vento com duas e quatro aberturas. Fonte: Hughes et al (2012).	106
Figura 42 – Modelo de torre de vento comercial com painel fotovoltaico e ventiladores. Fonte: Hughes et al (2012).	107
Figura 43 – Análise de desempenho de torres de vento em cânions urbanos. Fonte: Elizalde e Mumovic (2008).	109
Figura 44 – Resultados apresentados por Elizalde e Mumovic (2008).	109
Figura 45 – Átrio no centro do Diamond-Level Green Building, em Taiwan. Fonte: Yang et al, 2014.....	110
Figura 46 – Inclusão de um shaft de ventilação junto à sala de jantar. Fonte: Prajongsan e Sharples (2012)	111
Figura 47 – Contexto urbano escolhido. Fonte: adaptado de Google (2014).....	115
Figura 48 – Índice de Aproveitamento do Terreno (IAT) no centro do Rio de Janeiro, definido pelas legislações urbanas de 1976 e 2011. Fonte: PMRJ (2012a, 2012b).....	116
Figura 49 – Av. Rio Branco (antiga Av. Central), em 1930 e 2013. Fonte: Pinheiro (2011) e a autora.	116
Figura 50 – Tráfego intenso na R. Primeiro de Março e cânions urbanos na rua do Ouvidor. Fonte: a autora.	117
Figura 51 – Rosa dos ventos anual do Rio de Janeiro. Fonte: WRPlot View.....	118
Figura 52 – Localização do ed. Galeria (em vermelho). Fonte: adaptado de Google (2014).	119
Figura 53 – Fachadas ed. Galeria. Fonte: a autora.	120
Figura 54 – Ed. Galeria na década de 20. Fonte: Pinheiro (2011).....	120
Figura 55 – Planta térreo ed. Galeria: etapas de construção. Fonte: Pinheiro (2011).....	121
Figura 56 – Reabilitação do ed. Galeria: planta e corte (em cinza: pavimentos de escritórios). Fonte: adaptado de Ecotech (2011).....	121
Figura 57 – Planta baixa do 4º pavimento, antes e após reabilitação. Fonte: Ecotech (2011).	122
Figura 58 – Pavimento tipo Ed. Galeria: aberturas variam entre portas e janelas de abrir. Fonte: Pinheiro (2011).	123
Figura 59 – Verticalização do entorno do ed. Galeria (à esquerda). Fonte: Pinheiro (2011)	124
Figura 60 – Estrutura das etapas de Diagnóstico e Projeto. Fonte: a autora.	126
Figura 61 – Situação da etapa simulações urbanas CFD na metodologia. Fonte: a autora.	127
Figura 62 – Morfologia urbana atual. Fonte: a autora e Google (2015).	129
Figura 63 – Morfologia urbana anterior (1976). Fonte: a autora.	130

Figura 64 – Critérios para dimensionamento do domínio computacional circular.	132
Figura 65 – Detalhes das malhas tetraédrica e prismática. Fonte: Ansys CFX.....	134
Figura 66 – Configurações das malhas computacionais. Fonte: Ansys CFX.....	134
Figura 67 – Pontos de medição de pressão do ar no centro das aberturas do 2º, 6º e 9º pavimento. Fonte: Ansys CFX	136
Figura 68 - Situação da etapa simulações acústicas na metodologia. Fonte: a autora.....	136
Figura 69 – Modelo tridimensional elaborado no programa SoundPlan.....	137
Figura 70 – Pontos de medição. Fonte: adaptado de Google (2014).	138
Figura 71 - Situação da etapa simulações internas CFD na metodologia. Fonte: a autora.	140
Figura 72 – Geometria dos pavimentos analisados. Fonte: a autora.....	140
Figura 73 – Configurações das malhas do 2º, 6º e 9º pavimento – simulações internas. Fonte: Ansys CFX.....	142
Figura 74 - Situação da etapa simulações térmicas na metodologia. Fonte: a autora.	143
Figura 75 – Geometria modelada no DesignBuilder. Fonte: a autora.....	145
Figura 76 – Padrão de ocupação dos escritórios. Fonte: DesignBuilder.....	147
Figura 77 – Configurações de ventilação natural na aba HVAC. Fonte: adaptado de DesignBuilder	151
Figura 78 – Teste de sensibilidade no DesignBuilder. Número de renovações x Temperatura interna do ar (°C). Fonte: a autora.	152
Figura 79 – Temperaturas neutras do Rio de Janeiro segundo De Dear e Brager (2001). Fonte: a autora	154
Figura 80 – Temperaturas neutras do Rio de Janeiro segundo Humphreys et al (2013). Fonte: a autora.	156
Figura 81 – Temperaturas neutras do Rio de Janeiro segundo Toe e Kubota (2013). Fonte: a autora.	157
Figura 82 – Faixas de conforto do Rio de Janeiro segundo os três modelos. Fonte: a autora	158
Figura 83 – Morfologia de 1976, manhã. Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento. Fonte: Ansys CFX.....	159
Figura 84 - Morfologia de 1976, manhã. escoamento visto em corte longitudinal. Fonte: Ansys CFX	160
Figura 85 – Morfologia de 1976, manhã. Pressões nas fachadas do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX.....	160
Figura 86 – Morfologia de 1976, tarde. Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento. Fonte: Ansys CFX.....	161

Figura 87 – Morfologia de 1976, tarde. Escoamento do ar em torno do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX.....	162
Figura 88 – Morfologia de 1976, tarde. Escoamento visto em corte longitudinal. Fonte: Ansys CFX	162
Figura 89 – Morfologia de 1976, tarde. Pressões nas fachadas do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX.....	163
Figura 90 – Morfologia atual, manhã. Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento. Fonte: Ansys CFX.....	164
Figura 91 – Morfologia atual, manhã. Escoamento do ar em torno do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX.....	164
Figura 92 – Morfologia atual, manhã. Pressões nas fachadas do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX	165
Figura 93 – Morfologia atual, manhã. Escoamento visto em corte longitudinal. Fonte: Ansys CFX	166
Figura 94 – Morfologia atual, tarde. Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento. Fonte: Ansys CFX.....	166
Figura 95 – Morfologia atual, tarde. Escoamento do ar em torno do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX.....	167
Figura 96 – Morfologia atual, tarde. Pressões nas fachadas do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX	168
Figura 97 – Morfologia atual, tarde. Escoamento visto em corte longitudinal. Fonte: Ansys CFX	168
Figura 98 – Mapa de ruído a H = 1,20m do solo. Fonte: adaptado de Soundplan	170
Figura 99 – Mapa de Conflito a H = 1,20m do solo. Fonte: adaptado de Soundplan.	171
Figura 100 – Mapa de ruído a H = 45,00m do solo. Fonte: adaptado de Soundplan.	171
Figura 101 – Mapa de conflito a H = 45,00m do solo. Fonte: adaptado de Soundplan.....	172
Figura 102 – Corte 1 e 2 – atenuação do ruído em função da distância da fonte sonora. Fonte: adaptado de Soundplan.....	173
Figura 103 – Velocidade do ar e padrão de escoamento interno, manhã. Fonte: Ansys CFX	174
Figura 104 – Velocidade do ar e padrão de escoamento interno, tarde. Fonte: Ansys CFX	175
Figura 105 – Pressões internas, manhã. <i>Fonte: Ansys CFX</i>	176
Figura 106 – Pressões internas, tarde. Fonte: Ansys CFX.....	177
Figura 107 – Vazão de ar (m³/s) nos três pavimentos. Fonte: a autora.	178
Figura 108 – Número de renovações de ar por hora nos três pavimentos. Fonte: a autora.	179

Figura 109 – Diagnóstico: temperaturas operativas x Faixas de temperatura de conforto. Fonte: a autora.	180
Figura 110 – Diagnóstico: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 2º pavimento. Fonte: a autora.	182
Figura 111 – Diagnóstico: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 6º pavimento. Fonte: a autora.	183
Figura 112 – Diagnóstico: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 9º pavimento. Fonte: a autora.	184
Figura 113 – Carta bioclimática do Rio de Janeiro. Fonte: Lamberts et al (1997).....	185
Figura 114 – Situação da etapa de definição da solução na metodologia. Fonte: a autora.	187
Figura 115 – Portas originais do ed. Galeria. Fonte: Pinheiro (2011).	188
Figura 116 - Situação da etapa de simulações urbanas CFD na metodologia. Fonte: a autora.	189
Figura 117 - Situação da etapa de simulações internas CFD na metodologia. Fonte: a autora.	190
Figura 118 – Geometria do pavimento com as aberturas nos dois cenários analisados. Fonte: a autora.	190
Figura 119 - Situação da etapa de simulações térmicas na metodologia. Fonte: a autora.	191
Figura 120 – Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento, noite. Fonte: Ansys CFX.	192
Figura 121 – Escoamento do ar em torno do edifício Galeria, noite. Fonte: Ansys CFX....	192
Figura 122 – Pressões nas fachadas do edifício Galeria, noite. Fonte: Ansys CFX	193
Figura 123 – Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento, madrugada. Fonte: Ansys CFX	194
Figura 124 – Escoamento do ar em torno do edifício Galeria, madrugada. Fonte: Ansys CFX	195
Figura 125 – Pressões nas fachadas do edifício Galeria, madrugada. Fonte: Ansys CFX.	196
Figura 126 – Velocidade do ar e padrão de escoamento interno, manhã. Fonte: Ansys CFX.	197
Figura 127 – Velocidade do ar e padrão de escoamento interno, tarde. Fonte: Ansys CFX.	198
Figura 128 – Velocidade média no plano de trabalho antes e após reabilitação. Fonte: a autora.	199
Figura 129 – Pressões internas, manhã. Fonte: Ansys CFX	199
Figura 130 – Pressões internas, tarde. Fonte: Ansys CFX	200

Figura 131 – Antes e após reabilitação: vazão de ar (m^3/s) nos três pavimentos durante ocupação. Fonte: a autora.	201
Figura 132 – Antes e após reabilitação: número de renovações de ar nos três pavimentos durante ocupação. Fonte: a autora.	201
Figura 133 – Antes e após reabilitação: vazão de ar (m^3/s) nos três pavimentos nos fins de semana e feriados. Fonte: a autora.	202
Figura 134 – Antes e após reabilitação: número de renovações de ar nos três pavimentos nos fins de semana e feriados. Fonte: a autora.	202
Figura 135 – Antes e após reabilitação: vazão de ar (m^3/s) nos três pavimentos durante a noite e madrugada. Fonte: a autora.	203
Figura 136 – Antes e após reabilitação: número de renovações de ar nos três pavimentos durante a noite e madrugada. Fonte: a autora.	203
Figura 137 – Antes e após reabilitação: temperaturas operativas x Faixas de temperatura de conforto (2º pavimento). Fonte: a autora.	206
Figura 138 – Antes e após reabilitação: temperaturas operativas x Faixas de temperatura de conforto (6º pavimento). Fonte: a autora.	207
Figura 139 - Antes e após reabilitação: temperaturas operativas x Faixas de temperatura de conforto (9º pavimento). Fonte: a autora.	208
Figura 140 – Antes e após reabilitação: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 2º pavimento. Fonte: a autora.	209
Figura 141 – Antes e após reabilitação: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 6º pavimento. Fonte: a autora.	210
Figura 142 – Antes e após reabilitação: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 9º pavimento. Fonte: a autora.	211
Figura 143 – Balanço de energia anual nos três pavimentos. Fonte: adaptado de DesignBuilder	212

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Camadas de transformação do edifício e respectivas vidas úteis. Fonte: adaptado de Brand (1995)	30
Tabela 2 – Vida útil dos sistemas que compõem o edifício habitacional, segundo NBR 15575-1. Fonte: ABNT, 2010.	31
Tabela 3 – Tipo de adaptação do edifício, segundo Douglas (2006).	32
Tabela 4 – Níveis de intervenção, segundo Roders (2007).	34
Tabela 5 – Relação entre o diferencial de altura de edifícios e a renovação de ar por hora. Fonte: adaptado de Ng e Wong (2005).	95
Tabela 6 – Relação entre o diferencial de altura dos edifícios a renovação de ar por hora, considerando apenas os andares mais baixos. Fonte: adaptado de Ng e Wong (2005).	95
Tabela 7 – Direção e Velocidade dos ventos dominantes nas estações e períodos do dia para o Rio de Janeiro.	118
Tabela 8 – Porcentagem de horas para cada categoria de qualidade do ar – Estação Centro (Largo da Carioca). Medições maio/2010 – março/2013. Fonte: PMRJ (2013).	119
Tabela 9 – Parâmetros inseridos no perfil. Em cinza escuro: dados do terreno. Em cinza claro: dados da estação meteorológica. Fonte: ASHRAE (2001)	133
Tabela 10 – Expressões inseridas no CFX-Pre. Fonte: baseado em Leite (2013)	133
Tabela 11 – Lista das simulações urbanas realizadas. Fonte: a autora	135
Tabela 12 – Características das vias estudadas. Fonte: a autora.	138
Tabela 13 – Resultados das medições. Fonte: a autora.	139
Tabela 14 – Parâmetros gerais de cálculo. Fonte: a autora.	139
Tabela 15 – Ganhos internos: calor antropogênico e equipamentos em geral (Activity). Fonte: a autora	146
Tabela 16 – Composição da laje de piso (internal floor) por pavimento	147
Tabela 17 – Composição das paredes externas e internas (external walls / partitions). Fonte: a autora	149
Tabela 18 – Composição das janelas e portas externas (openings). Fonte: a autora.	149
Tabela 19 – Diferencial de pressão (ΔP) máximo em Pa por pavimento. Fonte: autora. ...	169
Tabela 20 – Simulações urbanas na etapa de Projeto. Fonte: a autora.	189

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air-Conditioning</i>
IAB	Instituto dos Arquitetos do Brasil
IAT	Índice de Aproveitamento do Terreno
ICOMOS	<i>International Council on Monuments and Sites</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
NBR	Norma Brasileira Registrada
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PVC	Policloreto de vinila
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos
VRV	Volume Refrigerante Variável
WWR	<i>Window to Wall Ratio</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	22
CAPÍTULO 01 – A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS	28
Objetivos e estrutura do capítulo	28
1.1. O edifício e o tempo	29
1.2. Formas de intervenção no edifício	31
1.3. O objeto da reabilitação	36
1.4. Vantagens da reabilitação	40
1.5. Desafios da reabilitação	43
1.6. Etapas da reabilitação	45
1.7. Harmonia entre o passado, o presente e o futuro das edificações	49
1.8. Conclusões do capítulo	53
CAPÍTULO 02 – A VENTILAÇÃO NATURAL NO CONTEXTO DA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS	55
Objetivo e estrutura do capítulo	55
2.1. Introdução	56
2.2. Panorama internacional	57
2.2.1. IEA Annex 35 (1998-2002)	60
2.2.2. Projeto REVIVAL (2003-2008)	63
2.2.3. Projeto School Vent Cool (2010-2013)	66
2.2.4. Projeto IEA Annex 62 (2014-2017)	68
2.3. Panorama nacional	69
2.3.1. São Paulo	71
2.3.2. <i>Rio de Janeiro</i>	76
2.4. Conclusões do capítulo	83

CAPÍTULO 03 – A VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS SITUADOS EM MEIOS URBANOS DENSOS..... 86

Objetivos e estrutura do capítulo	86
3.1. Os efeitos do adensamento na qualidade ambiental das cidades	87
3.2. Do edifício isolado ao agrupamento: mudanças no escoamento do ar	89
3.3. Restrições impostas pela poluição sonora e atmosférica	99
3.4. Soluções de ventilação natural para reabilitações de escritórios em meios urbanos densos.....	102
3.5. Conclusões do capítulo	112

CAPÍTULO 4 – A VENTILAÇÃO NATURAL NA REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS NO CENTRO DO RIO DE JANEIRO 114

Objetivos e estrutura do capítulo	114
4.1. O objeto de estudo.....	115
4.1.1. Contexto urbano	115
4.1.2. Contexto climático e ambiental.....	117
4.1.3. O edifício escolhido.....	119
4.2. Metodologia: síntese	124
4.3. Etapa 1: Diagnóstico	127
4.3.1. Metodologia	127
4.3.1.1. Simulações urbanas CFD (1976 x atual).....	127
4.3.1.2. Simulações acústicas atuais.....	136
4.3.1.3. Simulações internas CFD.....	140
4.3.1.4. Simulações térmicas	143
4.3.1.5. Interpretação dos resultados: modelos de conforto adaptativo adotados	
153	
4.3.2. Resultados.....	159
4.3.2.1. Simulações urbanas	159
4.3.2.2. Simulações acústicas	170
4.3.2.3. Simulações internas.....	173

4.3.2.4.	<i>Simulações térmicas</i>	179
4.3.2.5.	<i>Conclusões do diagnóstico</i>	185
4.4.	<i>Etapa 2: Projeto</i>	187
4.4.1.	<i>Metodologia</i>	187
4.4.1.1.	<i>Solução arquitetônica adotada</i>	187
4.4.1.2.	<i>Simulações urbanas CFD (atuais)</i>	189
4.4.1.3.	<i>Simulações internas CFD</i>	190
4.4.1.4.	<i>Simulações térmica</i>	191
4.4.2.	<i>Resultados</i>	191
4.4.2.1.	<i>Simulações urbanas</i>	191
4.4.2.2.	<i>Simulações internas</i>	196
4.4.2.3.	<i>Simulações térmicas</i>	204
4.4.2.4.	<i>Conclusões da etapa de projeto</i>	212
4.5.	<i>Conclusões do capítulo</i>	213
 CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS		216
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		224
 ANEXO A - Rosas dos ventos sazonais, Rio de Janeiro		239

INTRODUÇÃO

No final da década de 80, o Relatório Brundtland, elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, convocou a sociedade para uma tomada de consciência sobre os efeitos nefastos provocados ao meio ambiente pela exploração predatória dos recursos naturais (CMSMAD, 1991). O documento faz um alerta quanto à incapacidade do modelo econômico atual de garantir que a natureza continue atendendo às necessidades das gerações futuras, e propõe um novo modelo para equilibrar a dimensão ambiental, econômica e social do desenvolvimento humano. Este modelo passa a ser conhecido como Desenvolvimento Sustentável.

Gradualmente, este debate teve repercussões positivas em diversas áreas do conhecimento. No campo da arquitetura, ampliou-se a discussão já iniciada na década de 70 com o choque do petróleo ao salientar o compromisso do projetista não só com a racionalização do consumo energético dos edifícios, mas também com os demais impactos provocados ao meio ambiente pelo processo de construção, operação e desmonte das edificações.

As inúmeras publicações sobre o tema bem como as iniciativas da prática profissional revelam que o cerne desta discussão tem sido, na maioria dos casos, os novos edifícios. No entanto, verifica-se que, nos últimos anos, as edificações existentes vêm sendo progressivamente incluídas neste debate.

Uma das razões reside na tomada de consciência de que os edifícios novos são cada vez menos numerosos, correspondendo em média a apenas 1-2% das edificações de centros urbanos consolidados (WILKINSON et al, 2014). Mazzarella (2014) ressalta que o potencial de conservação de energia e de redução das emissões de CO₂ está amplamente relacionado aos prédios já construídos. De fato, na maioria dos países industrializados, novos edifícios contribuirão para o aumento de 10 a 20% da demanda energética esperada em 2050, ao passo que os edifícios existentes serão responsáveis por mais de 80% do consumo total (ZIMMERMAN, 2012). Deste modo, incluir o parque edificado neste esforço corresponde a estender significativamente os benefícios gerados ao planeta.

Uma das formas de atender aos princípios de sustentabilidade com vistas a uma aplicabilidade nos edifícios existentes consiste em submetê-los a uma reabilitação. Reabilitar o edifício possibilita, dentre outros aspectos, ampliar sua vida útil, aproveitar seus materiais constituintes, preservar a herança cultural de gerações passadas, reduzir os custos com a obra e manutenção do prédio, aumentar seu desempenho energético e aprimorar as condições de conforto, salubridade e bem-estar para os ocupantes (DOUGLAS, 2006;

RODERS, 2007; WILKINSON et al, 2014).

A reabilitação oferece, portanto, uma oportunidade de preservar o patrimônio natural e edificado, atender às necessidades e anseios presentes e estender a existência do edifício para as gerações futuras. Trata-se, enfim, de uma forma de assegurar que o edifício atenda às gerações presentes sem impedir que as gerações futuras tenham o direito de usufruí-lo.

Do ponto de vista ambiental, destaca-se a valiosa oportunidade que a reabilitação oferece para adequar os edifícios face às transformações ambientais e urbanas sofridas pelo seu entorno.

A modificação da legislação urbana da área pode, por vezes, desencadear uma alteração em menor ou maior escala da morfologia do entorno, pelo aumento do gabarito e redução das áreas permeáveis. Tais transformações, somadas às alterações da pavimentação ou de revestimentos de fachadas, podem impactar o microclima local, alterando as temperaturas do ar e o padrão de circulação dos ventos.

Da mesma forma, a expansão ou reestruturação do tráfego na área, bem como as mudanças no uso do solo influem na poluição sonora e atmosférica, o que pode tornar mais complexo o aproveitamento da ventilação natural nas edificações. Portanto, reabilitar edifícios situados nestes contextos pode concorrer para uma melhoria da qualidade ambiental para seus ocupantes.

A despeito desta oportunidade, é cada vez mais recorrente encontrar reabilitações certificadas por sua qualidade energético-ambiental que não favorecem o aproveitamento de estratégias passivas como a ventilação natural. Consequentemente, há um grande desperdício do potencial de conservação de energia oferecido por elas. Isto ocorre especialmente nos edifícios de escritórios, onde o uso de sistemas ativos já se encontra bastante consolidado. No Brasil, o condicionamento de ar em edifícios comerciais é responsável por 47% do total da energia elétrica consumida no país (ELETROBRÁS, 2007).

Observa-se que, em parte das reabilitações realizadas no Brasil, a melhoria do desempenho energético é solucionada com a instalação de sistemas artificiais mais eficientes que os anteriores, assim como pela substituição ou adição de materiais na envoltória para redução dos ganhos térmicos por insolação. Tais intervenções levam, por vezes, à transformação drástica da linguagem arquitetônica e da materialidade das fachadas, o que resulta num desequilíbrio entre a preservação do meio ambiente e do patrimônio edificado.

Este notório entusiasmo dos projetistas face aos avanços das tecnologias de sistemas prediais tem desencadeado, gradualmente, a perda de habilidade em projetar em consonância com o clima e tornado os edifícios cada vez mais independentes do meio ambiente exterior (GONÇALVES; BODE, 2015). A importação do modelo de edifícios

hermeticamente selados constitui-se uma das consequências mais representativas para a arquitetura corporativa atual.

Se por um lado esta independência garantida pelos sistemas artificiais estabiliza as condições internas de temperatura e umidade do ar e contribui para o conforto dos usuários, por outro, estes tendem a reportar mais sintomas de doenças respiratórias do que em edifícios ventilados naturalmente, devido à baixa qualidade do ar interior (MENDELL et al, 1996). Consta-se também que, em edifícios não climatizados, os ocupantes desenvolvem maior habilidade de se adaptar às variações higrotérmicas e se tornam mais tolerantes às condições ambientais dos espaços externos (HUMPHREYS et al, 2013; GONÇALVES; BODE, 2015). Estes benefícios, somados a possibilidade de redução da demanda energética do edifício, evidenciam a importância de insistir nesta estratégia passiva.

No entanto, para incentivar e/ou resgatar o uso da ventilação natural no ambiente construído, é preciso derrubar mitos e ideias falsas sobre a impossibilidade desta estratégia assegurar o conforto dos ocupantes. Estas crenças são mais incisivas quando os edifícios se situam em contextos urbanos densos, pois há uma generalização de que a poluição sonora e atmosférica externa, bem como a presença de inúmeros obstáculos no entorno inviabilizam a captação dos ventos pela edificação.

Diversas pesquisas brasileiras atestam o potencial da ventilação natural de criar ambientes térmicos satisfatórios em clima tropical durante parte do ano, especialmente quando adotadas estratégias para reduzir as cargas térmicas internas e externas e instaladas tipologias de esquadrias que maximizem a captação dos ventos (FIGUEIREDO, 2007; MARCONDES, 2010; VIEIRA, 2011; COTTA, 2012). No entanto, ressalta-se que, além de considerarem variáveis arquitetônicas ideais, estes trabalhos desprezam os impactos do entorno (o edifício é considerado isolado), o que corroboram a desconfiança de que em situações mais limitantes – como o caso dos edifícios existentes em meios urbanos densos – a ventilação natural não seja uma solução eficiente.

Leite (2015) defende que nem todas as condições ambientais oferecidas pelos tecidos urbanos adensados geram prejuízos para o desempenho das edificações. O autor enumera uma série de pesquisas que indica que o sombreamento da envoltória gerado pela proximidade dos edifícios vizinhos pode reduzir as cargas térmicas pela envoltória e as temperaturas do ar nos espaços internos, minimizando sua demanda energética.

Estudos analíticos desenvolvidos pelo autor atestam que não necessariamente a maior verticalização e adensamento construtivo implica na redução da capacidade de captação dos ventos. Uma comparação de morfologias urbanas distintas recorrentes na cidade de Fortaleza revelou que os cenários com ventilação natural mais favorável apresentam um adensamento

intermediário, o que reforça a atuação conjunta das variáveis de obstrução à radiação solar e permeabilidade aos ventos.

Gonçalves e Bode (2015) ressaltam a importância de reduzir o aporte solar do envelope para que a ventilação natural ofereça condições de conforto em clima quente e úmido. Deste modo, verifica-se que é o diferencial entre os ganhos e perdas de calor que determina a eficiência da ventilação natural, e não somente a intensidade e a vazão de ar disponível no ambiente construído.

ENUNCIADO DA HIPÓTESE

A principal motivação desta pesquisa se origina da constatação de lacunas nos estudos de ventilação natural que conjuguem as incertezas e complexidades dos dois contextos aqui apresentados: a reabilitação de edifícios e os meios urbanos densos.

Baseando-se nos resultados de pesquisas antecedentes e reconhecendo o potencial das estratégias bioclimáticas, sustenta-se a seguinte hipótese:

O projeto de reabilitação pode favorecer o uso eficiente da ventilação natural em edifícios de escritório situados em meios urbanos densos, por meio de sua adequação às transformações urbanas e ambientais sofridas pelo entorno.

A eficiência da ventilação natural é entendida nesta tese como a capacidade de oferecer condições de conforto térmico aos ocupantes em pelo menos parte do ano.

OBJETIVOS

Esta tese tem por objetivo discutir sobre os desafios e potencialidades de adotar a ventilação natural nos projetos de reabilitação de edifícios de escritórios em meios urbanos densos.

Os objetivos específicos compreendem:

1. Destacar as dificuldades enfrentadas no processo de reabilitação, identificando como esta atividade difere da concepção de um edifício novo.
2. Apresentar um estado da arte da teoria e prática arquitetônica sobre a incorporação da ventilação natural na reabilitação de edifícios.
3. Ressaltar a importância do conhecimento sobre o contexto urbano e ambiental existente, como uma primeira etapa para analisar o potencial de utilização da ventilação natural no espaço de trabalho.

METODOLOGIA / ESTRUTURA DA TESE

A metodologia adotada nesta pesquisa foi composta por quatro etapas.

Inicialmente, realiza-se uma revisão bibliográfica sobre a reabilitação de edifícios para situar o contexto específico que será abordado no tema da ventilação natural. Nesta etapa, procura-se dar significado ao termo “reabilitação” e enumerar suas vantagens, desafios, etapas e diferenças em relação à concepção de um edifício novo.

Em seguida, a investigação se concentra no estado da arte sobre a ventilação natural no contexto da reabilitação. São analisadas as pesquisas e práticas do cenário nacional e internacional a fim de identificar como este tema vem sendo abordado e quais são os avanços alcançados.

Na terceira etapa, realiza-se uma revisão bibliográfica sobre os efeitos diretos e indiretos do processo de urbanização sobre as circulações dos ventos. Busca-se compreender os problemas ambientais identificados em tecidos urbanos caracterizados por cânions urbanos que devem ser superados para (re)introduzir a ventilação natural nos edifícios de escritório.

Por fim, desenvolve-se um estudo de caso baseado em um edifício de escritórios situado no centro do Rio de Janeiro, que possibilitará discutir na prática os desafios e potenciais de incorporar a ventilação natural na reabilitação de edifícios em meios urbanos densos. Este estudo compreenderá: 1) o diagnóstico do potencial de ventilação do edifício, considerando os efeitos da morfologia urbana na captação dos ventos; 2) o desenvolvimento e análise de desempenho de uma solução de ventilação natural a ser incorporada no edifício estudado. As análises serão apoiadas por simulações fluidodinâmicas, acústicas e térmicas.

A metodologia acima descrita reflete-se diretamente na estrutura da tese, organizada em cinco capítulos.

No **primeiro capítulo**, são evidenciados os fundamentos da reabilitação de edifícios, com o intuito de estabelecer o contexto específico sobre o qual será abordado o tema da ventilação natural. São apresentando dois conceitos arquitetônicos primordiais relacionados à passagem do tempo – o ciclo de vida e a vida útil do edifício – e diferenciadas as formas de retardar a degradação do parque edificado. Destacam-se ainda as principais vantagens de reabilitar um edifício, bem como os desafios, as etapas básicas e os compromissos a serem assumidos ao longo deste processo.

O **segundo capítulo** apresenta o estado-da-arte sobre a incorporação da ventilação natural na reabilitação de edifícios, ressaltando os principais avanços, lacunas e desafios já detectados. São descritas algumas das principais pesquisas desenvolvidas sobre o tema no cenário internacional, incluindo os projetos pilotos de reabilitação decorrentes destas

investigações. No contexto nacional, apresenta-se um panorama geral da reabilitação de edifícios nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, onde são analisadas as condições para utilização da ventilação natural nas edificações existentes.

O **terceiro capítulo** tem como foco as especificidades da ventilação natural em meios urbanos densos. Evidenciam-se os impactos das transformações urbanas sobre o potencial de ventilação natural de um edifício situado neste contexto. Destacam-se aspectos da morfologia urbana que influenciam no padrão de escoamento dos ventos e os conflitos possíveis entre a ventilação natural e a poluição sonora e atmosférica. Por fim, apresenta-se uma reflexão sobre a adequabilidade de seis soluções arquitetônicas de ventilação natural ao contexto da reabilitação de edifícios de escritórios em meios urbanos densos.

O **quarto capítulo** apresenta um estudo de caso para exemplificar na prática as principais questões teóricas discutidas nos capítulos anteriores. Adota-se como objeto de estudos um edifício de escritórios situado no centro do Rio de Janeiro, uma região caracterizada por uma morfologia urbana complexa, que apresenta condições de poluição sonora limitantes. O estudo de caso é conduzido em duas etapas. Na primeira, denominada Diagnóstico, realiza-se uma análise das consequências da verticalização e adensamento da área de estudo sobre o escoamento do ar e as condições atuais de ventilação natural no interior do edifício. Na etapa de Projeto, propõe-se, com base no diagnóstico, uma solução para maximizar a circulação do ar nos espaços internos e oferecer melhores condições de conforto térmico aos ocupantes.

O **quinto capítulo** sintetiza as contribuições do presente trabalho para os estudos de ventilação natural e destaca as principais conclusões alcançadas, a validação da hipótese, as limitações e os possíveis desdobramentos desta pesquisa.

CAPÍTULO 01 – A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Objetivos e estrutura do capítulo

Este capítulo tem por objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre os fundamentos da reabilitação de edifícios, destacar seus principais conceitos e ressaltar suas diferenças em relação ao projeto de um novo edifício.

Inicialmente, são evidenciados dois conceitos fundamentais relacionados à passagem do edifício pelo tempo – o ciclo de vida e a vida útil – ressaltando o papel da intervenção em adiar a decadência do patrimônio construído. Em seguida, são apresentadas as diversas taxonomias relacionadas às diferentes formas de intervenção e escolhido o termo que melhor define o objeto desta pesquisa: a reabilitação.

Em continuidade, são ressaltadas as vantagens da reabilitação e os desafios enfrentados nesta empreitada. Apresentam-se, em seguida, as etapas básicas que compõem o processo da reabilitação, incluindo as etapas de pré-projeto, projeto e pós-ocupação.

Finalmente, com base no ciclo de vida das edificações, discute-se sobre o compromisso que deve ser assumido pelo projetista, durante todo o processo de reabilitação, de assegurar uma harmonia entre o passado, o presente e o futuro da edificação.

1.1. O edifício e o tempo

Em um documentário produzido pela BBC TV, em 1997, o escritor americano Stewart Brand destituiu o arquiteto de seu posto soberano de artífice dos edifícios, ao afirmar que o arquiteto apenas inicia a obra e o tempo é que trata de sua continuidade (HOW, 1997).

De fato, edifícios nunca são projetos finalizados no ato de sua construção, mas produtos em constante transformação pelo tempo. O tempo pode ser aqui interpretado como todas as mudanças que acontecem com o passar dos dias, meses, anos e décadas: as alterações no uso, as degradações que ocorrem, a ação dos ventos, chuvas e insolação, as variações de temperatura do ar, os efeitos dos poluentes internos e externos, as mudanças do contexto urbano, os acidentes naturais, os incêndios, dentre tantos outros fatores. Como bem ressalta Brand (HOW, 1997), os edifícios protegem o ser humano do seu meio, mas quem protege os edifícios?

Há dois conceitos fundamentais relacionados à passagem do edifício pelo tempo, que são distintos, porém complementares: o ciclo de vida e a vida útil. O **ciclo de vida** corresponde à sequência de etapas pelas quais passa o edifício desde sua pré-existência até sua pós-existência, isto é, as etapas de planejamento, projeto, construção, uso, intervenção, decadência, demolição e processamento de seus resíduos (DOUGLAS, 2006; HAKKINEN, 2012). A **vida útil** é um conceito menos abrangente, que consiste no período de tempo em que um edifício ou seus componentes funcionam com um nível mínimo aceitável de desempenho (DOUGLAS, 2006; KELLY, 2007). Assim, no contexto do ciclo de vida, a vida útil de um edifício corresponde ao período compreendido entre o início de sua utilização e o começo de sua decadência (Figura 1).

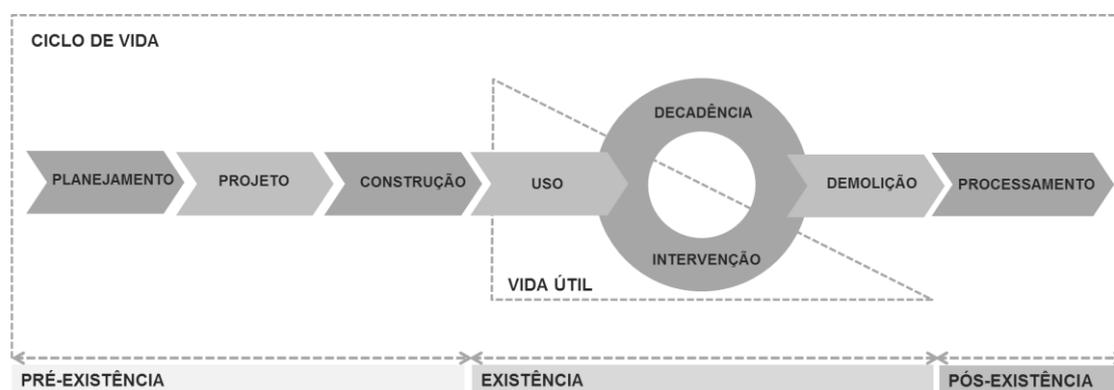


Figura 1 – A inserção da vida útil no ciclo de vida de uma edificação. Fonte: a autora.

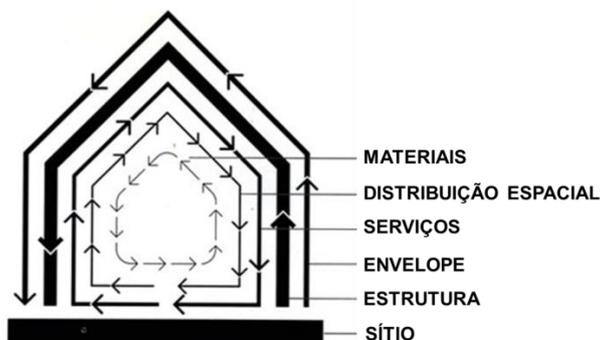
A vida útil pode ser classificada em termos técnicos, funcionais ou econômicos, a depender

do aspecto do edifício que define o desempenho esperado (WILKINSON et al, 2014). A vida útil técnica corresponde ao tempo em que o imóvel está adequado às demandas técnicas e físicas, e oferece segurança e salubridade nos ambientes. A vida útil funcional compreende o período em que um imóvel atende às demandas funcionais de seus usuários (demandas estéticas, sociais, legais e ambientais). A vida útil econômica corresponde ao período durante o qual os ganhos possibilitados pelo imóvel superam seus gastos.

Estas três classificações para a vida útil estão inter-relacionadas. Por exemplo, se o edifício não atende mais tecnicamente seus ocupantes, isto pode acarretar no fim da vida útil funcional da edificação. Por sua vez, problemas funcionais podem implicar no fim da vida útil econômica do imóvel, pois este poderá ser gradualmente abandonado, gerando gastos maiores do que os ganhos.

Brand (1995) considera que o edifício é constituído de seis camadas que sofrem transformações ao longo do tempo segundo ritmos distintos. São elas: sítio, estrutura, pele, serviços, distribuição espacial e materiais. Por conseguinte, cada camada apresenta uma vida útil também distinta (Tabela 1).

Tabela 1 – Camadas de transformação do edifício e respectivas vidas úteis.
 Fonte: adaptado de Brand (1995)



Camadas	Descrição	Vida útil média
Sítio	Localização e contexto	Permanente
Estrutura	Estrutura	30-300 anos
Envelope	Envelope	20 anos ou mais
Serviços	Instalações	7-20 anos
Distribuição espacial	Layout interno	3 anos
Materiais	Móveis e equipamentos	< 3 anos

A NBR 15575-1 (ABNT, 2010) também estabelece uma vida útil mínima para os sistemas que compõem as edificações habitacionais (Tabela 2). A norma brasileira indica uma durabilidade das partes maior que aquela estipulada por Brand (1995) e reconhece a estrutura como o

sistema mais resistente aos desgastes pelo uso.

Tabela 2 – Vida útil dos sistemas que compõem o edifício habitacional, segundo NBR 15575-1.
Fonte: ABNT, 2010.

Sistema	Vida útil mínima
Estrutura	≥ 40 anos
Pisos internos	≥ 13 anos
Vedação vertical externa	≥ 40 anos
Vedação vertical interna	≥ 20 anos
Cobertura	≥ 20 anos
Hidrossanitário	≥ 20 anos

Para que um edifício tenha um longo ciclo de vida, faz-se necessário assegurar que todas as suas camadas atendam satisfatoriamente a seus ocupantes, protegendo-os das agressões do meio ambiente ao longo do tempo, e adequando-se continuamente a novos contextos socioculturais, econômicos, ambientais e urbanos. É necessário, portanto, intervir, isto é, modificar, alterar, transformar uma dada situação existente. A intervenção interrompe o processo de decadência e prolonga a vida útil do edifício, podendo não só recuperar o desempenho original como também superá-lo.

A seguir, serão apresentadas as diversas formas possíveis de intervenção e explicitadas suas diferenças em termos de escala e objetivo.

1.2. Formas de intervenção no edifício

São inúmeros os termos utilizados para designar a intervenção em um edifício: reforma, reabilitação, renovação, adaptação, remodelação, restauração, conservação, manutenção, reparo, alteração, melhoria, modernização, atualização, conversão, *retrofit* etc. Mansfield (2002) alerta que estes termos não podem ser tratados como sinônimos, pois diferem quanto à abrangência, ao nível e a forma de transformação do existente.

Alguns termos são utilizados de forma mais abrangente que outros. Douglas (2006), Bullen e Love (2011), Wilkinson et al (2014) adotam o termo adaptação para designar qualquer intervenção em edificações, desde pequenos reparos até reestruturações pesadas, com ou sem mudança na função do edifício. Com esta mesma amplitude, Roders (2007) faz uso do termo intervenção, enquanto que Marques de Jesus e Barros (2011) preferem o termo reabilitação.

Douglas (2006) distingue as diversas taxonomias relacionadas às formas de adaptação dos edifícios (Tabela 3).

Tabela 3 – Tipo de adaptação do edifício, segundo Douglas (2006).

Tipo de adaptação	Descrição
Reparo (<i>repair</i>)	Restauração de um item para atingir condições aceitáveis, a partir de renovação, substituição ou conserto de partes degradadas ou deterioradas.
Consolidação (<i>consolidation</i>)	Adaptação básica ou trabalho de manutenção para garantir o uso satisfatório do edifício.
Proteção (<i>protection</i>)	Provisão de restrições legais e controles de destruição ou deterioração de um edifício, como o objetivo de garantir a sobrevivência ou preservação para o futuro.
Conservação (<i>conservation</i>)	Qualquer ação para garantir a sobrevivência e preservação de um edifício, artigo cultural, recurso natural ou energia para usufruto das futuras gerações.
Preservação (<i>preservation</i>)	Deter ou retardar a deterioração de um edifício ou monumento usando técnicas de reparo. Ação de fazer um edifício ou artefato sobreviver. Ato ou processo de aplicar medidas necessárias para sustentar a forma existente, a integridade e o material de um imóvel histórico.
Alteração (<i>alteration</i>)	Modificações na aparência, no layout ou na estrutura para atender a novas necessidades. Pode estar incluído em muitos tipos de adaptação.
Recuperação (<i>refurbishment</i>)	Melhorar a aparência e função de um imóvel. Adaptá-lo ao padrão de modernidade. Tem uma conotação de intervenção superficial ou cosmética. Melhorias gerais, excluindo intervenções na estrutura. Geralmente ocorre em edifícios comerciais e públicos.
Melhoria (<i>improvement</i>)	Adaptar o edifício ou suas instalações para um padrão mais alto e aceitável para os ocupantes. Geralmente inclui substituições.
Modernização (<i>modernization</i>)	Adequar o edifício a padrões correntes exigidos pelos ocupantes, sociedade ou leis e normas.
Reabilitação (<i>rehabilitation</i>)	Geralmente restrita a imóveis residenciais. Pode incluir modernização, trabalhos de ampliação, alterações na estrutura. Inclui reparações, alterações, adições, preservações de partes com valor histórico, cultural e arquitetônico.
Renovação (<i>renewal</i>)	Reparos substanciais e melhorias nas instalações ou sistemas para recuperar ou superar o desempenho original.
Retrofit	Redesenho e reconstrução de uma instalação existente ou subsistema para incorporar novas tecnologias, atender a novas exigências ou superar o desempenho original. Substituição de componentes dos edifícios por novos não disponíveis na construção original.
Reforma (<i>renovation</i>)	Atualização ou reparo de um edifício antigo para alcançar condições aceitáveis. Pode incluir trabalhos de conversão.
Revitalização (<i>revitalization</i>)	Extensão da vida de um edifício, providenciando novas instalações ou melhorando as existentes, o que pode incluir atualizações mais extensas.
Atualização (<i>upgrading</i>)	Melhorar o desempenho de componentes ou serviços de um edifício.
Restauração (<i>restoration</i>)	Restrita a trabalhos mais extensos de adaptação em imóveis dilapidados ou em ruína. Busca recuperar a aparência ou estado original de um item. Mais voltada para edifícios públicos ou residenciais.
Conversão (<i>conversion</i>)	Adaptação de um edifício para um uso similar ou para um uso completamente diferente.

Reciclagem (<i>recycling</i>)	Transformação ou reutilização de um edifício redundante, subutilizado ou não utilizado ou material para um propósito mais moderno.
Reposição (<i>reinstatement</i>)	Reparos extensos para recuperar condições originais de um edifício que sofreu danos substanciais em decorrência de incêndios, enchentes e terremoto.
Reconstrução (<i>rebuilding</i>)	Refazer um edifício completo ou partes que foram destruídas ou sofreram degradação.

Com base nas definições propostas por Douglas (2006), propõe-se o agrupamento das intervenções em três níveis: intervenções brandas, extensas, e drásticas. Nas intervenções brandas, incluem-se o reparo, a consolidação, a proteção, a conservação e a preservação. Elas se assemelham pela escala média de intervenção e têm como objetivo prevenir ou retardar a decadência e degradação do imóvel. Dentre as atividades previstas neste grupo, destacam-se as pequenas melhorias em superfícies, pequenas modernizações, a renovação da pintura, a troca de portas e janelas etc.

Nas intervenções de maior extensão, incluem-se alteração, recuperação, melhoria, modernização, reabilitação, renovação, reforma, revitalização, atualização, restauração e conversão. Todas têm em comum atividades de substituição, acréscimo e reforma de alguns componentes do edifício, para retomar o desempenho original ou mesmo superá-lo, a fim de adequar o imóvel a novos padrões de exigência ou a novos usos. Dentre as atividades incluídas neste grupo, ressaltam-se modificações maiores em elementos e instalações, alterações estruturais, mudanças da função do edifício, atualização do revestimento de fachada, substituição de telhados e sistemas de ar-condicionado, demolição de algumas paredes e piso etc.

Finalmente, nas intervenções mais drásticas, incluem-se a reciclagem, a reposição, a demolição, a reprodução e a reconstrução. Estas intervenções são caracterizadas por modificações de grande extensão em vários componentes do edifício ou mesmo a demolição do imóvel. A depender da flexibilidade dos espaços, a conversão também pode ser incluída nesta categoria, pois pode gerar modificações substanciais na estrutura do imóvel. Dentre as atividades envolvidas neste grupo, destacam-se extensas alterações estruturais, substituições importantes de componentes, reprocessamento, reciclagem ou despejo dos resíduos gerados pela demolição etc.

A Figura 2 apresenta algumas formas de intervenção citadas por Douglas (2006) relacionadas ao grau de aproveitamento dos componentes da edificação. Os tipos de intervenções dos três grupos supracitados estão apresentados em sequência. A prevenção, a preservação e a consolidação representam o grupo de intervenções brandas. A renovação e a restauração fazem parte do grupo de intervenções extensas. Finalmente, a reprodução e a reconstrução representam o grupo de intervenções drásticas. Verifica-se que esta sequência proposta pode

variar dentro de um mesmo grupo, em função do estado de degradação do edifício, da flexibilidade dos espaços ou das exigências dos seus ocupantes. Por exemplo, uma restauração pode envolver apenas pequenas recuperações de elementos de fachada, gerando menos acréscimos ou substituições que uma renovação.

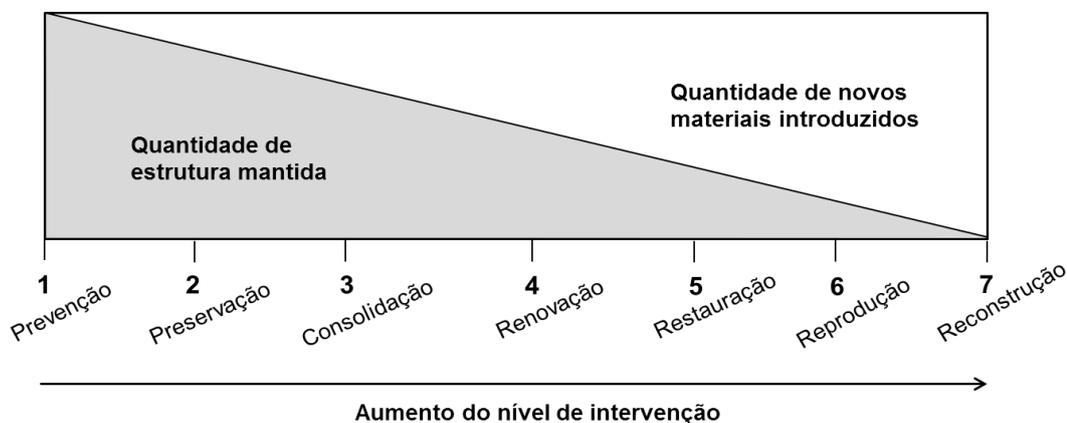


Figura 2 – Níveis de intervenção. Fonte: adaptado de Douglas (2006).

Roders (2007) propõe uma escala de intervenções com sete níveis, cada um englobando intervenções passivas (em geral, quando não há uma modificação física do edifício ou quando esta não é expressiva) e ativas (quando há modificações físicas significativas) (Tabela 4). Observa-se que a autora considera outras formas de intervenção negativas além da demolição, como o abandono ou o vandalismo (privação).

Tabela 4 – Níveis de intervenção, segundo Roders (2007).

Nível	Tipo de intervenção	Subtipos	Classific.	Descrição
1	Privação (<i>deprivation</i>)	Abandono	Passiva	Deixar o edifício entrar em decadência ou obsolescência, sem nenhuma preocupação particular.
		Vandalismo	Ativa	Contribuir para a obsolescência ou degradação do edifício, através de ações destrutivas intencionais.
2	Preservação (<i>preservation</i>)	Inventário	Passiva	Levantamento e documentação física sobre o edifício para futuras intervenções
		Prevenção	Ativa	Limpeza ou qualquer atividade que previna a decadência do edifício, realizada em curto prazo
3	Conservação (<i>conservation</i>)	Manutenção	Passiva	Limpeza ou qualquer atividade que previna a decadência do edifício, realizada em médio prazo
		Salvaguarda	Ativa	Reparos de danos em média escala

4	Restauração (<i>restoration</i>)	Restituição	Passiva	Reparos de danos em grande escala, correção de fissuras, pequenas reconstruções
		Reconstituição	Ativa	Consolidação, reconstrução em média escala em harmonia estética com o existente
5	Reabilitação (<i>rehabilitation</i>)	Reuso	Passiva	Uso original ou prévio mantido. Combina atividades de outras modalidades de intervenção, mantendo o que for possível
		Conversão	Ativa	Mudança de função. Subtrações e adições para adequação a nova atividade
6	Reconstrução (<i>reconstruction</i>)	Reedificação	Passiva	Reconstrução parcial ou total do edifício, baseado em inventários
		Construção de edifício novo	Ativa	Construção de um novo edifício.
7	Demolição (<i>demolition</i>)	Redução de resíduo	Passiva	Desmonte com relocação do resíduo, reprocessamento, reciclagem
		Depósito de resíduo	Ativa	Desmonte sem relocação do resíduo, reprocessamento, reciclagem

Ao contrário de Roders (2007), Douglas (2006) não considera a manutenção como parte das atividades de adaptação de um edifício. Segundo o autor, a manutenção envolve uma escala muito pequena de trabalho e é realizada regularmente, dentro de uma rotina. Já a adaptação envolve atividades de escala média ou alta em partes ou em todo o edifício, e é realizada pontualmente. Ele diferencia ainda a manutenção e a adaptação pela eficiência em incrementar o desempenho do edifício. Enquanto que a adaptação permite alcançar um padrão ótimo ou máximo de desempenho, a manutenção possibilita, no melhor dos casos, recuperar a condição original do edifício (Figura 3).

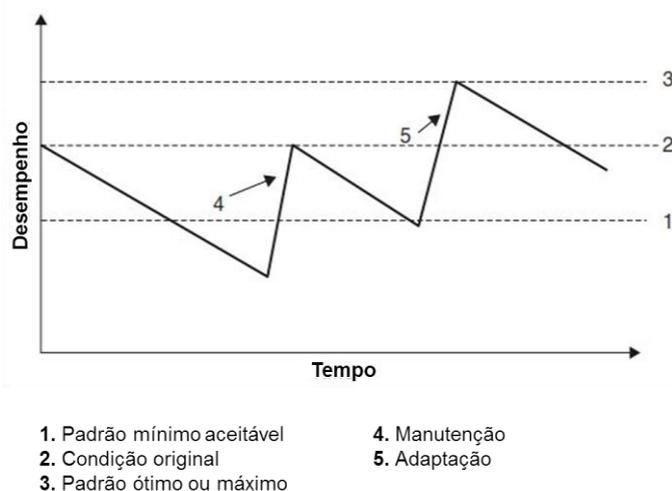


Figura 3 – Padrão de desempenho alcançado: manutenção x reabilitação.
Fonte: adaptado de Douglas (2006).

Partindo-se da análise das duas escalas de intervenção apresentadas, identificou-se que a intervenção da qual tratará esta pesquisa está situada no grupo das intervenções de médio e de grande porte, excetuando-se as atividades de manutenção, reparo ou preservação e as relacionadas à destruição ou reconstrução do patrimônio. Optou-se por denominar este tipo de intervenção de **reabilitação**, em razão da equivalência do objeto desta tese com as definições encontradas na literatura sobre este termo.

Segundo o Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa (O GLOBO, 1997), reabilitar significa “restabelecer no estado anterior, restituir (alguém) os direitos e prerrogativas que havia perdido; (...) restituir a estima pública ou particular, regenerar moralmente”. O Minidicionário Ruth Rocha (ROCHA, 2000) apresenta uma definição equivalente: “restabelecer no seu estado anterior, nos seus direitos, no conceito favorável de que gozava. Recuperar a estima pública ou particular”.

Joffroy (1999) define a reabilitação como uma prática arquitetônica que tem por objetivo melhorar as edificações e prolongar sua vida útil, de forma a restabelecer sua estima. Significa recuperar seu estado de habitabilidade no sentido físico, psicológico e social.

Roders (2007) também adota este termo para se referir a uma escala de intervenção que tem por objetivo incrementar a significância e a condição do edifício e de seu meio, resolvendo problemas de inadequação gerados pelo envelhecimento natural do edifício ou pela perda de funcionalidade.

Para efeito desta tese, a reabilitação é entendida como qualquer intervenção de médio ou grande porte sobre um edifício que amplie a vida útil da edificação de forma a habilitá-la novamente para seu uso pleno e satisfatório, adequando-a as novas exigências de seus ocupantes e do mercado, às normas e legislações vigentes, às atualizações tecnológicas e às transformações de seu contexto urbano, ambiental, econômico e sociocultural. Trata-se de uma intervenção que busca melhorar o conforto e propiciar condições de salubridade aos usuários, e que tem como objetivo primordial recuperar a estima do edifício pela sociedade. A mudança de função do edifício pode ser realizada neste tipo de intervenção.

1.3. O objeto da reabilitação

Em se tratando do termo reabilitação, não há um consenso entre os autores pesquisados quanto ao alvo desta forma de intervenção.

Douglas (2006) tem um entendimento bastante limitado sobre o objeto da reabilitação, ao atestar que este tipo de intervenção é restrito a edificações residenciais, “devido à relação

óbvia do termo com ‘habitação’”.

Joffroy (1999) amplia o escopo da reabilitação para edifícios de qualquer função, no entanto, exclui os edifícios de reconhecido valor cultural.

O principal campo de ação da reabilitação é aquele do patrimônio imobiliário ‘ordinário’ – ou pelo menos desconhecido – cujo valor não é reconhecido por unanimidade. Trata-se de um imóvel sem qualidade – ao qual se deve dar qualidade – ou de qualidade escondida – a qual se deve fazer emergir. (JOFFROY, 1999, p.15, tradução nossa).

Para Joffroy (1999), a intervenção no patrimônio histórico é denominada restauração. Brandi (2008) também faz uso restrito deste termo para se referir a intervenções em obras de arte, que apresentem significância estética e histórica reconhecida pela sociedade.

Conforme observado na Tabela 4, Roders (2007) também separa reabilitação de restauração. No entanto, diferentemente de Joffroy (1999) e Brandi (2008), a autora as distingue pela escala de intervenção e não pelo seu alvo. Para ela, a restauração, além de ser uma intervenção em menor escala que a reabilitação, tem um maior compromisso em resgatar as condições originais do imóvel, recuperando sua imagem. A reabilitação também tem como fim primordial a preservação do patrimônio construído, no entanto, ela permite maiores intervenções na edificação, através de subtrações e adições.

Dentre os autores estudados, é Roders (2007) que tem uma visão mais abrangente sobre o objeto da reabilitação, ao defender que qualquer edifício pode ser alvo deste tipo de intervenção, independentemente da atividade abrigada pelo imóvel ou do reconhecimento de sua significância. A autora argumenta que tudo que é produzido pela sociedade tem valor cultural, incluindo os edifícios. Ainda que nem todos tenham sua significância cultural reconhecida, é fundamental protegê-los contra a ação do tempo e do próprio homem, para que as gerações futuras, que por ventura virão a reconhecer a significância daqueles imóveis, tenham o direito de apreciá-lo. Assim, Roders (2007) defende que todos os edifícios merecem ser alvo da reabilitação.

Ainda que não discrimine nenhum edifício, Roders (2007) entende que a reabilitação está geralmente voltada para edifícios com mais de vinte e cinco anos, pois antes disto, não requerem intervenções na escala da reabilitação. A idade do edifício alvo de reabilitação é relativa. Considerando que a distribuição espacial pode não atender mais às necessidades dos usuários após três anos de uso ou que o envelope pode não apresentar um desempenho mínimo aceitável antes dos 20 anos (Tabela 1), uma intervenção numa escala equivalente à reabilitação pode ser necessária muito antes dos 25 anos. A própria mudança de função do edifício antes deste prazo poderá exigir intervenções extensas no imóvel. Ou seja, não há como precisar pela idade que nível de intervenção será necessário.

Assim, entende-se que não é a função, a significância ou a idade que caracterizam o alvo da reabilitação, mas a capacidade do edifício de responder de forma satisfatória às necessidades de seus usuários, às exigências previstas em normas e legislações, às demandas do mercado e aos valores socioculturais e econômicos vigentes.

Neste sentido, Douglas (2006) cita quatro termos que melhor caracterizam o alvo da reabilitação: deterioração, redundância, vacância e obsolescência.

A **deterioração** consiste na degradação progressiva do imóvel causada pelo uso ou por agentes climáticos (vento, radiação solar, poluentes, umidade etc). Quando gerada pelo uso, ela se dá geralmente do interior para o exterior, enquanto que a deterioração pelo clima ocorre do exterior para o interior.

A **redundância** indica o excedente de um bem, objeto ou propriedade. É sinônimo de supérfluo, desnecessário. Ocorre quando a oferta de um edifício de determinada função é maior que sua demanda, seja pelo crescimento de construções de mesmo uso em uma dada área, seja pela migração da população de um determinado bairro para outro.

A **vacância** corresponde a não ocupação de um edifício, isto é, seu abandono. Ela é consequência da redundância, da desvalorização de um bairro ou da sazonalidade de ocupação de alguns edifícios (exemplo: edifícios utilizados para eventos). Ela pode ser temporária (até cinco anos) ou permanente (maior que 5 anos), e ocorrer em partes ou na totalidade do edifício. A vacância pode ser também decorrente da obsolescência do imóvel.

A **obsolescência** indica a desatualização ou inadequação do edifício relacionada a uma dada exigência ou necessidade, e está intimamente ligada às transformações socioculturais, econômicas, tecnológicas, legais, funcionais, urbanas e climáticas. Ao contrário da deterioração, a obsolescência não é facilmente prevista ou controlada, pois tais transformações podem ocorrer de forma aleatória ou sem claros indícios.

Há diversos tipos de obsolescência (DOUGLAS, 2006; WILKINSON et al, 2014):

- Tecnológica: quando as evoluções da tecnologia tornam os equipamentos e instalações prediais ultrapassados, prejudicando a produtividade dos ocupantes.
- Funcional: quando o edifício se torna inadequado ao seu uso, pela limitação da capacidade de seus espaços e pelas mudanças nas formas de trabalho ou habitação.
- Física: quando seu desempenho é insatisfatório aos anseios ou exigências atuais, em casos de mudanças no contexto climático e urbano.
- Econômica: quando os custos de manutenção ou operação superam os rendimentos ou seu valor econômico é reduzido pelas mudanças nas exigências de mercado.

- Social: quando o edifício não mais satisfaz as necessidades ou gostos de seus ocupantes, pela mudança no nível de expectativa.
- Legal: quando da mudança na legislação ou da criação de regulamentos. Ex: norma de acessibilidade universal, normas de incêndio, regulamento de eficiência energética, normas de desempenho etc.
- Estética: quando a aparência do edifício está ultrapassada em relação aos gostos e estilos atuais.
- Locacional: quando há um desequilíbrio entre o valor do terreno e valor do edifício, ou a imagem do entorno não condiz mais com a imagem desejada para o edifício.

Os quatro aspectos supracitados – deterioração, redundância, vacância e obsolescência – podem apresentar relações de causa e efeito (Figura 4). A obsolescência e a redundância podem desencadear o abandono do edifício por seus usuários. A vacância torna o imóvel mais suscetível a vandalismos e ocupações desordenadas, o que contribui para sua deterioração. Finalmente, a obsolescência pode reduzir a estima do edifício por seus usuários, o que pode acelerar o processo de deterioração do imóvel.

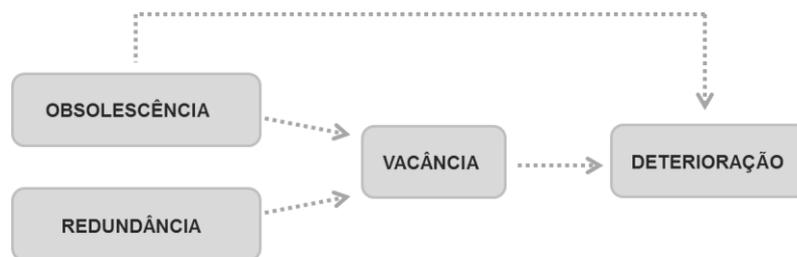


Figura 4 – Relação entre os aspectos do edifício que caracterizam o alvo da reabilitação. Fonte: a autora

Qualquer edifício que apresente tais condições pode ser alvo de reabilitação. Entretanto, algumas características extras podem tornar alguns edifícios alvos prioritários da reabilitação (DOUGLAS, 2006). São elas:

- Convertibilidade: permite mudanças de uso do edifício, respondendo satisfatoriamente as restrições técnicas, legais e econômicas.
- Facilidade de desmonte: permite subtrair partes do edifício com segurança, eficiência ou rapidez.
- Capacidade de desagregar: viabilidade de reutilização e reprocessamento dos componentes e materiais do edifício.
- Expansibilidade: potencial de crescimento em volume ou capacidade.
- Flexibilidade: facilidade de adaptação e reorganização dos espaços, possibilitando alteração de layout.

Em suma, a presente pesquisa considera como objeto da reabilitação as edificações que apresentam um grau elevado de obsolescência, deterioração, redundância e/ou vacância e que possuam preferencialmente um potencial para conversão, desmonte, desagregação, expansão e adaptação. Incluem-se neste grupo tanto os edifícios ditos “ordinários” ou de significância reconhecida, não importando a atividade que abriguem ou a idade que apresentem.

1.4. Vantagens da reabilitação

Como visto, o objetivo por trás de qualquer intervenção em edificações consiste primordialmente em prolongar sua vida útil, isto é, fazer a edificação alcançar se possível as futuras gerações, seja aproveitando seus aspectos funcionais, seja proporcionando o usufruto de uma obra de arte ou servindo de registro da história de uma nação.

Além da ampliação da vida útil das edificações, há uma série de outras motivações para intervir. Neste tópico, serão citados alguns objetivos mais relacionados à escala de intervenção da reabilitação.

Alguns autores têm uma visão mais pragmática sobre a reabilitação, dando enfoque ao seu papel de incrementar o desempenho e a eficiência do edifício, além de modernizar tecnologicamente suas instalações (DOUGLAS, 2006; BULLEN; LOVE, 2011; WILKINSON et al, 2014). Joffroy (1999) e Roders (2007) propõem um olhar mais subjetivo para a reabilitação, ressaltando sua importância em restabelecer a estima e significância do edifício, além de recuperar seu estado de habitabilidade em termos físico, psicológico e social.

A reabilitação também tem por objetivo preservar a história de uma rua, bairro ou cidade (DOUGLAS, 2006; BURTON, 2013; RODERS, 2007; WILKINSON et al, 2014). Esta pode ser uma estratégia utilizada para recuperar áreas abandonadas e degradadas da cidade (WILKINSON et al, 2014), ao otimizar o aproveitamento da infraestrutura e evitar o aumento dos deslocamentos das pessoas. Poderá também suprir a carência de terrenos livres ou uma baixa taxa de vacância de imóveis de áreas valorizadas, possibilitando o usufruto das mesmas por uma maior parcela da população.

A reabilitação se justifica também pelo aproveitamento de estruturas e demais elementos construtivos do edifício que estejam em bom estado de conservação, minimizando os gastos e o tempo com a construção e o descarte de resíduos sólidos na natureza (RODERS, 2007).

Também pode ser realizada para adequar uma antiga edificação a novas necessidades dos usuários e a requisitos de normas e leis de segurança, desempenho ambiental e

acessibilidade universal (DOUGLAS, 2006). Da mesma forma, pode ser realizada para reduzir custos com a manutenção e operação do edifício (MA et al., 2012; WILKINSON et al, 2014).

A reabilitação pode ainda contribuir para aumentar o valor de mercado de um imóvel (BURTON, 2013; WILKINSON et al, 2014) ou para reduzir seu consumo energético e melhorar o conforto ambiental dos seus ocupantes (DASCALAKI; SANTAMOURIS, 2002; SANTAMOURIS; DASCALAKI; 2002; MA et al., 2012), por meio da adoção de estratégias bioclimáticas adequadas ao contexto climático e urbano de inserção.

Destaca-se especialmente a valiosa oportunidade que a reabilitação oferece para adequar os edifícios às transformações ambientais e urbanas que ocorreram em seu entorno. A modificação da legislação urbana da área pode, por vezes, gerar uma transformação profunda do tecido urbano onde o edifício está inserido, aumentando o gabarito de edificações vizinhas e reduzindo as áreas permeáveis. Tais transformações, somadas às alterações do tratamento de superfícies, como a mudança de pavimentação ou revestimentos de fachada, podem alterar expressivamente o microclima local, pelo aumento da temperatura do ar e mudanças no padrão de circulação dos ventos. Da mesma forma, a expansão ou alteração do tráfego na área, bem como as mudanças no uso do solo podem aumentar a poluição sonora e do ar, tornando mais complexo o aproveitamento da ventilação natural nas edificações. Portanto, a ação de reabilitar edificações situadas nestes contextos que sofreram transformações pode contribuir para uma melhoria da qualidade ambiental dos usuários no ambiente construído.

Neste sentido, a incorporação ou readequação de estratégias bioclimáticas ao edifício podem ser especialmente úteis quando há um aumento expressivo das cargas térmicas internas. Isto tem sido recorrente ao longo das décadas nos edifícios de escritórios, em razão do aumento do número de computadores e outros equipamentos como fotocopiadoras, impressoras e servidores.

Além dos benefícios supracitados, há uma série de vantagens de reabilitar em comparação a construir um novo edifício, ou demolir e reconstruir no mesmo terreno.

Algumas pesquisas atestam que a reabilitação é menos onerosa que a reconstrução (DOUGLAS, 2006; VALE, 2006). Uma análise orçamentária de cinco edifícios com diferentes usos convertidos em habitação de interesse social em São Paulo atesta que a reabilitação pode custar em média 1/3 do valor da construção de um novo edifício, sem considerar os gastos com demolição e descarte dos resíduos (MARQUES DE JESUS; BARROS, 2011). Isso ocorre porque a reabilitação permite em muitos casos aproveitar a estrutura da edificação, que é o elemento com maior vida útil dos edifícios e um dos mais dispendiosos na construção. Conseqüentemente, não só há uma redução dos gastos com este componente, mas uma abreviação do tempo da obra, o que por sua vez também reduz gastos com mão-

de-obra. A reconstrução também exige demolição, o que torna o processo mais oneroso e lento que a reabilitação.

Ao minimizar a deposição de dejetos na natureza, a reabilitação se revela também uma opção mais ecológica que a reconstrução. Outros fatores que reduzem seu impacto ao meio ambiente em relação à reconstrução é o menor consumo de material (ao aproveitar sempre que possível o existente), a redução do transporte de materiais até a obra, o menor consumo energético e menor poluição durante a construção. Destaca-se também a retenção da energia nos materiais, isto é, a energia consumida na extração de sua matéria-prima, no transporte, produção e processo de construção (HUI, 2001).

Segundo Wilkinson et al (2014), o reuso de materiais economiza até 95% da energia incorporada de um edifício, que tem por consequência a redução das emissões de gases nocivos do efeito estufa, como o CO₂. A Figura 5 indica a porcentagem de CO₂ incorporado nos componentes e materiais dos edifícios. Ressalta-se que o aproveitamento de materiais como o aço e o concreto torna a reabilitação de edifícios significativamente menos impactante ao meio ambiente que a demolição/reconstrução de um novo edifício.

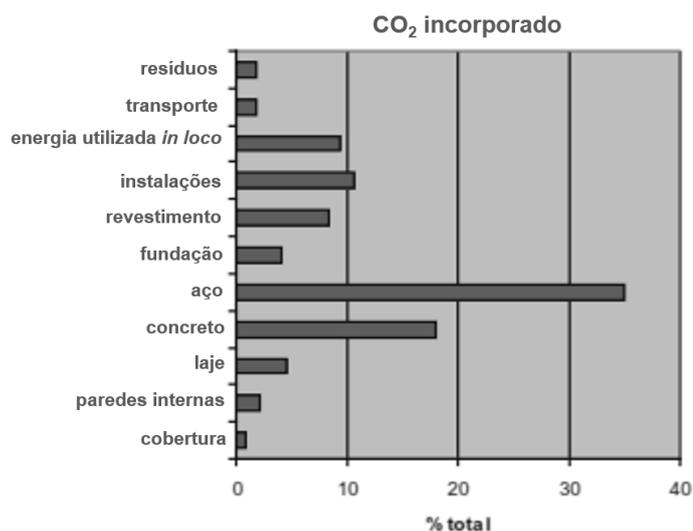


Figura 5 – Porcentagem de CO₂ incorporado nos componentes e materiais do edifício construído.
Fonte: adaptado de Baker (2009).

Baker (2009) evidencia os benefícios de aproveitar a energia incorporada do edifício. Comparando-se a reabilitação com a demolição/reconstrução do edifício (Figura 6), verifica-se que ainda que apresente um maior desempenho, um novo edifício somente se torna menos emissor que um edifício reabilitado após um certo tempo de operação, que varia em função das características do imóvel.

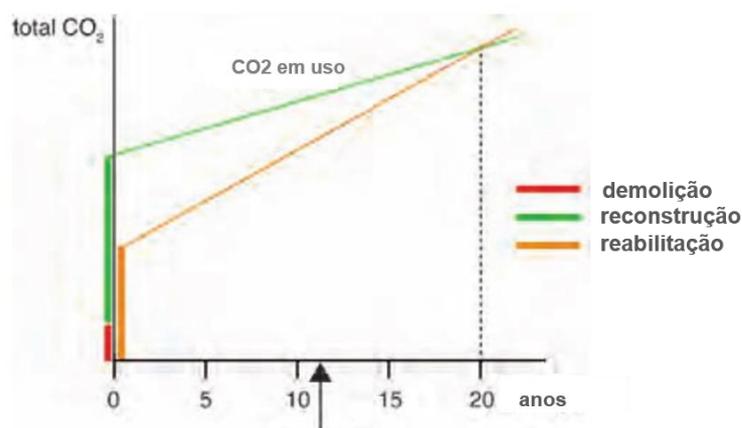


Figura 6 – Emissão de CO₂ para edifício reconstruído e edifício reabilitado em função do tempo.
Fonte: adaptado de Baker (2009).

Do ponto de vista espacial, a reabilitação pode oferecer vantagens quando a legislação urbana de um bairro se torna mais restritiva ao longo do tempo (DOUGLAS, 2006; VALE, 2006; WILKINSON et al, 2014). Neste sentido, enquanto novos edifícios deverão atender a índices urbanísticos e edilícios (gabarito, taxa de ocupação, índice de aproveitamento do terreno, afastamentos etc) mais limitados, os edifícios reabilitados poderão oferecer uma área útil maior a seus usuários.

Do ponto de vista da concepção, o projeto da reabilitação apresenta a vantagem de se conhecer o público ao qual se destina (se forem mantidos os ocupantes), nutrindo-se de experiências adquiridas para preencher lacunas (JOFFROY, 1999). No caso de edificações novas que abrigarão usuários múltiplos e desconhecidos, a concepção ocorre na base de incertezas e, por isso, a possibilidade da inadequação às necessidades de seus futuros ocupantes é, por vezes, elevada.

1.5. Desafios da reabilitação

Além dos inúmeros benefícios oferecidos pela reabilitação, convém citar alguns dos desafios enfrentados neste tipo de intervenção.

A inflexibilidade do edifício é uma das maiores restrições físicas encontradas na reabilitação. Esta pode ser devida tanto a fatores externos – quando há uma impossibilidade de expandir a capacidade do edifício devido à implantação adotada ou à ocupação do terreno – como internos – quando o sistema estrutural forma pequenos vãos ou os layouts possíveis são restritos (DOUGLAS, 2006; WILKINSON et al, 2014).

A baixa capacidade da estrutura, o pé-direito reduzido e a má localização de elementos de circulação vertical (rampas, elevadores, escadas) são aspectos espaciais que podem gerar

problemas na intervenção, sobretudo quando há uma mudança na função do edifício (WILKINSON et al, 2014).

Da mesma forma que a legislação pode ser um fator que favoreça a reabilitação em relação à reconstrução, ela também pode gerar limitações na adaptação do edifício (HAKKINEN, 2012). Isto porque pode inviabilizar expansões verticais e horizontais para aumentar a capacidade do imóvel ou impedir a introdução de elementos nas fachadas (como dispositivos de proteção solar) pela falta de recuos suficientes. As leis de zoneamento urbano podem, do mesmo modo, inviabilizar determinadas conversões do edifício para outras funções (WILKINSON et al, 2014). Com base nestes entraves, Marques de Jesus e Barros (2011) e Vale (2006) defendem a elaboração de um código de obras específico para a reabilitação de edifícios de modo a impulsionar esta atividade.

A exigência de adequação do edifício a novas normas, regulamentos e legislações também pode conformar um desafio para a reabilitação, principalmente quando os espaços apresentarem uma baixa flexibilidade (DOUGLAS, 2006). A inclusão de uma nova escada para adequação às normas de incêndio pode ser inviabilizada pela escassez de espaço ou impossibilidade de adições de volumes externos, seja pela falta de espaço no terreno ou limitações por legislações urbanísticas. Normas de acessibilidade também podem gerar problemas na reabilitação, quando os espaços de circulação existentes são reduzidos. Os regulamentos de eficiência energética também podem ser atendidos com dificuldade, devido a implantações desfavoráveis ou presença de materiais de baixo desempenho. Segundo Yudelson (2010), uma porcentagem significativa da energia consumida pelo edifício já está determinada por sua escala, massa e orientação.

Alguns aspectos sociais se configuram como importantes desafios para a reabilitação. O crescimento das exigências dos usuários com o passar do tempo torna cada vez mais complexa a satisfação dos mesmos. A impressão que a sociedade tem sobre um edifício pode gerar o insucesso de uma intervenção, como o caso de certos imóveis que carregam um estigma de usos anteriores (antigas prisões, hospitais etc) ou de acontecimentos negativos (mortes, sequestros etc) (WILKINSON et al, 2014).

Se por um lado a reabilitação concorre para a valorização do imóvel, por outro pode gerar a gentrificação da área. O aumento do aluguel e do IPTU devido à valorização do metro quadrado pode inviabilizar a permanência dos antigos moradores, que irão para outros locais de custo mais acessível.

Outras limitações como restrições temporais (prazos curtos para conclusão) e técnicas (ex: complexidade na execução de juntas entre materiais existentes e novos) tornam a reabilitação uma atividade particularmente desafiante para a construção civil. A restrição financeira

também pode inviabilizar a reabilitação, principalmente em casos em que a idade avançada do edifício exige uma grande escala de intervenção para adequá-lo às inovações tecnológicas (VALE, 2006).

Destacam-se também as incertezas envolvidas neste tipo de intervenção, que podem impedir que o edifício alcance o desempenho almejado ou não garantir que ele se torne competitivo no mercado (VALE, 2006; MA et al., 2012), tais como: mudança das condições climáticas, alteração do perfil funcional do prédio, formas não cogitadas de utilização do espaço e conjuntura econômica. Carvalho, Salgado e Bastos (2009) ressaltam ainda sobre os imprevistos enfrentados na obra, que podem gerar retrabalho ou mudanças significativas no projeto e não atender satisfatoriamente às exigências pré-estabelecidas.

Marques de Jesus e Barros (2011) listam ainda outros entraves que, por vezes, impedem esta atividade de crescer: a falta de incentivos fiscais, o desconhecimento técnico sobre os procedimentos específicos, a inadequação das novas tecnologias às originais e a ausência de indicadores que permitam estimar com maior precisão os custos da obra para analisar sua viabilidade.

1.6. Etapas da reabilitação

Considerando a essência do projeto de arquitetura, a reabilitação não é de forma alguma diferente da nova construção. Todo arquiteto, projetando o novo ou intervindo no existente, realizará um ato de transformação. A diferença primordial entre os dois processos reside na abrangência daquilo que se transforma. Enquanto a concepção de um novo edifício irá alterar o terreno e seu entorno imediato, a reabilitação, além de modificar estes elementos, transforma a edificação existente. A reabilitação é, portanto, apenas um processo de transformação onde a limitação do meio é mais evidente (JOFFROY, 1999).

Não há um consenso entre os autores estudados face ao número de etapas incluídas no processo de reabilitação. Entretanto, duas delas são citadas por todos: o diagnóstico (ou pré-projeto) e o projeto.

O **diagnóstico** consiste em um estudo minucioso do meio que se pretende transformar. Além de possibilitar a compreensão das solicitações técnicas, procura identificar as diversas dimensões do problema, sejam sociais, culturais, econômicas, históricas ou ambientais. Uma prospecção sobre a situação presente permitirá detectar o grau de degradação e obsolescência do imóvel, conhecer seu valor histórico e cultural, identificar a significância das partes e do todo, levantar as demandas de seus usuários, descobrir as transformações sofridas pelo seu entorno e os decorrentes benefícios ou prejuízos trazidos para o bom

funcionamento do edifício, verificar os acréscimos, subtrações e substituições pelos quais passou o imóvel ao longo de sua vida útil, dentre outros aspectos. Trata-se, portanto, de uma etapa bastante abrangente, imprescindível para uma intervenção responsável sobre o existente.

Roders (2007) descreve com detalhes as diversas sub-etapas que devem compor o diagnóstico.

Inicialmente, propõe-se uma etapa de análise, onde é realizada uma coleta de dados sobre o edifício, o que inclui:

- levantamento de documentos sobre a edificação (inventário documental);
- realização de entrevistas com os diversos atores relacionados direta ou indiretamente à reabilitação, tais como incorporadores, proprietários, usuários, arquitetos, consultores, gestores, construtores, artesãos, vizinhança e visitantes (inventário oral);
- visitas *in loco* para análise das condições físicas da edificação, considerando formas, componentes e materiais do imóvel (inventário físico).

De posse destas informações, passa-se à etapa de síntese, onde os dados são interpretados ao longo de três estudos. A avaliação ambiental analisa como o edifício interage interna e externamente com os recursos naturais (luz, vento, água etc) e construídos (entorno) e quais as implicações no conforto ambiental, na qualidade do ar e no consumo energético da edificação. A avaliação de significância busca quantificar de forma científica, com base nas entrevistas e na análise física do edifício, a significância do imóvel. Para tanto, consideram-se os seguintes valores culturais: social, econômico, histórico, estético, científico, idade e ecológico. Finalmente, a avaliação da condição física do imóvel analisa seu desempenho físico, funcional, técnico e econômico, bem como sua adaptabilidade. Douglas (2006) aconselha a classificação da condição de cada elemento construtivo para identificação do nível de intervenção necessário, considerando a seguinte escala: ruim (ruína), pobre (deteriorado), razoável (alguns problemas detectados) e boa (satisfaz a maioria dos usuários).

Estas três avaliações servirão de base para uma análise do potencial de melhorias geradas pela reabilitação. Finalmente, propõe-se a confecção de relatórios, que além de documentarem a pesquisa realizada para fins da presente reabilitação, também servirá como importante registro para intervenções futuras. Roders (2007) alerta aos atores envolvidos sobre a importância em conduzir o diagnóstico com imparcialidade, principalmente para evitar que os dados coletados sejam manipulados e registrados de forma a conduzir a conclusões e soluções de interesse do projetista.

Uma vez finalizada esta etapa de pré-projeto, dá-se início ao **projeto** de reabilitação. Se no diagnóstico o foco era o objeto existente, agora esta nova etapa é centrada no que se pretende

criar. Roders (2007) recomenda para o projeto as seguintes cinco sub-etapas básicas: análise, síntese, simulação, avaliação e decisão.

Na análise, propõe-se a leitura dos relatórios do diagnóstico a fim de identificar pistas para a intervenção e evidências que apoiem as soluções preliminares dos projetistas para o problema. Novas informações não obtidas na etapa de diagnóstico podem ser incluídas neste momento, para complementar a análise da situação existente. Em seguida, na etapa de síntese, o projetista deve buscar amadurecer suas reflexões e traçar diretrizes para concepção das soluções.

A simulação consiste na etapa de concepção de soluções para intervenção no existente. Em um primeiro momento, são desenvolvidos os conceitos que guiarão o desenvolvimento das soluções. Em seguida, passa-se ao estudo preliminar, definindo mais claramente as soluções. Por fim, o projetista chega à solução final, detalhando a solução para sua execução. Carvalho, Salgado e Bastos (2009) organizam estas etapas de concepção de forma mais convencional e adaptada ao contexto brasileiro, através das etapas de estudo preliminar, projeto legal e projeto executivo como partes essenciais deste processo. Além disso, inclui outros projetos complementares, como o projeto estrutural e de instalações.

Uma vez definidas as soluções, Roders (2007) propõe a avaliação de desempenho das soluções propostas. O método de avaliação utilizado dependerá do critério analisado. Por exemplo, para análise do desempenho formal da solução, podem ser confeccionadas maquetes 3D físicas ou digitais. Para análise do desempenho energético e ambiental, pode-se tanto realizar medições em protótipos ou simulações computacionais (iluminação natural, ventilação natural, trocas térmicas, etc).

Em seguida, realiza-se uma comparação dos resultados obtidos nas simulações com parâmetros pré-estabelecidos por normas ou mesmo pelos projetistas. Também se recomenda a comparação dos desempenhos antes e após reabilitação, para possibilitar uma análise do custo-benefício das propostas. No caso de envolvidos múltiplos critérios, alguns autores recomendam a realização de uma análise multicritério, que possibilite identificar uma solução de compromisso e criar um *ranking* dos cenários analisados (SANTAMOURIS; DASCALAKI, 2002; BURTON, 2013). Nesta etapa, propõe-se também uma auto-avaliação do trabalho do projetista, isto é, uma espécie de *check-list* do trabalho realizado.

Finalmente, na etapa de decisão, além de escolhidas as soluções a serem adotadas no projeto de reabilitação, deve-se realizar a documentação de todo o processo de concepção e análise das alternativas, como registro para intervenções futuras.

É importante ressaltar que as etapas descritas não devem ser seguidas com rigidez. Como bem destacam Roders (2007) e Carvalho, Salgado e Bastos (2009), o processo de projeto é

raramente linear, principalmente no caso da reabilitação, pois durante a construção, pode-se deparar com alguns imprevistos (achados arqueológicos, instabilidade da estrutura etc) que exijam que o projetista repense suas decisões.

As sub-etapas de diagnóstico e projeto aqui descritas são bastante completas, mas podem ser simplificadas para se adaptarem ao objetivo específico de cada reabilitação. É o caso da pesquisa desenvolvida por Ghisi e Lamberts (1998), que desenvolve uma metodologia específica para a melhoria dos sistemas de iluminação natural e artificial dos edifícios. Na etapa de diagnóstico, recomendam a avaliação dos sistemas por meio de medições *in loco*, análise da fatura de energia e identificação dos usos finais (resfriamento, equipamentos, etc). Já na etapa de projeto, concentram-se em soluções voltadas para a otimização do aproveitamento da iluminação natural e escolha de lâmpadas, luminárias e reatores mais eficientes.

Alguns autores ainda incluem no processo de reabilitação outras etapas além do diagnóstico e do projeto.

Ma et al. (2012) e Carvalho, Salgado e Bastos (2009) recomendam como etapa que precede o diagnóstico o levantamento das especificidades do serviço a ser prestado, onde, em um primeiro contato com o cliente, é definido o escopo do trabalho, o programa de necessidades e as prioridades.

Douglas (2006) e Carvalho, Salgado e Bastos (2009) indicam também a importância de um estudo de viabilidade da reabilitação, considerando as limitações quanto à legislação vigente (urbana, de incêndio e segurança, acessibilidade, etc), às instalações existentes, à adequabilidade do imóvel a outros usos, à capacidade do edifício, à disponibilidade financeira etc.

Ma et al. (2012) incluem ainda a etapa de implementação e autorização, durante a obra, onde é feito o acompanhamento da execução do projeto, e a etapa de validação e verificação, que consiste numa avaliação pós-ocupação, onde são feitas medições de desempenho e pesquisas de satisfação com ocupantes e proprietários após a reabilitação. Após finalização da obra, Carvalho, Salgado e Bastos (2009) recomendam também a realização do “*as built*”, a documentação da versão mais atualizada do projeto, com as alterações feitas durante a execução, que será de grande utilidade para futuras intervenções.

A Figura 7 sintetiza o processo de reabilitação, combinando as diversas etapas citadas pelos autores estudados.

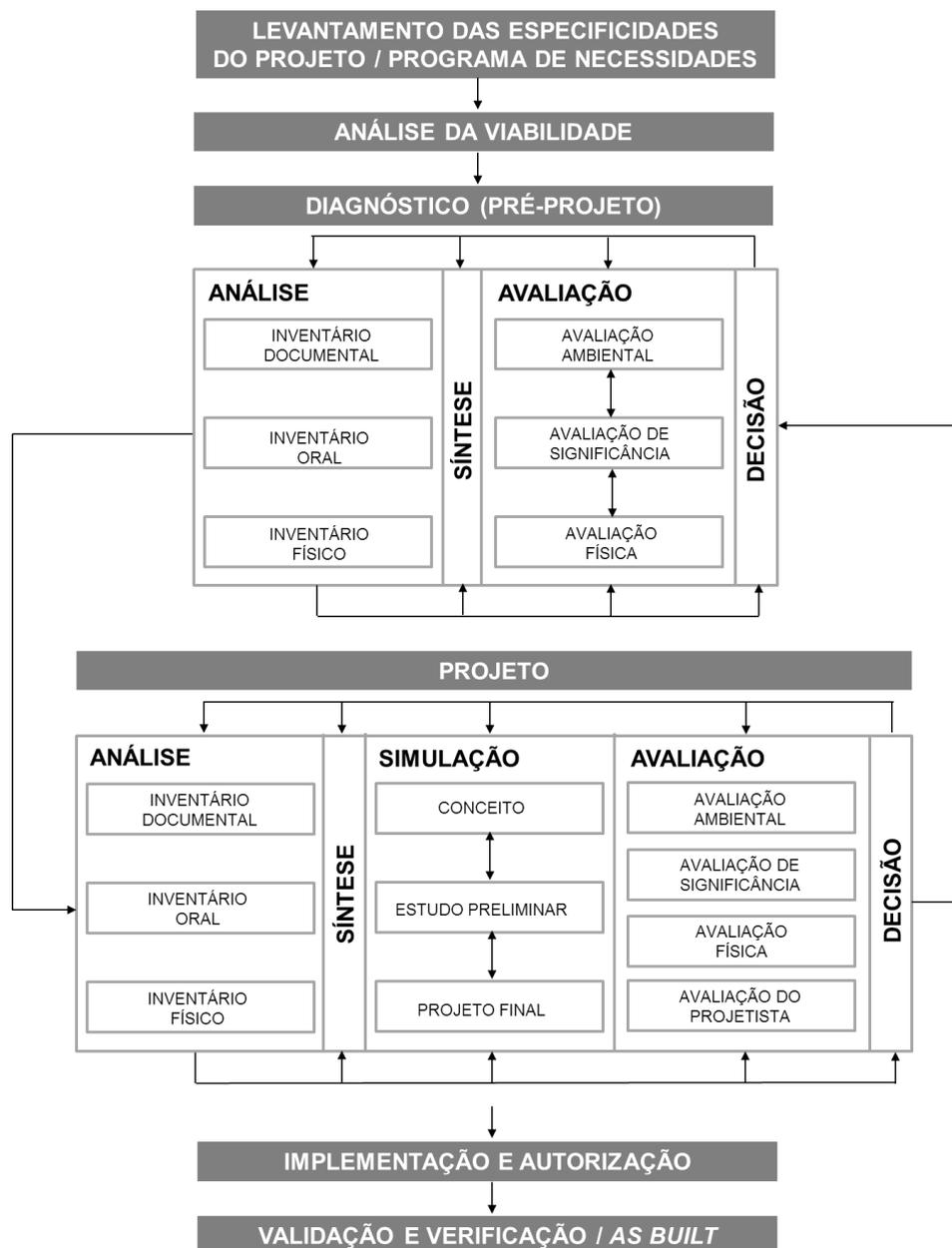


Figura 7 – Etapas da reabilitação. Fonte: autora, com base em Douglas (2006), Roders (2007), Carvalho, Salgado, Bastos (2009) e Ma et al. (2012).

1.7. Harmonia entre o passado, o presente e o futuro das edificações

Como visto, logo no início do processo de projeto – seja de um novo edifício ou de uma reabilitação – o projetista deve realizar um levantamento das necessidades e anseios dos atores envolvidos na intervenção, a fim de possibilitar que as atividades previstas para o edifício possam ser realizadas oferecendo conforto e bem-estar a seus usuários. Deve-se também adequar a edificação às novas normas e legislações e evoluções tecnológicas, atender as exigências de mercado e adaptar o imóvel às transformações do entorno e do

microclima local. Tendo em vista que estes requerimentos são a força motriz da tomada de decisão, é possível afirmar que o projeto de arquitetura é o reflexo dos anseios **presentes** de um grupo social.

O projetista que tem consciência do ciclo de vida de uma edificação reconhece que, muito além de atender aos requerimentos da vida contemporânea, é essencial respeitar o pré-existente. Na reabilitação de um imóvel, isto envolve reconhecer que cada edifício carrega ao longo de sua existência o registro do momento social, político, econômico e cultural vivido pela sociedade que o construiu.

O projetista deve ter consciência da efemeridade e ciclicidade dos valores culturais que regem um povo, e de que nem sempre aquele edifício que não é valorizado pela geração que nele intervém, será também rejeitado pelas gerações futuras (RODERS, 2007). Como bem ressalta ICOMOS (1998), todo ser humano tem o direito de presenciar um autêntico testemunho das heranças culturais de outras gerações e, assim sendo, é importante que, ao buscar atender os anseios da sociedade contemporânea, não aliene os direitos da sociedade que virá.

Segundo Roders (2007), para respeitar o **passado** do edifício, é necessário, sempre que possível, manter a maioria de seus componentes, preservando as partes em bom estado de conservação e reparando os elementos deteriorados. Não se trata, no entanto, de engessar o edifício no tempo: adições e subtrações são aceitas, desde que sejam indispensáveis para o bom funcionamento do edifício.

Respeitar os futuros usuários de uma edificação é reconhecer também que as necessidades se transformam e que novas intervenções serão necessárias para satisfazê-las. Neste sentido, é preciso investir na flexibilidade e reversibilidade das transformações, de forma a minimizar a necessidade de grandes intervenções futuras e possibilitar a recuperação das características originais do imóvel sem grandes prejuízos, caso desejado (RODERS, 2007; HOW, 1997). Para tanto, é fundamental atentar para a qualidade e o caráter temporário das junções entre materiais antigos e novos. Ter uma visão de **futuro** na reabilitação é também propor intervenções que não gerem altos custos de operação do edifício, que inviabilizem os atuais ocupantes de nele permanecerem.

Quando se intervém em um edifício, o projetista deve buscar, portanto, criar uma harmonia entre suas três realidades temporais, de modo a não privar a sociedade de apreciar no edifício os registros da passagem do tempo, de ter conforto e bem-estar adequados aos requerimentos da vida contemporânea e de adaptar os espaços às necessidades futuras (RODERS, 2007). É o que Carvalho, Salgado e Bastos (2009) denominam de “equilíbrio entre conservação, utilização e transformação” do patrimônio construído.

Assegurar a harmonia entre o passado, o presente e o futuro das edificações é, sem dúvidas,

uma tarefa desafiante, pois pode levar, muitas vezes, à adoção de medidas contraditórias entre si. É possível, de fato, atribuir pesos iguais às três dimensões temporais do edifício, sem deixar de atender plenamente às exigências atuais dos ocupantes?

Conforme discutido no tópico 1.3, para Joffroy (1999) e Roders (2007), a definição do objeto da reabilitação está diretamente atrelada à noção de significância do edifício, isto é, a qualidade a ele atribuída, seu valor cultural e importância para a sociedade. Para ambos, a sociedade não precisa reconhecer a significância do edifício para intervir sobre ele, no entanto, ao fazê-lo, deverá julgar o que preservar, adicionar ou substituir, resignificando o objeto arquitetônico.

Este julgamento de valor conduz, inevitavelmente, a priorização de interesses por um dado grupo ou sociedade, interesses estes que poderão, a curto ou longo prazo, serem naturalmente revistos e superados pelas gerações vindouras. Neste sentido, a dimensão presente tende a predominar nas decisões.

Uma postura mais conservadora como a de Roders (2007), que reduz a intervenção ao mínimo possível para preservar a história do parque edificado e oferecer aos futuros ocupantes a liberdade dele usufruir estaria engessando a arquitetura, perdendo a oportunidade de explorar criativamente o convívio entre passado e presente da edificação? A ousadia não pode se tornar, um dia, parte do próprio passado do edifício, como proposto na adição da estrutura piramidal no Museu do Louvre por I. M. Pei ou na inclusão das coberturas no Castelo de Carcassonne por Viollet-le-Duc?

Acredita-se que nem a postura conservadora nem a inovadora são capazes de satisfazer plenamente às gerações presentes e futuras. Entretanto, defende-se que o projetista garanta a proteção, pelo menos em parte, do passado da edificação, como testemunho dessa diversidade de modos de pensar e viver pelas quais percorreu. A demolição é a única das formas de intervenção que não se encaixa nesta proposição.

O estudo de viabilidade, etapa que precede o diagnóstico do existente, tem uma importância significativa na exploração das três dimensões temporais no projeto de reabilitação.

No caso da reabilitação com mudança de uso, deve-se verificar se o edifício demanda intervenções drásticas para se adequar a uma nova função. Em caso positivo, recomenda-se buscar um imóvel que se adapte melhor ao uso solicitado, evitando assim a demolição para construção de um novo edifício.

É fundamental também atentar se um dado objetivo estabelecido para a reabilitação não irá direcionar as conclusões do estudo de viabilidade e por em risco a preservação do edifício para usufruto das futuras gerações. Neste sentido, deve-se escolher com cautela a metodologia a ser utilizada no estudo de viabilidade.

Ma et al. (2012) desenvolvem uma metodologia para análise da viabilidade de reabilitações que têm como objetivo principal a redução do consumo de energia. Nela, os autores propõem uma avaliação do desempenho energético atual do edifício e do potencial de atendimento ao padrão de consumo solicitado (Figura 8). Observa-se que um edifício pode ser condenado à demolição em razão da sua baixa qualidade energética, ainda que apresente valores culturais expressivos que mereçam ser preservados. Esta metodologia promove, portanto, um claro desequilíbrio entre as três realidades temporais, favorecendo apenas o presente e, em alguns casos, o futuro da edificação.

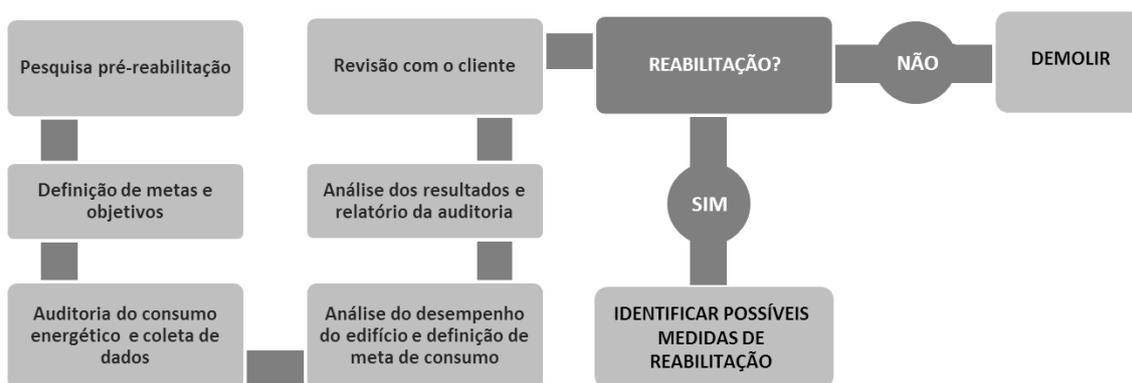


Figura 8 – Metodologia pré-reabilitação para auxílio na decisão entre reabilitar ou demolir.
 Fonte: adaptado de Ma et al. (2012).

Douglas (2006) também propõe um estudo de viabilidade da reabilitação em que o aspecto econômico é priorizado. De fato, a inviabilidade econômica de uma obra é um aspecto crucial nesta decisão, contudo, é questionável limitar-se a uma condição financeira presente para decidir de forma definitiva o futuro da edificação.

Wilkinson et al (2014) desenvolvem um modelo para analisar a viabilidade de reabilitar edifícios de escritórios na Austrália, o qual denominam Modelo de Análise Preliminar de Adaptação (*Preliminary Adaptation Assessment Model – PAAM*). O formato do modelo proposto é baseado em uma árvore de decisão binária, onde, a partir da análise do potencial do edifício face a critérios ambientais, sociais e físicos, decide-se se o edifício será reabilitado ou se terá como destino o abandono, demolição ou reconstrução (Figura 9). Assim, se, por exemplo, o edifício não apresentar nenhum valor estético, não atender aos critérios ambientais elencados por algumas certificações ou tiver poucos pavimentos, corre-se o risco de desmontá-lo, ainda que a edificação tenha um expressivo valor cultural. Neste caso, o passado é apagado, em prol do atendimento a critérios valorizados no presente, mas que podem não ser legítimos no futuro.

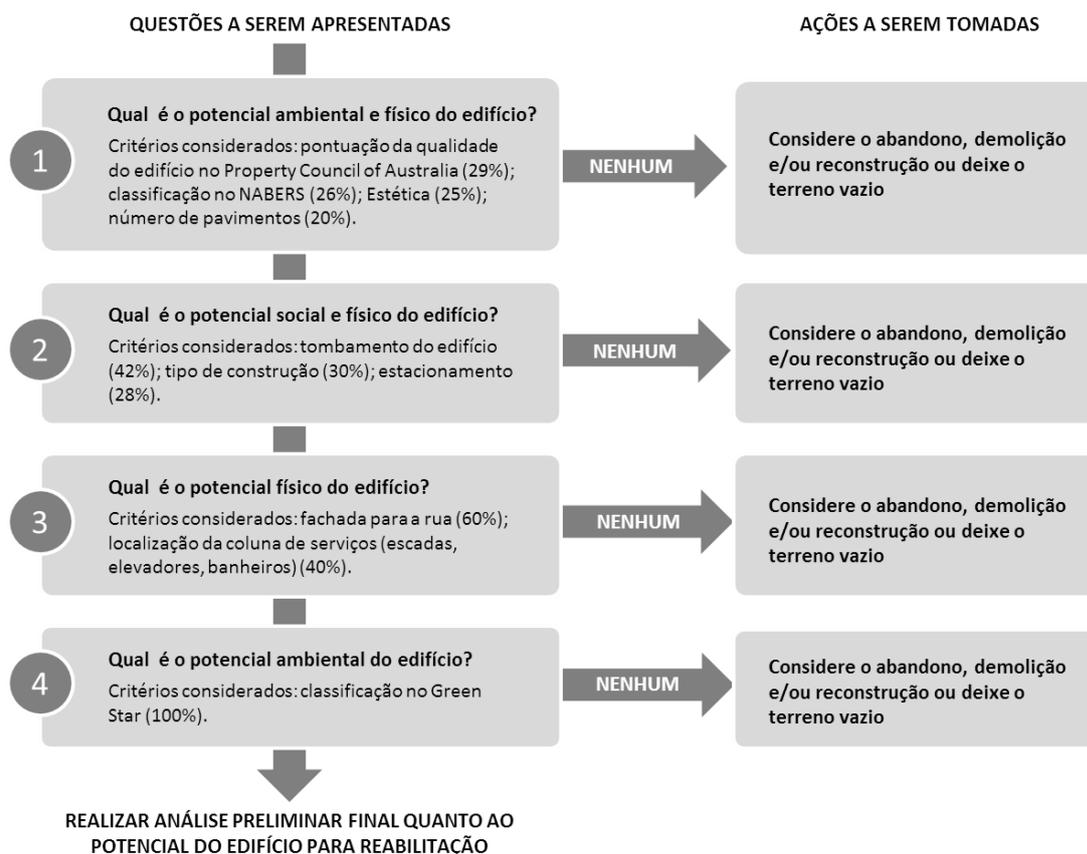


Figura 9 – Metodologia para análise da viabilidade da reabilitação.
 Fonte: adaptado de Wilkinson et al (2014).

1.8. Conclusões do capítulo

Neste capítulo, foram ressaltados os efeitos da passagem do tempo nos edifícios e a consequente importância da intervenção no parque edificado para retardar sua decadência. A partir do levantamento de taxonomias relacionadas à intervenção no existente, foi estabelecido que o termo “reabilitação” melhor define o objeto desta pesquisa, por sua abrangência, objetivos e escala de intervenção. Partindo do princípio de que todos os edifícios são registros da geração que a construiu e têm um valor cultural – reconhecido ou não – definiu-se como objeto da reabilitação toda e qualquer edificação, sem restrições de idade ou nível de significância atribuído pela sociedade.

Foram destacadas diversas vantagens da reabilitação de edifícios. No que concerne ao objetivo desta tese, destaca-se a oportunidade oferecida pela intervenção de adequar os edifícios às transformações ambientais e urbanas sofridas pelo entorno, o que possibilita recuperar ou superar o desempenho energético e ambiental do momento da inauguração do imóvel. Por outro lado, verifica-se ser este um trabalho bastante desafiador, uma vez que a implantação e a forma do edifício – já definidos – têm um papel determinante nas interações

entre o meio interno e externo. Outra dificuldade reside na responsabilidade do projetista em buscar equilibrar as três dimensões temporais do edifício – passado, presente e futuro – o que pode desencorajar, em alguns casos, a modificação de outro componente determinante da qualidade energética e ambiental do espaço construído: o envelope.

Neste sentido, é fundamental realizar um estudo de viabilidade da reabilitação, para evitar intervir em um edifício que demande transformações drásticas para se adequar ao novo padrão de uso solicitado. É importante enfatizar que o estudo de viabilidade não pretende condenar edifícios à demolição. Evidentemente, há imóveis com maior capacidade de conversão, adaptação, desagregação, expansão e desmonte. Entretanto, acredita-se que a maioria dos edifícios em estado mínimo de conservação pode ser utilizada para alguma função.

No que tange o processo de projeto, a reabilitação não diverge muito da concepção de um novo edifício. Nos dois casos, o diagnóstico é uma etapa imprescindível, para se conhecer o objeto da intervenção, que é sempre o meio existente. No caso de um novo edifício, o existente corresponde ao sítio; na reabilitação, engloba além do sítio a edificação. A reabilitação é, portanto, apenas um processo de transformação onde a limitação do meio é mais evidente.

Cabe ao projetista reconhecer tais limitações não como um impedimento a realização de um bom projeto, mas uma oportunidade única de ir além das soluções ordinárias, de aprender com o edifício e os efeitos sofridos pelo tempo e dialogar com as diferentes dimensões temporais nele contidas.

CAPÍTULO 02 – A VENTILAÇÃO NATURAL NO CONTEXTO DA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Objetivo e estrutura do capítulo

Este capítulo apresenta o estado da arte da aplicação da ventilação natural no contexto da reabilitação de edifícios, com o intuito de discutir sobre a problemática e reforçar a pertinência da pesquisa proposta pela presente tese.

Inicialmente, evidencia-se a escassez de pesquisas sobre a ventilação natural neste contexto e relacionam-se as principais razões que levam a este descaso.

Em seguida, apresenta-se o estado da arte de pesquisas e práticas da ventilação na reabilitação no panorama internacional e nacional. No cenário internacional, são apresentados quatro projetos de pesquisa concluídos ou em andamento que investigam o desempenho de sistemas de ventilação e exemplificam sua aplicação em alguns projetos pilotos. No cenário nacional, em virtude da escassez de pesquisas específicas sobre o tema, são destacados alguns estudos sobre ventilação natural que podem ser adequados ao contexto da reabilitação. Além disso, são apresentadas algumas reabilitações realizadas nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, analisando-se as condições para utilização da ventilação natural nas edificações existentes.

O capítulo é finalizado ressaltando-se os principais avanços, lacunas e desafios detectados nas pesquisas e projetos de reabilitação estudados.

2.1. Introdução

As novas construções sempre foram o principal foco das pesquisas sobre ventilação natural. Por outro lado, pouco se tem discutido sobre os desafios e potencialidades de incorporá-la às edificações existentes.

Diversas publicações sobre o tema enumeram aspectos do projeto arquitetônico a serem tratados com o cuidado de favorecer a ventilação natural no ambiente construído, tais como: a implantação e forma do edifício, a compartimentação dos espaços, a profundidade da planta, o pé-direito ideal, o dimensionamento e posição das aberturas, a tipologia de esquadrias e os elementos arquitetônicos de captação e exaustão do ar (OLGYAY, 1963; MASCARÓ, 1991; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997; ALLARD, 1998; CORBELLA; YANNAS, 2003; BROWN, DEKAY, 2004; CUNHA, 2006; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2008; KHAN; SU; RIFFAT, 2008; MARCONDES, 2010).

No caso dos edifícios existentes, a maioria destes aspectos já estão definidos, o que torna desafiador introduzir a ventilação natural em espaços que não foram projetados para aproveitá-la ou que tiveram seu desempenho térmico comprometido em decorrência de transformações sofridas pelo seu entorno urbano. O compromisso com a preservação das características originais das fachadas torna esta empreitada ainda mais complexa, pois não intervir nelas elimina muitas opções de estratégias para favorecer a captação dos ventos.

Algumas razões podem ser elencadas para justificar as escassas discussões sobre a ventilação natural no contexto da reabilitação.

Primeiramente, observa-se que as edificações construídas até a crise do petróleo apresentam atualmente um eminente potencial de conservação de energia que pode ser explorado em grande parte pelo aprimoramento do desempenho térmico do envelope. Em muitos casos, a redução do aporte solar pela envoltória é suficiente para alcançar metas de consumo energético pré-estabelecidos em uma reabilitação, o que em alguns casos desencoraja a incorporação da ventilação natural.

Verifica-se também que os projetistas depositam uma excessiva confiança no desenvolvimento tecnológico da construção civil, o que os leva muitas vezes a priorizar a substituição de sistemas e materiais obsoletos e degradados por modelos mais modernos e eficientes, no lugar de explorar as potencialidades da ventilação natural e de outras estratégias passivas para alcançar os níveis de desempenho desejado.

Observa-se especialmente uma elevada resistência em substituir os sistemas de ar-condicionado pela ventilação natural. Para os edifícios de escritórios, preferir a estratégia

passiva à ativa elimina a possibilidade de classificar o empreendimento como de alto padrão (os famosos “*triple A*”) e aumentar o valor de mercado do imóvel (MARCONDES, 2010). Neste sentido, Gonçalves e Bode (2015) evidenciam que a imagem de prestígio associada aos sistemas artificiais é uma das principais barreiras para a ampla adoção da ventilação natural.

Verifica-se também uma tendência de importação de um padrão arquitetônico internacional para torres corporativas, caracterizado pelas fachadas envidraçadas seladas e ambientes totalmente dependentes de sistemas mecânicos (MARCONDES, 2010). Prefere-se muitas vezes adequar estética e tecnologicamente as fachadas a estes novos modelos a refletir sobre as possibilidades oferecidas por um dado contexto.

Por esses e outros motivos, a ventilação natural é ainda um tema muito pouco abordado tanto em pesquisas como na prática da reabilitação. No entanto, já é possível observar algumas iniciativas que defendem a ventilação como uma estratégia poderosa para oferecer, além do conforto térmico, a saúde e produtividade dos ocupantes em edifícios existentes. Muitas destas iniciativas visam, a longo prazo, contribuir para a criação de normas e regulamentações para tornar obrigatório o uso da ventilação natural.

Os panoramas a seguir visam discutir sobre como a ventilação natural vem sendo tratada no contexto da reabilitação de edifícios, de forma a identificar nas experiências realizadas até o momento as principais dificuldades enfrentadas, lacunas, caminhos e potencialidades. Espera-se, por meio deste estado-da-arte, delinear a situação do Brasil em relação ao cenário internacional e reforçar a importância de concentrar esforços na melhoria da qualidade energético-ambiental do parque edificado brasileiro.

2.2. Panorama internacional

No cenário internacional, a Europa se destaca como principal polo de discussão e prática da reabilitação de edifícios. Segundo uma pesquisa realizada em 19 países europeus, ainda que os investimentos sejam em média maiores em novas construções que em reabilitações, as atividades de intervenção nos edifícios existentes vêm crescendo com o passar dos anos (EUROCONSTRUCT, 2010). Na Noruega, Alemanha, Holanda, Dinamarca, Suíça e Itália, o percentual de investimentos em reabilitação excede 40% do total gasto com a atividade da construção civil, sendo que na Suíça e na Itália, o valor já ultrapassa o gasto com as novas construções.

No continente americano, os Estados Unidos se destacam pelos investimentos que vêm destinando a esta atividade. Desde 2006, o número de reabilitações de edifícios, sobretudo

no setor comercial, supera a construção de novos edifícios, chegando a alcançar 63% dos projetos iniciados em 2010 (MCGRAW-HILL CONSTRUCTION, 2011).

O crescimento da atividade de reabilitação decorre sobretudo da situação de obsolescência e degradação do parque edificado mundial. Na Europa, onde as edificações são mais antigas, 58% do parque residencial têm hoje mais de 40 anos (HAKKINEN, 2012). A maior parte destes imóveis foi construída após a Segunda Guerra Mundial – para suprir em um curto espaço de tempo o grande déficit habitacional deste período – e antes da crise do petróleo (1973), razões pelas quais questões como o conforto ambiental e a eficiência energética foram negligenciadas em muitos projetos.

Enquanto o *boom* imobiliário europeu aconteceu entre o fim da Segunda Guerra Mundial (1945) e a crise do petróleo (1973), foi a partir dos anos 70 que o parque edificado dos Estados Unidos teve seu crescimento mais expressivo, principalmente no setor comercial. Observa-se que quase metade das habitações foi construída a partir da década de 70, enquanto que o número de edifícios comerciais cresceu significativamente a partir da década de 60, completando 70% do parque comercial (WAIDE, AMANN, HINGE, 2007).

No contexto internacional, uma das principais motivações para intervir no parque edificado reside no interesse em melhorar o desempenho energético das edificações, a necessidade de substituir componentes que chegaram ao fim de sua vida útil e a melhoria das condições de conforto ambiental e salubridade para os ocupantes. No caso dos Estados Unidos, o aprimoramento da eficiência energética do edifício e a redução das emissões de CO₂ é uma urgência, tendo em vista ser este um dos países com o maior consumo de energia *per capita* do planeta (BP, 2013).

Muitos países atualizaram seus regulamentos e legislação edilícia para estimular a adoção de estratégias para aprimorar a qualidade energético-ambiental do parque edificado. Países como Áustria, França e Alemanha estabelecem em regulamentos pré-requisitos para garantir o conforto ambiental e eficiência energética dos edifícios existentes, tais como: valores máximos de transmitância para diferentes componentes do edifício, máximo consumo de energia elétrica por metro quadrado, padrão mínimo de qualidade do isolamento térmico, estanqueidade do edifício, dentre outros. Incentivos fiscais e subsídios também fazem parte das políticas adotadas para estimular a reabilitação do parque edificado europeu (ITARD et al., 2008).

A Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2002 (JOCE, 2003) estabelece que as grandes obras de reabilitação devem adotar medidas economicamente rentáveis de melhoria do desempenho energético dos edifícios, excetuando-se casos em que o cumprimento dos requisitos altere de forma inaceitável o aspecto formal

do edifício.

A certificação ambiental francesa HQE criou em 2015 uma nova categoria destinada a reabilitação de edifícios terciários (*NF HQE Bâtiments Tertiaires – Neuf ou Rénovation*), que distingue as intervenções realizadas para aprimorar o desempenho energético do parque edificado bem como as condições de conforto e saúde dos usuários.

Os Estados Unidos contam com alguns importantes programas nacionais que incentivam a reabilitação dos edifícios para reduzir seu consumo energético. Dentre eles, destacam-se o *Home Performance with Energy Star* e o *Better Buildings Challenge*. Há também algumas iniciativas privadas exemplares, como as reabilitações realizadas em edifícios icônicos (Empire State Building, Moscone Center, Chicago Union Station e outros) para estimular esta prática.

Ao longo dos últimos 20 anos, os países europeus também desenvolveram uma série de projetos de pesquisa realizados em parceria entre si para estabelecer estratégias de intervenção no parque edificado. Tendo como principal objeto de estudo os edifícios residenciais, estas iniciativas buscam explorar as potencialidades da reabilitação para a redução da demanda energética, a minimização das emissões de CO₂ na atmosfera e a melhoria do conforto ambiental e saúde dos usuários. Como importantes exemplos, podem-se citar os projetos: OFFICE (1997-1999); SUREURO (2000-2004); REVIVAL (2003-2008); DEMOHOUSE (2004-2008); SUSREF (2009-2012) e TABULA (2009-2012).

Em outros continentes, as pesquisas na área ainda estão se iniciando. Na Austrália, despontam programas como o *1200 Buildings Programme*, da Prefeitura de Melbourne, que visa neutralizar a emissão de carbono dos edifícios até 2020, por meio da redução do consumo energético (WILKINSON et al, 2014).

De um modo geral, as reabilitações realizadas por estes programas focam no aprimoramento do isolamento térmico do envelope, na redução das cargas térmicas internas e na adoção de sistemas de aquecimento e resfriamento mais eficientes. Na prática, a ventilação natural é ainda pouco explorada, mesmo no verão.

A despeito das inúmeras melhorias alcançadas a partir destas intervenções no parque edificado, estudos recentes denunciam que a excessiva preocupação com o isolamento térmico e estanqueidade do envelope nos países de clima frio vem gerando uma elevada recorrência de superaquecimento dos edifícios no verão, um problema que até então era exclusivo de edificações situadas em clima quente.

Medições realizadas em 101 residências em Londres identificaram temperaturas excessivas nos dormitórios nos meses mais quentes do ano, o que é agravado pelo não uso da ventilação natural nestes espaços (MAVROGIANNI, 2014). Há indicativos de que, no futuro, esse risco

tende a se acentuar devido ao aquecimento global e ao crescente investimento em reabilitações e novas construções que buscam a alta eficiência energética da edificação, sobretudo no inverno (HEISELBERG, 2014).

A fim de minimizar o desconforto dos usuários no verão sem prejudicar a eficiência energética dos edifícios, os sistemas de ventilação (natural, mecânica ou mista) estão sendo alvo de diversas pesquisas internacionais.

Nos subtópicos a seguir, serão descritos quatro dos principais projetos de pesquisa que apresentam como um dos aspectos centrais a discussão da ventilação no contexto da reabilitação de edifício.

2.2.1. IEA Annex 35 (1998-2002)

A *International Energy Agency* (IEA) é um organismo que coordena pesquisas em diversas áreas de energia. Um dos programas desenvolvidos – o *Energy in Buildings and Community Programme (EBC)* – tem por objetivo incentivar a incorporação de tecnologias energeticamente eficientes nas edificações (IEA, 2015). Dentre as pesquisas desenvolvidas pelo programa, destacam-se o IEA Annex 35 e Annex 62 (*descrito no tópico 2.2.4*), dedicadas a conceber soluções de ventilação para reduzir o superaquecimento no ambiente construído.

O Annex 35 (*HybVent*) – *Control Strategies for Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings* foi realizado entre 1998 e 2002 a partir da parceria entre 15 países da Europa, América do Norte e Ásia, quais sejam: Áustria, Bélgica, Canadá, China (Hong Kong), Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Itália, Japão, Noruega, Suécia, Holanda, Reino Unido e Estados Unidos (IEA, 2015).

O objeto de estudo deste programa são os sistemas de ventilação híbrida, que alternam a ventilação mecânica com a ventilação natural em função das condições térmicas oferecidas pelo meio exterior.

A pesquisa tem por objetivo (IEA, 2015):

- Desenvolver estratégias de controle para sistemas de ventilação híbrida para novas construções e reabilitações de edifícios educacionais e de escritórios.
- Desenvolver métodos para prever o desempenho de sistemas de ventilação híbrida.
- Promover a ventilação híbrida em edifícios educacionais e de escritórios.
- Selecionar técnicas de medição adequadas para analisar o desempenho de sistemas de ventilação híbrida.

A pesquisa destaca uma série de benefícios da ventilação híbrida para as edificações. Tal

sistema oferece a possibilidade de neutralizar as limitações da ventilação natural e minimizar os aspectos negativos da dependência total de sistemas mecânicos de refrigeração. Também conhecida como ventilação de modo-misto, a ventilação híbrida possibilita, através de uma ampla variedade de soluções, reduzir a demanda energética e a concentração de CO₂ nos edifícios, por meio de um controle mais individual das condições ambientais nos espaços (TUDELFT, 2001).

Com base em um estado-da-arte sobre este sistema, foi possível identificar as principais barreiras para o uso da ventilação híbrida nas edificações (TUDELFT, 2001):

- Falta de domínio técnico e experiência dos arquitetos e engenheiros para aplicação desta estratégia. Estas incertezas os fazem preferir os sistemas mecânicos, já que os investimentos econômicos têm benefícios mais garantidos.
- Receio de não alcançar o conforto térmico e qualidade do ar desejada.
- Receio de que a instabilidade das condições térmicas não seja bem aceita pelos usuários.
- Problemas de segurança com a abertura das janelas.
- Receio quanto à captação do ruído.

Detectou-se que o principal desafio da ventilação híbrida consiste em dimensionar e controlar os sistemas naturais e mecânicos. Ressalta-se a dificuldade de estabelecer parâmetros (de temperatura do ar, concentração de CO₂, vazão de ar, etc) utilizados nos controles automatizados para definir quando se deve alternar entre a ventilação natural e mecânica (TUDELFT, 2001).

A pesquisa realizou 12 estudos de casos entre reabilitações e novas construções, onde aplicaram e avaliaram as diversas soluções estudadas.

Destaca-se a reabilitação do *Wilkinson Building*, um edifício de escritórios da Universidade de Sydney, na Austrália, que integrou um sistema de ventilação híbrida para aprimorar seu conforto térmico e a eficiência energética. A ventilação natural é feita por janelas e portas na maior parte do tempo, mas quando não atende aos requisitos de conforto dos usuários, é substituída por sistemas de resfriamento e aquecimento. A alternância entre sistema natural e mecânico é controlada manualmente pelos usuários. Uma avaliação pós-ocupação verificou a redução em 1/3 do consumo de energia pela edificação. Os usuários reportaram melhorias significativas no conforto térmico e qualidade do ar interno (HYBVENT, 2015).

Na reabilitação do *PROBE Building*, em um edifício de escritórios situado na Bélgica, foram adotados dois sistemas de ventilação natural que não interagem entre si e apresentam objetivos distintos. Um sistema de ventilação mecânica controlado por sensores de presença foi instalado para a melhoria da qualidade do ar nos escritórios. Paralelamente, um sistema

de ventilação noturna é responsável por refrescar as lajes expostas de forma a estender o tempo de conforto durante a ocupação do edifício. A captação do ar se dá por grelhas nas fachadas, que protegem o edifício contra roubos, insetos e chuva. Juntos, os dois sistemas promoveram melhorias significativas no conforto térmico e consumo de energia (HYBVENT, 2015).

A *Tanga School*, uma escola situada na Suécia, passou por uma reabilitação em 2001 para integrar um sistema de ventilação híbrida nas suas salas de aula, que combina chaminés solares, aquecedores e ventiladores. O vento é captado por aberturas abaixo das janelas e pré-aquecido por convectores dentro de dutos nas fachadas até ser distribuído no ambiente (Figura 10). O ar sofre exaustão pelo forro e é encaminhado por dutos a 3 chaminés solares, que fazem a exaustão passivamente, por termo-sifão. A chaminé solar absorve a radiação por meio de coletores solares e aquece o ar circundante para intensificar convecção do ar. Se o efeito-termo sifão em algum momento não for suficiente, ventiladores são acionados automaticamente para forçar a exaustão. Medições detectaram a redução do CO₂ nas salas de aula e a queda de 55% do consumo de energia para aquecimento e resfriamento do edifício (HYBVENT, 2015).



Figura 10 – Corte com esquema de funcionamento da ventilação no edifício; detalhe da entrada do ar na sala de aula; vista da chaminé solar. Fonte: a autora e HYBVENT (2015).

Ressalta-se a variedade de soluções testadas nas reabilitações do IEA Annex 35, o que evidencia um cuidado em adequar o edifício às condicionantes climáticas de cada contexto. A associação eficiente de sistemas mecânicos e naturais amplia a possibilidade de manter os edifícios em condições satisfatórias de conforto e qualidade do ar, o que se reflete na redução do consumo de energia.

2.2.2. Projeto REVIVAL (2003-2008)

O REVIVAL foi um projeto de pesquisa desenvolvido durante 5 anos através de uma parceria entre 5 países europeus: Grécia, Reino Unido, Holanda, Itália e França. Ele teve por objetivo demonstrar como a reabilitação de edifícios não-residenciais construídos no período pós-guerra e antes da crise energética pode melhorar o desempenho energético e reduzir a emissão de CO₂, alcançando níveis equivalentes ao edifício original ou a um edifício novo semelhante (GAUDIN; GAUDIN, 2006).

A pesquisa foi realizada por meio do desenvolvimento e aplicação de soluções de reabilitação em 6 edifícios situados nos 5 países participantes, construídos entre as décadas de 50 e 70: 1 edifício escolar na França, 2 hospitais localizados na Grécia e Itália, e 3 edifícios de escritório situados na Grécia, Holanda e Reino Unido (GAUDIN; BASTOS, 2007).

Através de discussões por equipes interdisciplinares, foram estudadas estratégias para reduzir o alto consumo de energia nas edificações, dentre as quais se destaca o aprimoramento dos sistemas de ventilação e a redução das cargas térmicas no envelope (GAUDIN; GAUDIN, 2006). Neste sentido, foram pesquisadas soluções recorrentes e inovadoras para melhorar o resfriamento da edificação que possibilitem concomitantemente a preservação das características originais da fachada e a redução do superaquecimento no verão (BURTON; KESIDOU, 2005). Buscou-se priorizar sempre que possível as estratégias passivas ou pelo menos associá-las a sistemas mecânicos.

A reabilitação no Edifício Albatros (Holanda), por exemplo, utiliza a ventilação natural controlada por uma fachada dupla composta por vidro, faixas de grelha de alumínio e persianas internas, de forma a ter um bom desempenho térmico ao longo do ano. A nova fachada foi apoiada na estrutura das sacadas existentes e buscou preservar alguns aspectos da fachada original, como a proporção entre superfícies opacas e transparentes e as linhas horizontais marcantes (Figura 11).



Figura 11 – Reabilitação do edifício Albatros, na Holanda, antes e após reabilitação. Fonte: Baker (2009).

A Figura 12 apresenta alguns detalhes da fachada dupla instalada.



Figura 12 – Vista externa da grelha em alumínio, vista interna da fachada dupla e detalhe construtivo.
Fonte: Beuvingmartensen (2005) e Baker (2009).

A ventilação natural é controlada pelo grau de abertura da grelha de alumínio. No inverno, a grelha permanece quase 100% fechada, ajudando a manter aquecida a camada de ar entre as fachadas para reduzir as perdas de calor entre interior e exterior e pré-aquecer passivamente o ar antes de penetrar no edifício por elementos perfurados instalados junto ao peitoril da janela. A captação e exaustão do ar controlada pelas grelhas favorece a renovação do ar que circula no ambiente, enquanto que um sistema mecânico instalado no forro complementa a extração do ar.

No verão, as grelhas permanecem totalmente abertas, aumentando a vazão do ar captado pelas aberturas. O sistema mecânico extrai o calor excessivo da edificação, evitando o superaquecimento dos ambientes.

Espera-se que este sistema híbrido contribua ao longo dos próximos 25 anos para a redução de 40% do consumo de energia e 25% da emissão de CO₂ pelo edifício (REVIVAL, 2009). Apesar dos benefícios alcançados, uma avaliação pós-ocupação revelou que apenas 50% dos usuários se dizem satisfeitos com a temperatura interna do ar no inverno e 40% se mostraram insatisfeitos com a qualidade do ar, apesar de as medições indicarem uma baixa concentração de CO₂ no ambiente, que permanece 45% menor que o valor limite máximo fixado (BAKER, 2009).

Na reabilitação do Liceu Chevroliier (França), a prioridade era alcançar um maior desempenho térmico do envelope, e a ventilação colaborou como uma das estratégias para dissipar os ganhos térmicos.

A ventilação foi incorporada nas salas de aula pela combinação de sistemas mecânicos e instalação de janelas operáveis. A abertura destas é controlada por sistemas de automação para atender aos requisitos de renovação de ar pré-estabelecidos e resfriar a massa térmica do edifício à noite. A ventilação noturna foi adotada quando a temperatura interna do ar é maior que 19°C e está pelo menos 2°C acima da temperatura externa (BAKER, 2009).

Uma avaliação pós-ocupação revelou o baixo desempenho deste sistema, sobretudo quanto à qualidade do ar nos ambientes. A vazão de ar por aluno está cerca de 60% abaixo do mínimo recomendado, seja devido ao baixo desempenho dos sistemas mecânicos, seja pelo impedimento por regulamentações de segurança de manter as janelas totalmente abertas. Ainda assim, 55% e 44% dos usuários entrevistados se disseram satisfeitos com a ventilação no inverno e no verão, respectivamente (BAKER, 2009).

Os benefícios desta intervenção se mostraram pouco expressivos se comparados a do edifício Albatros: em 25 anos, estima-se uma redução de 23% do consumo energético e uma minimização nula da emissão de CO₂ pelo edifício (REVIVAL, 2009).

No caso da reabilitação do Ministério das Finanças, em Atenas, houve um maior investimento no aprimoramento dos sistemas mecânicos do que no desempenho do envelope. A ventilação natural pelas aberturas laterais trabalha em conjunto com um sistema mecânico, que é acionado automaticamente para pré-aquecer ou pré-resfriar o ar que penetra nos ambientes, contribuindo expressivamente para reduzir a demanda energética no edifício. Além da temperatura do ar, o controle das aberturas é também realizado por detectores de CO₂ nos ambientes.

Prevê-se que em 25 anos, os sistemas adotados contribuam para a redução de 17% do consumo energético e 25% da emissão de CO₂ pelo edifício (REVIVAL, 2009). As pesquisas com os ocupantes revelam que apenas 40% destes se dizem satisfeitos com a ventilação natural no edifício, o que decorre da baixa qualidade do ar nos ambientes, detectada em medições.

Como visto nos exemplos apresentados, o programa REVIVAL não adota uma solução padronizada para incorporar a ventilação natural nos edifícios. Cada intervenção é precedida de uma análise das demandas dos usuários, exigências de regulamentações, condições climáticas e especificidades de cada imóvel para idealizar uma solução específica de captação e exaustão do ar. Nota-se que os sistemas híbridos predominam nestas e nas demais reabilitações, em razão da complexidade em atender concomitantemente aos requisitos de conforto térmico do inverno e do verão. Ainda assim, há um grau relativamente alto de insatisfação dos ocupantes com a ventilação dos edifícios.

Verifica-se também que a captação do ar se dá predominantemente pelas aberturas laterais,

tendo em vista que o entorno urbano dos edifícios estudados apresenta uma baixa densidade e não oferece impeditivos claros (como o ruído, poluição atmosférica e baixa permeabilidade do tecido urbano) para captar o ar por meios convencionais. De todo modo, a qualidade do ar é um dos aspectos cruciais da intervenção e leva à recorrente adoção de sistemas de controle e automação das janelas.

Mesmo em reabilitações onde sistemas complexos de fachada substituem a simples operabilidade das esquadrias, como no caso o edifício Albatros, verifica-se uma cautela em preservar, no que for possível, as características essenciais da fachada, o que revela um certo respeito ao passado dos edifícios.

2.2.3. Projeto School Vent Cool (2010-2013)

O projeto *School Vent Cool* foi desenvolvido pelo grupo Eracobuild entre 2010 e 2013, através de uma parceria entre quatro países europeus: Áustria, Suíça, Dinamarca e Bélgica (ERACOBUILD, 2015). Focada nos edifícios educacionais, esta pesquisa teve por objetivo desenvolver soluções de projeto para diferentes tipologias de escolas públicas para aproveitamento da ventilação natural, de forma a melhorar a eficiência energética, conforto térmico e qualidade do ar destas edificações.

O *School Vent Cool* foi motivado pela constatação de que muitas das 180 mil escolas existentes na União Europeia apresentam uma ventilação deficiente, o que impacta na concentração e processo de aprendizagem dos alunos. Além disso, a Comissão Europeia estipulou que a partir de janeiro de 2014, 3% dos edifícios públicos devem ser reabilitados por ano com o objetivo de reduzir o consumo energético (GEIER; KOPEINIG, 2012).

O projeto aproveitou a experiência do IEA Annex 50 em reabilitações residenciais e adaptou-a à reabilitação de escolas, estabelecendo como premissa de intervenção a adoção de elementos pré-fabricados (KOBLEK; DOTT; HEIM, 2012; ERACOBUILD, 2015).

A pesquisa parte de um diagnóstico geral do parque edificado escolar e levantamento das tipologias mais recorrentes para estabelecer as estratégias prioritárias de intervenção (GEIER; KOPEINIG, 2012).

O envelope é o elemento central da reabilitação. As intervenções se baseiam na substituição deste elemento por painéis pré-fabricados, que embutam dutos de sistemas de refrigeração, isolamento térmico e instalações elétricas de controle das aberturas e proteção solar (ERACOBUILD, 2015). O sistema de ventilação é predominantemente mecânico.

A preferência por painéis pré-fabricados decorre da qualidade de seus acabamentos, do

desempenho energético que estes elementos permitem alcançar, do seu peso reduzido (o que oferece flexibilidade para incluir ambientes e pavimentos novos, incluir novos elementos de fachada e cobertura etc), da rapidez da obra e do reduzido incômodo gerado aos ocupantes.

A complexidade do projeto dos painéis pré-fabricados é proporcional ao número de pavimentos do edifício e a área envidraçada das fachadas. Em edifícios de múltiplos pavimentos, a área ocupada pelos dutos verticais é considerável, o que implica na redução da área de abertura (KOBLER; DOTT; HEIM, 2012).

A substituição completa do envelope muitas vezes acarreta na transformação da linguagem arquitetônica e materialidade do edifício. Por este motivo, o *School Vent Cool* não contempla edifícios tombados.

A reabilitação da Escola Zirbitzkogel Grebenzen, na Áustria, exemplifica bem a essência das reabilitações realizadas pelo programa *School Vent Cool*. O objetivo da intervenção foi de melhorar a qualidade do ar e o conforto dos usuários através de soluções energeticamente eficientes que reduzissem os custos operacionais do edifício. Para tanto, o envelope original foi totalmente substituído por painéis pré-fabricados de madeira produzida na região. Além do isolamento térmico, o novo envelope embute um sistema de ventilação mecânica para renovação do ar interior, venezianas externas e um sistema de ventilação noturna. A reabilitação possibilitou reduzir em 1/10 o consumo energético e a concentração de CO₂ nos ambientes (GEIER; KOPEINIG, 2012).

A Figura 13 apresenta a fachada principal do edifício antes e após a intervenção.



Figura 13 – Escola Zirbitzkogel Grebenzen (Áustria), antes e após a reabilitação. Fonte: Geier; Kopeinig (2012).

A despeito do aumento expressivo do desempenho termo-energético das edificações educacionais reabilitadas pelo *School Vent Cool*, convém questionar alguns aspectos inerentes às intervenções propostas pelo programa. Nota-se que a definição de um sistema

construtivo como premissa de intervenção restringe significativamente a gama de soluções a serem adotadas. Do ponto de vista da ventilação, as estratégias se limitam à ventilação mecânica pelos dutos e à ventilação noturna, ainda que se observe uma variedade de contextos climáticos e urbanos enfrentados nas reabilitações.

Verifica-se também uma clara negligência com o passado das edificações, o que é observado na transformação drástica das características originais da fachada, do ponto de vista da linguagem arquitetônica, volumetria e materialidade. As amplas demolições geradas pela substituição do envelope, em muitos casos, tornam as intervenções irreversíveis. Tratam-se, portanto, de estratégias radicais de intervenção, que não apresentam uma consciência clara do ciclo de vida das edificações e que estão focadas no atendimento às necessidades presentes e nos pré-requisitos ambientais.

2.2.4. Projeto IEA Annex 62 (2014-2017)

O IEA Annex 62 – *Ventilative Cooling* é um projeto de pesquisa iniciado em 2014 com término previsto para 2017, fruto de uma parceria entre 13 países da Europa, América do Norte e Ásia, quais sejam: Áustria, Bélgica, China, Dinamarca, Finlândia, Irlanda, Itália, Japão, Holanda, Noruega, Suíça, Reino Unido e Estados Unidos.

O projeto tem por objetivo (HEISELBERG, 2014):

- Analisar e desenvolver métodos e ferramentas adequados para predição da demanda por resfriamento e os riscos de superaquecimento nos edifícios, que possam ser utilizados no processo de projeto.
- Estabelecer diretrizes de como integrar o resfriamento por ventilação em modelos de cálculo de desempenho energético.
- Desenvolver soluções de ventilação.
- Demonstrar o desempenho destas soluções por meio de estudos de caso documentados.

O Annex 62 promete produzir:

- Manuais contendo estratégias para reduzir o consumo energético e o risco de superaquecimento.
- Manuais para auxiliar a concepção de soluções de ventilação para edifícios residenciais e comerciais.
- Recomendações para integração da ventilação em legislações, normas e métodos de predição do consumo energético das edificações.

- Novas soluções de ventilação, incluindo estratégias de controle.
- Documentação sobre estudos de caso.

Apesar de não se tratar de uma pesquisa específica para a reabilitação de edifícios, espera-se que seus resultados sejam de grande utilidade para a intervenção no parque edificado.

O projeto criou uma plataforma na internet denominada *Venticool* (www.venticool.eu) que pretende fomentar a discussão, comunicação, conhecimento e consciência dos atores chaves para mobilizar a redução do consumo de energia através do resfriamento por ventilação.

A pesquisa foi iniciada após o seminário *Ventilative Cooling* (HEISELBERG, 2014), realizado em Londres em 2014, que discutiu sobre a importância da ventilação natural na redução do superaquecimento dos edifícios no verão e apresentou casos bem sucedidos de adoção de estratégias de ventilação em edificações europeias.

2.3. Panorama nacional

O Panorama nacional diverge expressivamente do cenário internacional no que diz respeito à dedicação aos estudos de ventilação natural em reabilitações de edifícios. São pouco numerosos os trabalhos desenvolvidos no país sobre este tema em específico e inexistentes as parcerias nacionais e internacionais para tratar desta problemática.

As pesquisas sobre ventilação natural no país se organizam em duas vertentes principais. A primeira concentra-se na escala urbana e aborda os impactos da urbanização nos padrões de escoamento do ar. A segunda dedica-se à escala do edifício e analisa estratégias para ampliar o potencial de ventilação natural dos espaços internos.

Dentro da primeira vertente, ressaltam-se as pesquisas de Marques (2003), Prata (2005), Leite (2008) e Leite (2010; 2015) que evidenciam os efeitos da verticalização e adensamento do tecido urbano na mudança do padrão de escoamento dos ventos. Quanto aos estudos sobre a reabilitação de edifício, estes trabalhos contribuem indiretamente para evidenciar como as transformações do entorno urbano podem comprometer a qualidade energético-ambiental do parque edificado. Dado a importância do tema, este assunto será abordado com mais detalhes no capítulo 3.

Dentro da segunda vertente, podem ser destacadas as pesquisas de Figueiredo (2007), Marcondes (2010), Vieira (2011) e Cotta (2012). Estes se detêm ao estudo da ventilação natural em edifícios de escritórios situados em São Paulo e no Rio de Janeiro e defendem os benefícios que esta estratégia passiva pode oferecer ao conforto, saúde e produtividade dos usuários de espaços corporativos.

Nestas pesquisas, as edificações analisadas têm suas características construtivas e operacionais otimizadas para favorecer a captação e distribuição do vento e reduzir as cargas térmicas pelo envelope, tais como: percentual de abertura da fachada, tipologia de esquadria, soluções de sombreamento das aberturas, inércia térmica do envelope, cargas internas (iluminação artificial, equipamentos, ocupação), etc. São desconsiderados nas análises os impactos do ruído e da poluição atmosférica exterior e do entorno sobre a circulação dos ventos.

Sob estas condições ideais, simulações fluidodinâmicas e termo-energéticas realizadas nestes trabalhos atestam que a ventilação natural assegura o conforto térmico dos usuários em pelo menos metade das horas de ocupação, desde que estes detenham o controle das aberturas e o edifício ofereça oportunidades de adaptação às necessidades individuais.

Ainda dentro da segunda vertente, destacam-se as pesquisas de Marchetti (1996), Martins et al (2009) e Lacerda (2014), que, ao contrário das anteriores, se baseiam em edifícios existentes e consideram as condições reais de espaços em termos de características construtivas e influências do entorno.

Marchetti (1996) estuda a incorporação de estratégias passivas ao prédio sede do BNDES, no Rio de Janeiro, para reduzir seu consumo energético. Os elevados ganhos térmicos pelo envelope envidraçado exigem o acionamento do sistema de ar-condicionado até 3h antes do início do expediente para manter a temperatura de conforto desejada. Verificou-se que o aproveitamento da ventilação natural nos 21 pavimentos do nascer do sol até o início da ocupação do edifício possibilita reduzir diariamente 2h do tempo de funcionamento do sistema de ar-condicionado.

Martins et al (2009) avaliam as melhorias do conforto térmico obtidas com a introdução de uma torre de vento para captação e exaustão do ar de uma alcova de uma casa geminada situada no interior de Alagoas. Por meio de estudos em mesa d'água, atestou-se a eficiência deste dispositivo arquitetônico na promoção da renovação do ar e conforto higrotérmico do ambiente analisado.

Lacerda (2014) analisa as condições de ventilação natural em um edifício de escritórios situado no centro da cidade do Rio de Janeiro, próximo à baía de Guanabara. São propostas soluções para melhoria do conforto térmico dos ocupantes, como a modificação do layout do pavimento tipo, da altura das divisórias que separam as baias e das tipologias de esquadrias. Foi verificada uma melhoria substancial nas condições de conforto após a intervenção, graças ao aprimoramento na distribuição dos fluxos de ar e incremento da velocidade do ar interno.

O trabalho atesta que a incorporação das soluções propostas viabiliza a complementação do sistema de ar-condicionado (hoje utilizado durante todas as horas de ocupação) pela

ventilação natural, sem comprometido das condições de conforto térmico dos usuários. Ressalta-se que as soluções testadas não preveem alterações visíveis nas fachadas, o que indica ser possível incrementar a ventilação em edifícios existentes situados em meios urbanos preservando-se seu passado.

Como visto, a maioria das pesquisas supracitadas apenas tangenciam em menor ou maior abrangência a questão da ventilação natural na reabilitação de edifícios. Não foi verificada nenhuma discussão mais aprofundada sobre os desafios enfrentados na incorporação da ventilação considerando todos os fatores limitantes abrangidos por esta tese e que, inevitavelmente, são enfrentados na prática da reabilitação.

Diante do exposto, optou-se por analisar nas reabilitações que vem sendo realizadas no país como a ventilação natural está sendo considerada, de modo a identificar tendências, lacunas, desafios e potencialidades. Para tanto, foram selecionados alguns exemplos de reabilitações realizadas em São Paulo e no Rio de Janeiro, cidades estas que concentram grande parte das intervenções recentes no parque edificado brasileiro.

Como critério de seleção, optou-se por analisar as reabilitações mais recentes e que aclamam adotar alguns pontos dos princípios de sustentabilidade, como o conforto ambiental e a eficiência energética. Deu-se também preferência por edifícios não-residenciais, especialmente os edifícios de escritórios.

2.3.1. São Paulo

Os primeiros edifícios altos de São Paulo surgiram no centro a partir da década de 20, para abrigar salas comerciais. Esta área permaneceu por décadas como principal centro financeiro da cidade, até perder sua hegemonia para a av. Paulista na década de 70. Neste período, a baixa taxa de vacância do centro associada à obsolescência de suas edificações desencadeou o deslocamento das grandes empresas para esta nova localidade (WIAZOWSKI, 2007).

Na década de 90, os mesmos motivos levaram à construção de novos edifícios empresariais no eixo formado pela Av. Luiz Carlos Berrini, Marginal Pinheiros e Av. Brigadeiro Faria Lima. Nesta nova centralidade, concentram-se atualmente edifícios de escritórios de alto padrão, sobretudo de sedes de empresas multinacionais (WIAZOWSKI, 2007).

Em virtude da idade e do estado de degradação, obsolescência e vacância do parque edificado do centro, esta área tornou-se o principal alvo de reabilitações na cidade. A partir de 2001, foram criados diversos programas governamentais para reverter a desvalorização imobiliária e recuperar a função residencial no centro. Destacam-se o Programa Morar no

Centro (2001) e o Plano Ação no Centro (2003), que contribuíram para a redução do déficit habitacional da cidade (DIOGO, 2004).

Outro local onde se observa um crescimento expressivo de reabilitações é a av. Paulista e suas imediações. Nesta área, as reabilitações têm como diferencial a incorporação de princípios de sustentabilidade, com ênfase nos aspectos ambientais. Um número expressivo destas intervenções é conduzido com base nos requisitos estabelecidos por certificações ambientais comerciais, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*).

Vejamos a seguir alguns detalhes de reabilitações realizadas nas edificações desta área da cidade.

O Ed. Panorama Paulista Corporate (Figura 14), construído na década de 70 na av. Paulista obteve uma redução de 20% da energia consumida por mês após sua reabilitação, concluída em 2013. Contribuíram para esta melhoria a instalação de sistema de ar-condicionado central e a total reformulação da fachada com materiais de maior desempenho térmico. Nela, foram instalados: uma pele de vidro de alta eficiência com fator solar de 34%; painéis de alumínio composto, que reduzem os ganhos de calor pelo envelope; e *brises soleils* fixos em alumínio, para o sombreamento das fachadas leste e oeste (AECWEB, 2014; ARCOWEB, 2014a).



Figura 14 – Ed. Panorama Paulista Corporate, antes e após reabilitação.
Fonte: AW (2014).

O Ed. Paulista 2028 (Figura 15) também obteve certificação LEED (*Core and Shell v.3*) após conclusão de sua reabilitação, em 2014. Dentre as medidas adotadas, destaca-se o aumento do desempenho do envelope, por meio da instalação de vidros de alto desempenho térmico e acústico e de painéis de alumínio composto na fachada. Além disso, foi incluída uma cobertura verde para reduzir as cargas térmicas no topo da edificação. A instalação de sistema

de ar-condicionado tipo VRV (Volume Refrigerante Variável)¹ possibilitou minimizar o consumo energético. As medidas adotadas foram responsáveis pela redução em 30% do custo da operação do edifício (BNCORP, 2014).



Figura 15 – Ed. Paulista 228, antes e após reabilitação. Fonte: Google (2011a) e Chaves (2015).

No caso do Ed. Bela Paulista (Figura 16), na reabilitação concluída em 2010, a antiga fachada de vidro escuro, granito, ferro e chapas de PVC foi totalmente substituída por vidros laminados reflexivos prata com sistema *Structural Glazing* e placas de alumínio composto, para melhorar o desempenho térmico, acústico e lumínico dos espaços internos (ESTADÃO, 2012; INFRA, 2012; VIDRO IMPRESSO, 2010). As melhorias no desempenho energético do edifício foram complementadas pela instalação de um sistema de ar-condicionado central automatizado.

¹ O VRV (*Volume Refrigerante Variável*) é um sistema de ar-condicionado central multi-split que tem uma unidade externa (condensadora) controlada individualmente por várias unidades internas (evaporadoras). O principal diferencial deste sistema consiste na capacidade de variação da velocidade do compressor de forma a manter temperaturas diferentes em diversos pavimentos ou ambientes, permitindo que um usuário ou grupo de usuários ajustem a temperatura conforme suas necessidades. O VRV é reconhecido como um sistema ecoeficiente pois além de consumir menos energia, utiliza fluidos refrigerantes que não agredem a camada de ozônio. Fonte: <http://www.webarcondicionado.com.br/saiba-tudo-sobre-vrv>



Figura 16 – Ed. Bela Paulista, antes e após reabilitação. Fonte: Google (2010) e Chaves (2015).

A reabilitação do Sesc Paulista, em andamento, adaptará o edifício para abrigar novos usos. Uma das intervenções mais visíveis ocorrerá no seu envelope, que receberá uma fachada dupla de vidro serigrafado com rasgos localizados (Figura 17). A cavidade ventilada entre as duas fachadas promete funcionar como uma barreira térmica e acústica para os ambientes refrigerados. A fachada interna alterna superfícies de vidro, painéis e treliças para controlar a quantidade de luz desejada para as atividades previstas nos ambientes (ARCOWEB, 2006).

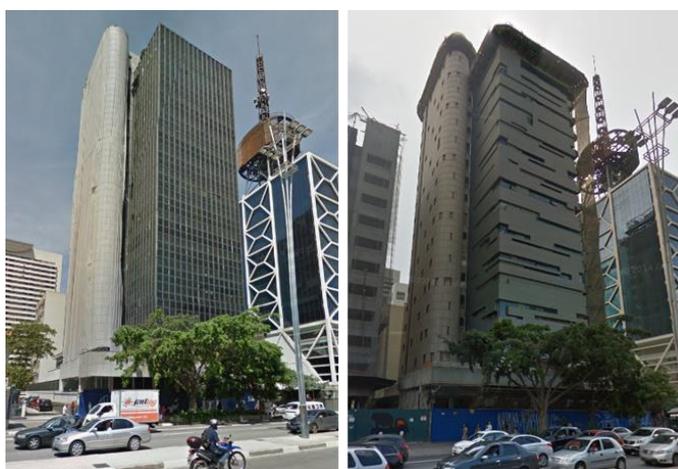


Figura 17 – Sesc Paulista, antes e após reabilitação. Fonte: Google (2011b) e Chaves (2015).

Além das reabilitações na av. Paulista, destacam-se também algumas iniciativas em outros bairros. Dentre elas citam-se as intervenções de 2013 no Ed. Paulista Star (Figura 18), construído na década de 90 na região dos Jardins. A redução do consumo energético em 30% foi resultado da instalação de sistema de ar-condicionado tipo VRV, de sensores e fotocélulas para controle da iluminação artificial e da substituição dos vidros por modelos com maior desempenho térmico. Tais estratégias possibilitaram a obtenção da certificação LEED Silver (BD+C – *Core and Shell* v. 2009) para o empreendimento (BUILDINGS, 2013; INFRA, 2013).



Figura 18 – Ed. Paulista Star, antes e após reabilitação. Fonte: Google (2011c) e Chaves (2015).

Através dos exemplos apresentados, observa-se que as reabilitações realizadas nos últimos anos em São Paulo são em muitos casos motivadas pelo anseio em obter uma certificação ambiental. Isto pode ser justificado pela possibilidade que estas oferecem de conferir credibilidade ao empreendimento e elevar o valor de mercado do imóvel, o que empresta às empresas que ocupam as edificações uma imagem de engajamento com a minimização da degradação do planeta.

É possível verificar alguns pontos comuns entre elas: a substituição dos sistemas de refrigeração e iluminação por modelos automatizados e com maior desempenho energético, a modificação dos materiais do envelope (tipos de vidros, sistemas de caixilhos, revestimentos etc) para redução das cargas térmicas, e a renovação dos sistemas de iluminação e dos equipamentos para minimizar os ganhos internos de calor. Verifica-se, portanto, um elevado investimento em novas tecnologias para aumentar a eficiência energética do edifício e assegurar o conforto dos ocupantes.

No que diz respeito às transformações do envelope, nota-se que a proporção entre superfície envidraçada e opaca é em muitos casos alterada, com a expectativa de que a baixa capacidade transmissiva do vidro confira um desempenho igual ou superior à alvenaria. Questiona-se se o alto desempenho dos sistemas de refrigeração está compensando os ganhos térmicos pelo envelope, mascarando sua possível baixa eficiência.

Observa-se especialmente que o uso do ar-condicionado é uma constante em todas as reabilitações estudadas e que a ventilação natural não é claramente utilizada. Não foi sequer encontrada menção sobre o uso de ventilação noturna nos edifícios.

Como visto, esta negligência não decorre da impossibilidade de garantir o conforto ambiental por meio desta estratégia passiva, uma vez que pesquisas comprovam o potencial de

ventilação natural em edifícios de escritórios em São Paulo (FIGUEIREDO, 2007; MARCONDES, 2010).

Acredita-se que o interesse em classificar oficialmente estes edifícios em alto padrão (AAA) torna inevitável o uso de sistemas mecânicos, tendo em vista que este é um pré-requisito desta classificação (MARCONDES, 2010).

Ressalta-se ainda que as intervenções levam às últimas consequências a redução do consumo de energia das edificações, o que em muitos casos acarreta na transfiguração da linguagem arquitetônica original da fachada e padronização de sua materialidade. Com o objetivo de conferir aos edifícios novos uma linguagem internacional, igualando-os também esteticamente aos escritórios novos - as estruturas existentes são envoltas por uma casca envidraçada selada, o que torna os espaços interiores pouco ou nada dependentes do meio exterior (MARCONDES, 2010).

2.3.2. Rio de Janeiro

O parque edificado do Rio de Janeiro foi majoritariamente construído a partir de 1955, e é predominantemente composto por edifícios residenciais (Figura 19).

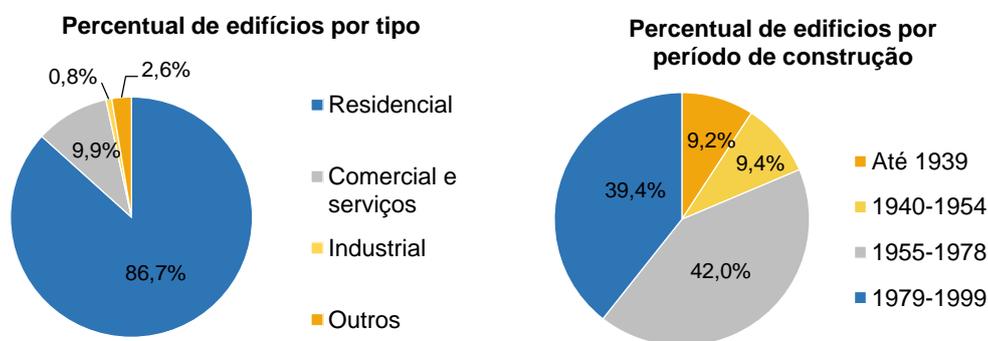


Figura 19 – Parque edificado no Rio de Janeiro: percentual de edifícios por tipo e por período de construção. Fonte: adaptado de IPP (2000).

Entretanto, especificamente no centro (Figura 20), a região mais antiga da cidade, os edifícios comerciais e de serviço predominam, e os imóveis são ainda mais antigos: mais da metade foi construída entre 1955 e 1978. É exatamente nesta região da cidade que a atividade da reabilitação vem ganhando grande destaque nas últimas duas décadas.

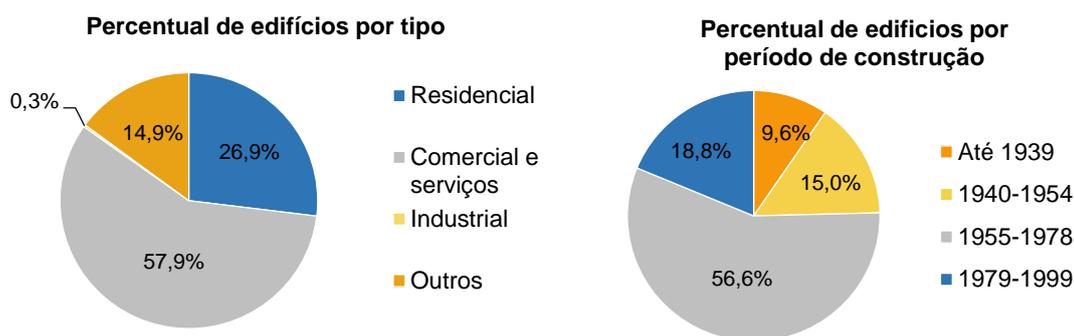


Figura 20 – Parque edificado do centro do Rio de Janeiro: percentual de edifícios por tipo e por período de construção. Fonte: adaptado de IPP (2000).

A revalorização do centro como área financeira a partir do final da década de 90 vem aumentando significativamente a demanda por espaços corporativos na área. Este fenômeno é evidenciado pela queda na taxa de vacância dos imóveis no centro: em 1995, 37% deles encontravam-se vagos, enquanto que, atualmente, são apenas 5% os edifícios sem uso (VEJA, 2008). A carência de terrenos livres para construir e o estado de degradação e obsolescência de boa parte de seu parque edificado têm incentivado a reabilitação dos edifícios de escritórios.

Ressalta-se que as reabilitações tendem a expandir na cidade, em decorrência da nova Lei 6400/13, que institui a obrigatoriedade de autovistoria de prédios residenciais e comerciais com mais de 25 anos de vida útil (RIO DE JANEIRO, 2013). As autovistorias podem revelar o estado de degradação de muitos imóveis e indicar a necessidade de manutenção predial, levando a realização de intervenções das mais diversas escalas nos edifícios existentes.

Dentre os imóveis reabilitados nos últimos 10 anos no centro da cidade, pode-se ressaltar o Ed. Castelo, na rua Nilo Peçanha (Figura 21). A reabilitação realizada em 2008 fez a união dos edifícios Castelo e Nilomex, construídos em 1931, juntou pequenas salas comerciais de 30 m² para formar espaços mais amplos, de 1750 m², e renovou equipamentos, revestimentos, esquadrias e instalações (ARQUITETURA.COM.BR, 2008; HOCHTIEF, 2014).

As persianas originais foram eliminadas, o que modificou significativamente o aspecto opaco de suas fachadas, além de desproteger as aberturas da incidência direta do sol. Foram também substituídas as antigas esquadrias operáveis por janelas fixas, o que inviabilizou totalmente o uso da ventilação natural nos espaços internos. A integração dos ambientes do pavimento tipo poderia favorecer a ventilação cruzada, mas em virtude da selagem do edifício, nem mesmo a ventilação noturna pode ser utilizada para dissipar o calor absorvido por sua massa térmica. Alguns usuários relatam a necessidade de evacuar o edifício em dias de falta de energia, devido ao desconforto térmico.



Figura 21 – Acima: Ed. Castelo, antes e após reabilitação. Abaixo: esquadrias do ed. Castelo, antes e após intervenção. Fonte: PONTUAL (2014) e a autora.

Os sistemas mecânicos de refrigeração predominam também em reabilitações que clamam adotar estratégias sustentáveis. Assim como em São Paulo, estas têm crescido expressivamente nos últimos anos e geralmente estão associadas às transformações de imóveis corporativos simples em empreendimentos padrão AAA.

Como exemplo, pode-se citar a Torre Vargas 914 (Figura 22), um edifício de escritórios da Av. Presidente Vargas construído na década de 80 e reabilitado em 2009. Este empreendimento se distingue pela instalação de um sistema de renovação do ar responsável por manter as taxas de renovação superior ao padrão normal. Esta estratégia busca compensar a baixa qualidade do ar gerada pelo não aproveitamento da ventilação natural nos espaços internos. Estas e outras medidas com viés sustentável possibilitaram a obtenção do LEED *Core and Shell Gold* (LATOURE, 2014).



Figura 22 – Torre Vargas, após reabilitação. Fonte: Latour (2014).

O Ed. Galeria, construído em 1930 na Rua da Quitanda para sediar a Sul América Seguros, foi reabilitado em 2011, seguindo os pré-requisitos da certificação LEED (Figura 23). Dentre as medidas adotadas, destacam-se a instalação de um sistema de ar condicionado central à base de água de condensação, que gera um resfriamento mais uniforme e com menos consumo de energia (SPEYER, 2011).

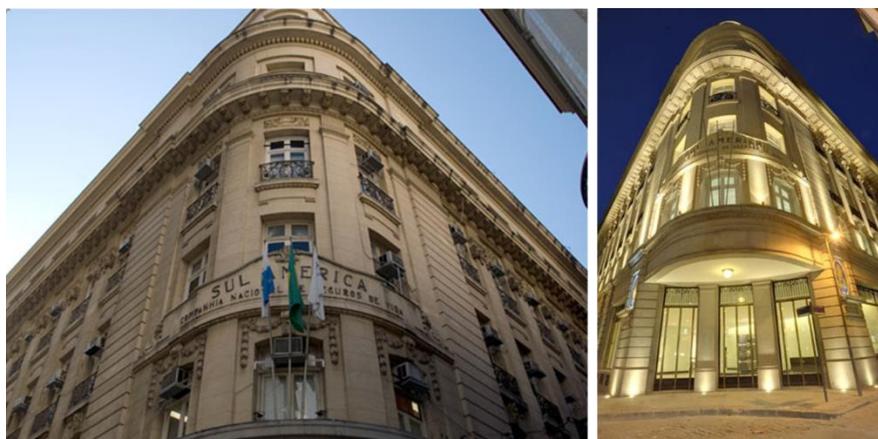


Figura 23 – Ed. Galeria, antes e após reabilitação. Fonte: Speyer (2011).

A reabilitação do Ed. Rio Branco 115, em 2010, também contou com uma série estratégias para melhoria da qualidade ambiental e energética da edificação. Uma das medidas mais perceptíveis foi a substituição do revestimento de fachada por placas de alumínio composto (Figura 24). A solução possibilita um isolamento térmico contra a forte radiação solar incidente nas fachadas sudeste e sudoeste no período do verão, além de apresentar propriedade anticorrosiva, adequada para cidades litorâneas. O vidro duplo reflexivo azul promete isolar térmica e acusticamente as salas de escritório (BUILDINGS, 2009; BNCORP, 2013).



Figura 24 – Ed. Rio Branco 115, antes e após reabilitação. Fonte: BNCORP (2013).

A reabilitação do Ed. RB12 se sobressai pela adoção de estratégias bioclimáticas inovadoras (Figura 25). Reinaugurado em 2015, a edificação conta com uma fachada remodelada, que intercala um jogo de vidros duplos dispostos em zigue-zague com brises-soleils, para controle da captação da luz natural e isolamento acústico. A fachada tem ainda sombreamento gerado por vegetação acoplada a sua estrutura, o que pode melhorar o desempenho térmico do envelope. O edifício produz a própria energia consumida por meio de dois sistemas: painéis fotovoltaicos e pilhas de combustível. Este último consiste em um sistema que utiliza células de hidrogênio para transformar gás proveniente da rua em energia elétrica (GLOBO, 2014; ARCOWEB, 2014b).



Figura 25 – Ed. RB12, antes e após reabilitação. Fonte: Globo (2014) e Arcoweb (2014b).

A Biblioteca Estadual (Figura 26), na Av. Presidente Vargas, passou seis anos fechada até ser reinaugurada em 2014 após extensa reabilitação, que buscou resolver problemas de conforto ambiental e adequá-la ao novo conceito de “biblioteca parque” implantado nas bibliotecas do Estado (BORGES; WREDE, 2014). Foram instalados painéis fotovoltaicos na

cobertura para produção de energia e introduzida uma cobertura verde para fins de isolamento térmico. A ventilação natural, antes problemática devido ao intenso ruído do tráfego na Presidente Vargas, foi substituída por um sistema de ar-condicionado (SECRETARIA DE CULTURA, 2014).



Figura 26 – Biblioteca Estadual do Rio de Janeiro, antes e após reabilitação.
Fonte: Campello (1984) e Magalhães (2013).

O Ed. Portugal, na Av. Franklin Roosevelt, foi alvo de uma reabilitação questionável. A antiga fachada, composta por esquadrias de madeira e vidro em mal estado de conservação, foi mantida sem nenhuma recuperação e encoberta completamente por uma segunda fachada de vidro. Observa-se que as folhas móveis apresentam uma tipologia distinta da esquadria original, o que pode dificultar a abertura das janelas e captação do vento, quando desejada, e a manutenção periódica da fachada original (Figura 27).



Figura 27 – Ed. Portugal, antes e durante reabilitação. Fonte: Google (2014) e a autora.

A despeito da iniciativa de introduzir os princípios de sustentabilidade no projeto de reabilitação no Rio de Janeiro, dois aspectos da intervenção merecem ser discutidos após a descrição destas reabilitações: a substituição da ventilação natural por sistemas ativos de refrigeração e o desequilíbrio entre as três dimensões temporais detectadas em algumas intervenções.

Como visto, o uso do ar-condicionado vem se tornando regra nos edifícios de escritórios no centro do Rio de Janeiro e é cada vez mais raro encontrar salas comerciais que aproveitem a ventilação natural para fins de conforto térmico. A ventilação, muitas vezes, sequer é entendida como uma alternativa para o caso de falta de energia ou para dissipar à noite as cargas térmicas acumuladas durante o dia. Uma evidência disto é detectada na substituição de janelas operáveis por modelos fixos, como visto no caso do Ed. Castelo.

Reconhecem-se as limitações impostas pelo padrão de ocupação do centro da cidade, resultante do uso adensado dos lotes, da verticalização dos edifícios e da justaposição dos imóveis. Compreende-se também a inviabilidade do uso da ventilação natural em casos onde a poluição sonora e atmosférica são problemas recorrentes. Por outro lado, verifica-se que o uso do ar-condicionado é feito de forma indiscriminada e generalizada, sem um estudo prévio que verifique se há potencial de ventilação natural no edifício considerando os efeitos de seu entorno na captação do vento.

Conforme atestado por Lacerda (2014), há casos em que a simples mudança do layout e da tipologia de esquadria é capaz de viabilizar a ventilação natural em um edifício situado em contexto urbano. A incerteza sobre a eficiência deste sistema passivo é que gera, em muitos casos, seu abandono.

Por outro lado, convém reconhecer como o agrupamento de pequenas salas comerciais para criar espaços corporativos mais amplos tem possibilitado a substituição de sistemas de resfriamento individuais – aparelhos de “janela” ou split – por coletivos. A modernização dos equipamentos tem possibilitado não só reduzir o consumo energético dos edifícios, mas também eliminar a poluição visual gerada por instalações improvisadas e posicionamentos não-padronizados dos aparelhos de ar-condicionado (Figura 28). Assim, a implementação de sistemas centrais modernos vem viabilizando a recuperação, quando desejada, das características originais da fachada.

No que concerne estritamente às transformações formais da envoltória, observa-se nas imagens de antes e depois da reabilitação que parte das intervenções respeita as características originais do envelope, realizando apenas algumas substituições discretas de componentes e a recuperação de revestimentos deteriorados. Entretanto, verifica-se que algumas reabilitações modificam a materialidade e a linguagem formal do envelope, como nos edifícios Rio Branco 115 (Figura 24), RB12 (Figura 25) e Portugal (Figura 27). Nestes casos, o passado das edificações é parcialmente apagado para conferir uma imagem de “modernidade” a suas fachadas, de forma a alinhar o edifício aos valores culturais presentes.



Figura 28 – Poluição visual nas fachadas gerada pelos aparelhos de ar-condicionado.
Fonte: a autora.

No caso do edifício RB12, ressalta-se ainda o caráter irreversível de certas soluções adotadas, como na substituição do sistema de caixilho e a adição de um número significativo de novos elementos, como o *brise soleil*, as jardineiras e o vidro em zigue-zague.

2.4. Conclusões do capítulo

O presente capítulo apresentou um estado-da-arte da ventilação natural no contexto da reabilitação de edifícios, procurando identificar avanços, lacunas, desafios e potencialidade sobre o tema no cenário internacional e nacional.

Verificou-se que países da Europa, Ásia e América do Norte vêm destinando amplos investimentos a pesquisas e práticas na reabilitação de seu parque edificado, tendo como um dos principais objetivos a redução de sua demanda energética. Para alcançar metas cada vez mais ambiciosas, diversas instituições de pesquisa vêm estabelecendo parcerias com o intuito de elaborar programas centrados no desenvolvimento, análise de desempenho e aplicação de estratégias passivas aos edifícios existentes. Os sistemas de ventilação têm sido um dos principais alvos destas discussões.

Dentre as estratégias mais exploradas, destacam-se os sistemas de ventilação híbrida e a ventilação noturna.

A ventilação híbrida tem como vantagem a possibilidade de compensar as limitações da ventilação natural e ao mesmo tempo evitar o desperdício de energia gerado pelo uso exclusivo dos sistemas mecânicos de aquecimento e resfriamento. Trata-se de aproveitar igualmente os benefícios dos sistemas passivos e ativos a fim de assegurar o conforto térmico, saúde e produtividade dos ocupantes com o uso racional da energia elétrica.

No caso de edifícios situados no contexto urbano, verifica-se que os sistemas de controle automatizado de temperatura do ar, CO₂, ruído e intempéries podem identificar oportunidades para o aproveitamento da ventilação natural, evitando-se que o descrédito dos ocupantes quanto às restrições do meio urbano leve ao uso exclusivo dos sistemas mecânicos.

A ventilação noturna também se revela uma estratégia eficiente para renovar o ar interno e dissipar as cargas térmicas absorvidas ao longo do dia. Verifica-se que sua eficiência é incrementada quando os revestimentos são removidos, deixando a massa térmica interior exposta para intensificar as trocas térmicas com o ar circulante.

Pesquisas apontaram como principal desafio da ventilação noturna garantir a segurança do imóvel e proteção contra insetos e chuva. No entanto, conforme observado em alguns exemplos apresentados, elementos como grelhas podem resolver esta questão.

Convém ressaltar a conveniência desta estratégia para edificações que geralmente não são ocupadas durante a noite, como escolas e edifícios de escritórios, uma vez que a poluição sonora e atmosférica do meio exterior não são impeditivos para uso da ventilação.

Nota-se que várias das pesquisas realizadas têm em comum o entendimento do edifício como um sistema, em que o desempenho das partes concorre para a eficiência do todo. Neste sentido, indicam que, para garantir a eficiência dos sistemas de ventilação, é imprescindível reduzir o aporte solar no envelope e as cargas térmicas internas.

A despeito dos inúmeros avanços alcançados pelas pesquisas internacionais, observa-se a necessidade de aprimorar os sistemas estudados de forma a obter uma maior satisfação dos usuários em termos de conforto térmico e qualidade do ar.

Verifica-se também que a maioria dos projetos pilotos realizados nestas pesquisas envolve edifícios situados em campo livre ou áreas residenciais, onde há uma maior permeabilidade ao vento e pouca recorrência de poluição sonora e atmosférica. Assim, destaca-se como lacuna a ser explorada o desenvolvimento de soluções inovadoras adequadas à ventilação em edificações situadas em meios urbanos densos, que considere todas as limitações intrínsecas a este contexto.

Em comparação ao cenário internacional, é notório que o Brasil ainda está dando seus primeiros passos no estudo da ventilação natural voltada para o parque edificado. Além disso, observa-se a carência de parcerias do país com instituições estrangeiras ou mesmo entre os estados brasileiros, o que faz com que as pesquisas não alcancem a abrangência e repercussão observada em outros continentes.

No país, grande parte dos trabalhos sobre ventilação natural está voltado para as edificações novas, que, como visto, representam apenas 2% do parque edificado. Ainda assim,

reconhece-se que algumas delas tangenciam o universo das reabilitações e podem ser adaptadas em menor ou maior escala para o caso da reabilitação.

Ressalta-se a discussão florescente sobre o potencial de ventilação em edifícios corporativos, como sugerido por Figueiredo (2007), Marcondes (2004, 2010) e Lacerda (2014). Em contrapartida, o uso generalizado dos sistemas de ar-condicionado tanto na construção de novos edifícios de escritórios como na reabilitação dos existentes revela que as pesquisas e a prática estão seguindo direções opostas.

O descaso com a ventilação natural pode ser justificado por muitos aspectos, como a carência de normas e regulamentos que estimulem a adoção desta estratégia, as exigências impostas pela classificação do padrão de qualidade dos espaços corporativos, a descrença dos projetistas quanto a eficiência da ventilação natural, e a importação de modelos internacionais de edifícios de escritório, caracterizados por envelopes selados e pela desconexão entre ambiente construído e meio externo.

Diante deste cenário, evidencia-se a importância em investir em pesquisas no país sobre ventilação natural, voltadas sobretudo para edifícios existentes situados em meio urbano.

Tendo em vista o papel do envelope na captação dos ventos, é imprescindível incluir nesta discussão como as intervenções podem ser realizadas no edifício de forma a conciliar o alto desempenho energético e ambiental com o equilíbrio entre seu passado, presente e futuro. Esta visão holística se revela crucial se considerarmos a transfiguração das fachadas observada nas intervenções recentes em edifícios de São Paulo e Rio de Janeiro.

CAPÍTULO 03 – A VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS SITUADOS EM MEIOS URBANOS DENSOS

Objetivos e estrutura do capítulo

Este capítulo tem por objetivo evidenciar os desafios e potencialidades da ventilação natural em meios urbanos densos. São apresentados resultados e comentários de diversos autores sobre a ventilação em meio urbano, procurando, ao longo do texto, enfatizar a não regularidade do comportamento dos ventos e reforçar a necessidade de um diagnóstico aprofundado que considere as especificidades de cada caso.

O capítulo encontra-se estruturado em três partes.

Inicialmente, são citados os efeitos do adensamento urbano na qualidade ambiental das cidades, destacando a ventilação natural como sendo um dos diversos aspectos que influenciam no desempenho termoenergético do parque edificado.

Em seguida, dá-se enfoque às complexidades inerentes à circulação dos ventos em meios urbanos, onde se ressalta como o adensamento de uma área pode desencadear novas interações entre obstáculos que podem comprometer ou beneficiar a captação dos ventos pelos edifícios.

Por fim, são abordadas as vantagens e inconvenientes de algumas soluções arquitetônicas no favorecimento do uso da ventilação natural em edifícios de escritórios, com base nas restrições impostas pelo contexto urbano.

3.1. Os efeitos do adensamento na qualidade ambiental das cidades

Nos últimos 60 anos, verificou-se um apreciável aumento populacional nas cidades. Até 1950, cerca de 200 milhões de habitantes do planeta viviam em meio urbano. No final do século XX, este número saltou para 3 bilhões, e estima-se que até 2030, a população citadina chegue a 5 bilhões (UNFPA, 2015).

No Brasil, em algumas áreas da cidade, o crescimento ocorreu de modo descontrolado, caracterizado pela autoconstrução, pela carência de infraestrutura e pela degradação de áreas verdes. Em outras áreas, foi regido pela legislação de uso e ocupação do solo, num processo contínuo de modificações da taxa de ocupação, do índice de aproveitamento do terreno e do gabarito das edificações (LEITE; FROTA, 2012). Independentemente do grau de ordenamento que o conduziu, o crescimento urbano resultou em novas morfologias e num desequilíbrio entre o ambiente natural e construído.

Muitos pesquisadores consideram que o adensamento das cidades tem contribuído para a redução considerável da qualidade ambiental dos espaços urbanos, o que influencia sobretudo no desempenho de seu parque edificado.

Marins (2010) ressalta a formação de ilhas de calor, decorrentes da baixa permeabilidade do solo e redução das áreas verdes, da alta absorção dos revestimentos de vias e fachadas, do aumento do calor antropogênico e da dificuldade de sua dissipação devido às particularidades de certas geometrias urbanas. Santamouris et al (2001) evidenciam que a diferença de temperatura do ar entre áreas rurais e urbanas densas pode chegar a 15°C.

Vardoulakis et al (2003) e Nicol e Wilson (2004) atestam que a intensificação do tráfego de veículos e de pessoas decorrentes do crescimento populacional acarreta no aumento expressivo da poluição atmosférica e sonora. A poluição do ar muitas vezes intensifica o fenômeno da ilha de calor ao formar uma camada que dificulta a dissipação do aporte solar (SANTAMOURIS et al, 2001).

Gonçalves et al (2011) alertam que a justaposição de edifícios formando grandes paredes reduz a permeabilidade do tecido urbano, o que além de prejudicar o conforto térmico, pode comprometer a qualidade do ar e a iluminação natural nos espaços internos.

Prata (2005), Leite (2008) e Leite e Frota (2012) apresentam casos em que a verticalização do tecido urbano influencia nos ventos em torno das edificações, ao reduzir a velocidade de escoamento e ampliar as áreas de estagnação, sobretudo na região à sotavento do agrupamento.

Ng (2010) e Fontenelle, Lorente e Bastos (2015) ressaltam a recorrente redução da

velocidade do ar ao nível do pedestre, bem como do diferencial de pressão entre fachadas, quando cresce a densidade de ocupação. Santamouris et al (2001) atestam que em determinadas áreas, a velocidade do ar pode ser reduzida em até 10 vezes.

Zhang et al (2014) evidenciam os efeitos decorrentes da redução das áreas verdes da cidade no consumo energético do parque edificado. Ressalta-se que o aumento da exposição das superfícies à radiação solar e a redução do calor absorvido pela evapotranspiração têm ocasionado o incremento do uso de sistemas mecânicos para propiciar conforto térmico para os usuários das edificações.

Martins et al (2014) analisam a influência da verticalização no sombreamento da cobertura exposta à radiação solar para explorar a energia fotovoltaica. Verifica-se que uma elevada heterogeneidade na altura dos edifícios tende a reduzir o potencial de produção de energia pelas superfícies horizontais.

Evidentemente, nem todas as transformações pelas quais passa o espaço urbano são necessariamente problemáticas.

Certas mudanças no sistema viário, como a restrição de circulação de veículos pesados e de carros particulares ou a transformação de vias de tráfego intenso em vias de pedestre (como observado em Nova Iorque, Amsterdã e Copenhague) contribuem para a redução da emissão de gases poluentes e do ruído nas grandes cidades. Benefícios semelhantes podem ser obtidos mediante a implementação de meios de transporte mais silenciosos e menos impactantes ao meio ambiente, como o metrô, o Veículo Leve sobre Trilho (VLT), a bicicleta e o carro elétrico. As transformações de uso de uma área também são capazes de reduzir fluxos e, conseqüentemente, torná-las mais tranquilas e ambientalmente sujeitas a externalidades.

A própria legislação urbana, por vezes, torna-se mais restritiva, o que pode minimizar transformações indesejáveis nas cidades. Mesmo em casos em que os regulamentos desencadeiam o aumento do gabarito de algumas edificações, há possibilidade de um novo edifício redirecionar os ventos ou incrementar sua intensidade, melhorando a captação do mesmo por uma dada edificação.

Da mesma forma, se a verticalização de um bairro possibilita reduzir a taxa de ocupação do solo, e, assim criar um maior espaçamento entre as edificações, é possível que haja um incremento da permeabilidade do tecido urbano, o que favorece a ventilação natural (LEITE, 2010; LEITE; FROTA, 2012).

Mello (2012) e Leite (2015) avaliam os benefícios gerados pela verticalização na redução da incidência solar sobre as fachadas. Em clima quente e úmido, o sombreamento dos edifícios pode reduzir a demanda energética para uso do ar condicionado sobretudo nos pavimentos

inferiores.

Emmanuel et al (2007) reforçam que a verticalização pode favorecer o fenômeno de “ilha de frescor”, ao reduzir significativamente a temperatura do ar dentro de cânions urbanos. Tendo em vista que a altura solar é elevada nos trópicos, os ganhos são mais perceptíveis em cânions de eixo norte-sul, pois os sombreamentos obtidos no início da manhã e fim da tarde são mais expressivos.

Mello (2012) afirma que as proteções solares, orientações e percentual de abertura nas fachadas tornam-se parâmetros indiferentes no desempenho ambiental de edifícios constantemente sombreados por obstáculos próximos. Nestes casos, os prejuízos no desempenho lumínico são minimizados pela reflexão da luz pelas fachadas dos edifícios vizinhos (MELLO, 2012) ou pela heterogeneidade de altura entre eles (NG, WONG, 2004).

Para identificar se as transformações sofridas pelo entorno favorecem ou prejudicam o desempenho ambiental de um dado edifício, é imprescindível que se realize um diagnóstico detalhado considerando as particularidades de cada caso. Como visto, são numerosos os efeitos antagônicos provocados por uma mesma modificação do meio urbano. Se por um lado, a grande proximidade entre edifícios pode reduzir a permeabilidade aos ventos, dificultar a dissipação de ruído, calor e poluentes e o acesso à luz natural, por outro, tende a minimizar os ganhos térmicos pelo sombreamento do envelope e reduzir significativamente o consumo energético do parque edificado. Trata-se, portanto, de uma problemática complexa e abrangente, em que muitos fatores devem ser balanceados para incrementar o desempenho do ambiente construído.

A fim de solucionar em sua totalidade um problema desta magnitude, é importante dominar suas partes. Os tópicos a seguir concentram-se nos efeitos do crescimento urbano sobre o escoamento dos ventos em volta dos edifícios. Dentro deste recorte, destaca-se como a produção de novas morfologias urbanas ao longo do tempo pode transformar a circulação dos ventos, ressaltando não só os prejuízos, mas também os benefícios decorrentes deste processo.

3.2. Do edifício isolado ao agrupamento: mudanças no escoamento do ar

Quando um edifício é construído em uma área isolada, o escoamento do ar original é significativamente alterado em termos de direção e intensidade (OKE, 1987; BLOCKEN, CARMELIET, 2004; TOMINAGA et al, 2004; AHMAD et al, 2005; WANG et al, 2012).

Conforme ilustra a Figura 29, quando o vento se aproxima de um obstáculo alto com formato de prisma, um campo de pressão positiva é formado na sua superfície barlavento, criando

uma área de estagnação em um ponto localizado a aproximadamente 70% da altura do edifício (BLOCKEN; CARMELIET, 2004). A partir deste ponto, o escoamento é desviado para o topo (3), para os lados (4) e para baixo (5).

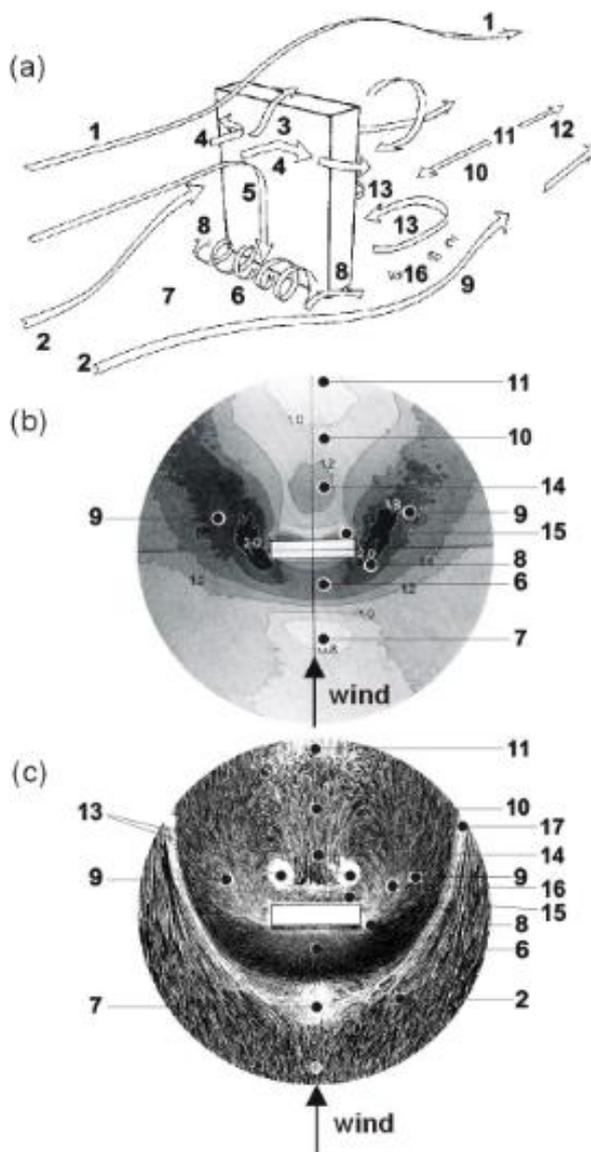


Figura 29 – O escoamento do ar no entorno de um edifício isolado: (a) perspectiva; (b) e (c) vista de topo. Fonte: Blocken e Carmeliet (2004).

Quando se aproxima do solo, o fluxo forma vórtices e tende a perder intensidade (6). Já quando encontra as arestas laterais e superiores, o escoamento tende a descolar das superfícies do obstáculo e a velocidade é bruscamente incrementada (8).

Próximo às superfícies laterais e na zona posterior ao edifício, uma área de baixa pressão é formada. Como resultado, o fluxo tem sua velocidade reduzida e é composto por vórtices (13). Após ultrapassar esta zona de esteira, o escoamento tende a recuperar progressivamente sua intensidade e direção original (14, 10 e 11).

A depender da orientação, altura e forma do obstáculo, o escoamento no entorno de um edifício isolado apresenta algumas variações, sobretudo quanto à extensão e altura da zona de esteira. No entanto, alguns efeitos são sempre esperados: a formação de zonas de alta e baixa pressão e uma área de turbulência e estagnação a sotavento.

O escoamento dos ventos através de um agrupamento de edifícios é bem menos previsível que em volta de um edifício isolado, pois depende das interações dos escoamentos que ocorrem em torno dos obstáculos. Estas interações variam em função de uma série de características morfológicas do arranjo, como orientação, forma dos edifícios, taxa de ocupação do solo, permeabilidade, variação de altura dos obstáculos e arranjo dos edifícios no espaço (BLOCKEN; CARMELIET, 2004; LEE, WONG, 2014).

Para exemplificar a complexidade gerada por estas interações, a Figura 30 ilustra uma situação em que três edifícios são implantados de forma escalonada, com as fachadas mais largas perpendiculares à direção dominante dos ventos. Observa-se que, ao se aproximar dos edifícios, o vento tende a contorná-los, e o fluxo que descola da aresta lateral invade a zona de esteira do vizinho, ocasionando um curto-circuito entre áreas de alta e baixa pressão (BLOCKEN; CARMELIET, 2004). Enquanto que para um edifício isolado, a região sotavento é caracterizada pela estagnação, no caso deste agrupamento, verifica-se uma mudança na direção dos ventos e um incremento considerável da velocidade ocasionado pelo afinilamento entre edifícios.

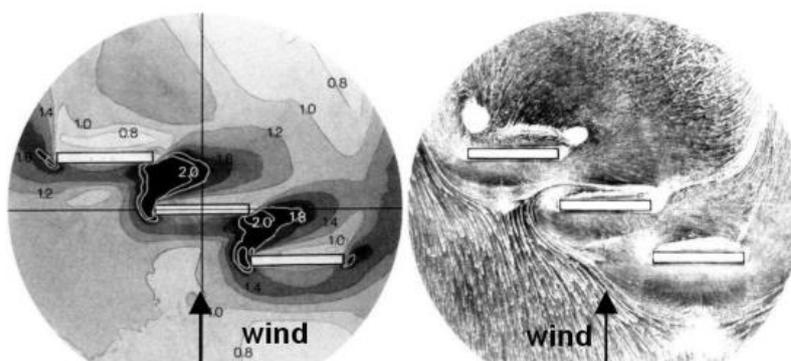


Figura 30 – Ação dos ventos sobre um agrupamento de edifícios dispostos no espaço de forma escalonada. Fonte: Blocken e Carmeliet (2004).

Lee, Hussain e Solliman (1980) e Oke (1987) descrevem três regimes distintos de vento observados entre dois edifícios próximos, considerando o escoamento perpendicular ao eixo da via conformada entre eles: o escoamento de rugosidade isolada (*isolated roughness flow*), o escoamento com interferência de esteira (*wake interference flow*) e o escoamento com vórtices localizados (*skimming flow*) (Figura 31).

A principal diferença entre eles reside no nível de interação entre os fluxos ao redor dos

obstáculos, o que é decorrente de dois fatores principais: a razão de aspecto – quociente entre a altura média (H) dos obstáculos que delimitam a via e o espaçamento entre eles (W) – e a razão entre comprimento (L) e altura média do conjunto de edifícios.

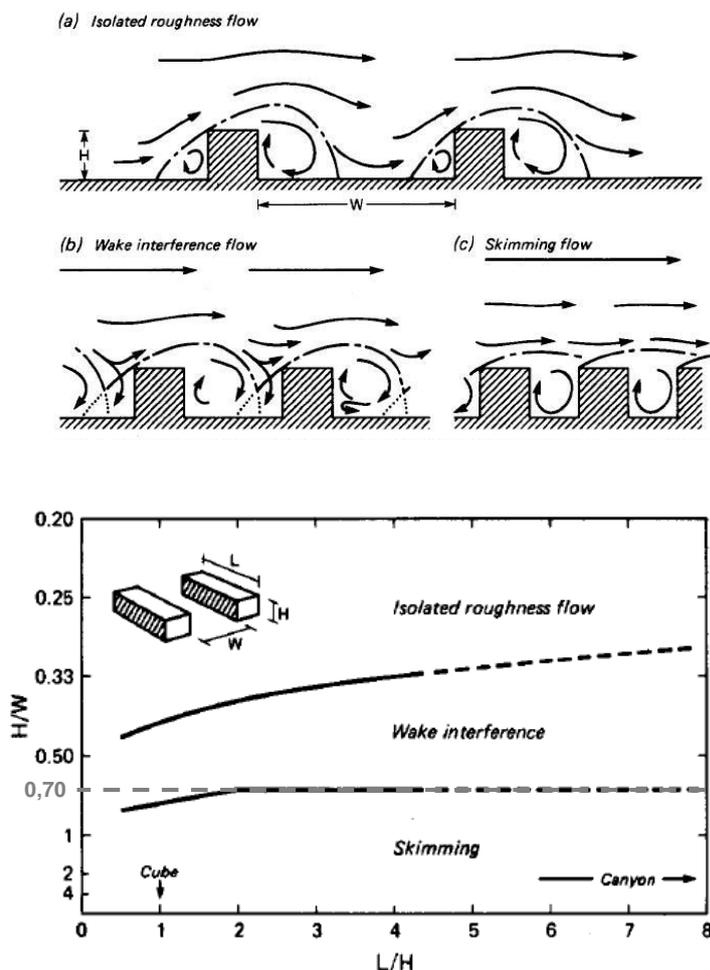


Figura 31 – Padrões de escoamento do ar para diferentes espaçamentos entre edifícios.
Fonte: Oke (1987)

No escoamento de rugosidade isolada, o fluxo ocorre como se os edifícios estivessem isolados, pois, em decorrência do amplo distanciamento entre obstáculos, as zonas de esteira e deformação não interagem entre si.

Já no escoamento com interferência de esteira, o reduzido espaçamento entre obstáculos restringe o desenvolvimento completo dos fluxos em torno dos obstáculos, o que resulta na sobreposição dos mesmos e aumento dos vórtices.

No escoamento com vórtices localizados, o fluxo que descola no topo do edifício a barlavento não consegue retornar ao solo à sotavento devido a grande proximidade entre obstáculos. Assim, formam-se vórtices mais complexos e menos intensos entre eles. Este padrão de escoamento é comum em cânions urbanos, uma morfologia bastante recorrente em centros urbanos densos onde a razão de aspecto (H/W) é maior ou igual a 0,7 (OKE, 1987).

Estas e outras descrições simplificadas de padrões de escoamento em meio urbano, apesar de úteis para uma compreensão inicial dos efeitos de determinados parâmetros isolados na ventilação (NG; WONG; 2005), devem ser consideradas com cautela. É preciso reconhecer que a geometria urbana é significativamente mais complexa do que algumas que servem de base para muitas pesquisas. Quando negligenciada a heterogeneidade urbana em termos de forma, altura, arranjo e espaçamento entre edifícios, pode-se chegar a conclusões imprecisas, que não representam a realidade das interações entre os ventos e os obstáculos no meio urbano.

Blocken e Carmeliet (2004) demonstram através de experimentos em túnel de vento como a diferença de altura entre edifícios resulta em um padrão de escoamento do vento distinto daquele descrito por Lee, Hussain e Solliman (1980) e Oke (1987).

Conforme se observa na Figura 32, muito embora o arranjo analisado apresente uma razão de aspecto maior que 1, o escoamento do ar entre os edifícios não segue as características do escoamento com vórtices localizados (*skimming flow*) descrito por Oke (1987). Isto porque o edifício alto redireciona para o interior do cânion o fluxo que descola do topo do edifício a barlavento e gera um vórtice de grande intensidade entre os edifícios.

Experimentos realizados por Ng e Wong (2005) corroboram as conclusões alcançadas por Blocken e Carmeliet (2004) sobre o efeito da diferença de altura no escoamento do ar entre edificações. Por meio de ensaios em túnel de vento e simulações computacionais, comparou-se o escoamento do ar em duas morfologias urbanas com igual número de edificações, a primeira caracterizada por edifícios de altura uniforme e a segunda com edifícios de altura variada (Figura 33). Em ambos os cenários, manteve-se o número de pavimentos total do agrupamento.

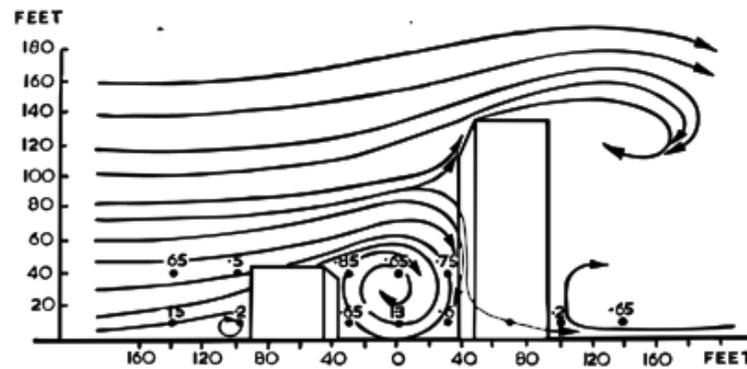
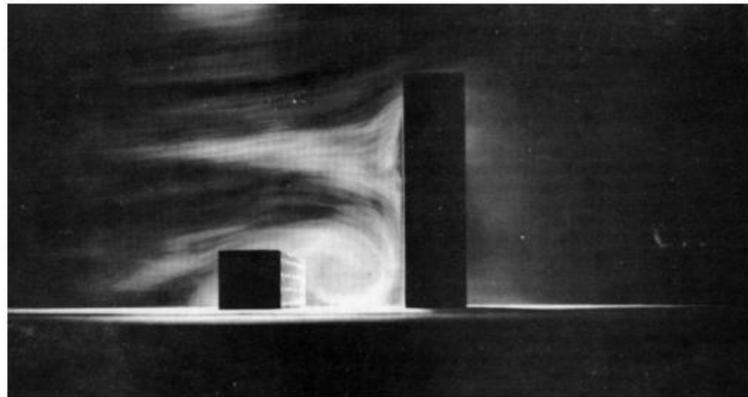


Figura 32 – O efeito da diferença de altura no escoamento do ar em cânion urbano. Fonte: Blocken e Carmeliet (2004).

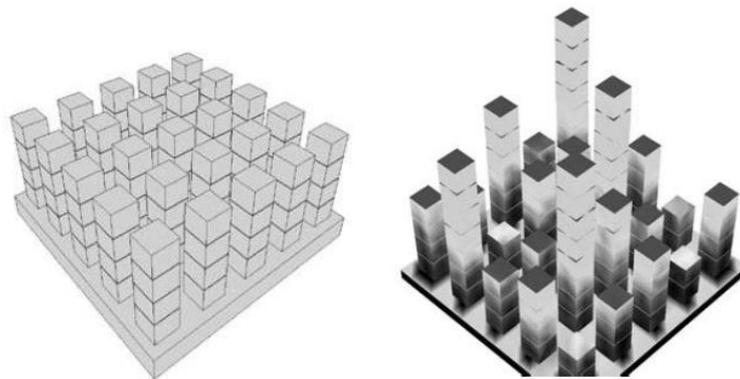


Figura 33 – Cenários de variação de altura testados por Ng e Wong (2005).

Verificou-se que o aumento da diferença de altura entre os edifícios dos dois lados da via concorre para o incremento da renovação de ar interno nos pavimentos inferiores, uma vez que os edifícios mais altos funcionam como captadores do vento (Tabela 5). A melhoria nas taxas de renovação próximo ao nível da rua varia de 35 a 70%. Ressalta-se ainda que, quanto mais elevada a razão de aspecto dos cânions – isto é, quanto menor o espaçamento entre os edifícios – mais perceptíveis são os benefícios nos pavimentos mais baixos se compararmos

os resultados das duas geometrias (Tabela 6).

Tabela 5 – Relação entre o diferencial de altura de edifícios e a renovação de ar por hora. Fonte: adaptado de Ng e Wong (2005).

Contraste de altura H_1-H_2 (m)	Diferença de altura Max:Min	Renovação do ar interno por hora²
0	4:4	10,5
3	3:6	10,8
4	3:7	11,9
6	2:8	13,8
7	2:9	11,2
8	1:9	13,3
10	1:11	13,4
10	0:10	17,9
14	0:14	17,0

Tabela 6 – Relação entre o diferencial de altura dos edifícios a renovação de ar por hora, considerando apenas os andares mais baixos. Fonte: adaptado de Ng e Wong (2005).

Razão de aspecto (H/W)	Renovação do ar interno por hora	
	Alturas uniformes	Alturas variadas
2	12,5	14,5
1	14,7	13,8
0,5	17,2	17,5

Estudos analíticos desenvolvidos por Leite (2008) reforçam os benefícios gerados pela combinação de edifícios com diferentes gabaritos no incremento da velocidade dos ventos.

Conclui-se, portanto, que não é a verticalização em si que prejudica a ventilação natural em meio urbano, mas sim o grau de uniformidade de sua configuração.

Outro fator que influencia no padrão de escoamento em cânions urbanos profundos é o espaçamento entre os edifícios que o compõem³. Corbella e Yannas (2003), Marques (2003) e Gonçalves e Bode (2015) reconhecem que manter afastamentos laterais entre os edifícios para passagem dos ventos é uma medida fundamental para uma boa ventilação urbana e podem compensar elevadas razões de aspecto dos cânions. A depender da direção dos ventos e do arranjo dos edifícios, estes recuos laterais podem incrementar a velocidade do ar decorrente dos efeitos de canalização (LEITE, 2008).

A presença de pilotis ou pavimentos intermediários vazados também contribui para aumentar a permeabilidade aos ventos, evitando a estagnação do ar típica do escoamento com vórtices localizados (*skimming flow*).

² Média da renovação de ar obtida em todos os pavimentos mais baixos, isto é, aqueles situados na metade inferior do edifício.

³ Considera-se, neste caso, a definição de cânion urbano adotada por Vardoulakis et al (2003), que desconstrói a imagem de paredão íntegro e impermeável vinculada a esta forma urbana. Segundo os autores, os cânions urbanos podem apresentar algumas “aberturas” em suas superfícies limitadoras, como terrenos desocupados e recuos laterais.

Diversas pesquisas sobre cânions urbanos atestam que a velocidade dos ventos nesta morfologia sofre um decréscimo progressivo na medida em que se aproxima do solo. Georgakis e Santamouris (2006, 2008) demonstram que a velocidade do ar próximo à via é reduzida em função da relativa independência deste fluxo em relação àquele que ocorre fora do cânion. Os autores reconhecem ainda que, somente a partir de uma determinada velocidade do ar na camada limite – que pode variar entre 1,5 m/s (DEPAUL, SHEIH, 1986; NAKAMURA, OKE, 1988), 2m/s (MCCORMICK, 1971), 4 e 5m/s (SANTAMOURIS et al, 2008) – ocorre um acoplamento entre o escoamento nos níveis mais altos do cânion e sobre ele.

Wise (1971) e Blocken e Carmeliet (2004) demonstram que o citado gradiente vertical de velocidade nem sempre acontece em meios urbanos. Os autores apresentam algumas situações em que se verifica um incremento brusco da velocidade do ar ao nível do pedestre resultante de canalizações do vento geradas por certas geometrias, o que acarreta em alguns casos em desconforto ou condições de perigo ao pedestre. Wise (1971) identificaram um aumento de até 3 a 4 vezes a velocidade observada em meio urbano. As quinas e a porção inferior da fachada a barlavento são os pontos onde este fenômeno é mais recorrente.

Um caso recente exemplifica bem este problema. A Torre 20 Fenchurch Street (também conhecida como “Walkie Talkie”), recém construída em Londres, foi apontada como responsável por gerar rajadas de vento em seu entorno imediato, resultantes de canalizações no nível da rua. Desde a finalização da obra, moradores, funcionários e transeuntes reclamam do incremento da velocidade do ar na área, que tem derrubado sinalizações e carrinhos de ambulantes, além de provocado grande desconforto aos pedestres (WEBURBANIST, 2015). O edifício se destaca na paisagem urbana pelo gabarito elevado e fachada côncava, que já foi alvo de críticas pelos londrinos, ao incrementar bruscamente a temperatura do ar em um ponto na via, em razão das reflexões radiais pelo envelope envidraçado.

Diversos autores apontam a relação inversamente proporcional entre a taxa de ocupação do solo e a velocidade do ar, reconhecendo que o adensamento de uma área geralmente reduz a permeabilidade e aumenta a rugosidade do meio (KUBOTA et al, 2008; LEITE e FROTA, 2012; HU e YOSHIE, 2013). Esta constatação é geralmente válida para geometrias urbanas complexas (Figura 34), como as estudadas por Kubota et al (2008) e Leite e Frota (2012), tendo em vista que a diversidade de formas, arranjos e alturas dos edifícios tendem a fragmentar os fluxos e reduzir sua intensidade.



Figura 34 – Geometrias urbanas complexas estudadas por Kubota et al (2008).

Por outro lado, observa-se que, em morfologias urbanas mais uniformes (Figura 35), o incremento da taxa de ocupação por vezes gera fenômenos aerodinâmicos que intensificam a ventilação natural. Hu e Yoshie (2013) e Lee e Wong (2014) atestam que, a depender da direção do vento, forma e variação de altura dos edifícios, o ar é canalizado na via, o que aumenta expressivamente a velocidade do ar mesmo em áreas adensadas.

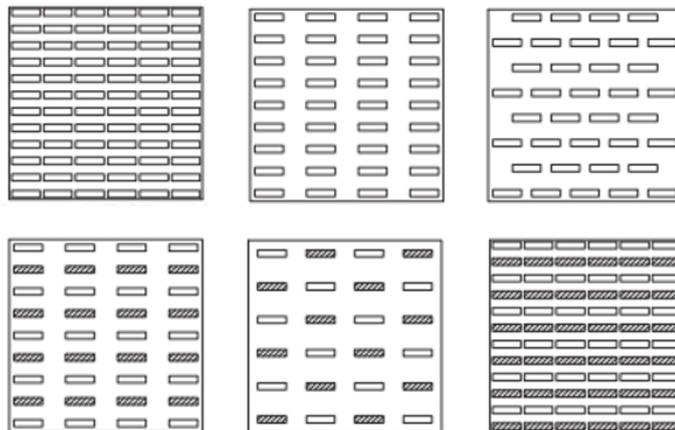


Figura 35 – Geometrias urbanas complexas estudadas por Hu e Yoshie (2013). Edifícios brancos e hachurados têm alturas diferentes.

No caso de morfologias compostas por edifícios retangulares, o aumento da velocidade com o incremento da taxa de ocupação geralmente ocorre quando os ventos incidem paralelamente ao sentido longitudinal dos edifícios (Figura 36) (LEE e WONG, 2014). Entretanto, a canalização só é observada quando os edifícios apresentam altura uniforme, uma vez que a heterogeneidade de alturas fragmenta os fluxos e enfraquece este efeito (HU e YOSHIE, 2013). O mesmo ocorre para direções oblíquas ao vento (Figura 37).

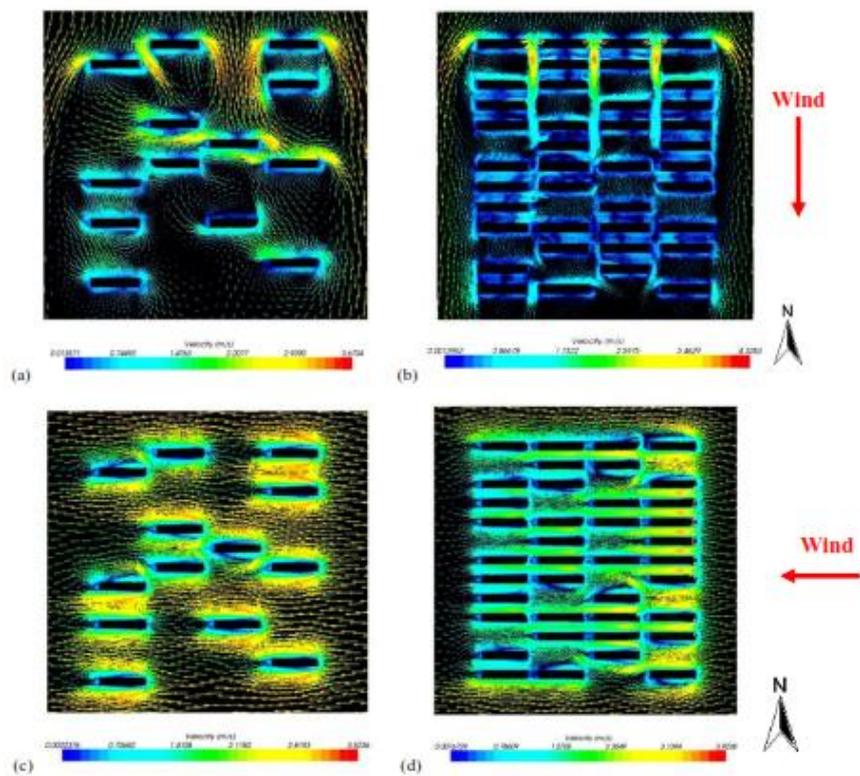


Figura 36 – Edifícios retangulares: escoamento do ar considerando diferentes taxas de ocupação do solo. Fonte: Lee e Wong (2014).

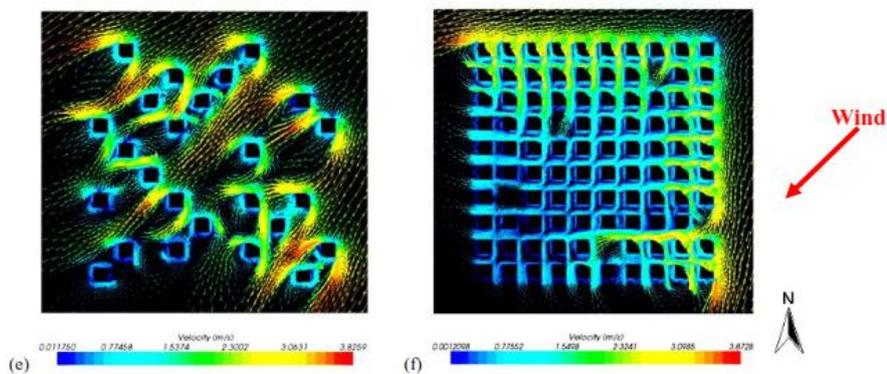


Figura 37 – Edifícios quadrados: escoamento do ar considerando vento incidindo a 45°. Fonte: Lee e Wong (2014)

Leite (2015) apresenta um estudo comparativo de 4 morfologias típicas do tecido urbano de Fortaleza (CE), com diferentes densidades construídas (Figura 38). Tendo como enfoque o impacto da forma urbana sobre a incidência dos ventos nas fachadas de quatro torres residenciais, atesta-se que nem sempre os arranjos menos densos possibilitam uma captação mais eficiente dos ventos, sobretudo se considerarmos a desigualdade com que alcançam os diferentes pavimentos.

O cenário 1 evidencia a influência exercida pela direção das correntes que, neste caso, sofrem

desvios dos únicos edifícios altos do entorno, resultando na perda da intensidade dos ventos incidentes sobre as torres. Destaca-se, ainda, como a variabilidade de altura da região barlavento do cenário 3 favorece a captação dos ventos inclusive nos andares mais baixos, o que contrasta sobremaneira com o que acontece no cenário 2.

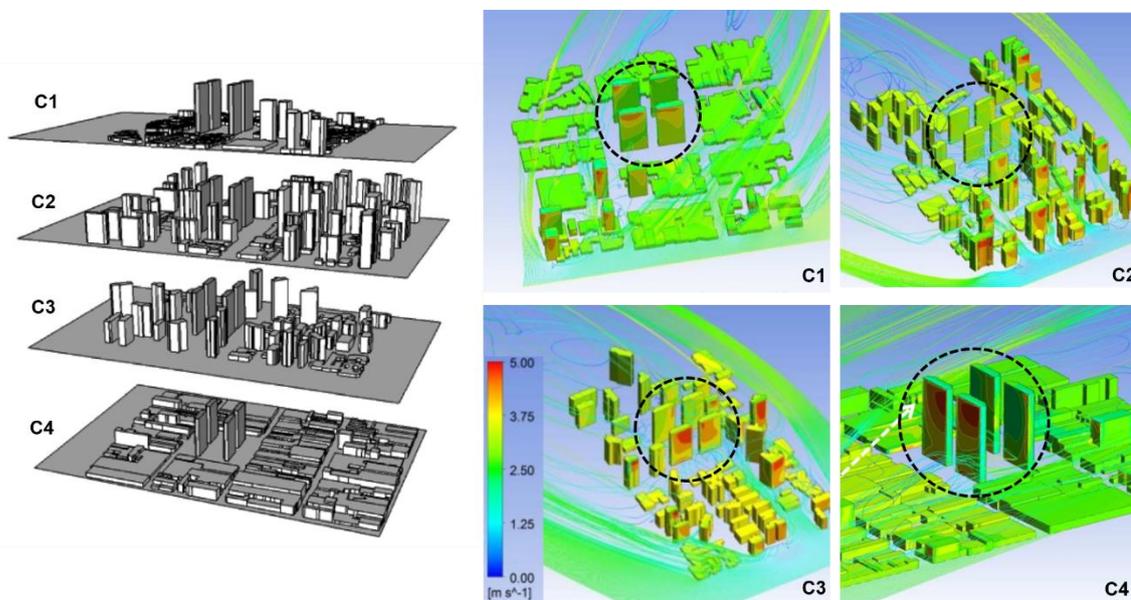


Figura 38 – Impacto de 4 cenários urbanos distintos na incidência dos ventos sobre um conjunto de torres residenciais em Fortaleza-CE. Fonte: adaptado de Leite (2015).

Convém ressaltar que as tendências identificadas pelos estudos supracitados são, em sua maioria, baseadas em velocidades médias, o que significa que, pontualmente, estes fenômenos podem apresentar variações expressivas, especialmente em morfologias urbanas complexas. Isto reforça a necessidade de analisar o potencial de ventilação natural sempre centrada em um edifício específico e não no agrupamento, uma vez que, com o adensamento de uma área, cada edificação pode ser afetada de maneira distinta.

3.3. Restrições impostas pela poluição sonora e atmosférica

Em áreas adensadas, o ruído urbano e a poluição do ar decorrentes do tráfego intenso nas vias são frequentemente apontados como aspectos que dificultam ou mesmo inviabilizam o aproveitamento da ventilação natural nas edificações (VARDOULAKIS et al, 2003; ALLARD; GHIAUS, 2005; GHIAUS et al, 2006).

A dissipação do ruído e dos poluentes está diretamente atrelada aos aspectos qualitativos e quantitativos do escoamento do ar, que por sua vez dependem das características da morfologia urbana e do tráfego.

No caso da poluição atmosférica, a orientação da via em relação à direção dominante dos ventos tem uma influência preponderante na capacidade de concentrar ou dispersar as emissões. Orientações paralelas ao vento possibilitam uma maior dispersão da poluição devido à canalização do ar, enquanto que orientações perpendiculares tendem a gerar maior concentração (ALLARD; GHIAUS, 2005; GEORGAKIS; SANTAMOURIS, 2006), sobretudo próximo à fachada à sota-vento, em decorrência da estagnação e turbulência encontrada nesta região (CHAN et al, 2001; VARDOULAKIS et al, 2003; GALLAGHER et al, 2012; HANG et al, 2012).

A assimetria do cânion urbano também influencia na concentração de poluentes. Gallaguer et al (2012) destacam que, para um escoamento perpendicular ao cânion, a melhor situação é aquela em que a altura da fachada à barlavento é maior que da fachada à sota-vento, pois, como já comentado, a primeira tende a captar o ar no topo do cânion para seu interior e a reduzir o número de partículas suspensas no ar.

Entretanto, é importante frisar que a diminuição do número de partículas somente ocorre quando o ar da camada limite for menos poluído do que o da canópia urbana. Em meios urbanos próximos a áreas industriais, por exemplo, é possível que a penetração do ar nos espaços entre edificações comprometa ainda mais a qualidade do ar interno ao cânion.

Estudos comprovam que a razão de aspecto é um parâmetro crucial na dispersão dos poluentes (OKE, 1988; VARDOULAKIS et al, 2003; GALLAGHER et al, 2012; HANG et al, 2012). Isto porque a diluição dos gases e partículas depende da taxa de troca de ar com a camada limite. Considerando um fluxo perpendicular à via, quanto maior a profundidade do cânion, menor a penetração do ar entre edifícios e menor o acoplamento entre os fluxos internos e externos ao cânion, o que impacta diretamente na qualidade do ar.

Há um consenso na literatura quanto à estratificação da poluição do ar dentro da canópia urbana. Oke (1988) e Ghiaus et al (2006) destacam que a concentração de poluentes é geralmente menor no topo do cânion, porém é maior ao nível do pedestre, pela proximidade das fontes de poluição e pela estagnação do ar nesta área.

Evidentemente, estas tendências são fortemente dependentes da direção dominante dos ventos. A maioria das pesquisas acima citadas consideram unicamente as direções do vento paralela e perpendicular ao eixo da via. A direção oblíqua gera outras interações mais complexas e imprevisíveis. Ressalta-se, especialmente, a capacidade do vento oblíquo de penetrar nos cânions e desencadear canalizações, além de incrementar a velocidade nas quinas e ao nível do pedestre, como destacado no tópico anterior. Nestes casos, rompendo-se o gradiente vertical de velocidade esperado dentro do cânion urbano, é possível também romper com a estratificação da poluição do ar.

Convém ainda ressaltar que a grande variação de altura dos edifícios, recorrente em meios urbanos, pode gerar níveis de concentração bastante distintos em uma determinada área, o que reforça mais uma vez a importância de analisar caso a caso em que nível a poluição atmosférica restringe a captação dos ventos nos edifícios.

Mesmo assim, é importante reconhecer que, como a concentração de poluentes pode variar ao longo da via e em função da altura do solo, o impacto no edifício se dá de forma variada ao longo de seu comprimento e entre pavimentos. Assim, o uso da ventilação natural pode ficar restrito a apenas algumas alas e andares, em caso de edificações de grandes dimensões.

No que diz respeito à poluição sonora, são diversos os fatores que influenciam a intensidade do ruído dentro do cânion urbano. Eles estão relacionados à fonte de ruído – número e porte dos veículos que circulam, a velocidade típica do tráfego, sua direção (1 ou 2 mãos) – e às características da morfologia urbana – largura e inclinação das vias, razão de aspecto, a presença ou ausência de sacadas e materiais das superfícies (ALLARD; GHIAUS, 2005).

Não há um consenso quanto à variação do nível de ruído urbano em relação à altura do solo. Diversos estudos realizados em cânions urbanos revelam que o nível de ruído é reduzido na medida em que há um distanciamento da fonte de ruído, ou seja, com o aumento da altura em relação à via (NICOL; WILSON, 2004; LEE; KANAPATHIPILLAI, 2011). Ng (2010) explica que a atenuação maior do ruído ocorre no topo do cânion em virtude da sua alta absorção pela camada de ar superior. Richoux et al (2010) atestam que quanto maior a frequência do som, maior sua absorção pelo topo.

Em contrapartida, algumas pesquisas apresentam casos em que o nível de ruído é maior no último pavimento do que próximo à via. Brown e Lam (1987) analisaram por meio de experimentos a incidência do ruído nas janelas do primeiro e último pavimento de edifícios residenciais situados em cânions urbanos em Hong Kong. Verificou-se que em 47% dos pontos de medição, o nível de ruído no último pavimento chega a ser de 3 a 10dB mais elevado que no primeiro pavimento, o que é explicado pelo efeito de “abrigo” gerado pela geometria dos cânions e pelas reflexões de suas superfícies.

Schultz (1979) apresenta casos em cânions urbanos de diversas metrópoles como Londres, Paris e Nova Iorque em que os andares mais altos dos edifícios estão expostos a pelo menos o mesmo nível de ruído que o detectado próximo à via, sendo que há casos em que, no topo, o nível de ruído é até maior que aquele junto à fonte sonora.

Schultz (1979) e Ingard (2008) explicam que este fenômeno ocorre devido ao aumento do ângulo de incidência do som nos andares mais altos. As perdas na transmissão do ruído são expressivamente menores para a incidência oblíqua se comparada à normal à fachada.

Ressalta-se que em cânions urbanos, a transmissão do ruído é semelhante ao de espaços

internos: o nível de ruído não é atenuado de forma significativa na medida em que se distancia da fonte sonora. A atenuação segue dois padrões típicos: uma redução de 0,5 dB ou de 2,5 dB a cada 30 metros de distância da fonte (SCHULTZ, 1979).

Destaca-se que o ruído pontual (como a passagem de um caminhão) é mais facilmente atenuado do que o ruído de fundo, sendo este o que causa maior desconforto nos andares mais altos (SCHULTZ, 1979).

A variedade de formas dos cânions e dos materiais empregados em suas superfícies também pode justificar resultados contraditórios, uma vez que tais fenômenos são resultantes da capacidade de reflexão, absorção e difração do som pelas faces do cânion. Um exemplo disso é a presença de sacadas nas fachadas dos edifícios. A depender de sua profundidade e da opacidade de seu guarda-corpo, estes elementos podem funcionar como rebatedores do som, dissipando o ruído no interior do cânion (ALLARD; GHIAUS, 2005).

Há ainda outro agravante para os andares mais altos: o tráfego aéreo. Em algumas cidades onde este é mais intenso⁴, a proximidade com o alto nível de ruído gerado por aviões e helicópteros pode gerar um desconforto acústico também no topo dos cânions urbanos.

Conclui-se que, seja para a poluição do ar ou para o ruído urbano, não é possível prever sem estudos mais aprofundados como eles se concentram, dissipam ou atenuam no sentido longitudinal e vertical do cânion. Portanto, é imprescindível analisar como estes fatores podem restringir ou modificar a forma de uso da ventilação natural no interior das edificações.

3.4. Soluções de ventilação natural para reabilitações de escritórios em meios urbanos densos

Uma vez realizado um diagnóstico aprofundado do potencial de uso da ventilação natural em um dado edifício e identificadas as limitações impostas pelo ruído, poluição atmosférica e disponibilidade dos ventos, é possível delinear diretrizes para sua reabilitação.

Recomenda-se avaliar o desempenho ambiental das soluções arquitetônicas classificando-as nas três escalas de intervenção (branda, extensa e drástica) descritas no Tópico 1.2 desta tese. A solução a ser escolhida deve conciliar o maior desempenho possível com o mínimo de adições, subtrações ou substituições.

Dentro da **escala de intervenção branda**, orienta-se avaliar a eficiência da substituição da

⁴ São Paulo, por exemplo, tem atualmente a maior frota de helicópteros do mundo (411 aeronaves), e as operações de pouso e decolagem chegam a 2.200 por dia (IG, 2013). Além disso, a cidade conta com o Aeroporto de Congonhas, incrustado num tecido urbano de alta densidade, que é o segundo aeroporto em número de vôos diários no Brasil.

tipologia das esquadrias existentes para incrementar a vazão do ar nos pavimentos não prejudicados pela poluição sonora e atmosférica e possibilitar a circulação dos ventos em períodos fora do horário de ocupação do edifício. A alteração das esquadrias pode ampliar a captação dos ventos para compensar a redução da permeabilidade do entorno sem que seja necessário modificar a proporção entre aberturas e superfícies opacas.

No que diz respeito ao incremento da vazão do ar, a tipologia mais eficiente é aquela que garante maior área efetiva de abertura para passagem dos ventos. Neste sentido, a janela pivotante (horizontal ou vertical) e de abrir tem como vantagem a abertura de 100% do vão (MASCARÓ, 1991; KENDRICK et al, 1998; YARKE, 2005).

Lacerda (2014) compara o escoamento do ar em um pavimento tipo de um edifício de escritórios situado no centro do Rio de Janeiro, variando-se a tipologia de esquadria entre projetante (maxim-ar), de correr, pivotante e fixa e projetante. A janela pivotante foi a que gerou melhores resultados em termos de distribuição e velocidade do ar. Além do extenso vão livre, o autor ressalta que esta tipologia oferece condições para redirecionar as correntes de ar seja para captar ventos que incidem nas fachadas em direção pouco favorável ou para beneficiar determinadas áreas internas.

Mascaró (1991) ressalta que as janelas pivotantes horizontais apresentam como vantagem a separação da corrente de ar frio e de ar quente, o que pode favorecer a ventilação unilateral. Gonçalves e Bode (2015) destacam ainda a possibilidade de um maior controle do fluxo de ar, possibilitando a regulação da área efetiva de abertura de acordo com as necessidades.

No entanto, se a prioridade for o uso da ventilação natural fora do horário de ocupação do edifício para dissipar o calor interno, deve-se atentar para a possibilidade de manter as janelas abertas sem comprometer a segurança dos espaços internos (KENDRICK et al, 1998). Este cuidado é especialmente válido para edifícios baixos, muito próximos ou justapostos aos edifícios vizinhos.

Kendrick et al (1998) ressaltam também a importância de proteger as janelas da chuva quando o edifício está desocupado. Esta preocupação é menos pertinente para edifícios situados em cânions urbanos profundos ou para pavimentos mais baixos, uma vez que as edificações vizinhas conformam uma barreira natural contra as intempéries.

A depender de suas dimensões e mecanismos de abertura, a janela pivotante pode atender a todos esses requisitos. Da mesma forma, a janela projetante, apesar de restringir a área de circulação do ar para 30%, também se adequa a estas limitações.

Uma solução para conjugar estas diferentes solicitações consiste em dividir a área de janela em elementos menores que possam ser operados de forma diferenciada e independente e atendam a necessidades distintas. Neste sentido, recomenda-se reservar uma das folhas para

favorecer a ventilação diurna, a qual deve estar preferencialmente na altura do usuário. Uma folha superior pode ser destinada à ventilação noturna ou higiênica ou mesmo para incrementar a vazão de ar durante a ocupação, quando necessário. Esta parte pode ser útil para manter a circulação do ar mais próxima do forro quando a intensidade dos ventos for tal que provoque o levantamento de papéis. A depender da tipologia de cada uma das partes, pode-se garantir uma distribuição mais uniforme dos ventos no espaço de trabalho.

Marcondes (2010) apresenta uma série de sugestões de desenhos de esquadrias para edifícios de escritórios com área de abertura (WWR) semelhante, indicando os benefícios de cada tipologia para diferentes orientações e profundidade de planta (Figura 39).

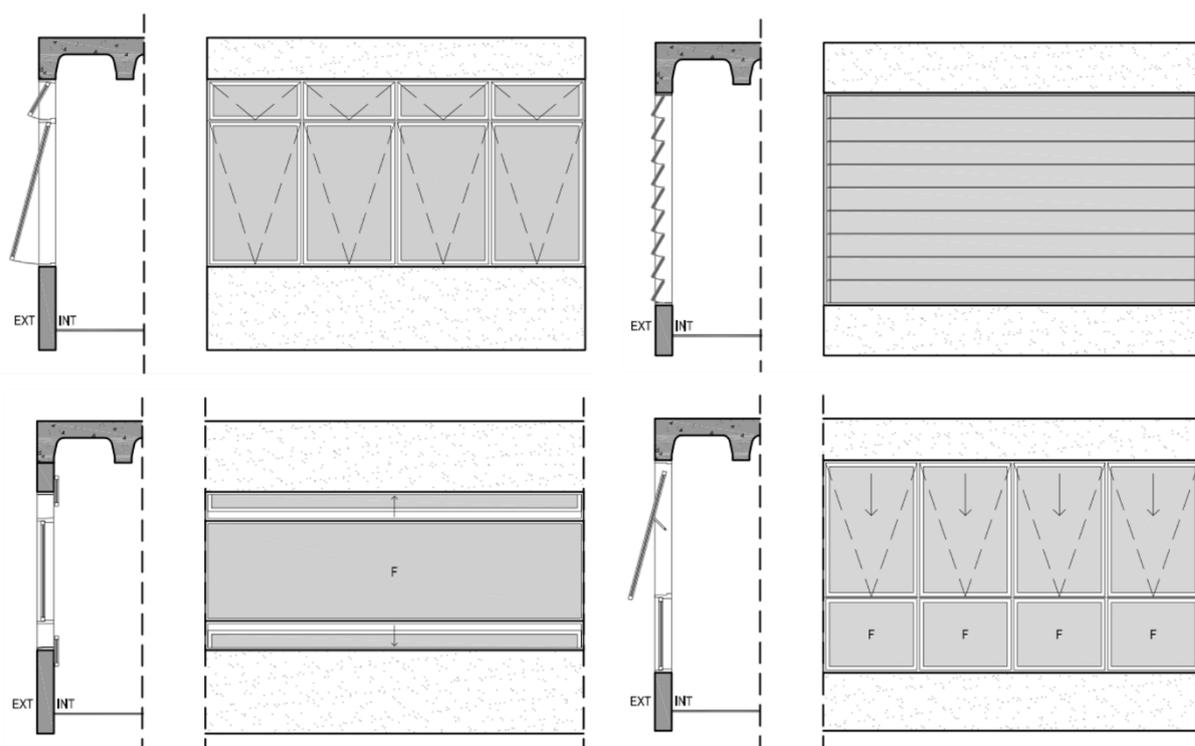


Figura 39 – Diferentes desenhos de fachada para edifícios de escritórios, vistos em corte.
 Fonte: adaptado de Marcondes (2010).

Um dos maiores desafios a ser enfrentado na substituição das esquadrias consiste em preservar ao máximo as características originais do desenho das janelas, tendo em vista que estes elementos arquitetônicos, muitas vezes, definem a identidade das fachadas. A Figura 40 ilustra em corte algumas variações de mecanismo de operação com o mesmo desenho dos caixilhos.

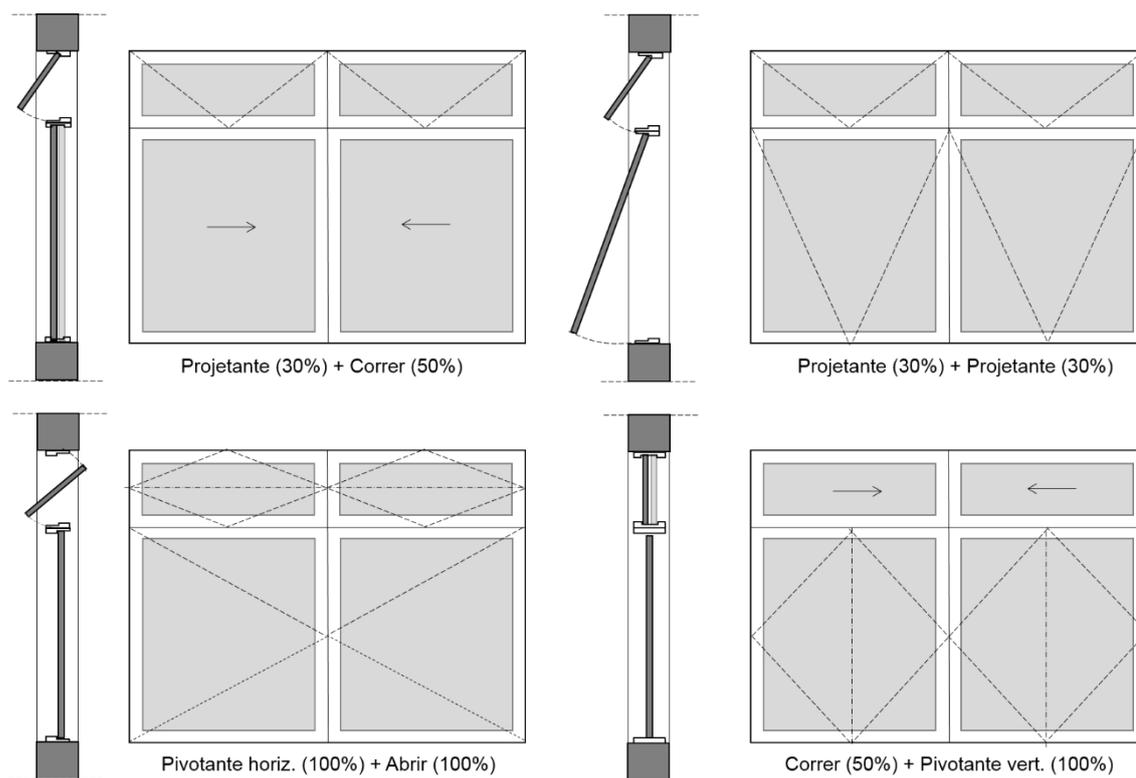


Figura 40 – Combinações de tipologias de esquadria distintas com mesmo desenho. Fonte: a autora.

Outra solução possível dentro da categoria de intervenções brandas consiste em modificar a disposição e tipo de mobiliário nos espaços internos. Em caso de planta livre, Lacerda (2014) recomenda que as divisórias entre baias não ultrapassem 0,90m de altura, de modo a garantir que os ventos circulem no nível dos ocupantes.

A geometria das estações de trabalho também influencia no escoamento do ar. Mesas em formato de L podem gerar barreiras às correntes de ar e criar vórtices próximo aos usuários, enquanto mesas lineares permitem uma incidência direta do vento nos mesmos, a depender da direção do escoamento (LACERDA, 2014).

Dentro da categoria de **intervenções extensas**, recomenda-se reduzir a compartimentação dos espaços internos para favorecer a ventilação cruzada. Esta estratégia pode exigir a demolição de paredes ou a retirada de divisórias.

Em edifícios de escritórios, o layout tipo planta livre é o mais eficiente neste sentido, em virtude da permeabilidade gerada pelos espaços integrados. O layout celular, por sua vez, gera maiores turbulências e perdas de energia, pelas mudanças sucessivas de direção do vento e pelas expansões e contrações gerada pelas barreiras internas (MASCARÓ, 1991; YARKE, 2005; MARCONDES, 2010; LACERDA, 2014).

Kendrick et al (1998) recomendam que a área compartimentada seja inferior a 30% da área do pavimento. Em caso de layout misto, deve-se evitar o posicionamento dos espaços

fechados junto às aberturas a barlavento.

No entanto, Marcondes (2010) comprova por meio de estudos analíticos que a eficiência da ventilação cruzada em planta livre revela-se como mais significativa sob condições de disponibilidade do vento (ação dos ventos). Em caso de insuficiência na incidência dos ventos sobre as fachadas (velocidade do ar igual a zero), e se o pé-direito e o posicionamento vertical das aberturas do ambiente permitir, o efeito termo-sifão torna-se predominante, o que reduz a discrepância na eficiência entre a planta livre e o layout celular, muito embora a primeira opção ainda possibilite maiores vazões de ar. Deste modo, é imprescindível analisar as informações obtidas no diagnóstico sobre o impacto do entorno na disponibilidade de vento e avaliar a relação de custo-benefício da demolição de paredes internas para este fim.

Uma solução que pode ser classificada nas categorias de **intervenção extensa e drástica**, a depender da modificação estrutural exigida, é a inclusão de torres de vento. Criados a mais de 3 mil anos no Oriente Médio, estes elementos possibilitam a captação e/ou exaustão dos ventos pelo topo do edifício (MOGHADDAM et al, 2011).

As torres de vento são estruturas com alturas de 5 a 33m que são incorporadas à cobertura dos edifícios. São particionadas internamente em um ou mais dutos que têm por função direcionar o ar para dentro e/ou fora da edificação. O número de divisões internas determina a quantidade e orientação de aberturas existentes em suas extremidades (MOGHADDAM et al, 2011).

As torres de vento funcionam tanto pela ação dos ventos como por efeito termo-sifão. A captação ocorre quando os ventos incidem sobre suas aberturas no topo e são direcionados pelos dutos até os espaços ocupados, a passo que a exaustão acontece quando o ar interior aquecido é retirado por diferencial de pressão por outro duto com abertura voltada para sotavento (Figura 41). Sua eficiência é potencializada quando se verifica uma diferença de temperatura do ar entre o meio interior e exterior. A construção das torres com material de alta absorção solar pode intensificar a exaustão do ar (HUGHES et al, 2012).

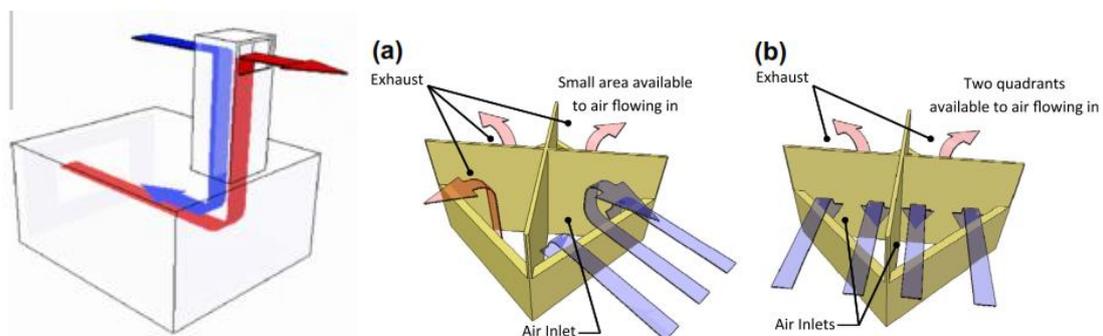


Figura 41 – Funcionamento de torres de vento com duas e quatro aberturas.
Fonte: Hughes et al (2012).

Segundo experimentos realizados por Hughes e Cheuk-Ming (2011), a ação dos ventos é a principal força condutora para o funcionamento das torres de vento, promovendo aproximadamente 76% mais vazão do ar que o efeito termo-sifão. Neste sentido, o número de aberturas para captação tem uma influência significativa na eficiência das torres, pois possibilita seu funcionamento em diferentes direções assumidas pelo vento (MONTAZERI et al, 2010). Baker (2009) indica que, para reduzir a resistência ao vento, a área da secção dos dutos deve conter de 2-5% da área do ambiente servido.

Apesar de serem características da arquitetura tradicional do Oriente Médio, nos últimos trinta anos torres de vento comerciais vêm sendo produzidas no Reino Unido para serem utilizadas em edifícios educacionais e corporativos. Elas se diferenciam dos modelos originais por serem menores, produzidas em aço e com aberturas protegidas da água da chuva por brises metálicos (Figura 42). Podem ainda conter ventiladores internos próximos à entrada de ar alimentados por energia fotovoltaica para incrementar a ventilação natural quando a velocidade do ar é reduzida (abaixo de 1 m/s) (KHAN et al, 2008; HUGHES et al, 2012).

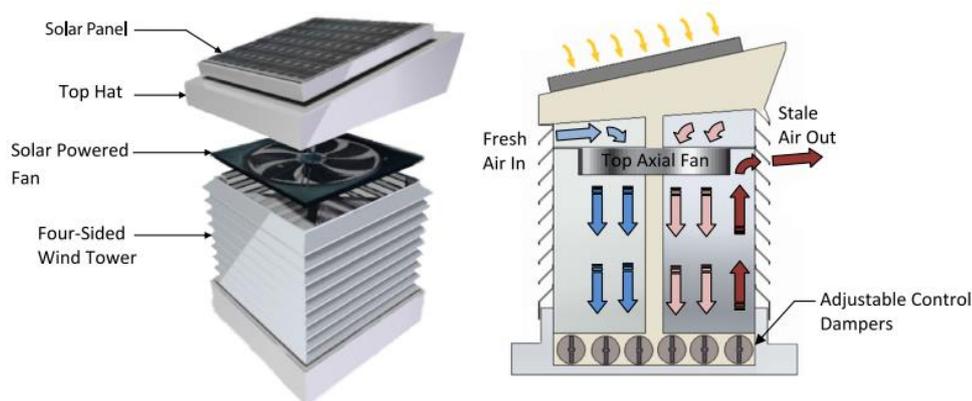


Figura 42 – Modelo de torre de vento comercial com painel fotovoltaico e ventiladores.
Fonte: Hughes et al (2012).

Uma das principais vantagens desta estratégia para a reabilitação em meios urbanos densos reside na possibilidade de captar os ventos no topo do edifício quando as condições de velocidade do ar, concentração de poluentes e ruído forem mais favoráveis nas camadas mais altas. Esta solução é especialmente desejável em casos em que a elevada profundidade do cânion urbano somada a direções dos ventos menos favoráveis desencadeiam uma estagnação dos ventos nas fachadas, exigindo-se uma alternativa para captação dos ventos.

Sua capacidade de exaustão pode ser explorada em edifícios de escritórios cujos pavimentos são ocupados por mais de uma empresa. Nestes casos em que a compartimentação da planta é inevitável, as torres de ventos podem favorecer a ventilação cruzada ao criar uma nova saída do ar. O mesmo benefício pode ser oferecido para edifícios justapostos aos vizinhos, cuja disposição da planta do pavimento tipo só permite a ventilação unilateral.

Convém ressaltar alguns inconvenientes e desafios recorrentes na adoção desta estratégia.

A instalação de um duto que conecta todos os pavimentos de um edifício demanda soluções que previnam a propagação do fogo. Uma alternativa consiste em instalar nas saídas de ar de cada pavimento venezianas móveis com acionamento automático por sensores de temperatura, fumaça e gases tóxicos, evitando que o incêndio se alastre para os pavimentos superiores.

Ressalta-se ainda que, para instalar torres de vento em um edifício existente, em muitos casos é preciso fazer adaptações drásticas em sua estrutura. Reconhece-se que nem todas as plantas são suficientemente flexíveis para a instalação deste elemento, mas quando viável, pode atender às exigências de uso da ventilação natural livrando as fachadas de qualquer alteração.

Em razão de sua altura e forma, as torres de vento podem se comportar externamente como obstáculos ao vento. Conseqüentemente, tendem a aumentar a zona de esteira, a turbulência e altura da camada limite, podendo prejudicar a ventilação nos edifícios vizinhos.

A eficiência das torres de vento está atrelada ao grau de obstrução gerado pelo entorno. Transformações na morfologia urbana, como a construção de um edifício mais alto próximo a abertura de captação podem reduzir sua eficiência, levando a sua obsolescência. Neste caso, os captadores com múltiplas entradas são os mais adequados, pois garantem a captação dos ventos provenientes de diversas direções, podendo funcionar mesmo quando ocorrerem desvios pelos edifícios vizinhos.

Elizalde e Mumovic (2008) apresentam um dos raros experimentos que analisam a eficiência das torres de vento em edifícios situados em meios urbanos. Os objetos de estudo consistem em dois edifícios de três pavimentos conformando um cânion urbano profundo ($H/W = 1$) com eixo perpendicular à direção dominante dos ventos (Figura 43). Sobre os edifícios são instaladas torres de vento comerciais de quatro dutos, que possibilitam a captação e exaustão do ar para todos os pavimentos. Três velocidades são testadas (1, 3 e 5 m/s) para dois cenários distintos: janelas fechadas (infiltração), analisando o efeito isolado da torre de vento, e janelas abertas, investigando o efeito combinado destes elementos.

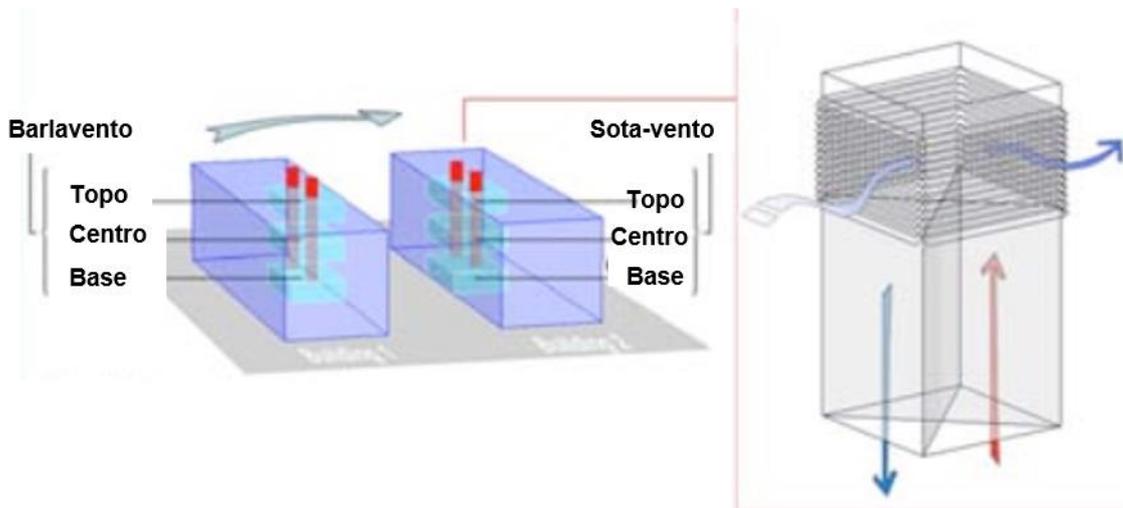


Figura 43 – Análise de desempenho de torres de vento em cânions urbanos. Fonte: Elizalde e Mumovic (2008).

Os resultados indicam que, para a condição de infiltração, quanto mais elevada a velocidade do ar externo, maior a taxa de renovação de ar do topo em relação à base do edifício (Figura 44).

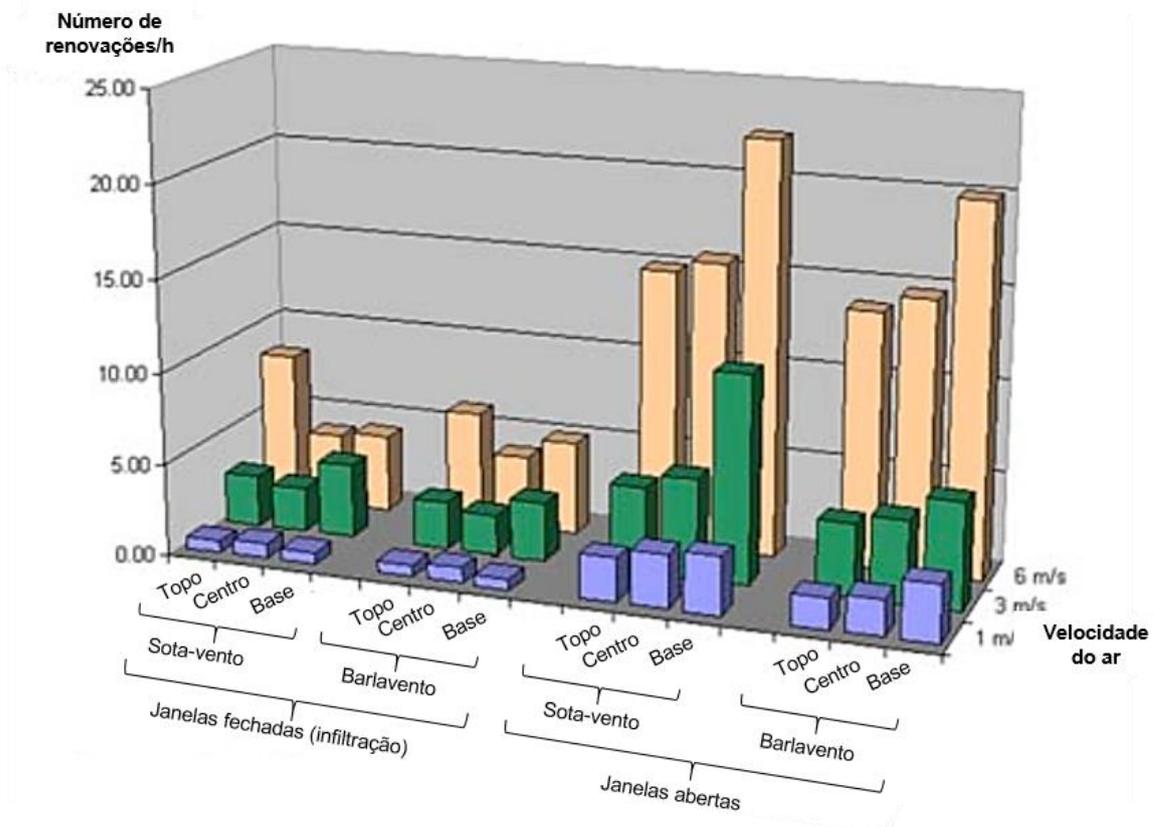


Figura 44 – Resultados apresentados por Elizalde e Mumovic (2008).

No entanto, quando as janelas permanecem abertas, a captação dos ventos pelas fachadas

aumenta a vazão do ar interno em todos os pavimentos e intensifica os efeitos de sucção, elevando a taxa de renovação do ar nos pavimentos mais baixos. Destaca-se a eficiência de captação do ar mesmo na base do cânion urbano, geralmente caracterizada pela estagnação dos ventos.

Conclui-se que a abertura das janelas laterais tem um papel crucial no desempenho das torres de vento, não só em termos de vazão de ar captado, mas também quanto aos benefícios oferecidos para os andares inferiores, os quais são geralmente os mais prejudicados em meios urbanos densos. Por outro lado, em casos de impossibilidade de abrir as janelas em razão da poluição sonora e atmosférica nos cânions urbanos, o funcionamento isolado das torres de vento poderá, no pior dos casos, possibilitar a renovação do ar dos espaços de escritórios.

Outras soluções que também tiram partido do efeito termo-sifão e podem ser classificadas na escala de intervenção drástica são o átrio e o *shaft* de ventilação. O primeiro difere do segundo por sua maior integração visual com os espaços ocupados. Quando introduzidos no centro da planta, associados ou não ao *core central* ou a uma escada interna, estes componentes podem favorecer a saída do ar quente e viabilizar a ventilação cruzada (KENDRICK et al, 1998).

Por meio de estudos analíticos com base em simulações CFD (*Computational Fluid Dynamics*) e dados experimentais, Yang et al (2014) evidenciam os benefícios da inclusão de um átrio central em um edifício de escritórios em Taiwan (Figura 45). São comparados os desempenhos de três cenários: 1) o edifício com o átrio na situação atual; 2) o edifício sem o átrio; 3) uma situação com a área do átrio reduzida à metade.

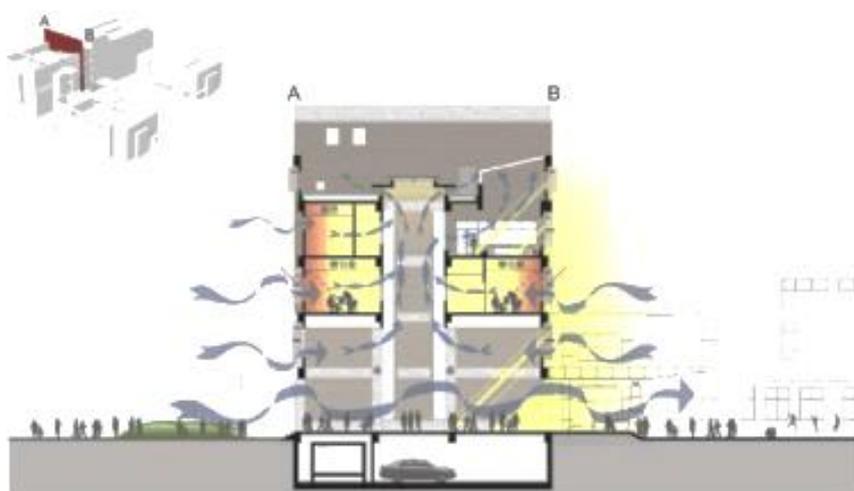


Figura 45 – Átrio no centro do Diamond-Level Green Building, em Taiwan.
Fonte: Yang et al, 2014.

Os resultados indicam que o cenário 1 oferece maiores taxas de renovação de ar e maior

percentual de horas de conforto térmico. A redução do átrio no cenário 3 gera uma queda de 13,5% na qualidade do ar, devido ao aumento da resistência à circulação dos ventos e a consequente redução das velocidades do ar. A retirada do átrio prejudica significativamente o desempenho ambiental dos escritórios.

Prajongsan e Sharples (2012) analisam o desempenho de *shafts* de ventilação em uma torre residencial em Bangkok (clima quente e úmido) onde predomina a ventilação unilateral (Figura 46). Dois cenários são comparados: 1) ausência e 2) presença do *shaft* nos fundos da sala.

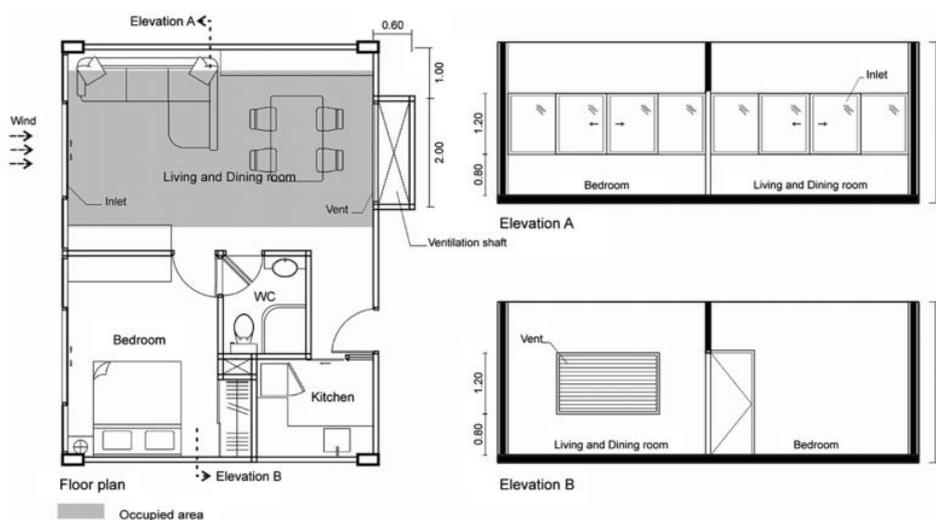


Figura 46 – Inclusão de um shaft de ventilação junto à sala de jantar. Fonte: Prajongsan e Sharples (2012)

Os resultados indicam que o cenário 2 possibilita um aumento expressivo da velocidade do ar no apartamento. Na situação sem *shaft*, a velocidade do ar interno é 1-5% maior que o externo, a passo que na situação com *shaft*, este número sobe para 60-67%.

Além disso, verifica-se uma melhora qualitativa da circulação dos ventos na sala com a inclusão deste elemento, graças a maior penetração dos ventos no ambiente, que favorece o conforto de áreas mais distantes da janela.

Estes benefícios se refletem no percentual de horas de conforto térmico nos ambientes: 37,5% na situação sem *shaft* contra 56,3% na situação com *shaft*.

Uma das vantagens de incorporar estes elementos em edifícios de meios urbanos densos reside na possibilidade de potencializar a circulação dos ventos em edifícios com aberturas voltadas para a região sotavento, condição bastante recorrente no interior de cânions urbanos. Neste caso, os benefícios não serão tão expressivos quanto aos oferecidos pela ação dos ventos (fachadas na região barlavento), no entanto, poderão garantir minimamente a qualidade do ar interno.

Convém ressaltar que o desempenho dos *shafts* e átrios é altamente dependente das

condições ambientais externas. Esta estratégia pode ser inadequada particularmente quando a temperatura do ar externa for muito elevada ou a velocidade do ar interno for insuficiente para produzir efeito de arrefecimento. Portanto, cabe investigar com mais profundidade como estes elementos se comportam em meios urbanos, uma vez que a dificuldade de dissipação de calor, característica deste contexto, pode resultar num aumento considerável das temperaturas internas do ar.

Assim como as torres de vento, os átrios e *shafts* também favorecem a propagação do fogo entre os pavimentos. No caso do átrio, a maior integração física e visual com os espaços internos exige uma solução mais robusta de vedação para isolamento dos escritórios em caso de incêndio.

Do ponto de vista da reabilitação, apesar de não alterar a fachada, reconhece-se que a inclusão de um átrio central em um edifício modifica sobremaneira suas características espaciais, por promover uma integração visual entre os pavimentos. Além disso, é um elemento que demanda uma área extensa para sua instalação. Trata-se, portanto, de uma intervenção drástica do ponto de vista arquitetônico, e só deve ser explorada quando outras alternativas forem inviáveis ou apresentarem uma eficiência operacional bem inferior.

3.5. Conclusões do capítulo

Neste capítulo, evidenciou-se como o desempenho ambiental do parque edificado está atrelado às condicionantes do meio exterior, sejam elas relacionadas aos aspectos climáticos, à forma urbana ou à qualidade ambiental resultante da urbanização.

Foram elencados diversos fatores externos que podem impactar positiva ou negativamente no conforto, saúde e bem-estar dos ocupantes: o aumento da emissão de poluentes e ruído pelo tráfego nas vias e atividades humanas, as modificações na morfologia urbana e na composição das superfícies, a redução das áreas verdes, dentre outros.

Neste sentido, reafirmou-se o papel da reabilitação em adaptar continuamente as edificações às transformações urbanas e ambientais que ocorrem em seu entorno, como uma forma de assegurar a habitabilidade dos espaços construídos para as presentes e futuras gerações.

No que tange à ventilação natural, foram destacadas como as mudanças na morfologia urbana podem alterar os fluxos de ar e impactar na incidência dos ventos sobre as fachadas. A depender de como os ventos interagem com a variedade oferecida de novos obstáculos, estas transformações podem trazer prejuízos ou mesmo benefícios para a captação dos ventos.

Dada a multiplicidade de fatores envolvidos e ao próprio caráter variável (determinístico e aleatório) dos regimes dos ventos, reconhece-se a impossibilidade de prever o potencial de ventilação de um edifício sem um diagnóstico aprofundado, apoiado em simulações computacionais e experimentos. A inclusão de outros aspectos como a poluição sonora e atmosférica torna-se imprescindível para avaliar com que objetivo a ventilação natural pode ser adotada: conforto térmico, qualidade do ar interior ou arrefecimento passivo do edifício.

Foram apresentadas seis soluções arquitetônicas passíveis de serem adotadas no processo de reabilitação para incrementar a ventilação natural nos espaços de trabalho: mudança na tipologia de esquadria, alteração da disposição e tipo de mobiliário, redução da compartimentação da planta, instalação de torres de vento e inclusão de *shafts* e átrios centrais. Tendo em vista as diferentes escalas de intervenção que demandam, recomenda-se primeiramente avaliar o desempenho das soluções mais simples e verificar se satisfazem o padrão de eficiência almejado. Aconselha-se que a solução escolhida seja aquela que ofereça um compromisso entre desempenho ambiental e preservação do patrimônio edificado.

Foram apresentadas algumas reflexões iniciais sobre as vantagens e desafios de utilizar estas estratégias em meios urbanos densos. Reforça-se a importância em aprofundar nestas investigações com aplicabilidade em contextos reais e complexos. Não obstante, não se pode negligenciar que os estudos jamais podem ser considerados conclusivos, uma vez que as soluções podem apresentar desempenhos diversos a depender do contexto urbano envolvido.

CAPÍTULO 4 – A VENTILAÇÃO NATURAL NA REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS NO CENTRO DO RIO DE JANEIRO

Objetivos e estrutura do capítulo

Este capítulo tem por objetivo apresentar um estudo de caso em que se propõe a reabilitação de um edifício de escritórios situado no centro do Rio de Janeiro, o edifício Galeria, com o intuito de implementar a ventilação natural nos espaços de trabalho. Propõe-se discutir na prática questões abordadas nos capítulos precedentes, tais como: as transformações sofridas pelo edifício e seu entorno ao longo do tempo, a importância do diagnóstico no levantamento do potencial de ventilação da edificação, as limitações impostas pelo contexto urbano denso e a complexidade de conciliar um bom desempenho ambiental com respeito ao passado, presente e futuro da edificação.

O capítulo está estruturado em quatro partes.

Inicialmente, são apresentados o objeto de estudo escolhido, detalhes do seu contexto urbano, as características construtivas do imóvel, as transformações sofridas pelo entorno imediato e pelo edifício ao longo de seu ciclo de vida e o contexto climático e ambiental em questão.

Em seguida, apresenta-se uma síntese da metodologia adotada no estudo de caso, com base em duas etapas primordiais: o Diagnóstico e o Projeto.

Parte-se então para a descrição detalhada da metodologia adotada no Diagnóstico, seguida da exposição dos resultados obtidos nesta etapa. Com base neles, inicia-se a etapa de Projeto, com a apresentação da metodologia empregada e dos resultados alcançados.

O capítulo é finalizado com as conclusões atingidas ao longo deste processo, relacionando-se a teoria e a prática.

4.1. O objeto de estudo

4.1.1. Contexto urbano

O centro do Rio de Janeiro (Figura 47) foi o contexto urbano escolhido como objeto de estudo da parte prática desta pesquisa. Esta área da cidade apresenta uma série de características que favorece uma discussão objetiva sobre as questões abordadas na parte teórica da tese. Dentre elas, ressaltam-se:

1. A alta densidade do tecido urbano do bairro, formado, em alguns trechos, por cânions profundos, de razão de aspecto entre 3 e 7.
2. A evidente variabilidade de altura entre os edifícios, gerada pela alternância de sobrados preservados e torres de múltiplos pavimentos, o que torna sua morfologia urbana bastante complexa.
3. A elevada concentração de edifícios de escritórios na área, muitos deles degradados e/ou obsoletos, que poderão ser objetos de reabilitações futuras.
4. O número crescente de reabilitações em edifícios de escritórios na área, intervenções estas que não exploraram a ventilação natural para fins de conforto térmico dos ocupantes, conforme já discutido no Capítulo 2.
5. As sucessivas transformações urbanas pelas quais a área vem passando nos últimos anos, especialmente do ponto de vista da mobilidade urbana, o que tende a modificar significativamente a qualidade ambiental do meio exterior.

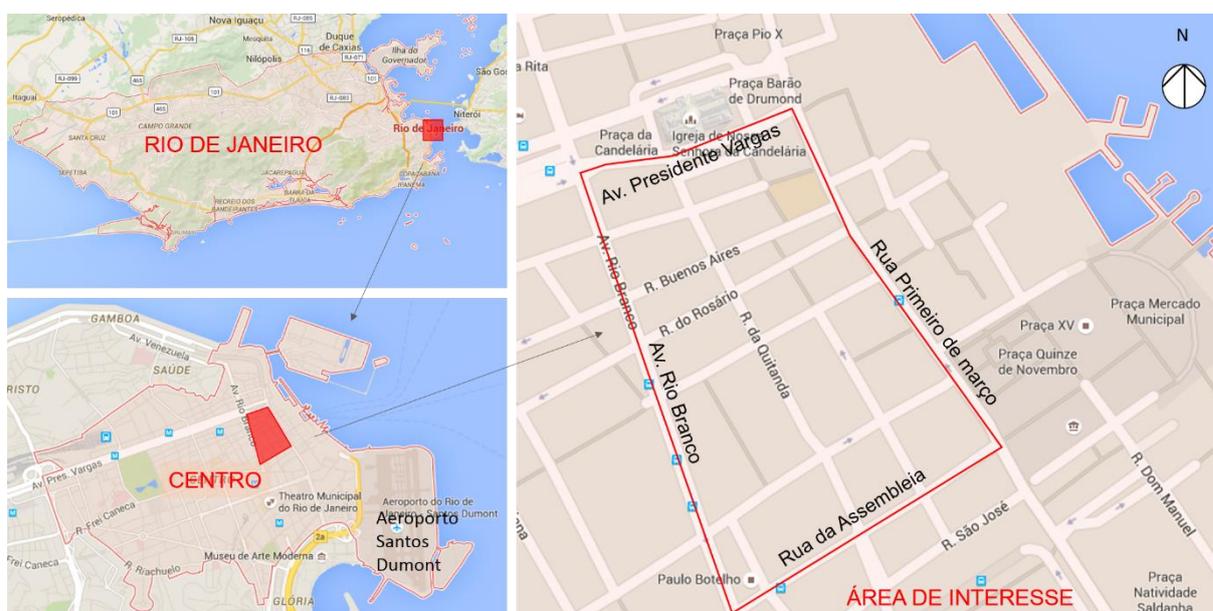


Figura 47 – Contexto urbano escolhido. Fonte: adaptado de Google (2014).

Ao longo dos anos, este bairro passou por um processo de verticalização resultante, dentre outros aspectos, das transformações na legislação urbana. Entre 1976 e 2011, o Índice de Aproveitamento do Terreno⁵ (IAT) permitido duplicou em algumas áreas no centro (Figura 48).

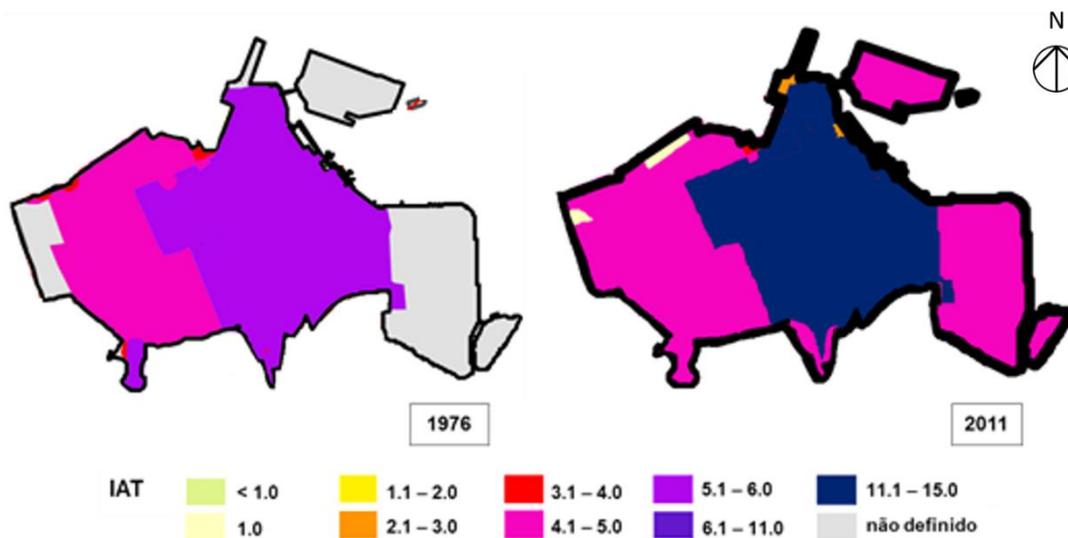


Figura 48 – Índice de Aproveitamento do Terreno (IAT) no centro do Rio de Janeiro, definido pelas legislações urbanas de 1976 e 2011. Fonte: PMRJ (2012a, 2012b).

Dentre estas áreas, destaca-se o quadrilátero delimitado pela Rua da Assembleia, Av. Rio Branco, Av. Presidente Vargas e R. Primeiro de Março, escolhido como a área a ser estudada. Esta região vem sofrendo sucessivas transformações ao longo das décadas. A Figura 49 ilustra o processo de verticalização pela qual passou a Av. Rio Branco (antiga Av. Central).



Figura 49 – Av. Rio Branco (antiga Av. Central), em 1930 e 2013. Fonte: Pinheiro (2011) e a autora.

Hoje, esta área é caracterizada pelo alto adensamento construtivo e populacional, pelo tráfego

⁵ O Índice de Aproveitamento do Terreno (IAT) é um índice urbanístico definido pela Lei de Uso e Ocupação do Solo do plano diretor de um município. Ele representa a razão entre a área construída de um edifício e a área do seu terreno.

intenso de veículos (especialmente na Av. Rio Branco, Presidentes Vargas e Primeiro de Março) e pela elevada concentração de torres corporativas (Figura 50).



Figura 50 – Tráfego intenso na R. Primeiro de Março e cânions urbanos na rua do Ouvidor. Fonte: a autora.

Ressalta-se ainda a reestruturação do trânsito que vem sendo realizada na Av. Rio Branco desde 2014. Parte da circulação antes realizada por ônibus, táxis e veículos particulares será em breve substituída pelo Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), um meio de transporte elétrico. Esta mudança poderá contribuir para a redução do ruído e poluição atmosférica na área e favorecer o uso da ventilação natural em algumas de suas edificações.

4.1.2. Contexto climático e ambiental

A cidade do Rio de Janeiro (22°54' S / 43°12' O) apresenta clima tropical quente-úmido, caracterizado por temperaturas médias máximas entre 25°C e 30,2°C, temperaturas médias mínimas entre 18,4°C e 23,5°C e umidade relativa média do ar entre 77% e 80%.

A carta bioclimática da cidade indica que 65% das horas do ano são caracterizadas pelo desconforto, das quais 60% são decorrentes de altas temperaturas do ar combinadas a uma elevada umidade relativa do ar (LABEEE, 2010).

A ventilação natural é considerada uma estratégia bioclimática eficiente para 57% das horas do ano na cidade (LABEEE, 2010).

Segundo dados meteorológicos anuais do Aeroporto Santos Dumont⁶, localizado próximo à área de estudo, o vento dominante no centro da cidade é proveniente de Sudeste (azimute 160°) e alcança uma velocidade média de 5m/s a 10 m do solo. Esta direção é mais frequente no período da tarde em todas as estações do ano (ver ANEXO A). Pela manhã, o vento incide

⁶ Para compor as rosas dos ventos apresentadas, foram considerados dados disponibilizados no site do INPE (<http://bancodedados.cptec.inpe.br/downloadBDM/consulta.jsp>) para os últimos 10 anos (de 1/1/2005 a 1/1/2015). Restringiu-se a análise para o período entre 8:00 e 19:00, considerando o horário de ocupação de edifícios de escritórios.

predominantemente de Norte (azimute 0°), com velocidade variando entre 2 e 3 m/s ao longo das estações. Entre 12 e 14h, ocorre uma transição entre estas duas direções (Figura 51).

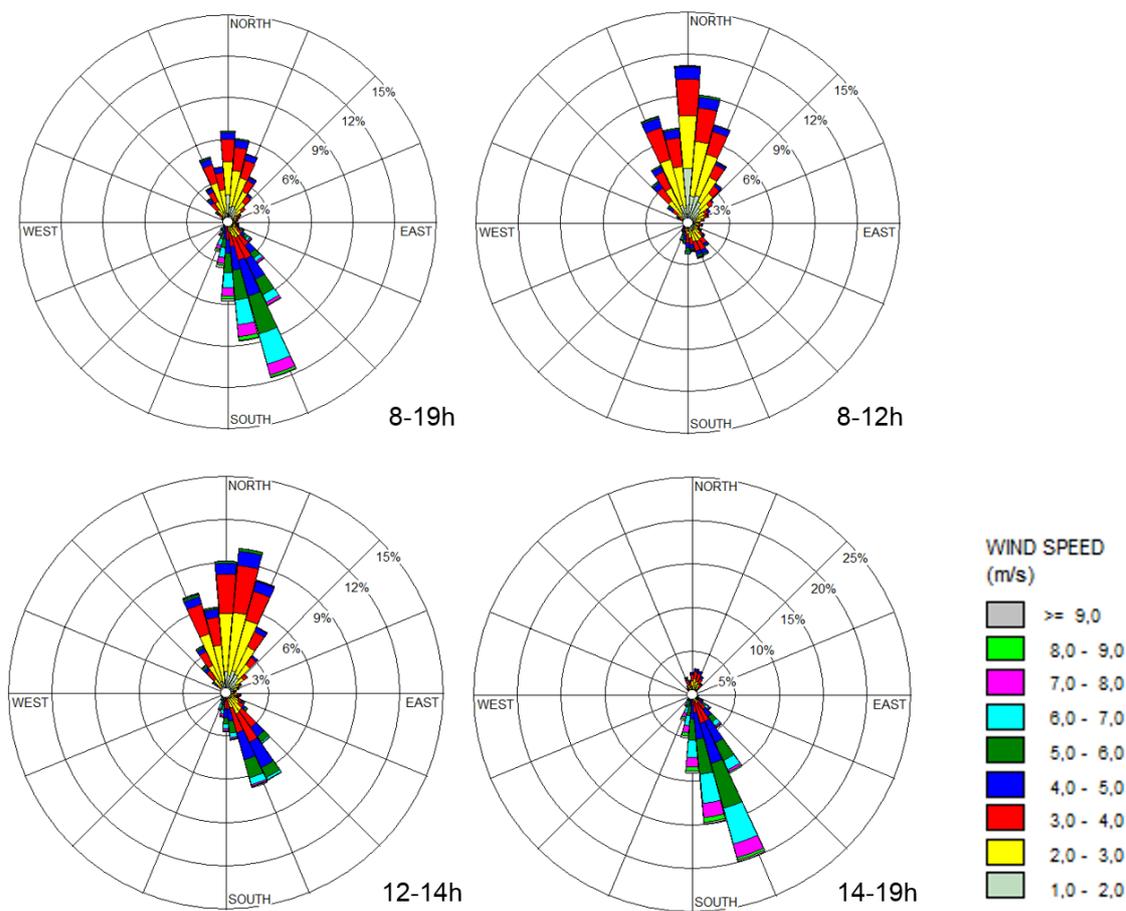


Figura 51 – Rosa dos ventos anual do Rio de Janeiro. Fonte: WRPlot View

O Anexo A apresenta com detalhes as variações de direção e intensidade dos ventos dominante por estação do ano, para vários períodos do dia: manhã (8-13h), tarde (13-19h), noite (19-00h) e madrugada (00-8h). A Tabela 7, abaixo, resume estes dados.

Tabela 7 – Direção e Velocidade dos ventos dominantes nas estações e períodos do dia para o Rio de Janeiro.

Estação	Manhã (8-13h)		Tarde (13-19h)		Noite (19-00h)		Madrugada (00-8h)	
	Dir	V _{10m}	Dir	V _{10m}	Dir	V _{10m}	Dir	V _{10m}
Verão	N (0°)	2,0 m/s	SE (160°)	5,5 m/s	S (180°)	5,5 m/s	N (0°)	1,5 m/s
Outono	N (0°)	2,0 m/s	SE (160°)	4,5 m/s	S (180°)	5,5 m/s	N (0°)	1,5 m/s
Inverno	N (0°)	3,0 m/s	SE (160°)	4,5 m/s	S (180°)	4,5 m/s	N (0°)	2,5 m/s
Primavera	N (0°)	2,0 m/s	SE (160°)	6,0 m/s	S (180°)	5,0 m/s	S (180°)	3,0 m/s

Medições na estação do Largo da Carioca, situada próximo à área de estudo, atestam que a

qualidade do ar na região é classificada como boa em 70,64% dos dias monitorados (PMRJ, 2013), a despeito do tráfego intenso de veículos de grande porte na Av. Rio Branco (Tabela 8). Pressupõe-se que em áreas mais densas que o Largo, a qualidade seja inferior à medida na estação, sobretudo no interior de cânions urbanos e em vias de tráfego mais intenso, como a Rua Primeiro de Março e a Av. Presidente Vargas.

Tabela 8 – Porcentagem de horas para cada categoria de qualidade do ar – Estação Centro (Largo da Carioca). Medições maio/2010 – março/2013. Fonte: PMRJ (2013).

ESTAÇÃO	BOA	REGULAR	INADEQUADA	MÁ	PÉSSIMA	CRÍTICA
CENTRO	70,64%	28,88%	0,29%	0,10%	0,10%	0,00%

4.1.3. O edifício escolhido

Dentro da área de interesse delimitada no Tópico 4.1.1, foi escolhido como objeto de estudo o edifício Galeria Sul América. Trata-se de um edifício de arquitetura eclética construído em cinco etapas entre 1922 e 1959 na quadra delimitada pelas ruas da Quitanda, do Rosário, do Carmo e do Ouvidor (Figura 52 e 53), a poucas quadras da Baía de Guanabara.

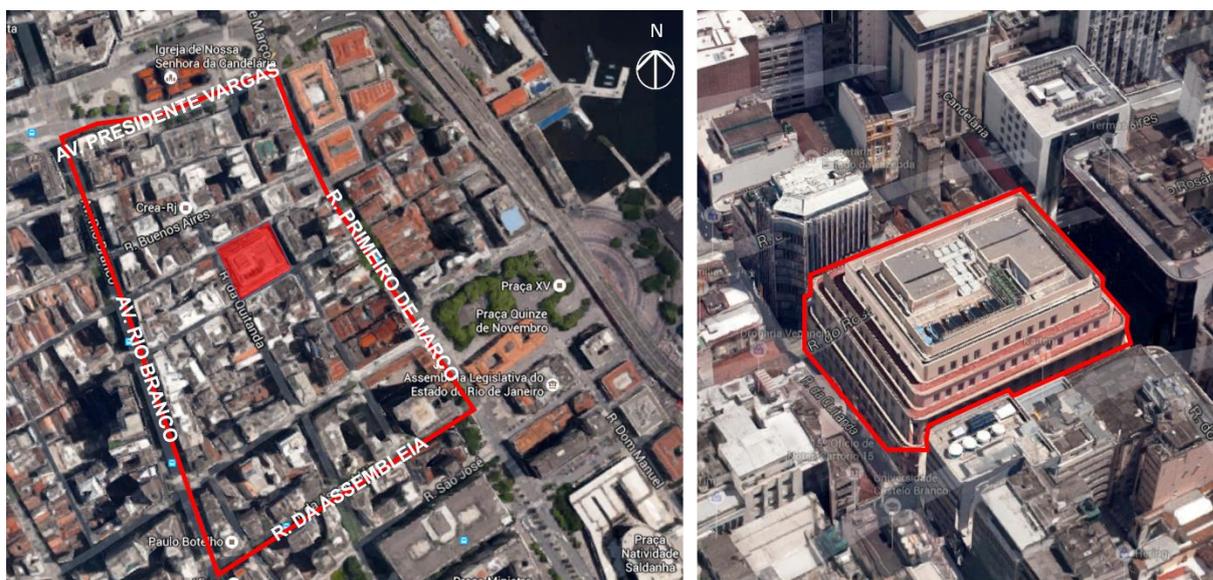


Figura 52 – Localização do ed. Galeria (em vermelho). Fonte: adaptado de Google (2014).



Figura 53 – Fachadas ed. Galeria. Fonte: a autora.

Seu projeto foi concebido pelo arquiteto francês Joseph Gire⁷ em parceria com o arquiteto escocês Robert Russell Prentice⁸ para abrigar a sede da empresa Sul América Seguros. Na primeira etapa da construção, o edifício de cinco pavimentos ocupava apenas um pequeno trecho da quadra (na esquina entre a rua Ouvidor e rua da Quitanda) e se destacava das edificações do entorno, que eram predominantemente horizontais (Figura 54).

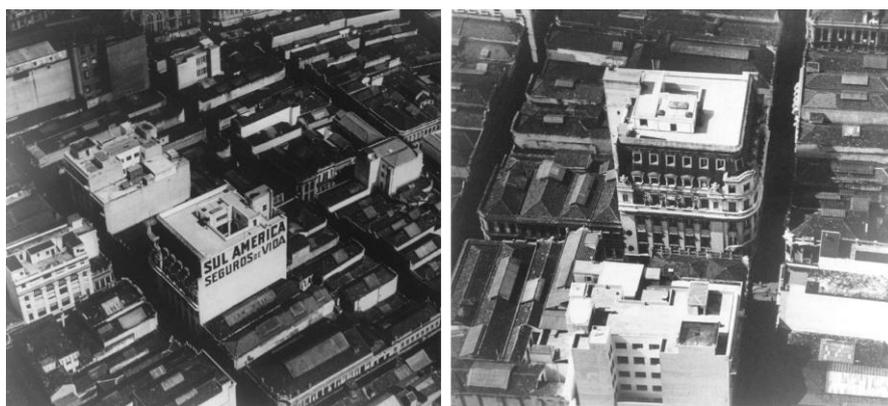


Figura 54 – Ed. Galeria na década de 20. Fonte: Pinheiro (2011)

Os acréscimos seguintes ocorreram em 1931, 1949, 1953 e 1959, a partir de compras sucessivas dos lotes da quadra (Figura 55). As lajes foram sendo unificadas ao longo do processo para compor um único edifício. Além de seu crescimento horizontal, substituiu-se o pavimento de água furada que coroava o edifício por três andares recuados da fachada

⁷ Joseph Gire (1872-1933) foi também responsável pelo projeto de edifícios emblemáticos no Rio de Janeiro, que estimularam a verticalização de bairros como Copacabana, Flamengo, Glória e Centro. Dentre eles, destacam-se: Hotel Copacabana Palace (1923), Hotel Glória (1922), Palácio Laranjeiras (1909-1913) e ed. A Noite (1930). Este último ficou conhecido por ter sido o primeiro arranha-céu em concreto armado da América Latina (PINHEIRO, 2011).

⁸ Robert Russell Prentice (1883-1960) também projetou importantes prédios da cidade, como a Estação Leopoldina (1926), a Biblioteca do Itamaraty (1928-30) o edifício Standard, na Glória (1935) e a Estação Central do Brasil (1937) (PINHEIRO, 2011).

principal.

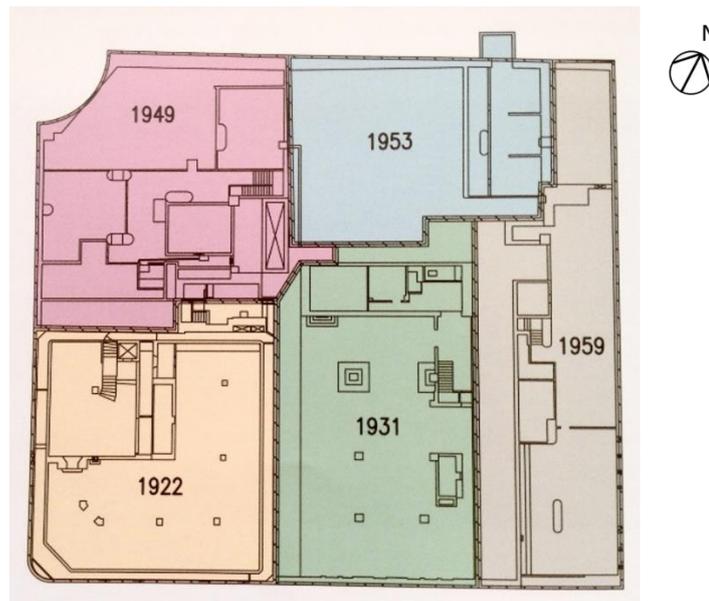


Figura 55 – Planta térreo ed. Galeria: etapas de construção. Fonte: Pinheiro (2011)

Pelos anos de construção do edifício, é possível afirmar que a ventilação natural era uma das principais estratégias utilizadas para assegurar o conforto dos ocupantes. A densidade de ocupação do entorno, bem como as condições de tráfego nas vias, aparentemente, não eram fatores que prejudicavam seu desempenho.

Em 2009, a Tishman Speyer adquiriu o ed. Galeria e finalizou em 2011 uma reabilitação de grande porte, para transformá-lo em um edifício de escritórios de alto padrão. A intervenção acrescentou mais um pavimento recuado, destinado à área técnica. Os 8 pavimentos tipos foram transformados em espaços corporativos locáveis de até 3 mil m², que podem ser subdivididos em até 6 conjuntos com áreas a partir de 700 m² (Figura 56).

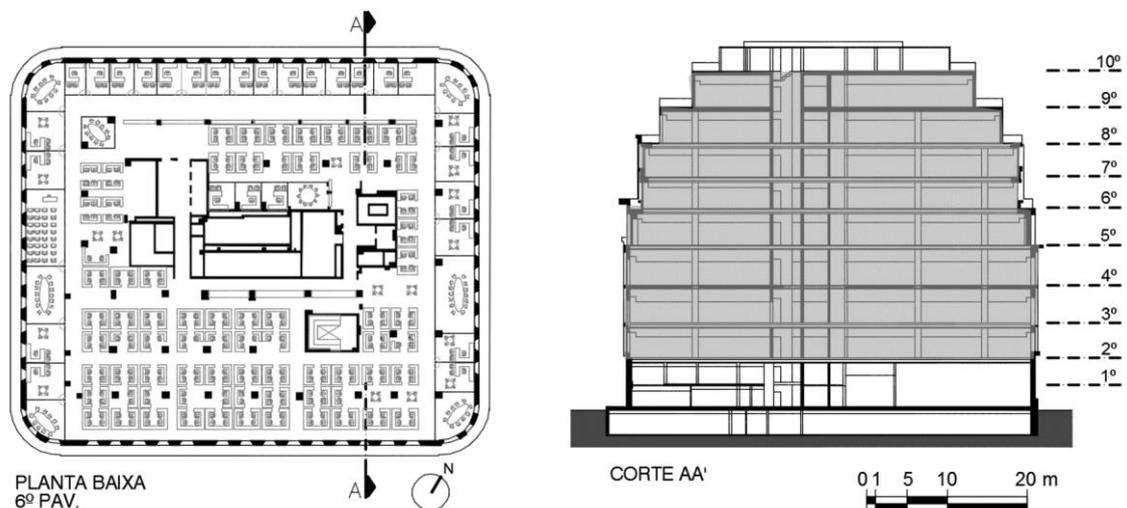


Figura 56 – Reabilitação do ed. Galeria: planta e corte (em cinza: pavimentos de escritórios). Fonte: adaptado de Ecotech (2011).

O térreo e subsolo foram ocupados por lojas e restaurantes, além de um amplo hall de acesso aos andares superiores, enquanto que o 1º pavimento (mezanino) passou a ser utilizado como administração do edifício (PINHEIRO, 2011).

Muitas das características originais externas foram preservadas, como os acabamentos nas fachadas, o desenho das esquadrias, a ornamentação da fachada, o guarda-corpo em ferro e o relógio.

Internamente, o pavimento tipo sofreu uma série de modificações para adequá-lo a sua nova função. Foram eliminados os poços de ventilação e demais compartimentações para compor uma planta livre com um *core* central (Figura 57). Este foi equipado com novos banheiros, *shaft* para manutenção das instalações, área para ar-condicionado, hall de elevadores e circulação interna (para casos em que o pavimento é subdividido em salas menores).

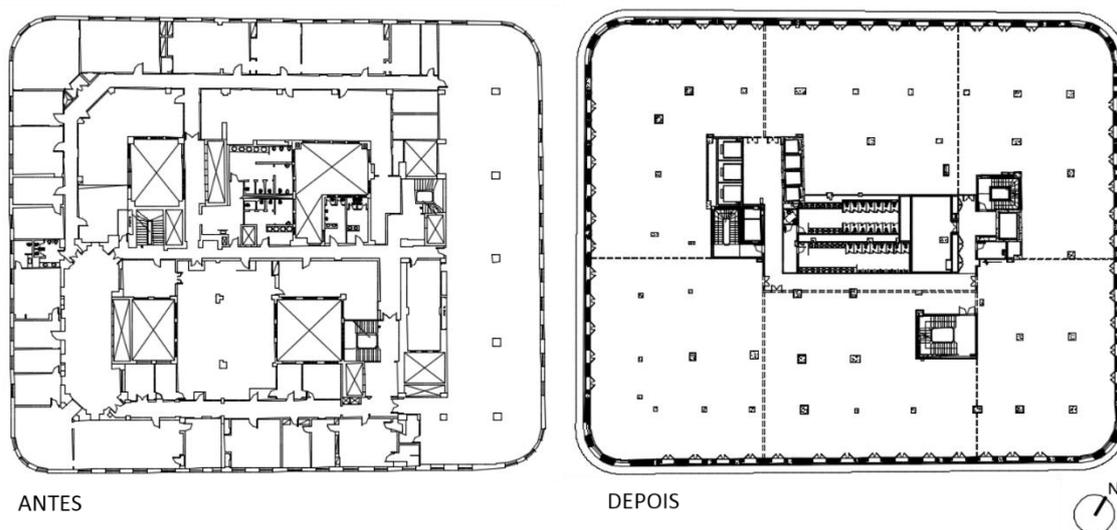


Figura 57 – Planta baixa do 4º pavimento, antes e após reabilitação. Fonte: Ecotech (2011).

Das três escadas existentes, duas foram incorporadas ao *core* central, enquanto uma delas (que chega até o 8º pavimento) permaneceu em volume separado. O pé-direito foi reduzido com o acréscimo de forro modulado em gesso e do piso elevado em todos os andares corporativos, com o intuito de flexibilizar o *layout* (Figura 58).



Figura 58 – Pavimento tipo Ed. Galeria: aberturas variam entre portas e janelas de abrir. Fonte: Pinheiro (2011).

As instalações elétricas e acabamentos internos foram substituídos para se adequar às inovações tecnológicas e padrões atuais dos espaços corporativos. O edifício recebeu um sistema de ar condicionado central com Volume de Ar Variável (VAV), que gera um resfriamento mais uniforme e com menor consumo de energia.

Durante o período de ocupação do edifício, não se prevê o uso da ventilação natural, embora a maioria das esquadrias permaneçam operáveis. Do 2º ao 5º pavimento, foram recuperadas todas as portas/janelas de madeira e vidro, que se mantiveram de abrir. Os 6º, 7º, 8º e 9º pavimentos ganharam novas esquadrias de alumínio e vidro com mesmo desenho das originais, no entanto, a maioria delas tornou-se 100% fixa. No 6º e no 7º pavimento, as operáveis tiveram sua tipologia alterada para maxim-ar, enquanto que as do 8º e do 9º, mantiveram-se de abrir.

Foram ainda instalados sistemas para racionamento do uso da água nos sanitários e de captação e reaproveitamento das águas pluviais.

Em virtude das medidas adotadas na intervenção, as áreas ocupadas pelos locatários podem obter a certificação *LEED* dependendo das especificações. O projeto de reabilitação, de autoria da Ecotech Arquitetura, foi agraciado com o Prêmio IAB/RJ 2011.

Como observado, ao longo de seu ciclo de vida, a edificação sofreu drásticas transformações internas e externas seja para se adaptar às necessidades da Sul América Seguros, seja, mais recentemente, para transformar seu uso. Entretanto, neste processo de adições e subtrações, algumas importantes características foram preservadas para proteger a identidade de sua arquitetura. Segundo Pinheiro (2011), “o desafio foi concretizar na prática os principais objetivos do projeto: preservação e contemporaneidade, inovação e valorização do passado”.

Assim como o ed. Galeria, seu entorno também sofreu importantes transformações ao longo do século. A rua do Ouvidor, por exemplo, substituiu seu charmoso comércio e sobrados por torres corporativas de múltiplos pavimentos, e o edifício Galeria foi, aos poucos, deixando de

ser um marco na paisagem, a despeito de seu crescimento vertical (Figura 59).



Figura 59 – Verticalização do entorno do ed. Galeria (à esquerda). Fonte: Pinheiro (2011)

O conseqüente incremento da poluição sonora e atmosférica na área somado à redução da permeabilidade do tecido urbano e a crescente popularização dos sistemas de climatização artificial podem ter causado o paulatino abandono da ventilação natural enquanto estratégia de resfriamento, não obstante o viés sustentável da reabilitação realizada em 2011.

Reconhecendo a ventilação natural como importante estratégia a ser incorporada em reabilitações que anseiam oferecer bem-estar aos ocupantes e reduzir o consumo energético das edificações, propõe-se investigar, neste capítulo, a viabilidade de sua incorporação numa intervenção futura ao edifício Galeria. Espera-se identificar quais as principais dificuldades a serem enfrentadas neste processo, considerando todas as limitações impostas não só pelo contexto urbano, mas também pelo compromisso com a preservação das características originais do edifício.

4.2. Metodologia: síntese

Fundamentando-se nas etapas de reabilitação de edifícios descritas no Capítulo 1, foram definidas duas etapas para analisar o potencial de uso da ventilação natural no edifício em estudo. Estas etapas estão centradas exclusivamente na análise dos efeitos da circulação dos ventos no edifício, e, portanto, correspondem a um pequeno recorte dos procedimentos necessários para a reabilitação de uma edificação.

A primeira etapa, denominada **Diagnóstico**, consiste em uma análise das condições anteriores e atuais do escoamento do ar no edifício, considerando as influências do complexo tecido urbano no qual este se insere. No Diagnóstico, assume-se que o edifício utiliza apenas

a ventilação natural como estratégia de conforto e que mantém todas as suas janelas abertas apenas durante o horário de ocupação do imóvel⁹.

Esta etapa subdivide-se em quatro partes:

1. Estudo comparativo das circulações dos ventos na área de interesse, considerando sua morfologia urbana em duas situações temporais: década de 70 e a atual. Procura-se identificar como a mudança na forma urbana alterou o padrão de escoamento do ar, especialmente em torno do edifício Galeria.
2. Estudo de acústica concentrado na morfologia urbana atual, para detectar as condições de ruído na área e verificar a viabilidade de manter as janelas abertas para captação dos ventos.
3. Análise qualitativa e quantitativa da circulação dos ventos no interior do edifício.
4. Análise dos efeitos dos ventos no balanço térmico do edifício.

A segunda etapa, denominada **Projeto**, baseia-se no Diagnóstico para propor uma solução arquitetônica que possibilite aprimorar as condições atuais de captação e exaustão dos ventos em seus espaços internos, tendo como premissa básica a preservação das características originais de suas fachadas.

Excetuando-se a análise acústica, as etapas de Diagnóstico e Projeto guardam entre si uma estrutura comum, que se alicerça na metodologia desenvolvida por Leite (2015).

Ambas se iniciam com uma análise da ventilação natural na escala urbana, a fim de verificar os impactos do entorno na definição dos campos de pressão sobre as fachadas do edifício Galeria.

Em seguida, parte-se para a escala do edifício, de modo a investigar o padrão de escoamento dos ventos no interior de alguns de seus pavimentos e obter a vazão de ar disponível.

Finalmente, consideram-se os efeitos dos ventos no balanço térmico do edifício para calcular a temperatura operativa nos pavimentos e determinar a porcentagem de horas por ano em que a ventilação natural, por si só, é capaz de assegurar o conforto térmico dos ocupantes.

Três programas de simulação computacional são utilizados neste processo a fim de se produzir uma análise qualitativa e quantitativa: Ansys CFX, SoundPlan e DesignBuilder. O primeiro realiza simulações fluidodinâmicas (CFD); o segundo permite criar mapas de ruído urbano; e o terceiro possibilita a realização de análises termoenergéticas.

⁹ Reitera-se que o edifício, atualmente, não faz uso da ventilação natural e mantém todas as portas e janelas abertas durante e fora do horário de ocupação das salas comerciais, para um funcionamento eficiente do sistema de ar-condicionado instalado. Assim, o diagnóstico representa uma situação hipotética, de uso exclusivo da ventilação natural no edifício, para possibilitar a análise do desempenho atual da circulação dos ventos nos espaços corporativos.

A Figura 60 sintetiza a estrutura da etapa de Diagnóstico e Projeto, destacando as ferramentas utilizadas e os dados de saída obtidos em cada estágio. Ressalta-se a relação de dependência entre eles, uma vez que os dados de saída obtidos em uma etapa são utilizados como dados de entrada na etapa seguinte.

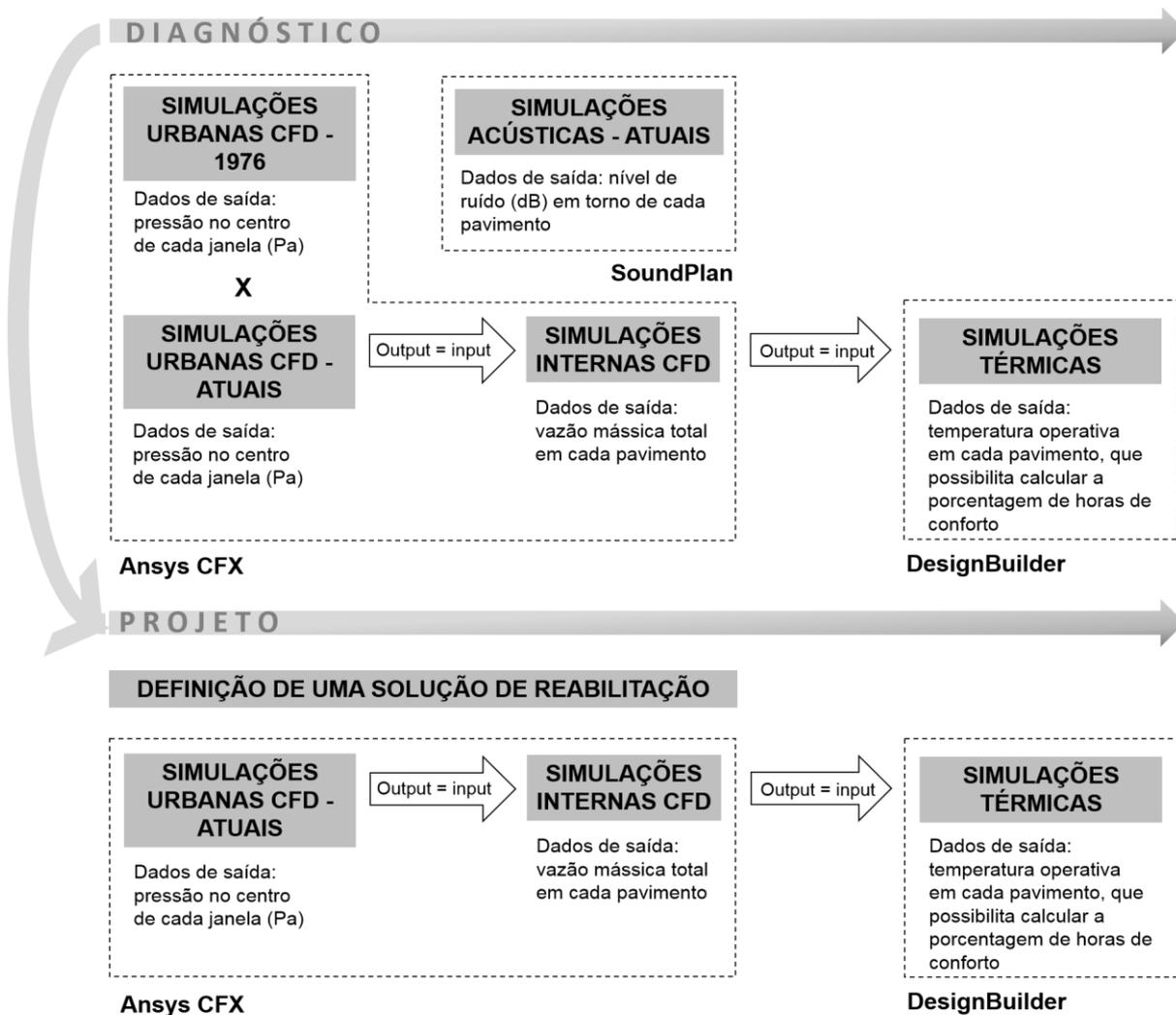


Figura 60 – Estrutura das etapas de Diagnóstico e Projeto. Fonte: a autora.

Optou-se por desacoplar as simulações CFD urbanas daquelas realizadas para a ventilação no interior do edifício, em razão da dificuldade de se trabalhar simultaneamente com duas escalas tão distintas, cujas geometrias englobam arestas que variam entre 0,15 a 152 m de comprimento. Além disso, o detalhamento das aberturas e componentes dos pavimentos do edifício Galeria em meio a uma geometria urbana tão completa exigiria uma elevada capacidade computacional, além de demandar uma malha cuja qualidade dificilmente alcançaria níveis satisfatórios.

Straaten (1967), Aysley (1988) e Carrilho-da-Graça et al (2002) defendem que a separação das simulações de fluxos internos das simulações na escala urbana só é aceitável quando o

percentual de porosidade¹⁰ das fachadas é reduzido, pois, deste modo, o campo de pressão sobre elas não é significativamente alterado em relação ao de fachadas opacas. Superfícies muito porosas, por outro lado, apresentam menores valores de pressões que as superfícies opacas.

O percentual de porosidade aceitável para desacoplamento varia, segundo os autores, entre 20 e 25%. O edifício Galeria encontra-se dentro desta faixa, com porosidade total de 17%.

Dado o alto grau de dependência entre as etapas de Diagnóstico e Projeto, o detalhamento da metodologia adotada em cada uma delas será apresentado separadamente, intercalando-as com os resultados obtidos. Entende-se que, somente após inteirado das conclusões oferecidas pelo diagnóstico, o leitor poderá ter clareza dos motivos pelos quais foram adotados os passos subsequentes.

4.3. Etapa 1: Diagnóstico

4.3.1. Metodologia

4.3.1.1. Simulações urbanas CFD (1976 x atual)

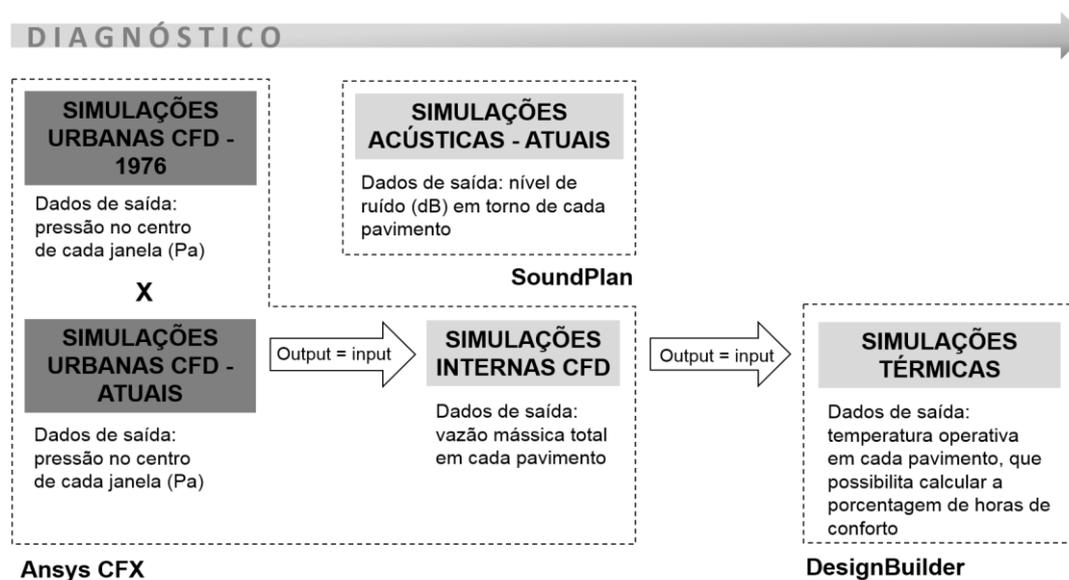


Figura 61 – Situação da etapa simulações urbanas CFD na metodologia. Fonte: a autora.

Com o intuito de investigar os impactos das mudanças morfológicas do entorno na incidência

¹⁰ Porosidade compreende a capacidade de um meio de permitir a passagem de um determinado fluido. No edifício, a porosidade é medida pelo quociente entre soma das áreas de abertura efetiva de passagem dos ventos e a área total das fachadas. Este cálculo deve considerar a tipologia de esquadria existente e sua respectiva operabilidade. Não se deve confundir porosidade com percentual de área envidraçada (WWR). Um edifício pode ter WWR = 100% mas 0% de porosidade, caso suas janelas sejam fixas.

dos ventos sobre o edifício Galeria e ilustrar questões amplamente discutidas em teoria no Capítulo 3 desta tese, propôs-se um estudo comparativo na área de interesse (Figura 61), considerando sua possível ocupação na década de 70 e sua ocupação atual (FONTENELLE; LORENTE; BASTOS, 2015).

A década de 70 foi a escolhida para representar uma ocupação anterior por duas razões. À princípio, verifica-se que nesta época o edifício Galeria como hoje conhecemos já estava construído em sua totalidade. Em segundo lugar, as expressivas modificações entre as legislações urbanas de 1976 e 2011 (Figura 48) provocaram grandes transformações urbanas, que merecem ser estudadas.

Em conformidade com os limites definidos pela Rua da Assembleia, Av. Rio Branco, Av. Presidente Vargas e R. Primeiro de Março, iniciou-se modelando em meio digital a morfologia urbana da região para representar sua ocupação atual, a qual segue a legislação urbana de 2011. Em seguida, considerando os parâmetros de ocupação previstos pela legislação urbana de 1976, realizou-se uma suposição da morfologia anterior.

- *Morfologia urbana atual*

As características da morfologia urbana atual, incluindo a altura dos edifícios, foram obtidas por meio de uma planta cadastral disponibilizada pela prefeitura do Rio de Janeiro (IPP, 2013). O edifício mais alto da área tem 152 m de altura (Edifício Centro Cândido Mendes).

Tendo em vista a recorrente justaposição dos edifícios dentro de uma quadra, optou-se, sempre que possível, por representar cada quarteirão por meio de um único bloco. Sua altura (AQ) foi calculada por meio da altura média dos edifícios (H) ponderada pela área que cada edifício ocupa no terreno (AOT):

$$AQ = \frac{\sum H.AOT}{AOT} \quad (\text{Eq. 1})$$

Os edifícios cujas alturas excedem significativamente a altura média da quadra receberam tratamento particular. Visto que eles conformam importantes obstáculos para o fluxo de ar, seus volumes foram representados separadamente e adicionados ao volume principal de suas respectivas quadras.

Os volumes das quadras foram simplificados para viabilizar as simulações computacionais. Foram ignoradas quinas curvas ou chanfradas, telhados inclinados, detalhes de fachada, recuos dos edifícios e vazios no terreno. Alguns detalhes do espaço urbano, como passeio, mobiliário urbano, vegetação e topografia foram igualmente removidos.

Apenas a volumetria do edifício Galeria foi modelada com mais detalhes, a fim de quantificar

as pressões nas suas fachadas com maior precisão. As curvas das quinas foram subdivididas em pequenos chanfros, o escalonamento dos pavimentos foi preservado e as fachadas foram mantidas opacas e lisas.

A Figura 62 destaca a correspondência da geometria modelada (à esquerda) com a morfologia real (à direita), representada no Google Earth (GOOGLE, 2015).

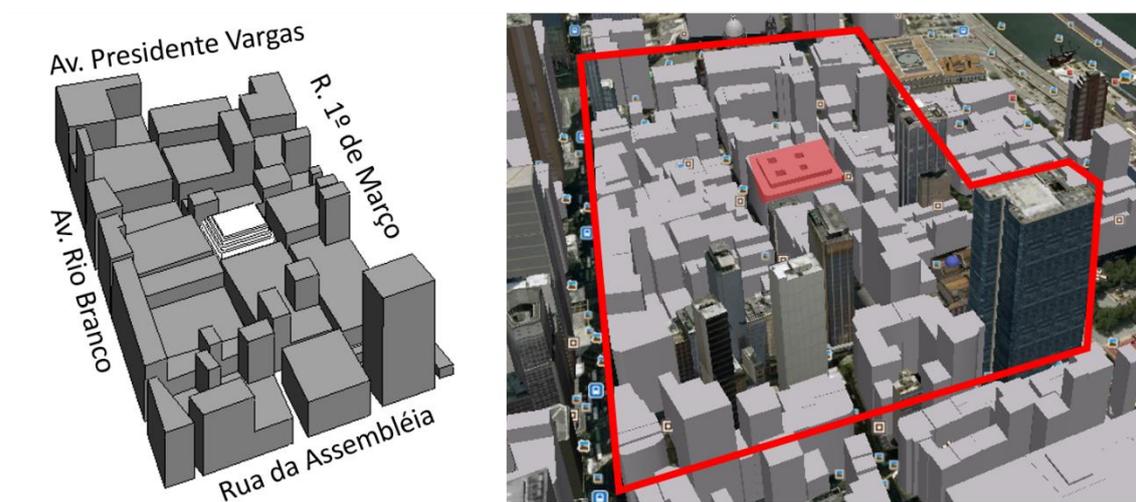


Figura 62 – Morfologia urbana atual. Fonte: a autora e Google (2015).

A extensão da área de estudo atende as recomendações de COST (2007), que indica que um edifício de altura H deve ser incluído na área analisada se sua distância ao edifício de interesse (ed. Galeria) for menor que $6H$. Todas as quadras com pelo menos metade dos edifícios respeitando esta regra foram mantidas na região. A área de estudo totaliza 97.500 m^2 e apresenta 18 quadras de formas diversas.

- *Morfologia anterior considerada*

A fim de fazer uma estimativa da morfologia urbana vigente na legislação de 1976, foi necessário calcular o gabarito máximo permitido para a área na época. Este foi comparado à altura atual dos edifícios para identificar quais deles, teoricamente, não existiam em 1976. Aqueles que apresentavam uma altura menor que a permitida anteriormente foram mantidos, enquanto os que a ultrapassavam foram substituídos por edifícios de altura igual à máxima aceita na legislação de 1976, uma vez que em áreas urbanas centrais os edifícios geralmente apresentam o gabarito máximo permitido¹¹.

O gabarito máximo permitido em 1976 foi identificado através do IAT proposto pela legislação

¹¹ É importante salientar que esta suposição parte do princípio de que as legislações urbanas anteriores a de 1976 eram menos permissivas que esta em termos de gabarito e que todos os edifícios a seguiam rigorosamente.

vigente na época para a área estudada (Eq. 2).

$$IAT = \frac{ATC}{AT} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde

ATC é a área total construída do edifício

AT é a área do terreno

Considerando que o ATC pode ser calculado multiplicando-se o número de pavimentos (incluindo o térreo) pela área do pavimento tipo (APT) e que cada pavimento tem 3m altura (distância medida entre pisos), definiu-se como a altura máxima permitida em 1976 (Eq. 3):

$$H_{\max} = \frac{3 \cdot IAT \cdot AT}{APT} \quad (\text{Eq. 3})$$

Assumiu-se que a área de ocupação do terreno não foi modificada na vigência das duas legislações e considerou-se o $IAT = 6$ (Figura 46) para a área de interesse, em 1976 (PMRJ, 2012a).

Como a maioria das alturas dos edifícios atuais excede o gabarito máximo da legislação anterior, e grande parte dos terrenos está quase ou totalmente ocupada, a altura média das quadras permaneceu, em sua maioria, em torno de 18m. Somente as quadras com menores taxas de ocupação ultrapassaram esta altura.

Os mesmos critérios de modelagem utilizados na morfologia atual foram aplicados nesta geometria. A Figura 63 apresenta a morfologia anterior resultante.

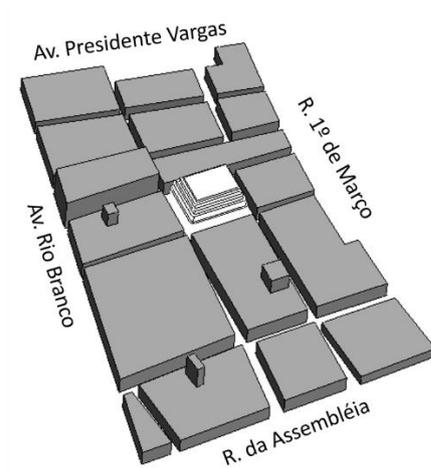


Figura 63 – Morfologia urbana anterior (1976). Fonte: a autora.

- *Dados das simulações urbanas*

Utilizando-se a versão acadêmica do programa Ansys CFX (v. 14.5), foram realizadas

simulações fluidodinâmicas (CFD) para analisar os padrões de escoamento do ar nas duas morfologias urbanas. Foram feitas simulações 3D em regime permanente de escoamento e o ar como fluido incompressível.

Adotou-se o modelo de turbulência $k-\epsilon$, em razão de sua utilização e validação extensiva por outros trabalhos de ventilação natural em cânions urbanos e por ser indicado para domínios amplos, como é o caso deste estudo (SCHIJNDEL, 2012). Além disso, os resultados obtidos por meio deste modelo têm apresentado coerência quando comparados com dados experimentais.

Para as duas morfologias, modelou-se um domínio computacional circular¹² de 5085 m de diâmetro e 912 m de altura. Estas dimensões seguem as recomendações de COST (2007), que estabelece uma distância mínima de $15H_{\max}$ das extremidades do agrupamento estudado até as paredes laterais do domínio e $5H_{\max}$ do topo do edifício mais alto (de altura H_{\max}) até a superfície superior do domínio (Figura 64). A despeito da diferença de altura das morfologias, optou-se por utilizar a H_{\max} (152m) da morfologia atual para simplificar os estudos.

¹² O domínio computacional corresponde ao volume de ar em volta da geometria estudada a ser considerado na análise do escoamento do ar. Ele pode assumir diversas formas geométricas, como retângulos, octógonos e círculos, a depender do número de direções dos ventos a ser analisado. A geometria circular tem como principal vantagem a possibilidade de testar diversas direções dos ventos gerando-se uma única malha computacional.

A fim de que algumas paredes do domínio não influenciem no fenômeno, deve-se garantir uma distância mínima entre elas e as extremidades da geometria analisada (COST, 2007), além de especificar no programa o tipo de superfície que representam. No caso dos domínios circulares, estas se dividem em três tipos: as paredes que de fato existem e geram um atrito com o ar (*no slip*, ou seja, sem escorregamento); as paredes que não existem e servem apenas para delimitar o volume de ar, não havendo qualquer tipo de atrito entre elas e o ar (*free slip*, ou seja, com escorregamento); e a parede onde ocorre a entrada e saída do ar no domínio e por onde se especifica a intensidade e a direção dos ventos incidentes (*opening*, ou seja, abertura). As superfícies que compõem o piso e os edifícios equivalem as paredes *no slip*; a superfície superior do domínio é do tipo *free slip*; a superfície lateral corresponde à *opening*.

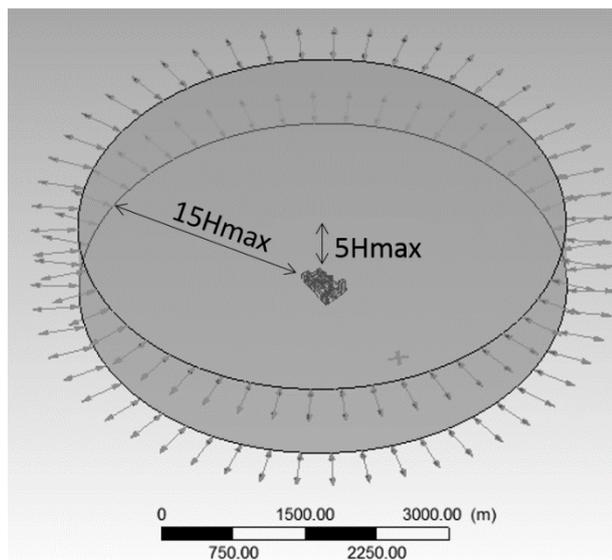


Figura 64 – Critérios para dimensionamento do domínio computacional circular.

Nas laterais do domínio (*opening*), foi adotado um perfil de velocidade do vento segundo o modelo da ASHRAE (2001) (Eq. 4).

$$U_H = U_{met} \left(\frac{\delta_{met}}{H_{met}} \right)^{\alpha_{met}} \left(\frac{H}{\delta} \right)^{\alpha} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

U_H é a velocidade do vento no terreno (m/s);

U_{met} é a velocidade do vento na estação meteorológica (m/s);

δ é a espessura da camada limite no terreno (m);

δ_{met} é a altura da camada limite (m)

H é a altura do ponto de medição (m)

H_{met} é do ponto de medição da estação meteorológica (m);

α é o coeficiente que caracteriza o tipo de terreno

α_{met} é o coeficiente da estação meteorológica

Os dados de velocidade e direção do vento foram retirados da Tabela 7 e os relativos às características do terreno estudado e da estação meteorológica, da Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros inseridos no perfil. Em cinza escuro: dados do terreno. Em cinza claro: dados da estação meteorológica. Fonte: ASHRAE (2001)

Tipo de terreno	α	δ_{met} (m)
Cidades grandes com 50% dos prédios de H > 21m e distância frontal a barlavento de 2000m	0,33	460
Região suburbana com residências esparsas; áreas florestais	0,22	370
Terrenos livres com obstáculos esparsos H < 10m	0,14	270
Áreas expostas ao vento próximas a grandes massas de água, distantes até 500m da costa	0,10	210

Uma condição de escorregamento (*free slip*) foi imposta para o topo do domínio. Para o solo e superfícies dos edifícios, indicou-se uma condição de não escorregamento (*no slip*). A lateral do domínio foi indicada como *opening* e para esta foram especificadas as expressões listadas na Tabela 10, que descrevem a direção e velocidade dos ventos por meio de uma linguagem aceita pelo Ansys CFX.

Tabela 10 – Expressões inseridas no CFX-Pre. Fonte: baseado em Leite (2013)

Nome	Expressão	Descrição
speed	$(umet*emet/hmet^amet)*(zref/ecl)^a$	Perfil de velocidade dos ventos
umet	Ver Tabela 7	Velocidade do ar a 10m do solo
emet	270 [m]	Espessura da camada limite
hmet	10 [m]	Altura da estação meteorológica
amet	0,14	Coefficiente da estação meteorológica
zref	abs(z)	Altura do ponto de medição
ecl	460 [m]	Espessura da camada limite do terreno
a	0,33	Coefficiente do terreno
dir	Ver Tabela 7	Ângulo de incidência dos ventos
u1	speed*sin(alfa)	Decomposição de speed em y
v1	speed*cos(alfa)	Decomposição de speed em x
dira	$(180+dir)*pi/180$	Inserção do ângulo de incidência do vento pelo programa, considerando zero à norte
pi180	pi/180	
alfa	dira	

Aplicou-se uma malha tetraédrica para o domínio como um todo e uma malha prismática (*inflation*)¹³ junto às faces dos edifícios e do solo (Figura 65). Esta última foi gerada por meio do parâmetro *smooth transition, que*, no caso da escala urbana, adapta melhor a malha à geometria e possibilita alcançar uma qualidade satisfatória. As configurações das malhas de cada geometria estudada estão indicadas na Figura 66.

¹³ A malha prismática é essencial neste tipo de simulação para que o fenômeno junto à camada limite seja representado com maior precisão.

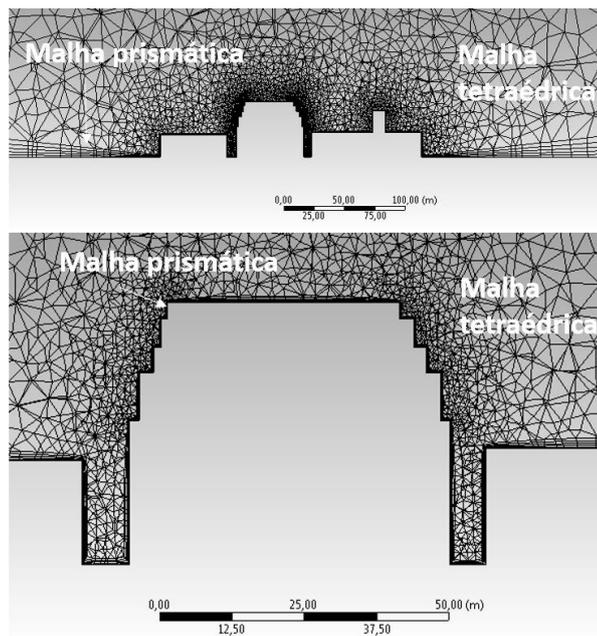


Figura 65 – Detalhes das malhas tetraédrica e prismática. Fonte: Ansys CFX

1976

SIZING

Use Advanced Size Function	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18,0 °)
<input type="checkbox"/> Proximity Accuracy	0,5
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	4
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (1,05690 m)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (1,05690 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (105,690 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (211,380 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	1,08340 m

INFLATION

Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Boundary Scoping Method	Geometry Selection
Boundary	170 Faces
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,15
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre

ATUAL

SIZING

Use Advanced Size Fun...	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal A...	Default (18,0 °)
<input type="checkbox"/> Proximity Accuracy	0,5
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	5
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (1,05690 m)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (1,05690 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (105,690 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (211,380 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	1,08340 m

INFLATION

Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Boundary Scoping Method	Named Selections
Boundary	Multiple Entities
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,12
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre

Figura 66 – Configurações das malhas computacionais. Fonte: Ansys CFX

Os parâmetros acima listados foram ajustados até se obter uma malha com qualidade aceitável e com resultados estáveis de pressão, velocidade e vazão de ar em pontos de

referência (testes de independência).

Para a simulação de 1976, a qualidade ortogonal (*orthogonal quality*), assimetria (*skewness*) e razão de aspecto (*aspect ratio*) alcançadas foram de 0,23; 0,83; e 46,04, respectivamente. O yplus obtido nestas simulações não ultrapassou os 300 recomendados por ESSS (2013).

Para a simulação da geometria atual, obteve-se 0,20 para a qualidade ortogonal e 0,82 para a assimetria e 50,22 para a razão de aspecto. O yplus também não ultrapassou os 300 recomendados.

O número total de elementos da malha foi de aproximadamente 1.400.000 para a morfologia de 1976 e de 2.900.000 para a morfologia atual.

Finalizado todo o processo de preparo das simulações, foram realizadas cinco simulações urbanas para a morfologia de 1976 e cinco para a morfologia atual (Tabela 11), números estes obtidos após agrupamento de dados de vento semelhantes aos retirados da Tabela 7. Nesta análise comparativa, considerou-se apenas os regimes de vento do horário de ocupação do edifício (8-19h).

Tabela 11 – Lista das simulações urbanas realizadas. Fonte: a autora

Cód.	Estação	Turno	Dados do vento	
			Dir	V _{10m}
VOP_m	Verão (V), Outono (O), Primavera (P)	Manhã (8-13h)	N (0°)	2,0 m/s
I_m	Inverno (I)	Manhã (8-13h)	N (0°)	2,0 m/s
OI_t	Outono (O) e Inverno (I)	Tarde (13-19h)	SE (160°)	4,5 m/s
V_t	Verão (V)	Tarde (13-19h)	SE (160°)	5,5 m/s
P_t	Primavera (P)	Tarde (13-19h)	SE (160°)	6,0 m/s

Os dados de saída considerados são os valores das pressões em Pascal (Pa) em pontos de referência indicados por coordenadas cartesianas sobre as fachadas, exatamente no local equivalente ao centro das aberturas do 2º, 6º e 9º pavimentos (Figura 67). Propõe-se uma comparação entre os campos de pressão em diferentes alturas para analisar os impactos do entorno na incidência dos ventos sobre o edifício Galeria.

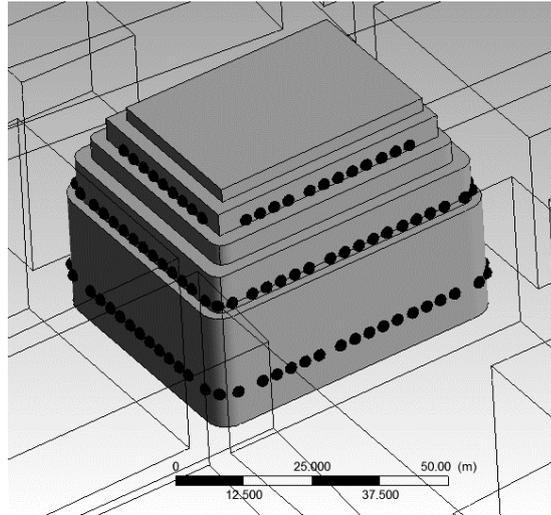


Figura 67 – Pontos de medição de pressão do ar no centro das aberturas do 2º, 6º e 9º pavimento.
Fonte: Ansys CFX

4.3.1.2. Simulações acústicas atuais

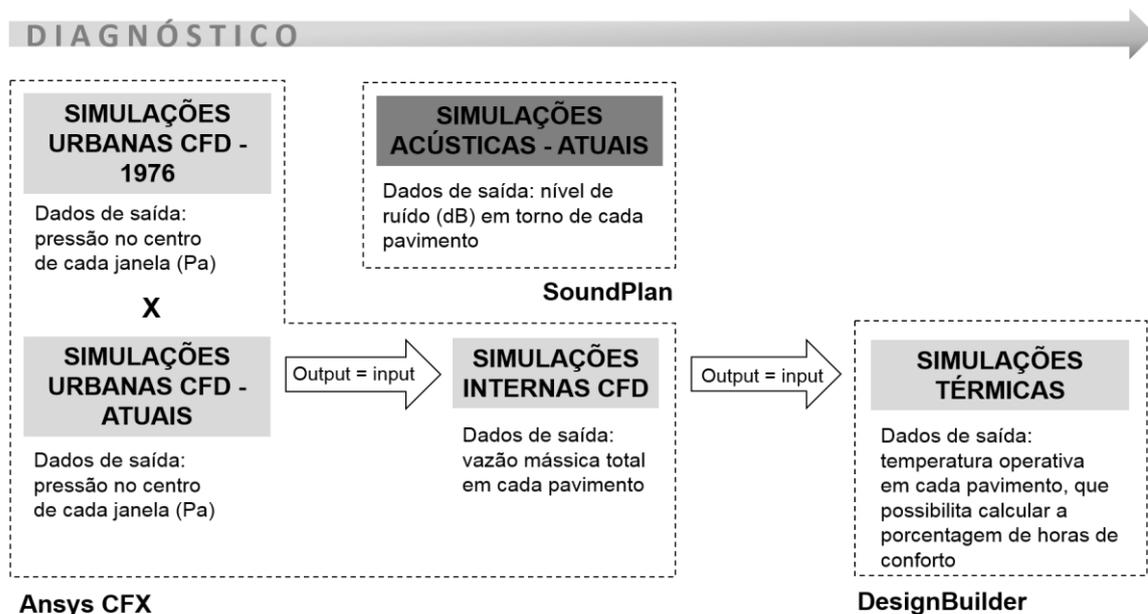


Figura 68 - Situação da etapa simulações acústicas na metodologia. Fonte: a autora.

Além das simulações de ventilação natural, foram realizadas simulações acústicas para analisar de forma mais consistente a viabilidade do uso de ventilação natural no edifício Galeria (Figura 68). Esta análise acústica possibilita identificar os pavimentos do edifício Galeria onde se é possível atualmente abrir as janelas para captação dos ventos sem prejudicar o conforto acústico dos ocupantes. Esta resposta complementar os resultados das simulações de ventilação natural, possibilitando um olhar multicritério sobre o potencial de ventilação natural do edifício em questão.

O programa utilizado nas simulações foi o SoundPlan (v. 7.1), uma ferramenta computacional destinada à avaliação da propagação do ruído em ambientes externos e internos. A partir de dados sobre as fontes sonoras e a geometria analisada (incluindo edificações, barreiras acústicas, topografia e características das superfícies), o programa realiza um mapeamento do ruído, que pode ser visualizado em planta baixa e corte. O SoundPlan oferece ainda a possibilidade gerar mapas de conflito, uma análise comparativa que confronta os resultados com valores máximos de ruído recomendados por normas e legislações.

Para realização das simulações acústicas, inicialmente, foram introduzidos no programa dados de temperatura e umidade relativa do ar e direção e intensidade dos ventos dominantes.

Em seguida, foi modelada a geometria urbana analisada, com base na mesma planta cadastral (IPP, 2013) das simulações fluidodinâmicas. Entretanto, visto que o programa demanda menor capacidade computacional, optou-se por inserir mais detalhes na geometria urbana modelada. Além de aproximar a forma dos edifícios à realidade, foi acrescentada uma fileira de edifícios junto às ruas que delimitam a área para possibilitar a análise do ruído nas mesmas (Figura 69).

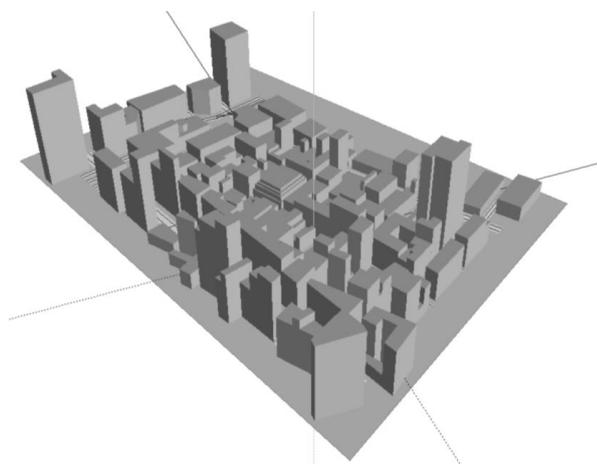


Figura 69 – Modelo tridimensional elaborado no programa SoundPlan.

Os dados das fontes de ruído inseridos no programa foram obtidos através de medições *in loco*, realizados no dia 11 de abril de 2014. Os pontos de medição estão apresentados na Figura 70. Utilizou-se o Medidor de Nível de Pressão Sonora DB200, da *KIMO Instruments*, na curva de ponderação “A”, em resposta rápida (*fast*). As medições seguiram as recomendações da norma ABNT – NBR 10151 (ABNT, 2003)¹⁴.

¹⁴ Medições afastadas a aproximadamente 1,2 m do piso e 2 m do limite de quaisquer superfícies refletoras (muros, paredes, etc.), sempre que possível.

- Medição do LAeq, simultaneamente com a contagem de veículos leves e pesados;

Tabela 13 – Resultados das medições. Fonte: a autora.

Pontos	Nome	Leq - dB(A)	L90 ¹⁵	Número Veículos Leves	Número Veículos Pesados
01	R. da Assembléia	70,7	65,0	50	1
02	R. 7 de Setembro	66,3	63,0	9	0
03	R. do Ouvidor	69,1	65,0	4	1
04	Av. Rio Branco	75,0	69,0	73	62
05	R. da Quitanda	74,6	68,0	29	1
06	R. do Carmo	66,9	65,0	3	0
07	Av. 1º de Março	73,6	67,0	224	28
08	R. do Rosário	68,3	66,0	7	0
09	R. Buenos Aires	72,6	69,0	28	0
10	R. da Alfândega	66,7	64,0	2	0
11	Av. Presidente Vargas	69,0	66,0	75	16
12	Av. Presidente Vargas	72,9	69,0	229	48

Com base nestes dados de entrada e nas configurações apresentadas na Tabela 14, foram realizadas as simulações computacionais.

Tabela 14 – Parâmetros gerais de cálculo. Fonte: a autora.

Tipo de mapa	Mapa acústico horizontal atual e de conflito; Corte
Tipo de simulação	Módulo gráfico <i>Grid noise map</i> e <i>Cross Section</i>
Altura do mapa horizontal acima do solo	1,20 m e 45m
Altura do corte	80 m
Espaçamento dos pontos da malha de simulação	Mapa Horizontal - 10 m / Corte – 2,5m
Número de reflexões	3
Índice calculado	Leq (A) diurno – 8:00h às 10:00h
Normas e legislações	RLS 90, NBR 10.151
Dados climáticos	Temperatura do ar - 28 °C Umidade relativa - 70%

Seus resultados foram apresentados por meio de mapas de ruído, mapas de conflito e cortes. Os mapas de conflito confrontam os resultados das simulações com o nível máximo aceitável para área com vocação comercial e administrativa (<60 dB(A)) estipulado pela NBR 10151. Vale ressaltar que se preferiu utilizar como referência a norma brasileira, por esta ser mais restritiva que a lei municipal do Rio de Janeiro.

¹⁵ L90 é um nível estatístico que mostra qual o percentual do tempo total de exposição em relação ao Nível de Pressão Sonora dB(A) acima do qual os níveis permanecem. Por exemplo, L90 representa o valor acima do qual os demais níveis permanecem 90% do tempo total.

4.3.1.3. Simulações internas CFD

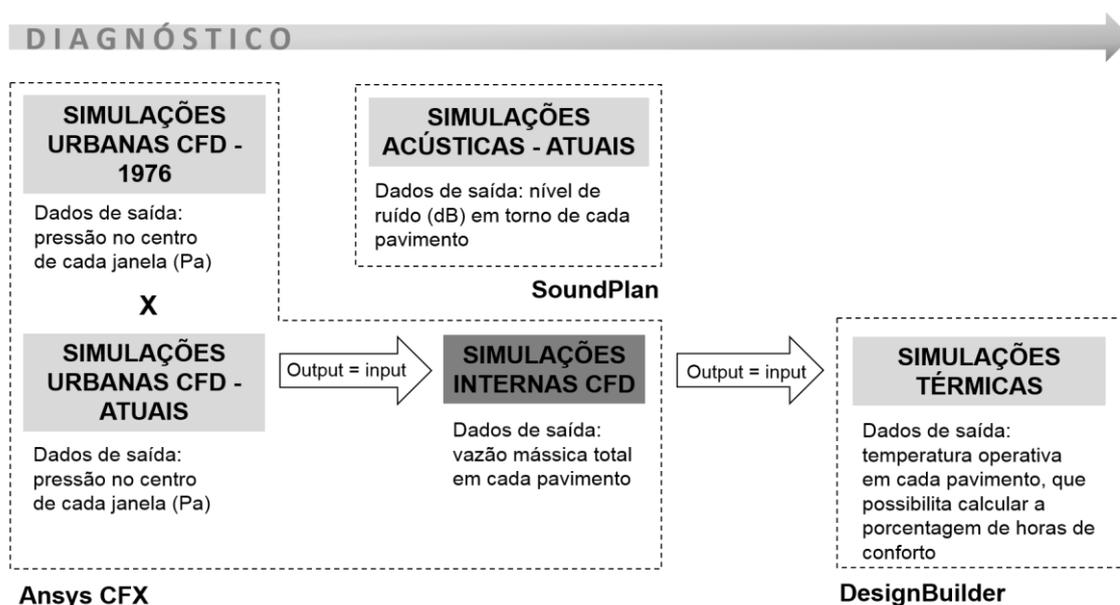


Figura 71 - Situação da etapa simulações internas CFD na metodologia. Fonte: a autora.

Com base nos resultados das simulações urbanas, deu-se continuidade às simulações fluidodinâmicas para analisar o escoamento do ar interno no edifício Galeria, considerando três pavimentos corporativos: 2º, 6º e 9º (Figura 71). Cada simulação analisa a circulação dos ventos no interior de um pavimento por vez.

Para construir as geometrias, utilizou-se como base as plantas e cortes do projeto executivo fornecidos pelo escritório responsável pela reabilitação realizada em 2011 (Ecotech Arquitetura). A geometria de cada pavimento equivale ao volume de ar contido nele, eliminando-se o volume do core, da escada e dos pilares (Figura 72). Ressalta-se que, em função do escalonamento dos pavimentos e das diferenças de pé-direito, número de pilares, presença ou ausência de escada externa ao core, os andares diferem em volume, conforme indicado na figura abaixo.

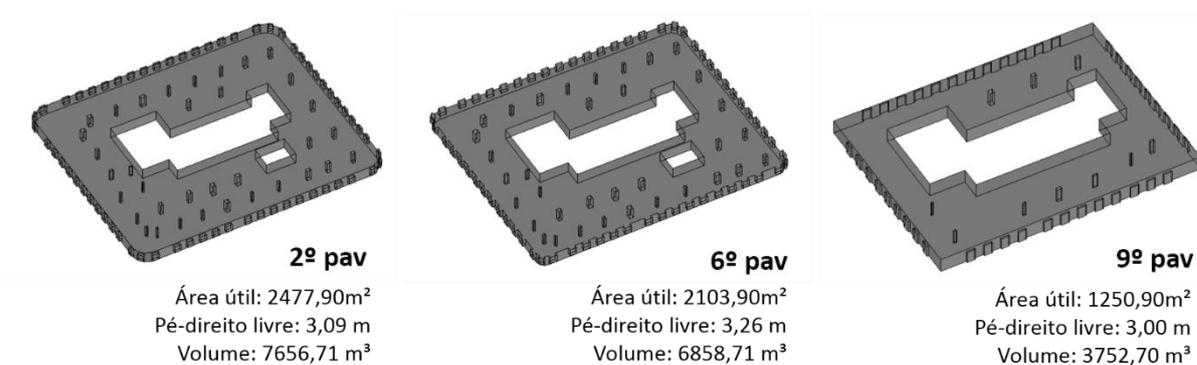


Figura 72 – Geometria dos pavimentos analisados. Fonte: a autora

Neste tipo de simulação, o domínio corresponde ao próprio volume do pavimento. Paredes, pisos e tetos representam uma condição de não escorregamento (*no slip*), ao passo que as superfícies verticais das janelas são aberturas (*openings*), por onde ocorre a captação e exaustão dos ventos.

Para cada geometria, foram geradas malhas tetraédricas e prismáticas, estas últimas junto às superfícies *no slip*. Neste caso, utilizou-se o parâmetro *first layer thickness* (especificação da altura da primeira camada) para gerar a camada de *inflation* (prismas), que possibilita obter nesta escala um compromisso entre qualidade e demanda computacional aceitável. A qualidade ortogonal foi superior a 0,17 em todos os casos, enquanto que a assimetria permaneceu em torno de 0,89 e a razão de aspecto, entre 48 e 69, valores estes considerados satisfatórios pelo ESSS (2013). O *yplus* inferior a 250 nos três casos também aponta uma boa qualidade das malhas obtidas.

O número total de elementos da malha foi de aproximadamente 2.056.000 para o 2º pavimento, 2.939.000 para 6º e 3.217.000 para o 9º. A Figura 73 relaciona as configurações utilizadas nas três malhas, após finalizado o teste de independência.

As pressões atmosféricas obtidas nas simulações urbanas da morfologia atual foram inseridas nas aberturas (*openings*) correspondentes. A direção do vento foi indicada como normal à fachada, inclusive para casos em que a incidência ocorre praticamente tangente à abertura. Este foi um recurso utilizado, visto que o *software* não aceita a informação de que o escoamento exterior ocorre tangencialmente às fachadas.

Goulding, Lewis e Steemers (1992) alertam que um escoamento tangente às fachadas promove condições de captação bastante complexas e reduz a área efetiva para ingresso do vento. Não obstante, é possível afirmar que quando se estabelece um diferencial de pressão nas aberturas das fachadas do edifício, poderá haver seguramente uma vazão de ar nos seus espaços internos.

No total, foram realizadas 15 simulações internas na etapa de diagnóstico: os 5 cenários de direção e velocidade do ar listados na Tabela 7 analisados em 3 pavimentos.

Ao final das simulações, foram obtidas as vazões mássicas (kg/s) de entrada em cada abertura, que somadas resultaram na vazão mássica total do pavimento. Estas foram convertidas em vazão volumétrica dividindo-a pela massa específica do ar a 30°C (1,165 kg/m³). A vazão volumétrica multiplicada pelo volume de ar do pavimento resultou na renovação de ar por hora, utilizado como índice de ventilação natural nas simulações térmicas.

Além dos gráficos de vazão volumétrica e renovação de ar por hora por pavimento, turno e estação do ano, são apresentados traçados das linhas de corrente (*streamlines*) para representar o padrão de escoamento e velocidade do ar em cada pavimento e gráficos de

distribuição da pressão interna.

2º PAV

SIZING

Use Advanced Size Fun...	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal A...	Default (18,0 °)
<input type="checkbox"/> Proximity Accuracy	0,5
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	4
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (1,5131e-002 m)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (1,5131e-002 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (1,51310 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (3,02620 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	0,305570 m

INFLATION

Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Boundary Scoping Method	Named Selections
Boundary	noslip
Inflation Option	First Layer Thickness
<input type="checkbox"/> First Layer Height	3,e-002 m
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre

9º PAV

SIZING

Use Advanced Size Function	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18,0 °)
<input type="checkbox"/> Proximity Accuracy	0,5
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	5
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (1,1767e-002 m)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (1,1767e-002 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (1,17670 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (2,35340 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	0,2050 m

INFLATION

Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Boundary Scoping Method	Named Selections
Boundary	noslip
Inflation Option	First Layer Thickness
<input type="checkbox"/> First Layer Height	2,e-002 m
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre

6º PAV

SIZING

Use Advanced Size Function	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18,0 °)
<input type="checkbox"/> Proximity Accuracy	0,5
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	5
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (1,4415e-002 m)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (1,4415e-002 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (1,44150 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (2,88290 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	0,305570 m

INFLATION

Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Boundary Scoping Method	Named Selections
Boundary	noslip
Inflation Option	First Layer Thickness
<input type="checkbox"/> First Layer Height	2,e-002 m
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre

Figura 73 – Configurações das malhas do 2º, 6º e 9º pavimento – simulações internas. Fonte: Ansys CFX

4.3.1.4. Simulações térmicas

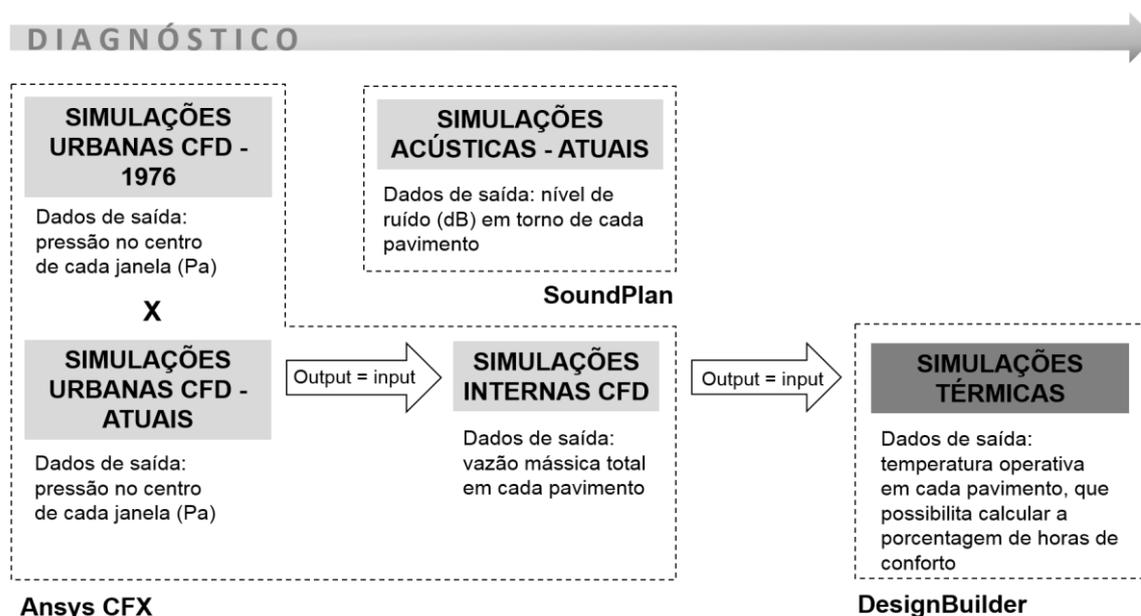


Figura 74 - Situação da etapa simulações térmicas na metodologia. Fonte: a autora.

Finalizadas as simulações CFD no programa Ansys CFX, dá-se início às simulações térmicas no programa *DesignBuilder* (v. 4.5) (Figura 74).

Com base em dados climáticos horários locais e informações sobre aspectos construtivos, ocupação e operação do edifício, o programa calcula o balanço de energia da edificação, fornecendo dados sobre seu desempenho termoenergético.

O *DesignBuilder* integra o modelo de cálculo do *EnergyPlus*, ferramenta desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, que é amplamente utilizada para modelagem de energia em edificações. A vantagem do primeiro em relação ao segundo é sua interface gráfica amigável, através da qual é possível modelar a geometria do edifício com agilidade e inserir os dados de entrada de forma interativa. Além disso, o programa oferece um extenso banco de dados meteorológicos e construtivos.

Os resultados são apresentados por meio de gráficos, tabelas, imagens e relatórios referentes a intervalos determinados pelo projetista (anual, mensal, diário, horário ou sub-horário). É possível avaliar o consumo de energia, os dados climáticos, as variações da temperatura do ar, operativa e radiante, os ganhos de calor interno (antropogênico, por equipamentos e iluminação artificial) e externo (componentes da envoltória), o desempenho da iluminação e ventilação natural por zona, as condições de conforto com base no modelo da ASHRAE 55 e de Fanger (PMV), dentre outros aspectos.

O *DesignBuilder* foi testado de acordo com a ASHRAE 140 (2004) – *Standard Method of Test*

for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs (BESTEST). A opção por este software decorre da confiabilidade de seus resultados, da facilidade e rapidez de seu aprendizado bem como do relativo baixo custo de sua licença acadêmica, adquirida pela pesquisadora.

Para as simulações térmicas do edifício Galeria, foram utilizados dados meteorológicos anuais do Aeroporto Santos Dumont.

A geometria modelada foi composta, além do edifício Galeria, pelas edificações do entorno, seguindo a mesma geometria utilizada nas simulações urbanas (Figura 75). A inclusão do entorno se destina unicamente a analisar o impacto do sombreamento dos edifícios vizinhos nas fachadas do edifício Galeria e, não considera as trocas térmicas com o edifício em questão. Desta forma, as edificações vizinhas foram indicadas como adiabáticas.

O edifício Galeria foi modelado por pavimento. O térreo foi composto por 9 zonas: hall de entrada/circulação, 6 lojas (sendo duas restaurantes) e 2 acessos de serviço. Os 2º-8º pavimentos possuem 3 zonas cada (escritório, escada e *core*), ao passo que o 9º pavimento contém 2 zonas (escritório e *core*), e a cobertura, apenas 1. Todas as zonas foram incluídas nos cálculos, com exceção do *core* e escada dos pavimentos de escritório. O mezanino (1º pavimento) não foi modelado.

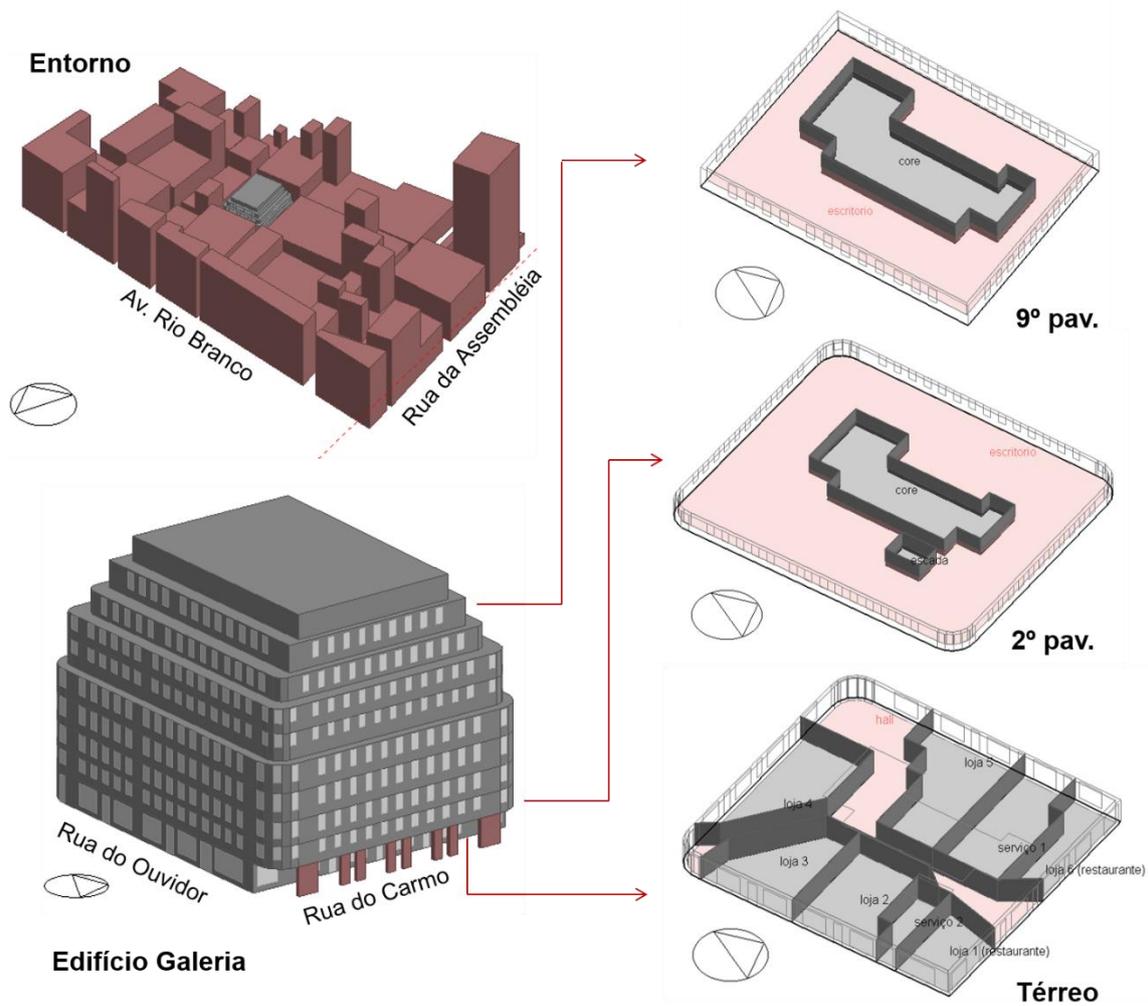


Figura 75 – Geometria modelada no DesignBuilder. Fonte: a autora

A Tabela 15 lista os dados especificados na aba *Activity* (atividades), que engloba informações sobre os ganhos internos decorrentes do calor antropogênico e de equipamentos instalados em cada zona.

O funcionamento dos escritórios ocorre de segunda à sexta das 8 às 19h, prevendo-se uma queda de 80% do número de ocupantes no horário de almoço (12-14h) e após 18h (Figura 76).

Dentre as zonas contabilizadas nos cálculos térmicos, aquela relativa ao 10º pavimento é a única onde não ocorre ocupação.

Tabela 15 – Ganhos internos: calor antropogênico e equipamentos em geral (Activity). Fonte: a autora

Dado	Térreo			2º-9º pav (escritórios)	Fonte
	Restaurantes	Lojas	Hall/circ		
Ocupação					
Densidade (pessoas/m ²)	1,00 (1p/1m ²)	0,33 (1p/3m ³)	0,14 (1p/7m ²)	0,14 (1p/7m ²)	NBR 9077
Padrão	Seg. à sáb. 9-20h	Seg. à sáb. 9-20h	Seg. à sáb. 8-20h	Figura 70	Ed. Galeria
Metabolismo					
Atividade (W/pessoa)	110	180	140	120	DesignBuilder
Fator metab.	0,93	0,93	0,93	0,93	DesignBuilder: média entre homens (1) e mulheres (0,85)
Vestimenta (clo)	0,61	0,61	0,61	0,61	ASHRAE 55
Computadores					
Densidade (W/m ²)	1,38 - 1,49 ^(A)	0,29 - 0,41 ^(B)	0,47 ^(C)	10	Térreo: CELPE (2007) Escritórios: NBR 16401-1:2008
Padrão de uso	Seg. à sáb. 9-20h	Seg. à sáb. 9-20h	Seg. à sáb. 8-20h	Seg. à sex. 8-19h	Ed. Galeria
Equipamentos					
Densidade (W/m ²)	-	0,84 - 1,20 ^(D)	-	-	Térreo: CELPE (2007)
Padrão de uso	Seg. à sáb. 9-20h	Seg. à sáb. 9-20h	Seg. à sáb. 8-20h	Seg. à sex. 8-19h	Ed. Galeria
Outros					
Densidade (W/m ²)	1,13 - 1,22 ^(E)	0,31 - 0,45 ^(F)	-	-	Térreo: CELPE (2007)
Padrão de uso	Seg. à sáb. 9-20h	Seg. à sáb. 9-20h	Seg. à sáb. 8-20h	Seg. à sex. 8-19h	Ed. Galeria

(A) A depender da área do restaurante. Considera 2 computadores por restaurante (220W)

(B) A depender da área da loja. Considera 1 computador por loja (110W)

(C) Considera 3 computadores (330W)

(D) A depender da área da loja. Considera 1 impressora pequena (320W)

(E) A depender da área do restaurante. Considera 3 máquinas de cartão de crédito (180W)

(F) A depender da área da loja. Considera 2 máquinas de cartão de crédito (120W)

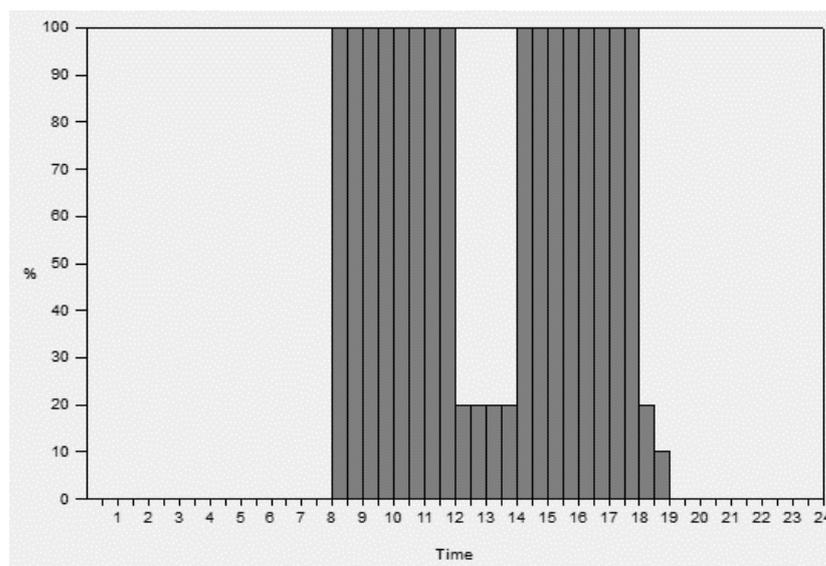


Figura 76 – Padrão de ocupação dos escritórios. Fonte: DesignBuilder

Na aba *Construction*, foram indicados os dados construtivos do edifício colhidos no projeto executivo de reabilitação (Tabela 16 e 17). Ressalta-se a variação na composição e altura das lajes de piso e a elevada espessura das paredes externas, típica de edifícios construídos na época.

Tabela 16 – Composição da laje de piso (internal floor) por pavimento

Pav.	Componente	Composição	Condutividade térmica (W/m-k)	U (W/m ² -k) total	Espessura (m)	E _{tot} (m)
10 ^o	Contrapiso	concreto celular	0,180	0,027	0,200	1,23
	Laje nervurada	Concreto armado	1,510		0,100	
	Forro	Colchão de ar	0,026		0,914	
		Modulado acústico	0,052		0,016	
9 ^o	Piso elevado	Carpete	0,060	0,031	0,008	1,47
		Concreto leve	0,140		0,032	
		Colchão de ar	0,026		0,130	
	Contrapiso	concreto celular	0,180	0,070		
	Laje maciça	Concreto armado	1,510	0,560		
	Forro	Colchão de ar	0,026	0,654		
Modulado acústico		0,052	0,016			
8 ^o	Piso elevado	Carpete	0,060	0,046	0,008	0,80
		Concreto leve	0,140		0,032	
		Colchão de ar	0,026		0,130	
	Contrapiso	concreto celular	0,180	0,070		
	Laje caixa perdido	Concreto armado	1,510	0,080		
		Colchão de ar	0,026	0,400		
7 ^o	Piso elevado	Concreto armado	1,510	0,051	0,080	0,75
		Carpete	0,060		0,080	
		Concreto leve	0,140		0,032	
	Colchão de ar	0,026	0,130			
Contrapiso	concreto celular	0,180	0,070			

6º	Laje caixaõ perdido	Concreto armado	1,510	0,021	0,080	1,49
		Colchão de ar	0,026		0,350	
		Concreto armado	1,510		0,080	
	Piso elevado	Carpete	0,060		0,080	
		Concreto leve	0,140		0,032	
		Colchão de ar	0,026		0,120	
	Contrapiso	concreto celular	0,180		0,070	
	Laje caixaõ perdido	Concreto armado	1,510		0,080	
		Colchão de ar	0,026		0,420	
		Concreto armado	1,510		0,080	
Forro	Colchão de ar	0,026	0,664			
	Modulado acústico	0,052	0,016			
4º/ 5º	Piso elevado	Carpete	0,060	0,017	0,008	1,786
		Concreto leve	0,140		0,032	
		Colchão de ar	0,026		0,120	
	Contrapiso	concreto celular	0,180		0,070	
	Laje caixaõ perdido	Concreto armado	1,510		0,080	
		Colchão de ar	0,026		0,380	
		Concreto armado	1,510		0,080	
	Forro	Colchão de ar	0,026		1,000	
		Modulado acústico	0,052		0,016	
	3º	Piso elevado	Carpete		0,060	
Concreto leve			0,140	0,032		
Colchão de ar			0,026	0,120		
Contrapiso		concreto celular	0,180	0,070		
Laje caixaõ perdido		Concreto armado	1,510	0,080		
		Colchão de ar	0,026	0,450		
		Concreto armado	1,510	0,080		
Forro		Colchão de ar	0,026	0,464		
		Modulado acústico	0,052	0,016		
2º		Piso elevado	Carpete	0,060	0,039	0,008
	Concreto leve		0,140	0,032		
	Colchão de ar		0,026	0,120		
	Contrapiso	concreto celular	0,180	0,070		
	Laje caixaõ perdido	Concreto armado	1,510	0,080		
		Colchão de ar	0,026	0,320		
		Concreto armado	1,510	0,080		
	Forro	Colchão de ar	0,026	0,185		
		Gesso acartonado	0,180	0,015		
	Térreo	Piso	Mármore	2,770		0,538
Contrapiso		concreto celular	0,180	0,07		
	Laje	Concreto armado	1,510		0,20	

Tabela 17 – Composição das paredes externas e internas (external walls / partitions). Fonte: a autora

	U (W/m ² -k) total	Espessura (m)	Espessura total (m)	Refletância (visível)
Paredes externas				
Reboco bege externo		0,03		
Tijolo cerâmico	1,08	0,61	0,67	0,60
Reboco interno		0,02		
Gesso		0,01		
Paredes internas				
Gesso acartonado		0,015		
Colchão de ar	1,73	0,09	0,12	0,88
Gesso acartonado		0,015		

O escalonamento dos andares superiores gera áreas de laje de piso em contato com o exterior (designadas *Flat roofs*) nos 6º, 8º, 9º e 10º pavimentos. Estas sacadas possuem a mesma composição das lajes de piso do seu respectivo pavimento, com a exclusão da camada de piso elevado.

A Tabela 18 detalha dados sobre as aberturas especificados na aba *Opening* do programa. Vale ressaltar que as substituições de esquadrias realizadas em alguns pavimentos durante reabilitação foram desconsideradas, visto que reduzem o potencial de captação dos ventos. Desta forma, as novas esquadrias fixas foram substituídas pelo modelo original, composto por duas folhas de abrir e uma bandeirola fixa.

Tabela 18 – Composição das janelas e portas externas (*openings*). Fonte: a autora.

Pav	Nº	Composição / tipologia	U (W/m ² - k)	H*	L	Peitoril
10º	0	-		-	-	-
9º	42			3,00	1,50	-
8º	50	Portas e janelas com 2		3,00	1,50	-
7º	62	folhas de abrir e uma		2,50	1,50	1,05
6º	62	bandeirola fixa,		2,37	1,50	0,89
5º	62	compostas por	1,98	3,05	1,50	-
4º	62	vidro comum e caixilho		3,26	1,50	-
3º	62	de madeira pintado de		2,95	1,50	-
2º	62	branco		2,40	1,50	0,69
Térreo	33	Janelas fixas		3,92	variável	0,90

* Incluindo bandeirola fixa

A iluminação artificial (aba *Lighting*) funciona ininterruptamente durante o horário de ocupação dos escritórios. Ela provém de luminárias embutidas no forro de gesso e apresenta uma potência de 10,50 W/m². Seu acionamento ocorre sempre que a luz natural for insuficiente para garantir uma iluminância interna de 500 lux. O controle se dá de forma linear, com o aumento contínuo de sua potência para complementação da luz natural.

Na aba *HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning)* do programa, foram desativados todos os sistemas de climatização artificial, mantendo-se apenas a ventilação natural como estratégia de resfriamento. As portas e janelas são mantidas abertas apenas durante o horário de ocupação, por questões de segurança.

Indicou-se um número renovação de ar por hora para cada pavimento, com base nos resultados das simulações internas para o 2º, 6º e 9º pavimento. Considerando a reduzida variação dos valores de pressão nas fachadas do 2º ao 5º, indicou-se para todos eles a renovação de ar do 2º pavimento. Seguindo o mesmo raciocínio, foram consideradas também equivalentes as renovações do 6º e 7º e do 8º e 9º. O 10º andar (pavimento técnico) não opera com a ventilação natural pois mantém-se selado.

A variação de renovação de ar ao longo do ano foi especificada por meio de um cronograma (*schedule*). Partindo-se do número de renovações máximo alcançado em cada pavimento (*outside air*) ao longo do ano, indicou-se no cronograma a fração (de 0 a 1) deste que ocorre em cada estação e hora, para os dias de semana, fins de semana e feriados. Na Figura 77, o trecho destacado indica que nos dias de semana de 1 de janeiro a 19 de março (verão), o número de renovações é nulo até as 8h da manhã, 15,79 (0,65 x 24,29) entre 8h e 13h30, 20,89 (0,86 x 24,29) entre 13h30 e 19h e depois volta a ser zero após as 19h.

A circulação de ar pelas portas e janelas é complementada por uma constante infiltração de ar de 0,70 renovações por hora.

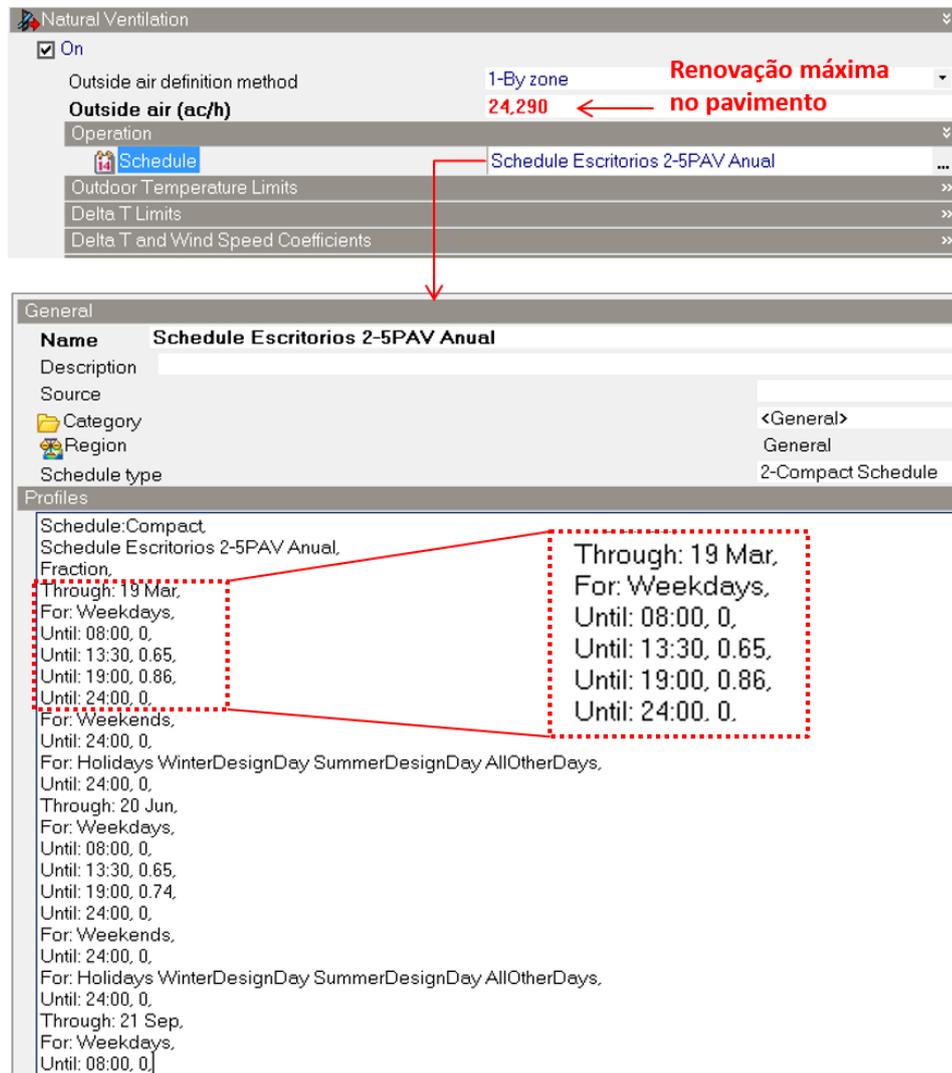


Figura 77 – Configurações de ventilação natural na aba HVAC. Fonte: adaptado de DesignBuilder

Com a finalidade de analisar de forma mais aprofundada como os dados de ventilação natural influenciam nos cálculos do *DesignBuilder*, realizou-se um teste de sensibilidade com um modelo simplificado de 10 x 10 x 3,5m, situado no Rio de Janeiro. Nesta simulação, variou-se unicamente a taxa de renovação de ar e observou-se seus efeitos na temperatura interna do ar na zona (temperatura de bulbo seco). Os resultados são apresentados na Figura 78.

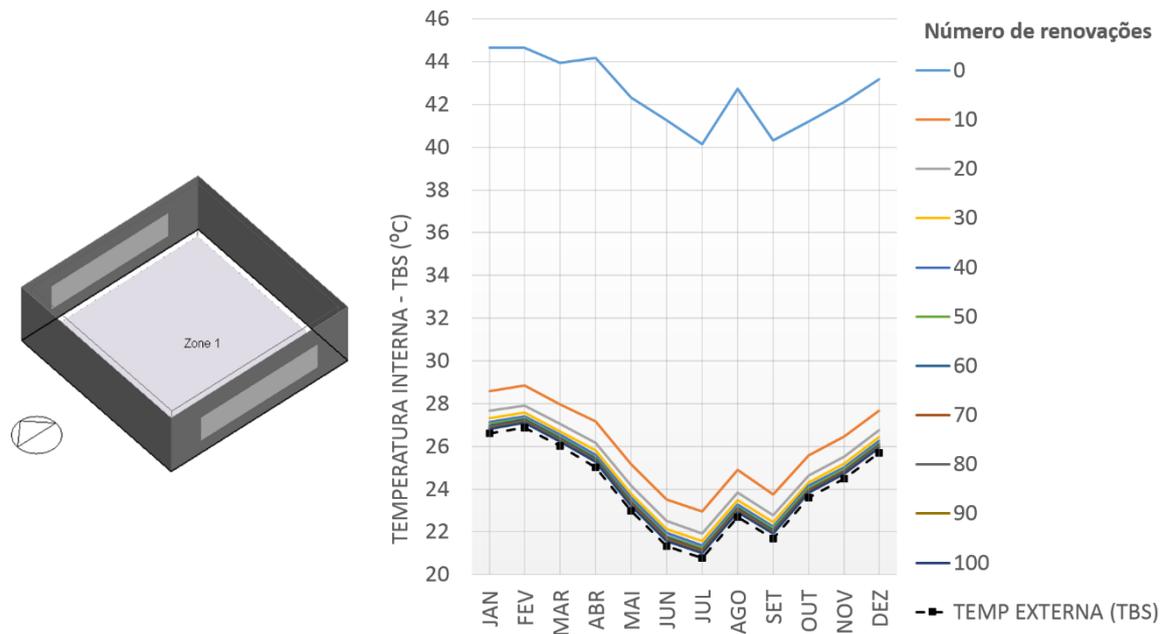


Figura 78 – Teste de sensibilidade no DesignBuilder. Número de renovações x Temperatura interna do ar (°C). Fonte: a autora.

Verifica-se que quando as janelas estão fechadas (0 renovações), as temperaturas internas são bastante elevadas e seguem as variações da temperatura externa do ar. A abertura das janelas modifica sobremaneira este cenário de desconforto. Com 10 renovações por hora, as temperaturas caem em média 17°C, no entanto esta queda tende a ser menos expressiva a partir de 20 renovações (apenas 1°C de diferença). A partir deste ponto, o aumento da vazão de ar torna-se inexpressivo e o programa reduz sobremaneira a sensibilidade quanto a esta variação.

Esta reduzida variação da temperatura do ar indica uma possível equalização das temperaturas internas e externas quando a vazão de ar é expressiva no ambiente, decorrente das trocas térmicas crescentes entre meio interior e exterior. Este comportamento, esperado no caso da ventilação natural, aponta um grau de confiabilidade dos resultados obtidos pelo programa.

A simulação anual adotou 4 *timesteps*. Todos os edifícios incluídos na geometria foram considerados nos cálculos de sombreamento e os efeitos da radiação solar foram computados tanto internamente quanto na parte exterior do edifício.

O calendário de feriados foi manualmente inserido, considerando como referência o ano de 2002, ano típico dos dados climáticos. O horário de verão foi incluído nos cálculos.

Nos demais parâmetros, foram mantidas as configurações padrões.

O principal dado de saída analisado foi a variação horária da temperatura operativa¹⁶ das zonas de escritórios do 2º, 6º e 9º pavimento. Esta foi comparada com as faixas de temperatura neutra¹⁷ de três modelos de conforto adaptativo para calcular o número de horas por ano em que a ventilação natural, por si só, assegura o conforto térmico da maioria dos ocupantes.

Os resultados são apresentados por meio de gráficos que confrontam o percentual de horas de conforto e desconforto por estação e o desconforto por frio e por calor. Quando se faz necessária uma compreensão mais aprofundada dos resultados, apresentam-se gráficos que comparam os ganhos de calor internos considerando as diferentes fontes (iluminação, equipamentos, ocupação e radiação na fachada).

4.3.1.5. Interpretação dos resultados: modelos de conforto adaptativo adotados

O modelo de conforto adaptativo proposto pela ASHRAE RP-884 (DE DEAR; BRAGER; 1998) reconhece uma nova percepção de conforto térmico, que considera, além das respostas fisiológicas do corpo humano, aspectos culturais e psicológicos que influenciam na adaptação às condições ambientais locais (GONÇALVES; BODE, 2015).

Esta nova abordagem admite que, muito além de condições aceitáveis de temperatura e umidade do ar, o edifício deve oferecer oportunidades ao usuário de se adaptar às oscilações ambientais, seja por meio da abertura ou fechamento de janelas, o ajuste de persianas e a operação de equipamentos de resfriamento e aquecimento. Por outro lado, entende que o usuário deve-se tornar um sujeito ativo, que busque meios de alcançar seu bem-estar, de acordo com suas atividades, preferências e experiências. Neste sentido, sugere a adequação da vestimenta ou a movimentação no espaço, de forma a encontrar uma condição de equilíbrio e conforto individual (HUMPHREYS et al, 2013).

O modelo adaptativo reconhece que edifícios naturalmente ventilados oferecem aos ocupantes mais oportunidades de adequação que os edifícios que utilizam sistemas mecânicos. Este fator associado às expectativas que os usuários possuem em relação às condições térmicas oferecidas pelo meio exterior geram uma maior aceitação a oscilações de temperatura interna do ar que quando em ambientes artificialmente climatizados.

¹⁶ A temperatura operativa (TO) é uma temperatura uniforme de um ambiente negro imaginário no qual o indivíduo poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que em um ambiente real não uniforme. Ela é calculada pela média entre a temperatura do ar e a temperatura radiante em um ambiente interno, e indica a experiência térmica sentida pelo corpo humano no espaço.

¹⁷ A temperatura neutra se referente à temperatura que oferece sensação térmica neutra (TOE, KUBOTA, 2013).

Baseando-se em extenso banco de dados fornecidos por pesquisas experimentais, diversos estudos vêm sendo realizados desde a década de 70 para auxiliar na predição de uma faixa de temperatura considerada confortável para a maioria dos ocupantes em um dado contexto climático (HUMPHREYS et al, 2013).

Os modelos resultantes diferem significativamente entre si, especialmente quanto a extensão do intervalo de temperatura considerado confortável, o que pode influenciar sobremaneira na interpretação dos resultados de pesquisas de conforto térmico. Deste modo, optou-se por selecionar três modelos e comparar os resultados das simulações térmicas sob a óptica de cada um deles, buscando identificar o mais adequado ao contexto climático estudado.

- De Dear e Brager (2001)

De Dear e Brager (2001) se basearam em 21.000 observações de sensação térmica em 160 edifícios de 9 países a fim de propor uma equação linear para calcular a temperatura neutra (de conforto) a partir de temperaturas médias mensais externas (Eq. 5). Uma variação de $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ da temperatura neutra é tolerada para 80% dos ocupantes, ao passo que uma variação de $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ é aceita por 90% dos ocupantes. Esta equação foi utilizada para elaboração da norma americana ASHRAE 55 (2004) e é amplamente adotada nos estudos de conforto térmico.

$$T_n = 17,8 + 0,31 T_{mm} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde

T_n – Temperatura neutra

T_{mm} – Temperatura média mensal externa

A Figura 79 mostra a variação anual da temperatura neutra obtida a partir de dados de temperatura média mensal registrados no Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro.

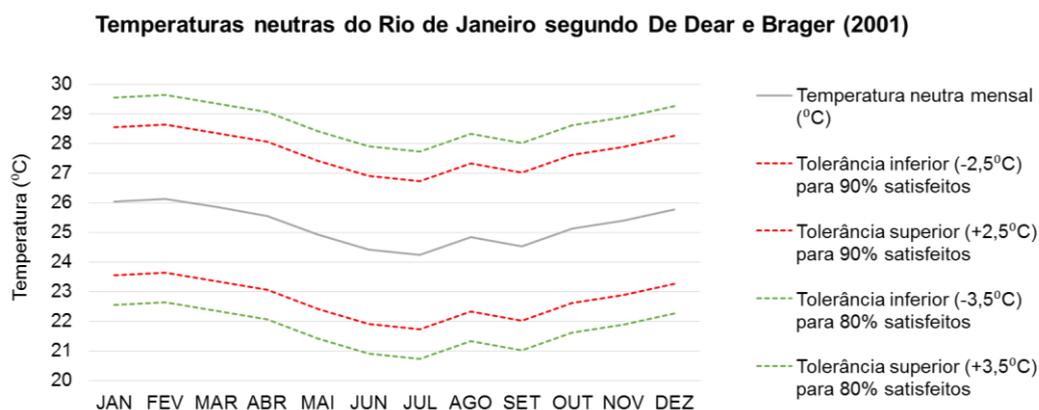


Figura 79 – Temperaturas neutras do Rio de Janeiro segundo De Dear e Brager (2001). Fonte: a autora

Para análise dos resultados, serão consideradas as faixas de tolerância para 80% dos ocupantes satisfeitos ($\pm 3,5^{\circ}\text{C } T_n$), que equivale à amplitude térmica média anual observada na cidade do Rio de Janeiro ($6,9^{\circ}\text{C}$) (GOULART et al, 1998).

- Humphreys et al (2013)

Humphreys et al (2013) propuseram um novo modelo a partir da revisão da equação originalmente apresentada por Humphreys (1978). A nova equação (Eq. 6) se fundamenta em 58.000 observações em edifícios de escritórios situados em diferentes contextos climáticos. Para prever a temperatura neutra, considera uma temperatura exponencial externa (*Running mean outdoor temperature - Trm*) que se baseia na influência de experiências térmicas sobre a percepção dos usuários (Eq. 7).

$$T_n = 13,8 + 0,53(\pm 0,02)Trm \quad (\text{Eq. 6})$$

$$Trm(\text{amanhã}) = 0,8 Trm (\text{ontem}) + 0,2 T_m (\text{hoje}) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde

Trm – Temperatura exponencial externa

Tm – temperatura média do dia (exterior), calculada pela média entre a temperatura máxima e a temperatura mínima do dia.

Neste modelo, o intervalo de temperatura neutra é calculado a partir da variação de $\pm 0,02$ do valor multiplicado pela Trm e não por uma variação de temperatura fixa como proposto no modelo anterior. Segundo os autores, o desconforto depende da distância da temperatura neutra real e não da regressão estimada desta.

A Figura 80 apresenta a variação anual da temperatura neutra para o Rio de Janeiro, segundo Humphreys et al (2013). Observa-se uma redução considerável do intervalo de temperatura de conforto se comparado ao modelo anterior, o que antecipa que os resultados interpretados segundo este modelo possivelmente indicarão um potencial de ventilação natural significativamente menor para o edifício Galeria.

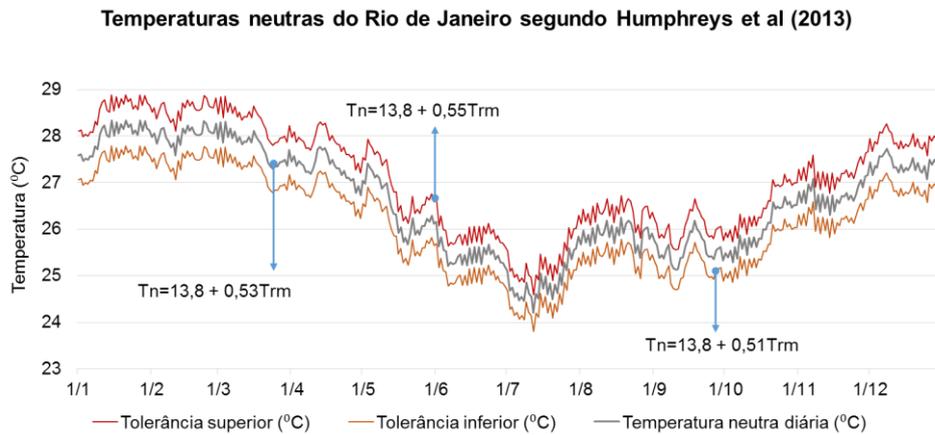


Figura 80 – Temperaturas neutras do Rio de Janeiro segundo Humphreys et al (2013). Fonte: a autora.

- Toe e Kubota (2013)

Toe e Kubota (2013) propõem um modelo adaptativo específico para o clima quente e úmido, baseando-se exclusivamente nos dados da ASHRAE RP-884 relativos a este contexto climático (1682 observações em edifícios residenciais e de escritórios).

A temperatura neutra é calculada com base em duas variáveis: a temperatura média diária (T_{md}) e a velocidade do ar interior. A inclusão deste segundo fator decorre da observação de que a tolerância dos ocupantes a elevadas temperaturas aumenta com a velocidade do ar, em razão das perdas de calor geradas pela evaporação da transpiração.

Três equações foram propostas para grupos distintos de velocidade do ar (Eq. 8-10).

Velocidades baixas ($V < 0,3$ m/s)

$$T_n = 13,7 + 0,57T_{md} \quad (\text{Eq. 8})$$

Velocidades moderadas ($0,3 \leq V < 0,65$ m/s)

$$T_n = 14,5 + 0,54T_{md} \quad (\text{Eq. 9})$$

Velocidades elevadas ($V \geq 0,65$ m/s)

$$T_n = 8,9 + 0,80T_{md} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde

T_{md} – Temperatura média diária, calculada pela média das temperaturas observadas em 24h, considerando um mínimo de quatro observações por dia.

Os autores ressaltam que a velocidade moderada tem um efeito muito reduzido sobre a temperatura neutra, se comparado a velocidade baixa. O maior benefício ocorre com

velocidades elevadas, que aumentam sobremaneira a tolerância dos ocupantes quanto às temperaturas internas.

Para a análise dos resultados, a equação a ser adotada varia em função da velocidade média obtida em plano horizontal a 0,75m do piso (plano de trabalho) nos três pavimentos analisados.

Neste modelo, considera-se aceitável uma variação de até - 0,7°C em relação a temperatura neutra para 80% dos ocupantes. Esta reduzida tolerância faz deste o modelo mais restritivo dos três analisados.

A Figura 81 apresenta a variação anual de temperatura neutra para o Rio de Janeiro, considerando os três grupos de velocidade.

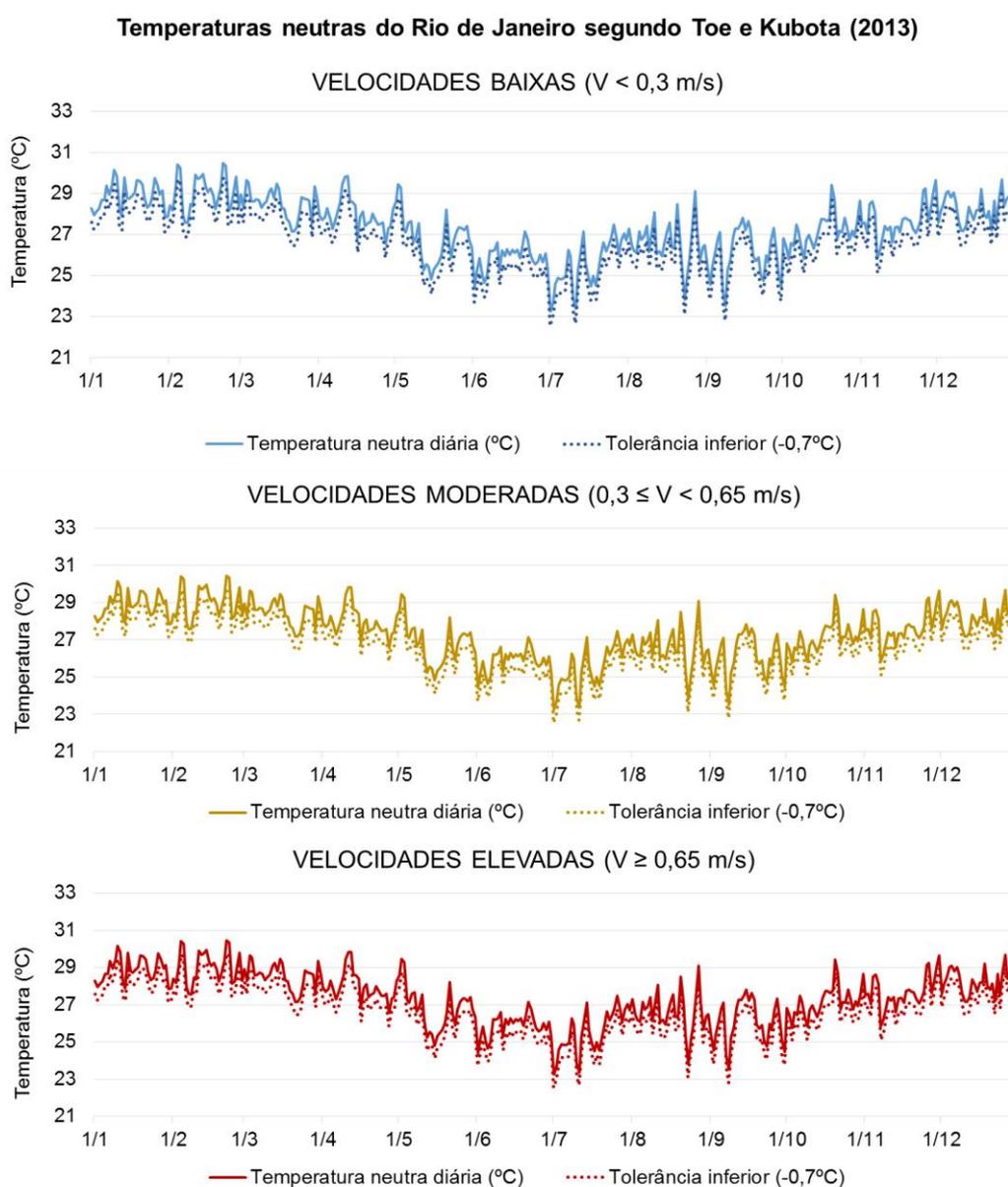


Figura 81 – Temperaturas neutras do Rio de Janeiro segundo Toe e Kubota (2013). Fonte: a autora.

Comparado os três modelos (DE DEAR E BRAGER, 2001; HUPHREYS ET AL, 2013; TOE E KUBOTA, 2013), verifica-se uma maior oscilação de temperatura dentro de um mês, ainda que se mantenha o padrão de redução de temperatura no inverno (Figura 82). Esta oscilação decorre da adoção de temperaturas médias diárias no cálculo da temperatura neutra, as quais apresentam uma variação relativamente alta entre um dia e outro no ano típico de referência. O mesmo não ocorre quando utilizada a temperatura média mensal (de DEAR e BRAGER, 2001) e a temperatura “*running mean*” (HUMPHREYS et al, 2013).

Evidencia-se mais uma vez o claro contraste entre as amplitudes das três faixas de conforto. O modelo de De Dear e Brager (2001) é o mais tolerante a variações de temperatura do ar.

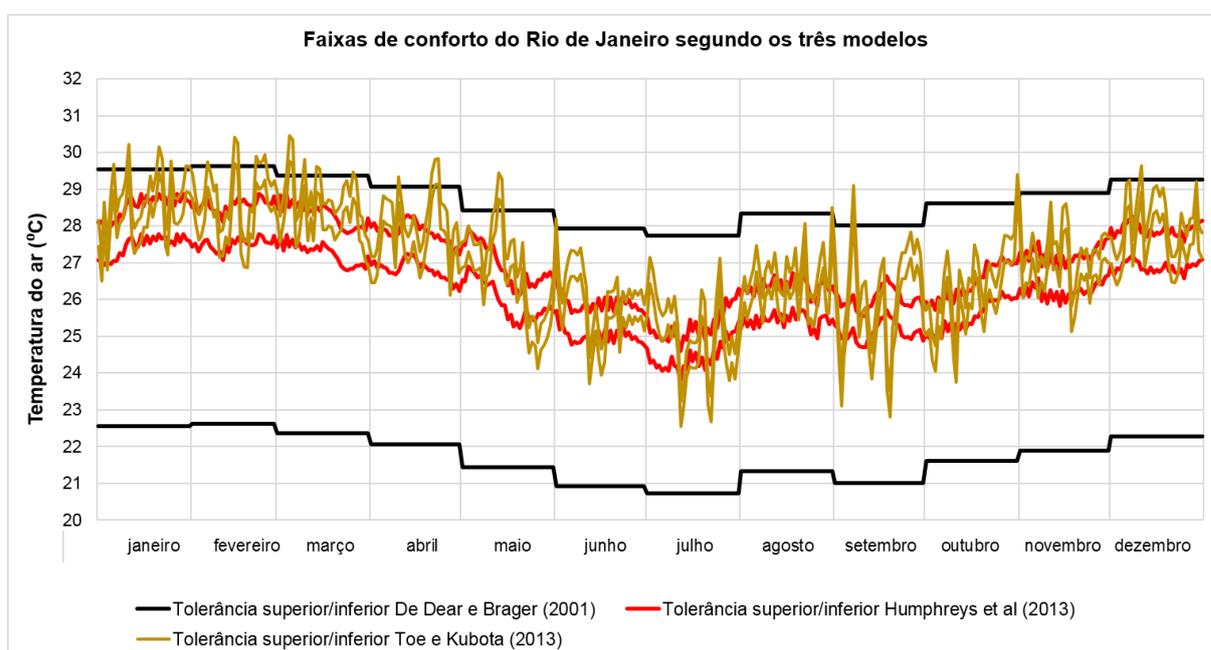


Figura 82 – Faixas de conforto do Rio de Janeiro segundo os três modelos. Fonte: a autora

Na análise dos resultados, as temperaturas operativas acima das linhas de tolerância superior indicarão uma situação de desconforto por calor, enquanto que abaixo das linhas de tolerância inferior, será evidenciada uma condição de desconforto por frio.

Serão avaliadas as percentagens de horas anuais de ocupação em que os usuários se encontram em situação de conforto térmico (dentro das faixas de temperatura de conforto).

É importante salientar que estes valores se restringem às condições oferecidas pelos ventos provenientes das direções dominantes Norte e Sudeste, que representam cerca de 7% e 12% das horas de ocupação, respectivamente, segundo dados meteorológicos dos últimos 10 anos.

4.3.2. Resultados

4.3.2.1. Simulações urbanas

Nas simulações urbanas, verificou-se que, para uma mesma direção do vento, a variação da velocidade do ar a 10m do solo nas quatro estações do ano praticamente não alterou os resultados em termos qualitativos, mas apenas de modo quantitativo. Desta forma, os resultados a seguir serão apresentados por meio de uma única sequência de imagens com as legendas correspondentes a cada situação.

- *Morfologia de 1976 – Manhã (Norte, 0°)*

Na Figura 83, observa-se que a homogeneidade de alturas característica da morfologia de 1976 criava zonas bem demarcadas de estagnação e de canalização dos ventos nos níveis mais próximos à rua, que variavam em função da direção das vias e dos desvios gerados pelo edifício Galeria.

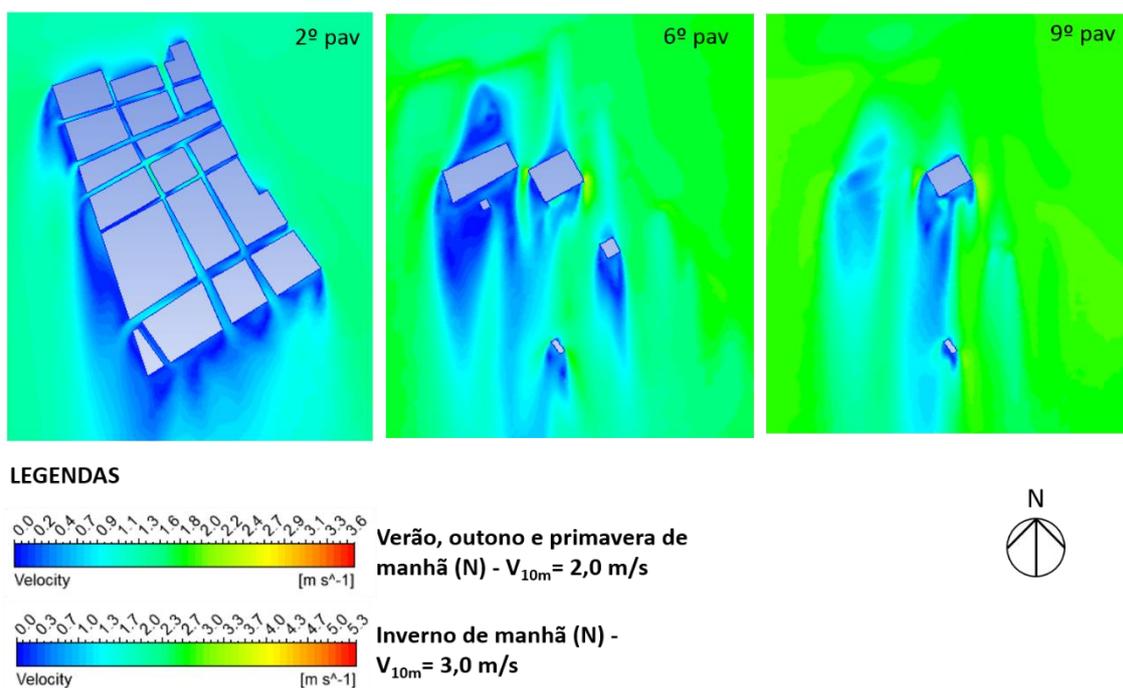


Figura 83 – Morfologia de 1976, manhã. Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento. Fonte: Ansys CFX

A altura pronunciada do edifício Galeria àquela época fazia deste o principal obstáculo ao vento na região (Figura 84). À barlavento, os fluxos eram desviados para cima, para baixo e para os lados (fenômeno semelhante ao descrito no capítulo 3, Tópico 3.2), incrementando a

velocidade do ar não só no topo do edifício, como também na Rua do Rosário.

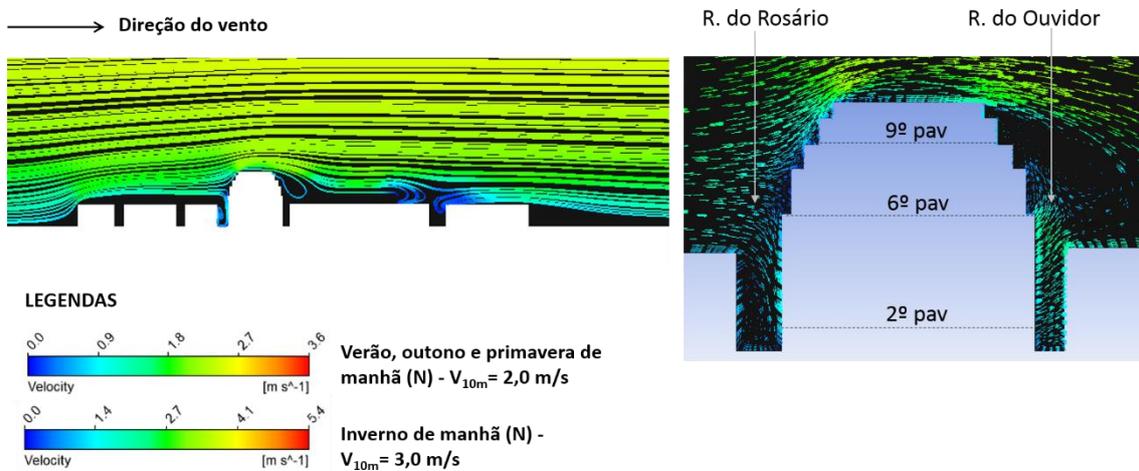


Figura 84 - Morfologia de 1976, manhã. Escoamento visto em corte longitudinal. Fonte: Ansys CFX

Apesar de arredondadas, as quinas do Edifício Galeria descolavam o fluxo de suas fachadas Sudoeste e Sudeste, gerando zonas de estagnação e vórtices à sotavento (Figura 85). Isto ocorria de forma mais pronunciada no 6º e 9º pavimento, quando o fluxo assumia um comportamento semelhante àquele observado em torno de edifícios isolados. A velocidade do ar em volta do edifício Galeria alcançava até 2m/s no verão, outono e primavera e 3 m/s no inverno.

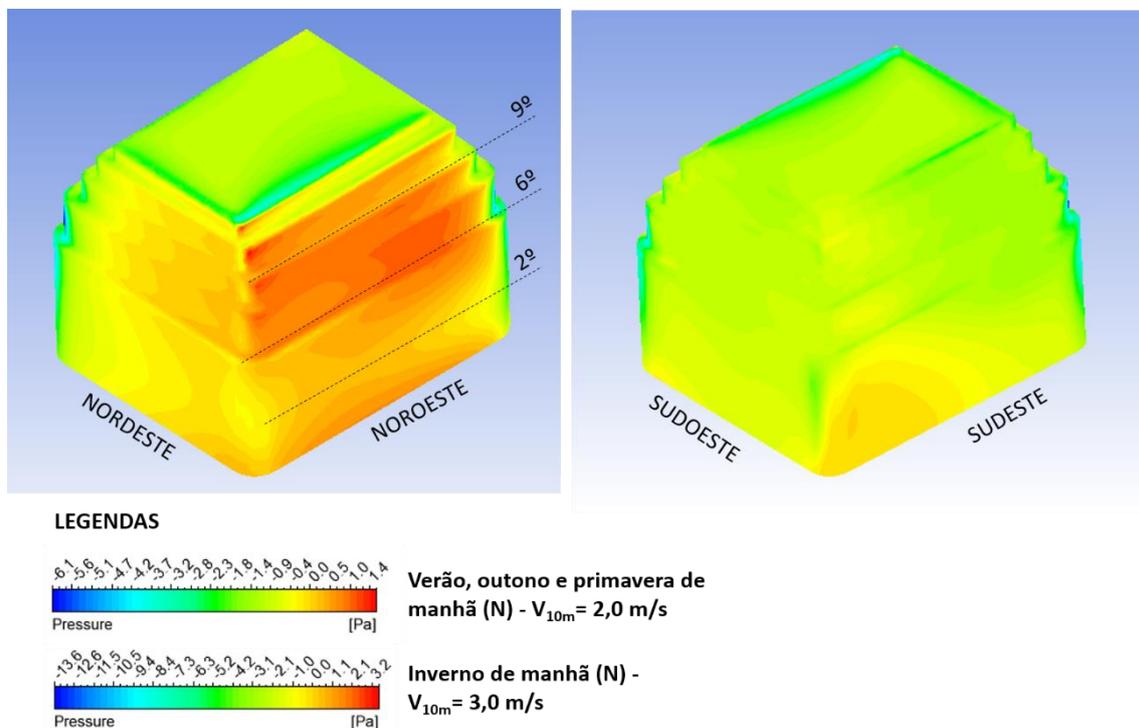


Figura 85 – Morfologia de 1976, manhã. Pressões nas fachadas do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX

Nestes pavimentos, a ausência de obstruções gerava na fachada Noroeste pressões mais elevadas. O pico de pressão ocorriam no 6º pavimento, por ser este o ponto em que os ventos incidiam perpendicularmente à fachada.

A incidência oblíqua dos ventos no 9º pavimento resultante de fluxos ascendentes somada ao escalonamento de sua volumetria reduziam um pouco as pressões sobre sua fachada barlavento.

O 2º pavimento, apesar de inserido no cânion urbano, conseguia minimamente captar os ventos em função dos fluxos descendentes que se formavam junto à via.

Um diferencial de pressão significativo era detectado entre as fachadas barlavento (NE e NO) e sotavento (SE e SO), indicativo de um potencial de ventilação cruzada no edifício, principalmente nos andares mais altos. As maiores velocidades do vento no inverno incrementavam em até 2 vezes as pressões na fachada barlavento.

- *Morfologia de 1976 – Tarde (Sudeste, 160º)*

À tarde, a mudança de direção dos ventos associada ao incremento da velocidade do ar em todas as estações aumentava significativamente a intensidade dos ventos incidentes no edifício Galeria, variando entre 5 e 7 m/s, a depender da época do ano (Figura 86 e 87).

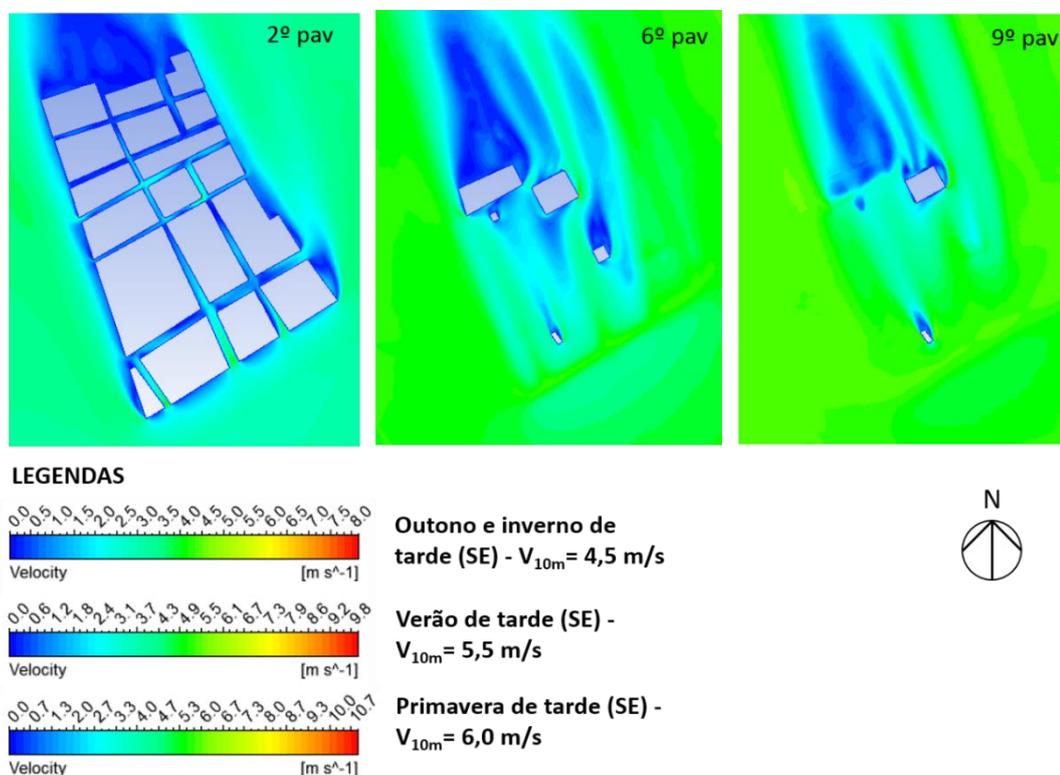


Figura 86 – Morfologia de 1976, tarde. Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento. Fonte: Ansys CFX

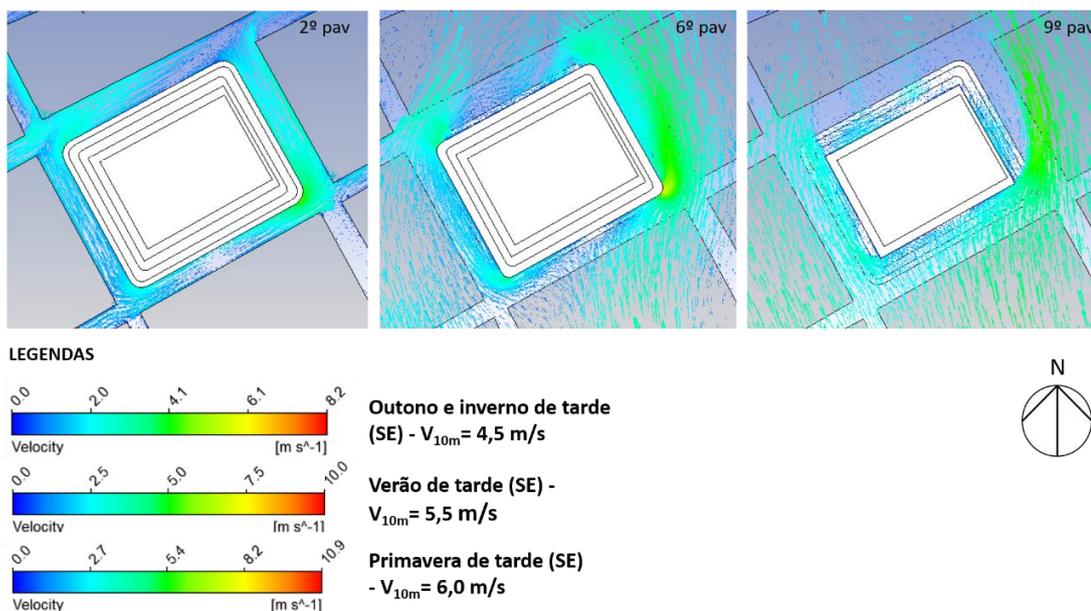


Figura 87 – Morfologia de 1976, tarde. Escoamento do ar em torno do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX

Fluxos descendentes penetravam com até 3 m/s na Rua do Ouvidor, gerando pressões elevadas também nos pavimentos mais baixos, a despeito da elevada profundidade deste cânion urbano (Figura 88). No entanto, o 6º pavimento mantinha-se como aquele com maiores pressões na fachada barlavento (Sudeste), em virtude da incidência perpendicular dos ventos neste nível (Figura 89).

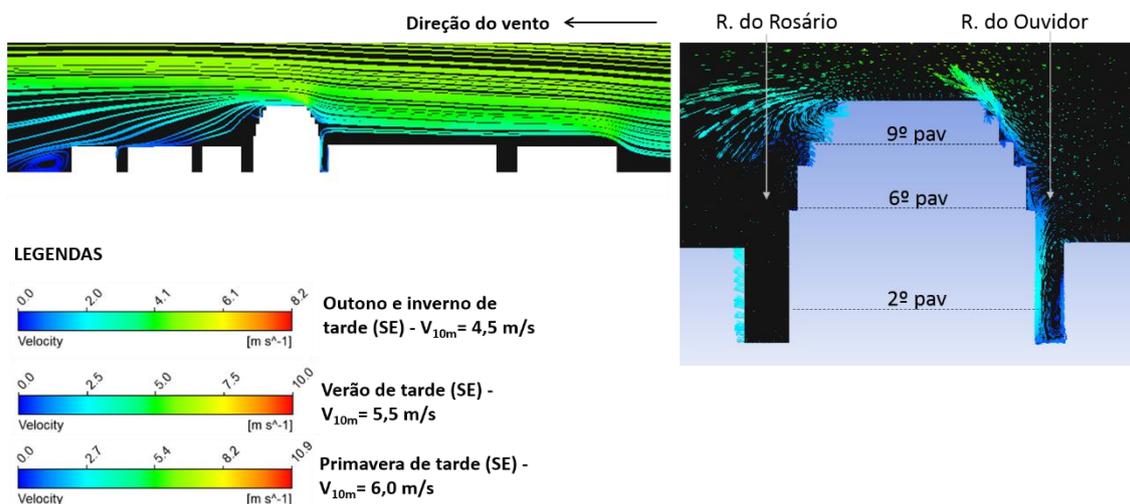
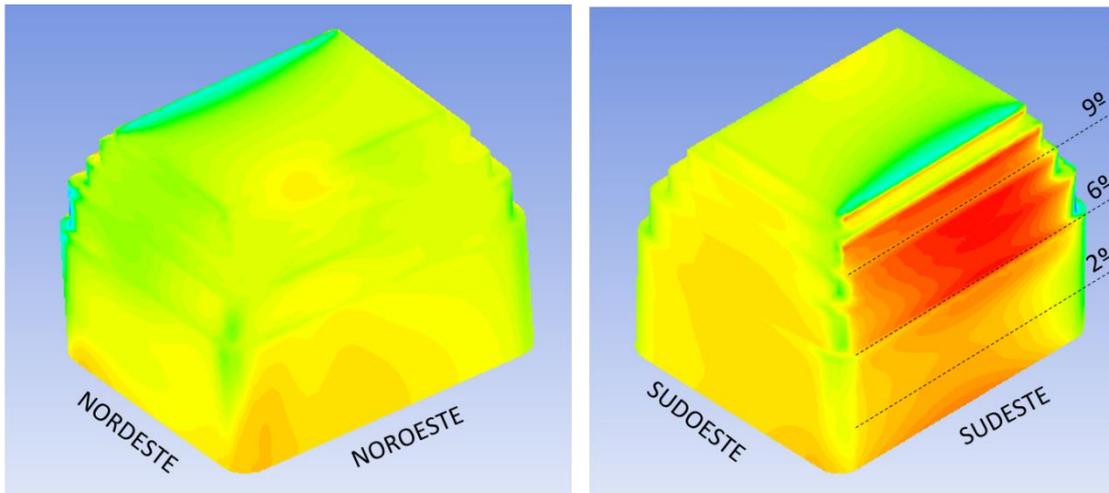
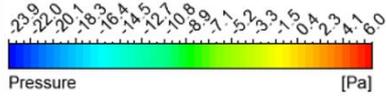


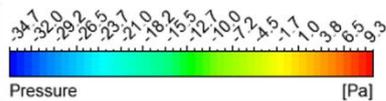
Figura 88 – Morfologia de 1976, tarde. Escoamento visto em corte longitudinal. Fonte: Ansys CFX



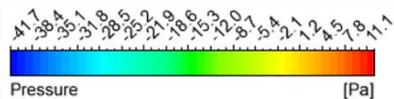
LEGENDAS



Outono e inverno de tarde (SE) - $V_{10m} = 4,5$ m/s



Verão de tarde (SE) - $V_{10m} = 5,5$ m/s



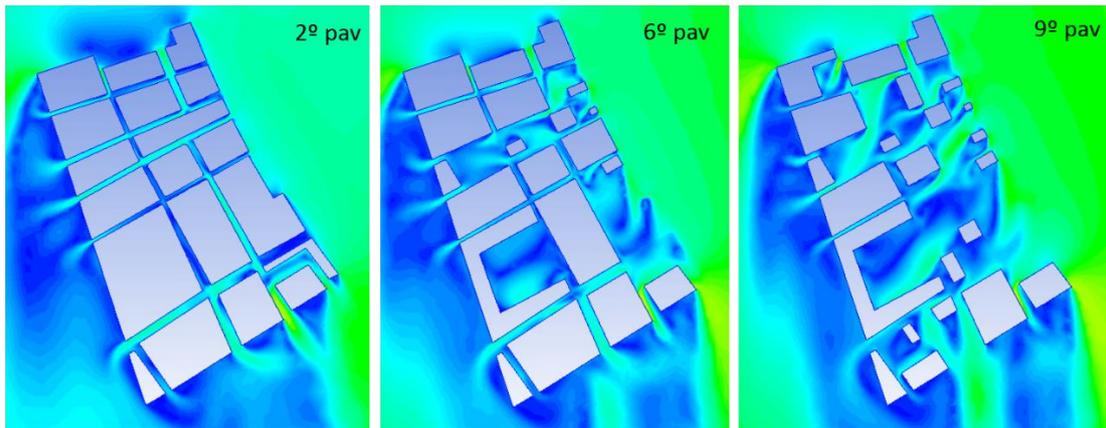
Primavera de tarde (SE) - $V_{10m} = 6,0$ m/s

Figura 89 – Morfologia de 1976, tarde. Pressões nas fachadas do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX

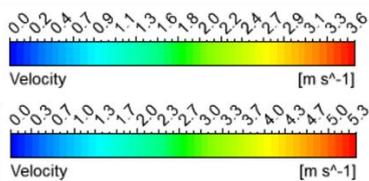
- *Morfologia atual – Manhã (Norte, 0°)*

O processo de verticalização da área em questão desencadeou uma série de transformações nos fluxos de ar em torno do edifício Galeria.

A Figura 90 destaca que, ao contrário da morfologia anterior, nos pavimentos mais altos, o entorno continua formando barreiras ao vento, desviando os fluxos para diversas direções.



LEGENDAS



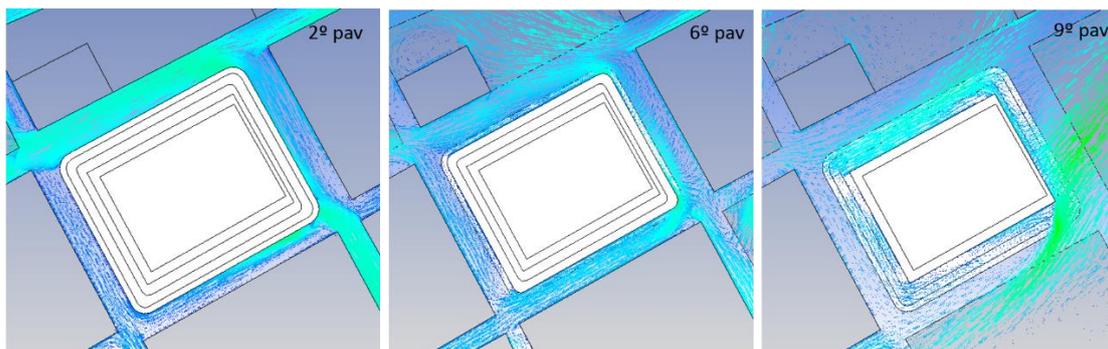
Verão, outono e primavera de manhã (N) - $V_{10m} = 2,0 \text{ m/s}$

Inverno de manhã (N) - $V_{10m} = 3,0 \text{ m/s}$

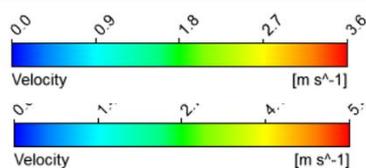


Figura 90 – Morfologia atual, manhã. Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento. Fonte: Ansys CFX

Junto ao ed. Galeria, a canalização gera incidências praticamente tangentes às fachadas do 2º e do 6º pavimento (Figura 91). No 9º andar, em virtude da maior permeabilidade do tecido urbano nesta altura e do redirecionamento do vento pelas edificações vizinhas, o escoamento ocorre de forma oblíqua na fachada Nordeste e gera zonas de sucção nas fachadas Sudeste e Sudoeste.



LEGENDAS



Verão, outono e primavera de manhã (N) - $V_{10m} = 2,0 \text{ m/s}$

Inverno de manhã (N) - $V_{10m} = 3,0 \text{ m/s}$



Figura 91 – Morfologia atual, manhã. Escoamento do ar em torno do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX

A velocidade em torno do edifício alcança até 1,5 m/s independente da época do ano, o que indica uma perda de intensidade em relação à ocupação de 1976.

Em alguns pontos (na quina norte, por exemplo), a velocidade na altura do 2º pavimento supera as encontradas no 6º pavimento, reforçando a ideia de que, a depender da incidência dos ventos, um gradiente vertical de velocidade bem definido nem sempre ocorre no interior de cânions urbanos (WISE et al, 1971; BLOCKEN e CARMELIET, 2004).

Em decorrência da elevada turbulência observada em volta do edifício Galeria, as zonas de alta e baixa pressão variam sobremaneira ao longo de uma mesma fachada e entre os pavimentos. Entretanto, as pressões nas fachadas indicam que as janelas Nordeste estão predominantemente à barlavento (Figura 92).

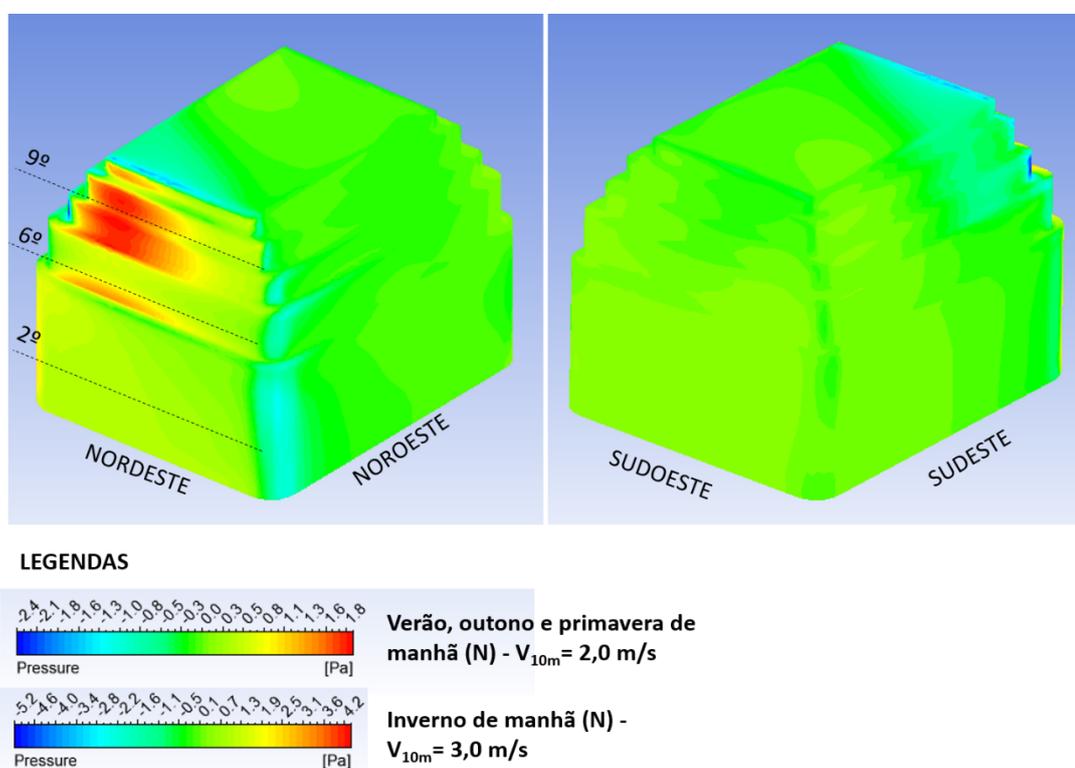


Figura 92 – Morfologia atual, manhã. Pressões nas fachadas do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX

As pressões mais elevadas no 8º e o 9º pavimento decorrem do baixo grau de obstrução gerado pelo entorno nesta altura, conforme ilustra a Figura 93. A relativa baixa profundidade do cânion urbano da R. do Rosário (mantida desde a ocupação anterior), associada à canalização do vento nesta via não prejudicam significativamente o escoamento próximo à fachada barlavento do 2º pavimento. No entanto, é notável que o crescimento vertical das demais quadras à barlavento gera uma queda expressiva da intensidade dos ventos que incide neste e nos demais pavimentos.

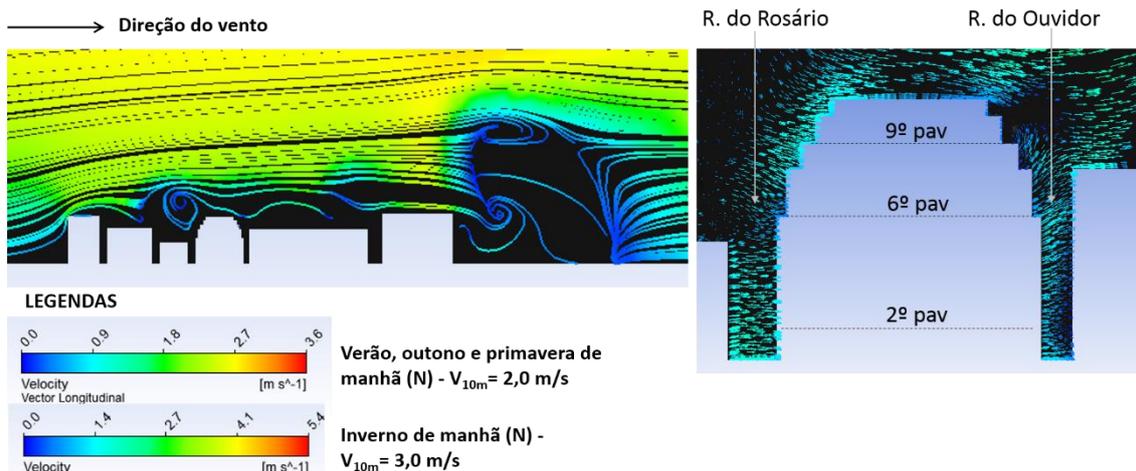


Figura 93 – Morfologia atual, manhã. Escoamento visto em corte longitudinal. Fonte: Ansys CFX

- *Morfologia atual – Tarde (Sudeste, 160°)*

Pela tarde, os ventos provenientes de Sudeste são canalizados pelas vias longitudinais e algumas vias transversais, alcançando até 6,0 m/s no outono e no inverno, 7,0 m/s no verão e 8,0 m/s na primavera (Figura 94). Entretanto, a canalização só beneficia de fato o edifício Galeria na altura do 9º pavimento, em virtude da maior permeabilidade do tecido urbano neste nível e do afunilamento do fluxo gerado por duas torres à barlavento. A fachada mais favorável no 9º andar é a Sudeste, tal como verificado na morfologia de 1976, à tarde.

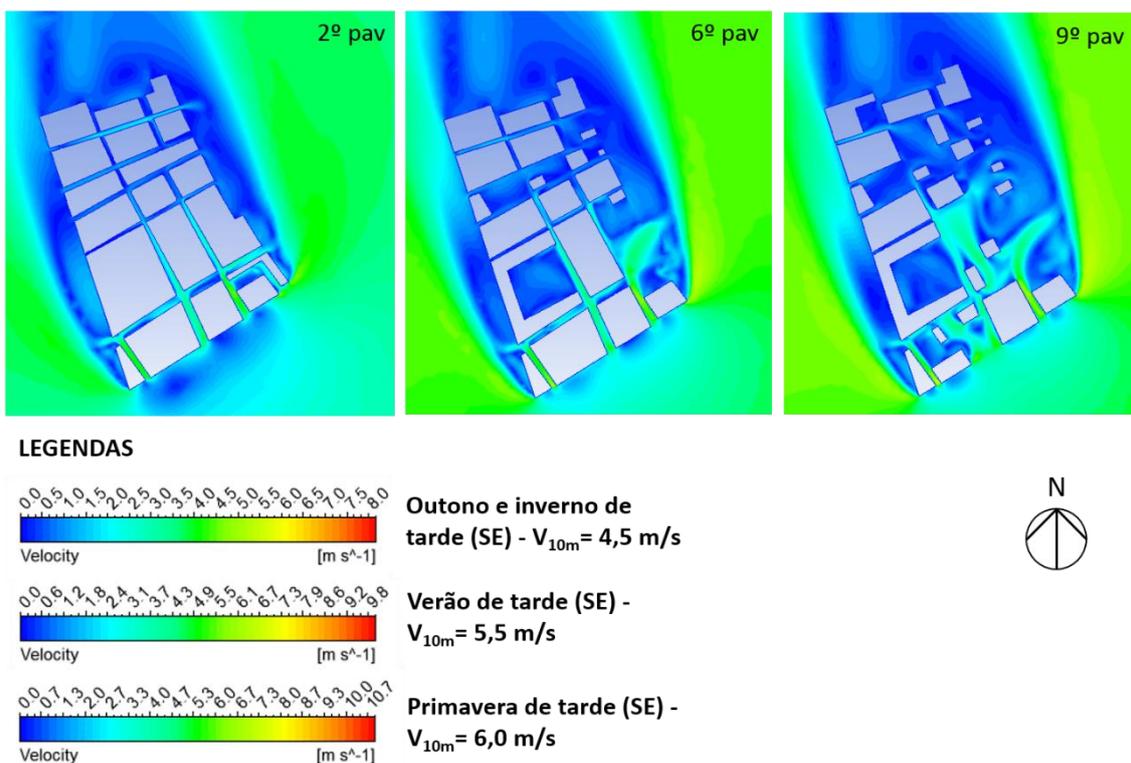


Figura 94 – Morfologia atual, tarde. Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento. Fonte: Ansys CFX

Assim como ocorre pela manhã, o escoamento se mantém praticamente tangente às fachadas do Galeria na altura do 2º e do 6º pavimento, e a velocidade do ar alcança até 3,0 m/s na primavera. Neste período do dia, verifica-se mais claramente um gradiente vertical de velocidade que cresce da base ao topo do edifício (Figura 95).

No 9º pavimento, além da maior intensidade do fluxo, observa-se uma incidência quase normal à fachada Sudeste, diferente da que ocorria na ocupação anterior. Isto reforça a ideia de que determinadas transformações podem gerar desvios nos fluxos mais favoráveis à captação dos ventos por determinados edifícios.

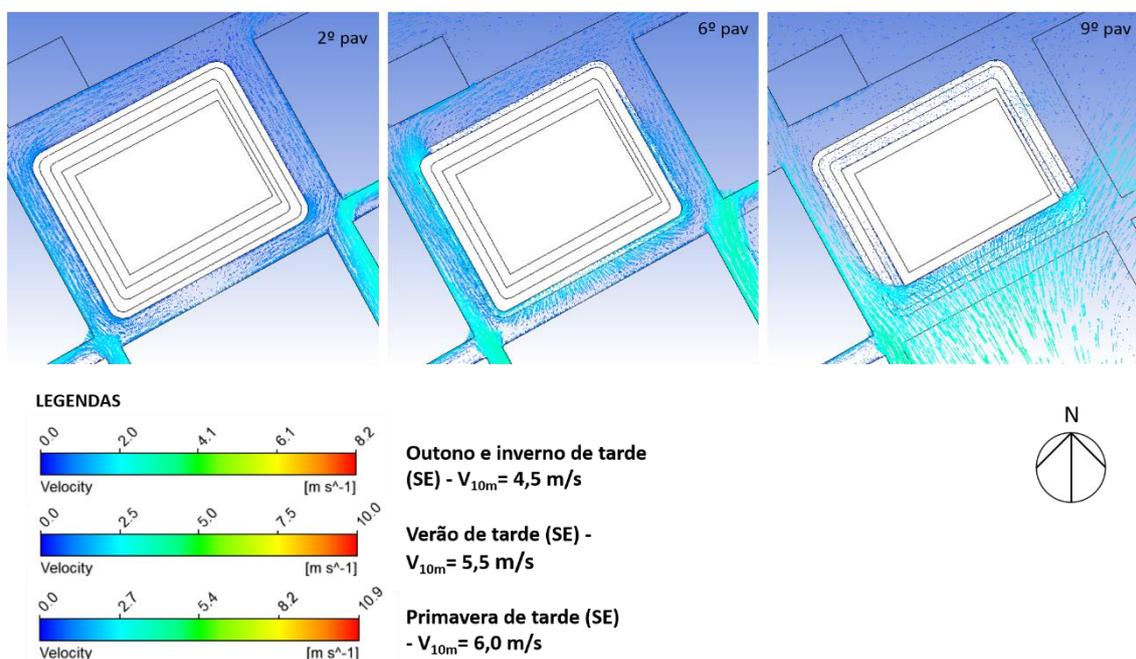
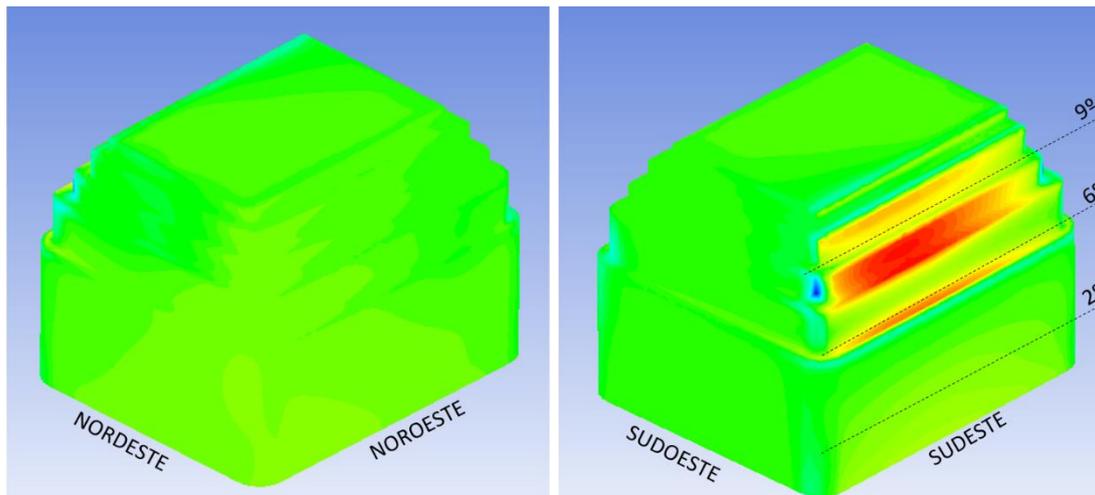
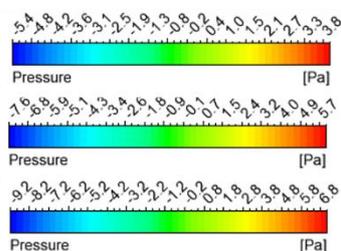


Figura 95 – Morfologia atual, tarde. Escoamento do ar em torno do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX

À despeito desta melhoria detectada no 9º pavimento, as obstruções geradas pelo entorno nos pavimentos mais baixos fazem desta morfologia atual menos favorável à ventilação cruzada que a anterior. A Figura 96 indica um notável desequilíbrio de distribuição de pressões entre os pavimentos do edifício, desencadeado pela alta profundidade do cânion urbano formado pela Rua do Ouvidor (fachada Sudeste) em contraste com a permeabilidade do tecido urbano nos níveis mais altos.



LEGENDAS



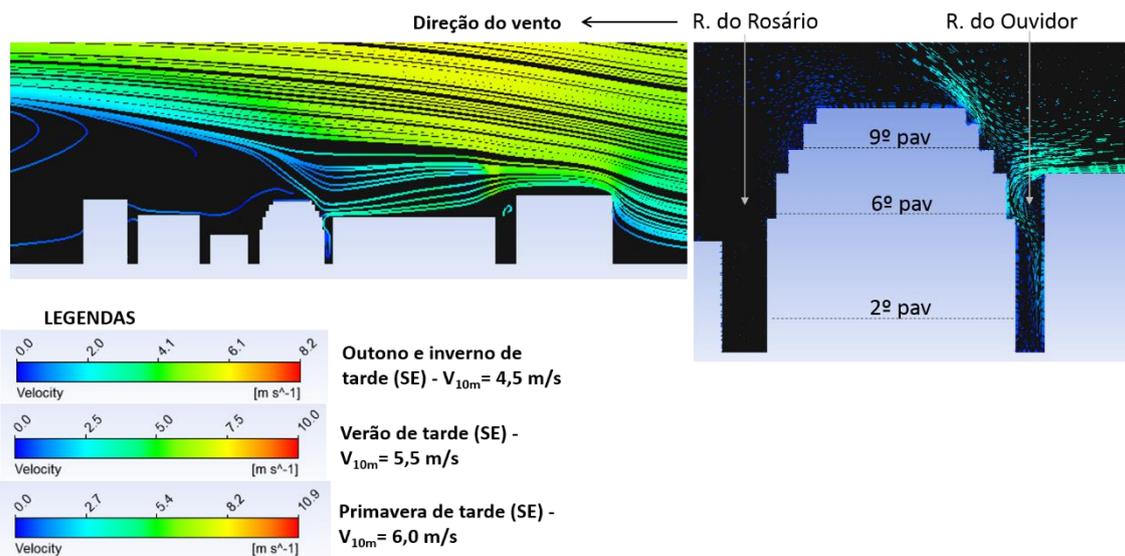
Outono e inverno de tarde (SE) - $V_{10m} = 4,5$ m/s

Verão de tarde (SE) - $V_{10m} = 5,5$ m/s

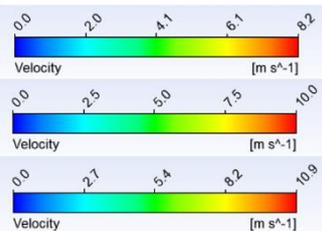
Primavera de tarde (SE) - $V_{10m} = 6,0$ m/s

Figura 96 – Morfologia atual, tarde. Pressões nas fachadas do edifício Galeria. Fonte: Ansys CFX

O 6º andar ainda é beneficiado por um fluxo descendente que ocorre junto à fachada Sudeste, sofrendo pouco impacto por estar no topo do cânion urbano. O 8º pavimento tem uma posição mais favorável, recebendo ventos com incidência quase perpendicular à fachada (Figura 97).



LEGENDAS



Outono e inverno de tarde (SE) - $V_{10m} = 4,5$ m/s

Verão de tarde (SE) - $V_{10m} = 5,5$ m/s

Primavera de tarde (SE) - $V_{10m} = 6,0$ m/s

Figura 97 – Morfologia atual, tarde. Escoamento visto em corte longitudinal. Fonte: Ansys CFX

Comparando-se o escoamento das duas morfologias urbanas, conclui-se que o processo de verticalização ocorrido na área reduziu o potencial de uso da ventilação natural no edifício

Galeria. Além da redução da intensidade dos ventos incidentes nos pavimentos mais baixos, houve uma queda no diferencial de pressão entre as fachadas.

A Tabela 19 apresenta um comparativo do diferencial de pressão máximo detectado por pavimento nos dois turnos analisados. Este diferencial foi calculado considerando as pressões máxima e mínima das fachadas de cada pavimento. Pela manhã, foram considerados os resultados do inverno e, pela tarde, da primavera, por serem estas as estações com melhores resultados.

Tabela 19 – Diferencial de pressão (ΔP) máximo em Pa por pavimento. Fonte: autora.

Morfologia urbana	Manhã (inverno)			Tarde (primavera)		
	2º	6º	9º	2º	6º	9º
1976	5,1	14,5	4,4	18,8	25,4	17,5
Atual	4,7	3,5	4,9	6,2	10,8	18,6

Com exceção do 9º pavimento, que apresenta um grau de obstrução pelo entorno semelhante nos dois cenários, os demais pavimentos tiveram uma queda expressiva no diferencial de pressão ao longo do tempo. Isto é especialmente perceptivo no período da tarde, visto que a verticalização mais pronunciada à sul do edifício Galeria gera maiores barreira aos ventos de Sudeste.

Na morfologia de 1976, o gabarito acentuado do edifício Galeria possibilitava captar os ventos pelos pavimentos mais baixos, favorecendo uma melhor distribuição das pressões na fachada à barlavento. Também, a permeabilidade do entorno nos pavimentos evitava perdas de energia excessiva pelas mudanças de direção dos ventos, possibilitando incidências mais intensas sobre as fachadas do edifício Galeria.

É importante ressaltar que reduzir o potencial de ventilação natural não significa necessariamente extingui-lo. Primeiramente porque o diferencial de pressão existente pode ainda ser suficiente para assegurar uma ventilação cruzada. Há ainda casos em que a redução da permeabilidade do entorno pode eliminar altas velocidades, que geram desconforto aos ocupantes.

Em segundo lugar, entende-se que, embora muitos pavimentos tenham uma ventilação natural precária, a possibilidade de explorar esta estratégia em pelo menos alguns andares não deve ser menosprezada.

4.3.2.2. Simulações acústicas

Os mapas de ruído (Figura 98 e 100) produzidos a partir das simulações acústicas indicam que a Av. Rio Branco (P04), Av. Presidente Vargas (P11 e P12), R. Primeiro de Março (P07) e Rua da Quitanda (P06) são as vias com maior nível sonoro da região estudada. Nas três primeiras, a poluição sonora é decorrente sobretudo do tráfego intenso nas vias, enquanto que na Rua da Quitanda, o ruído está relacionado ao tráfego médio sobre paralelepípedo. No miolo das quadras, observa-se uma atenuação significativa do ruído.

Os mapas de conflito (Figura 99 e 101) revelam que, na altura do pedestre (1,20m), os níveis sonoros estão, em quase todos os pontos, acima do aceitável pela norma. No entanto, a uma altura de 45,00m do solo (9º pavimento), o ruído sofre uma atenuação expressiva. Nesta altura, apenas uma fachada do edifício Galeria não atende ao nível sonoro recomendado pela norma brasileira.

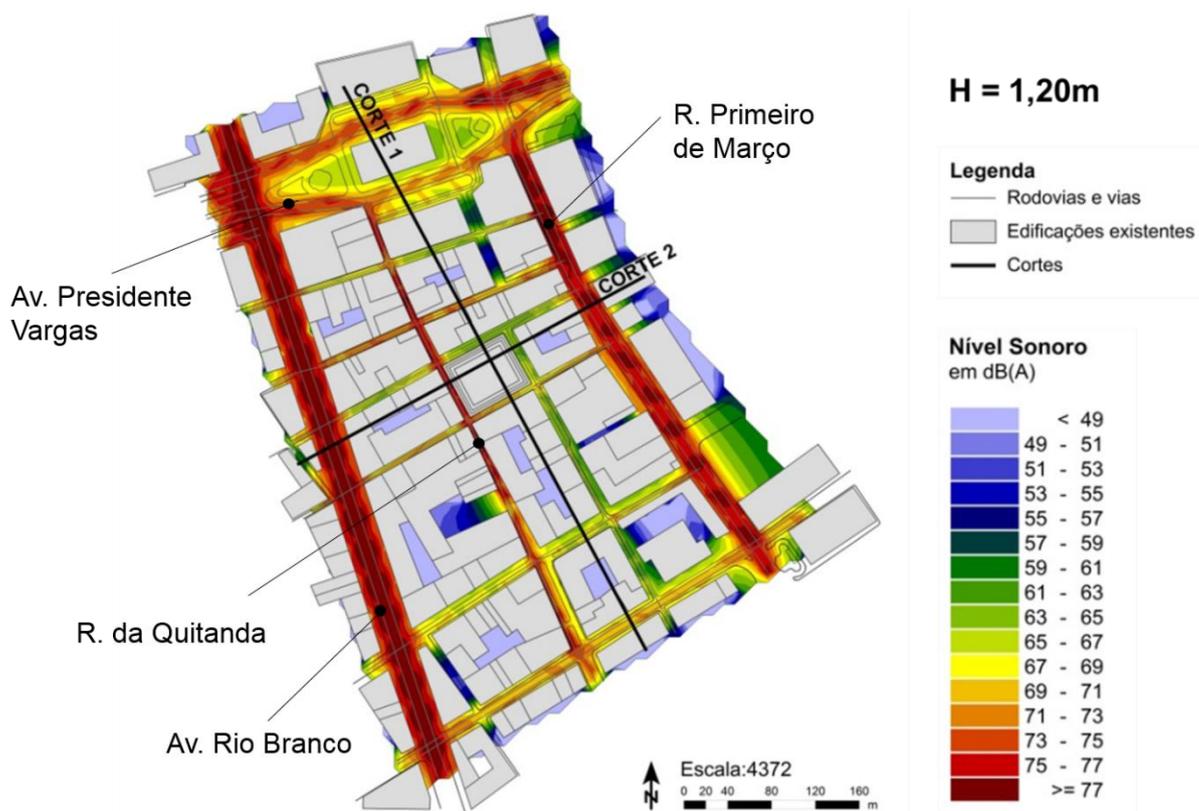


Figura 98 – Mapa de ruído a H = 1,20m do solo. Fonte: adaptado de Soundplan .

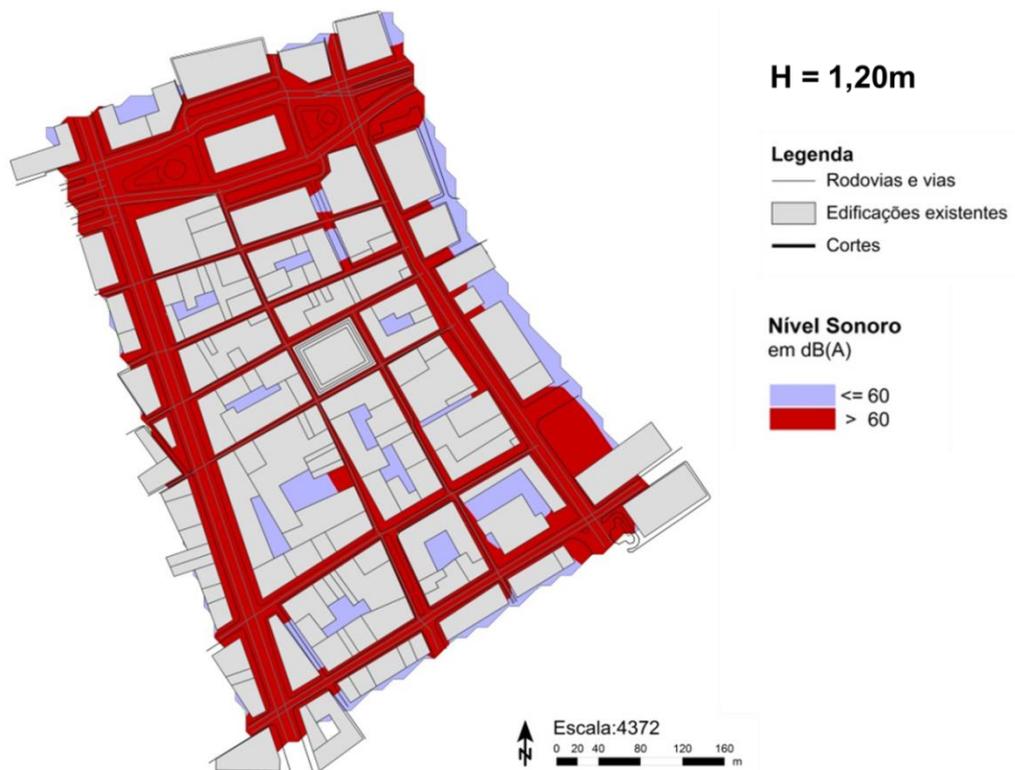


Figura 99 – Mapa de Conflito a H = 1,20m do solo. Fonte: adaptado de Soundplan.

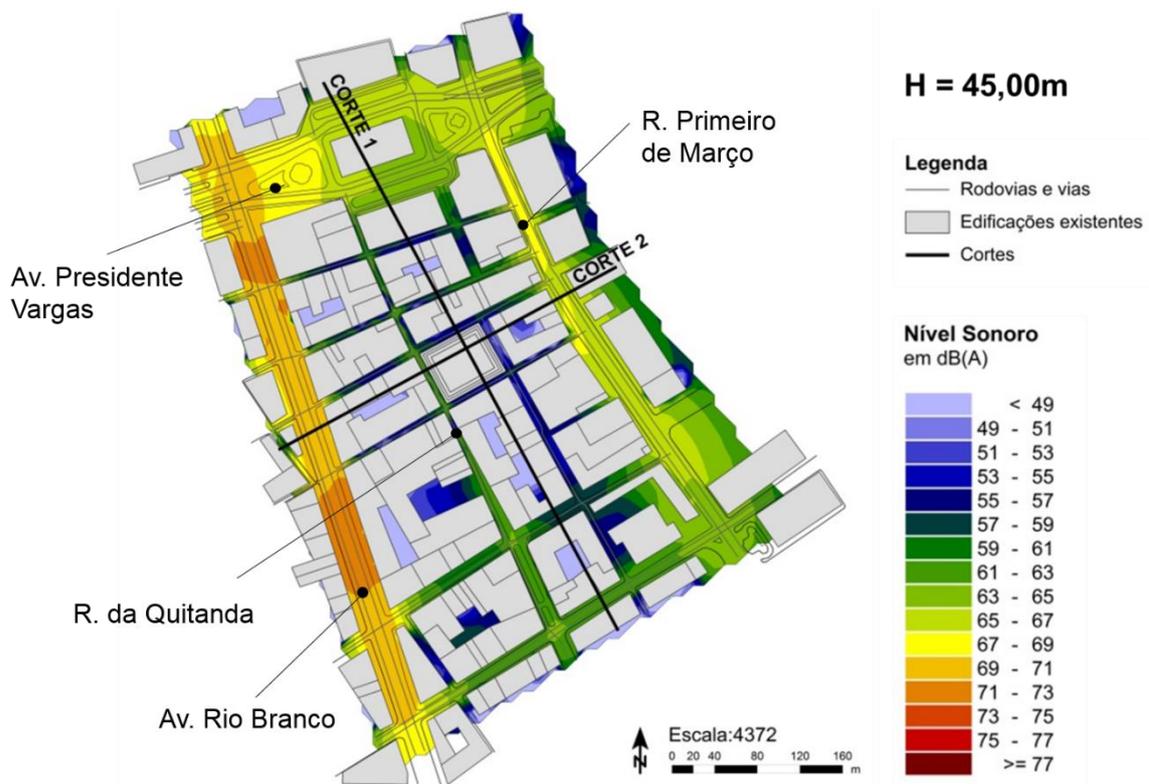


Figura 100 – Mapa de ruído a H = 45,00m do solo. Fonte: adaptado de Soundplan.

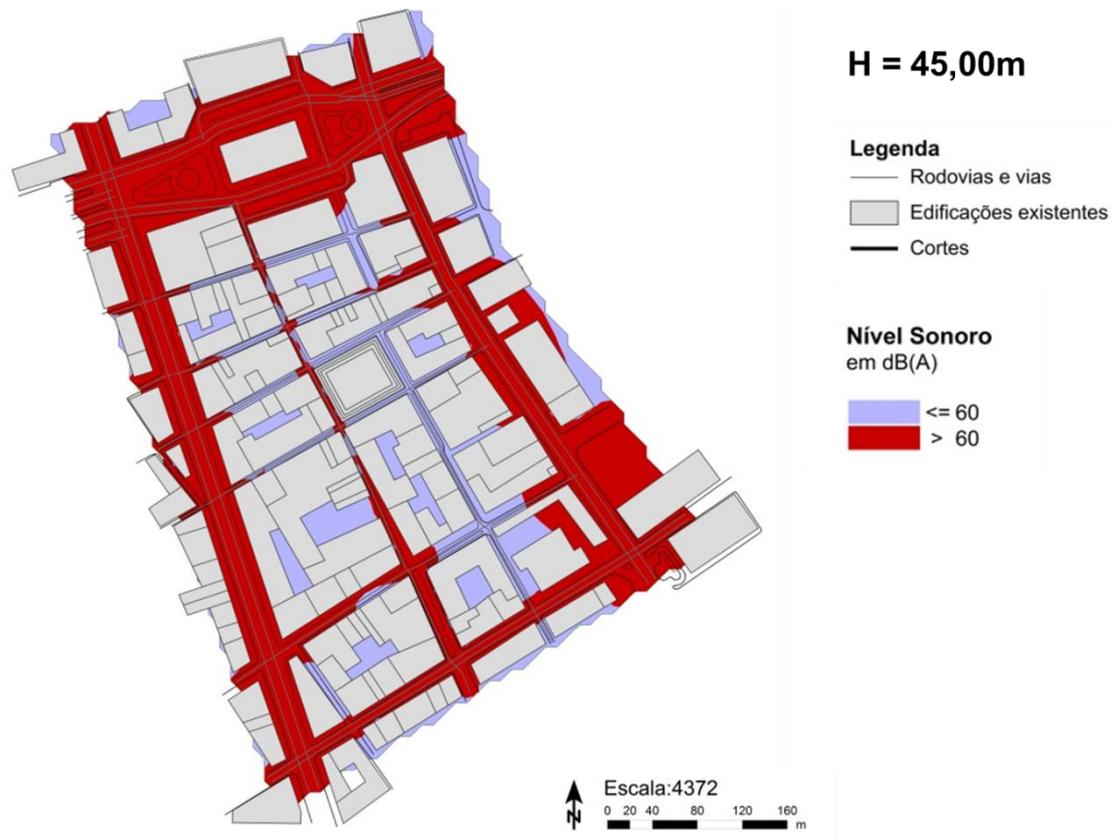


Figura 101 – Mapa de conflito a H = 45,00m do solo. Fonte: adaptado de Soundplan.

Os cortes (Figura 102) destacam que o ruído é atenuado com o aumento da altura em relação ao solo, em razão do distanciamento da fonte sonora. No edifício Galeria, os desníveis nos andares mais altos reduzem o ruído junto às fachadas destes pavimentos. No topo do edifício, o nível sonoro é bem abaixo do exigido pela norma brasileira para o conforto dos ocupantes.

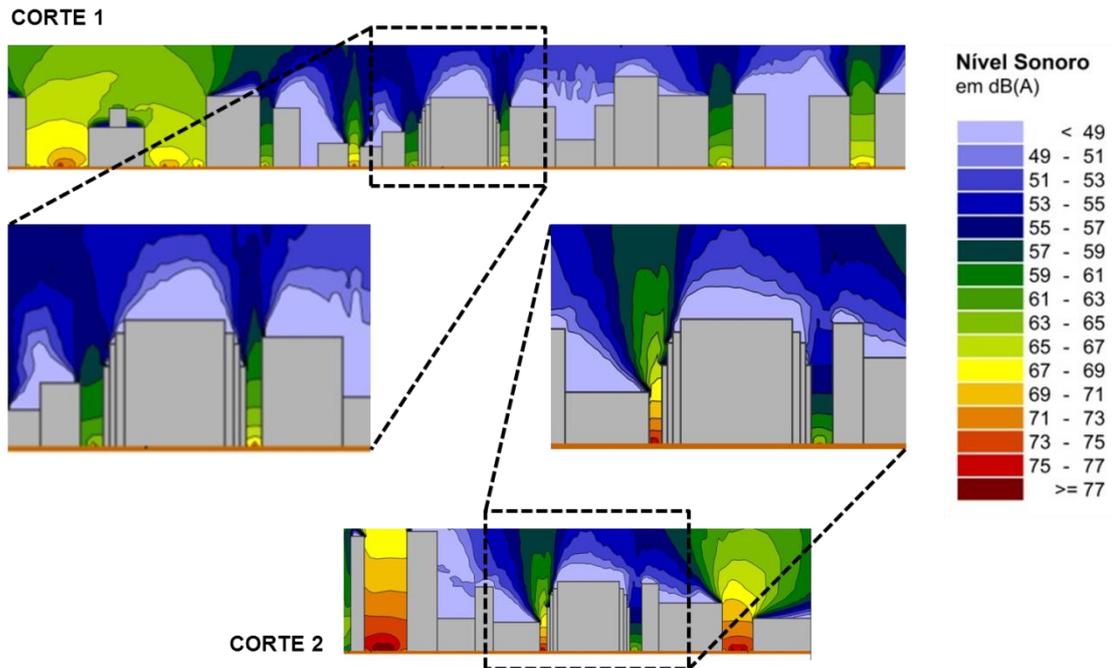


Figura 102 – Corte 1 e 2 – atenuação do ruído em função da distância da fonte sonora.
Fonte: adaptado de Soundplan.

Com base nos resultados, podem ser estabelecidas algumas conclusões para o projeto de reabilitação no ed. Galeria:

- A poluição sonora nos pavimentos mais baixos inviabiliza a abertura de janelas para captação dos ventos.
- A poluição sonora exterior não impede o uso da ventilação natural a partir do 6º andar.
- O escalonamento dos pavimentos mais altos deve ser preservado, pois atenua expressivamente o ruído que incide em suas janelas.

É importante lembrar que estas conclusões dizem respeito a uma condição acústica temporária na região. As alterações em curso do tráfego de veículos na Av. Rio Branco e artérias vicinais irão contribuir seguramente para uma redução do nível do ruído urbano no entorno do edifício Galeria.

4.3.2.3. Simulações internas

As simulações realizadas para análise do escoamento do ar no ambiente interior confirmam que, atualmente, a captação dos ventos ocorre predominantemente pelas aberturas Nordeste, de manhã, e pelas aberturas Sudeste, à tarde (Figuras 103 e 104).

Verifica-se que o *core* central gera grandes áreas de estagnação e turbulência,

independentemente da direção dos ventos incidentes. Já a caixa de escada adjacente ao *core*, presente no 2º e 6º pavimento, gera zonas de estagnação e canalização no período da manhã.

A velocidade do ar é superior no 9º pavimento para todos os casos, em decorrência da maior permeabilidade do tecido urbano neste nível. Há uma queda contínua da intensidade dos ventos nos andares mais baixos. De um modo geral, a velocidade interna somente ultrapassa 2,0 m/s nas manhãs de inverno em algumas áreas do 9º pavimento. Já no 2º pavimento, as velocidades são bastante reduzidas na maior parte do escritório.

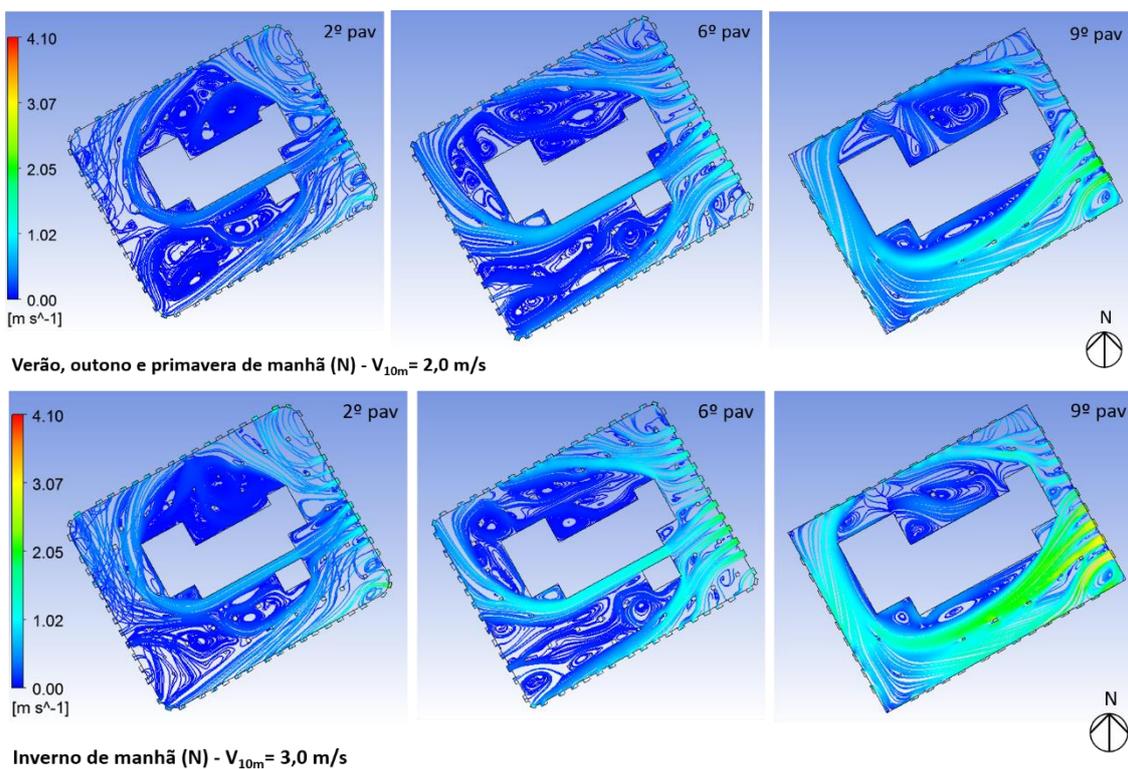


Figura 103 – Velocidade do ar e padrão de escoamento interno, manhã. Fonte: Ansys CFX

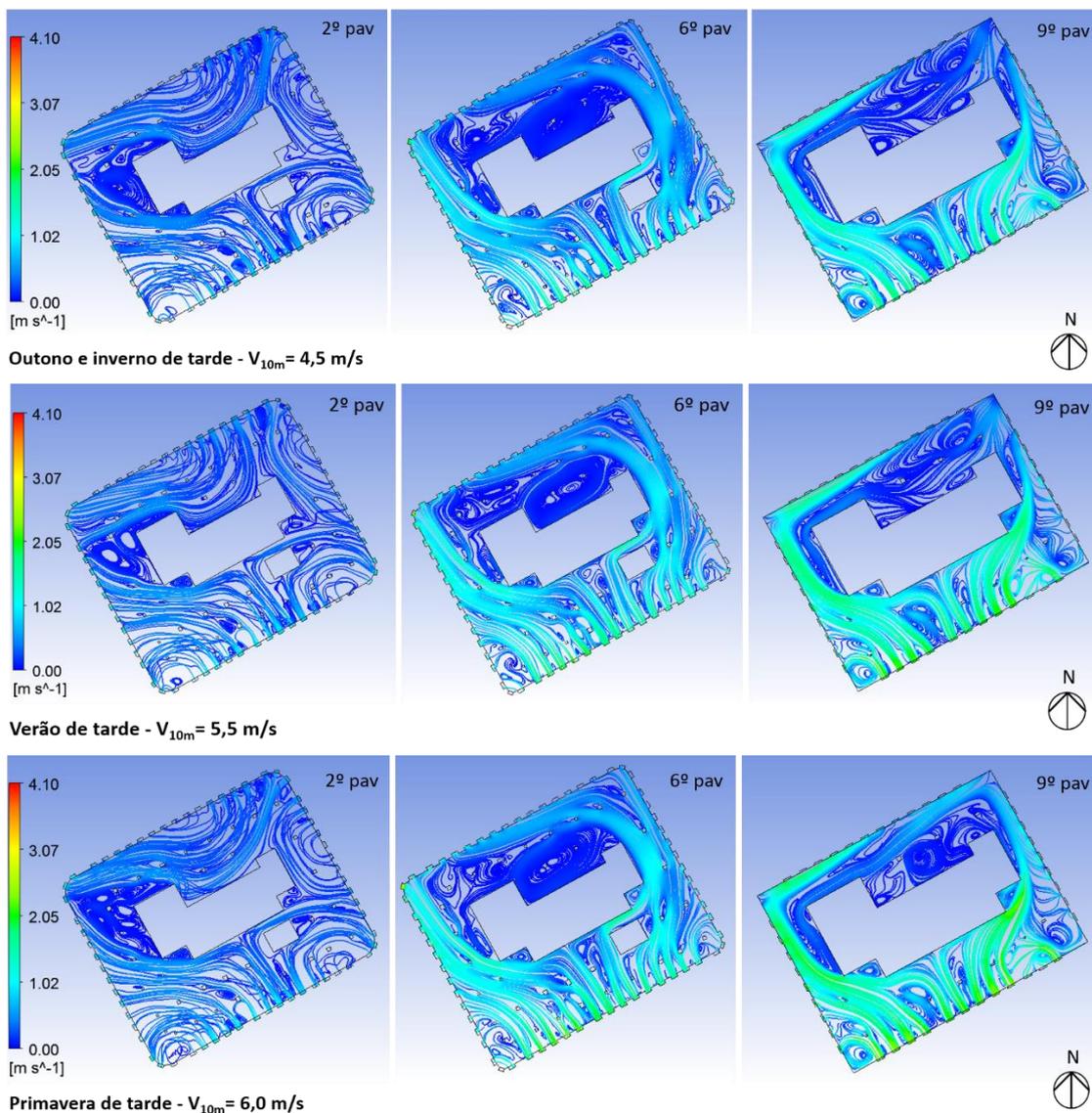


Figura 104 – Velocidade do ar e padrão de escoamento interno, tarde. Fonte: Ansys CFX

As Figuras 105 e 106 indicam que as pressões internas nos três pavimentos, para cada cenário simulado, situam-se predominantemente na faixa entre -0.75 a 0.33 Pa, com variações mais perceptíveis próximas às fachadas Nordeste (pela manhã) e Sudeste (pela tarde).

Observa-se que o campo de pressões internas é mais heterogêneo no 9º pavimento e mais homogêneo no 2º. Quanto mais elevada a velocidade externa, maiores as pressões internas.

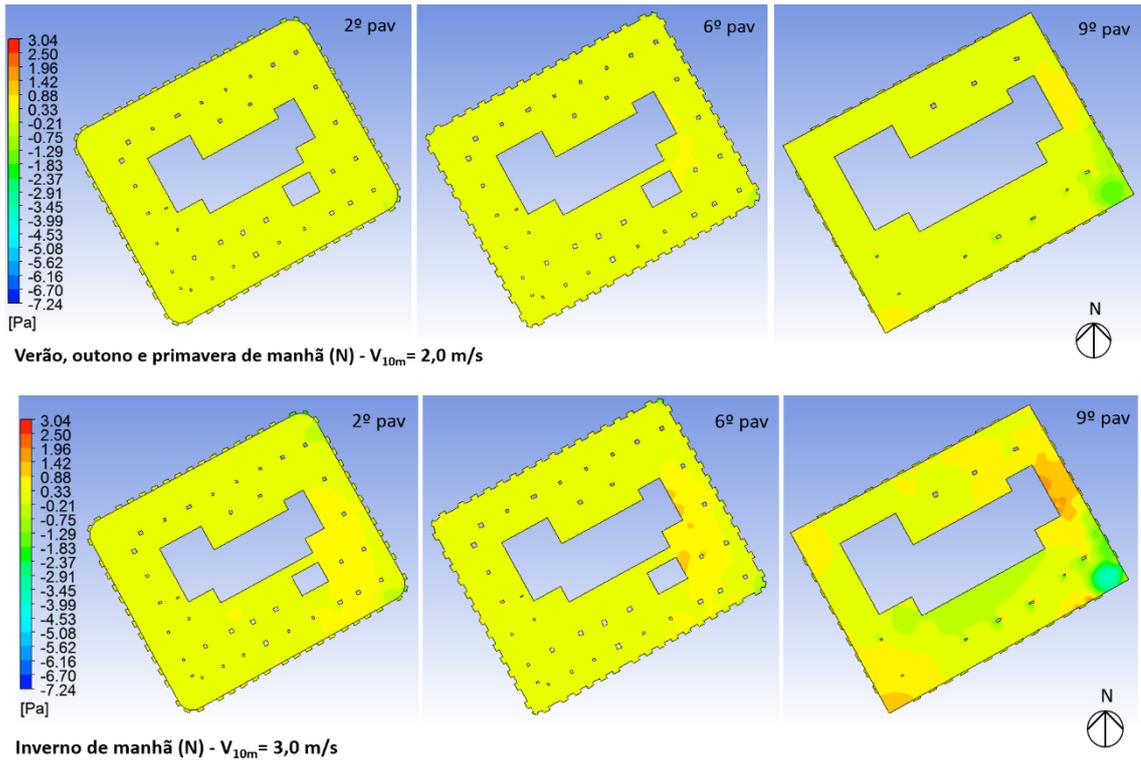


Figura 105 – Pressões internas, manhã. *Fonte: Ansys CFX*

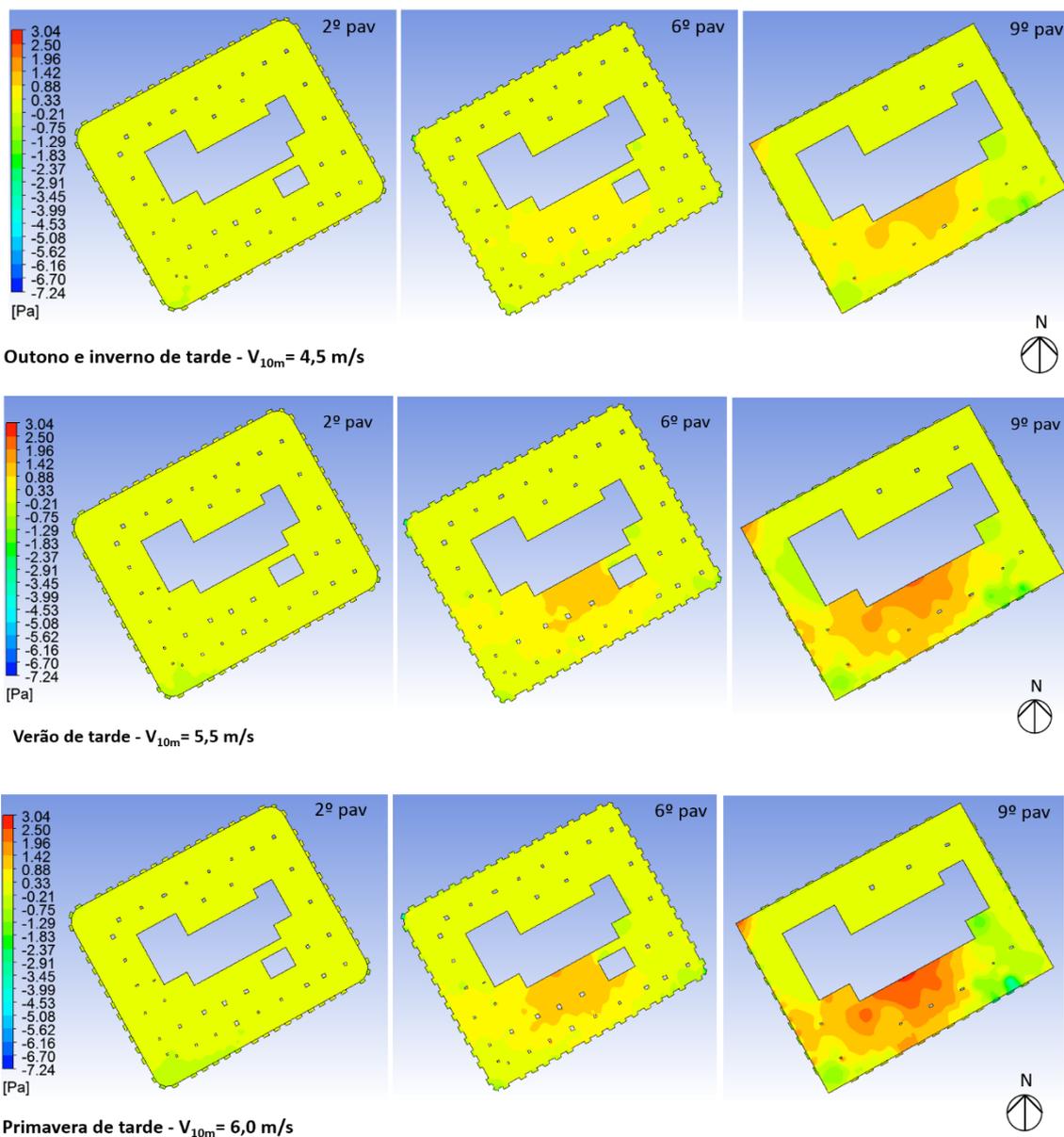


Figura 106 – Pressões internas, tarde. Fonte: Ansys CFX

A Figura 107 indica as vazões de ar nos períodos diário e sazonal nos três pavimentos do edifício Galeria.

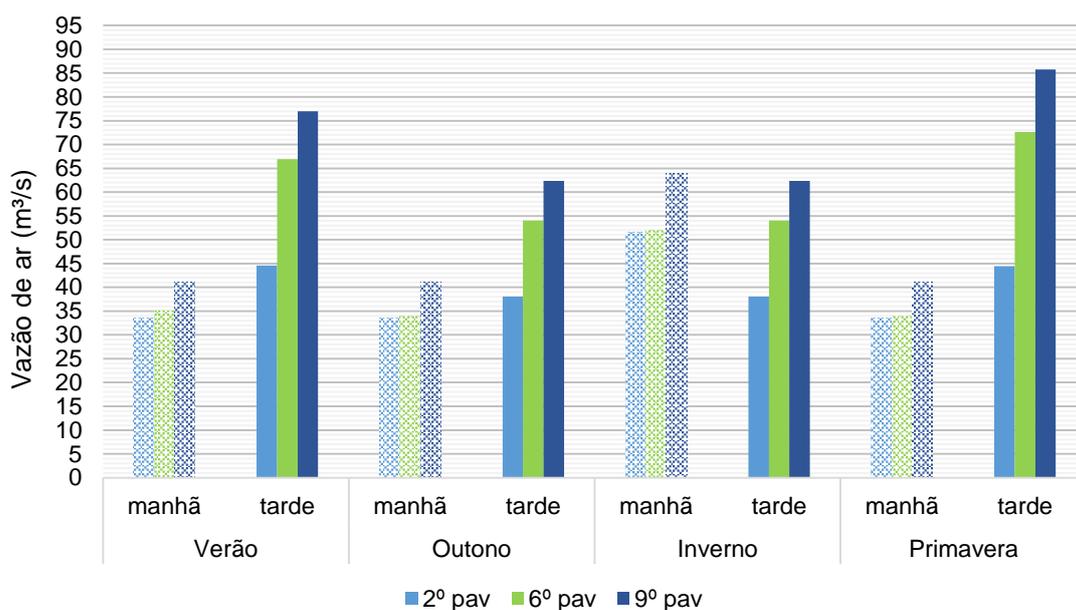


Figura 107 – Vazão de ar (m³/s) nos três pavimentos. Fonte: a autora.

Verifica-se que, pela manhã (vento Norte), praticamente não há diferença entre as vazões de ar no 2º e 6º pavimentos, o que pode ser explicado pela canalização dos ventos junto à fachada Noroeste, que favorece igualmente a ventilação natural nos andares mais baixos. Por outro lado, à tarde (vento Sudeste), a maior obstrução na fachada a barlavento prejudica a captação do ar especialmente no 2º andar. Daí porque observa-se uma menor vazão nesse pavimento em comparação com os andares mais altos.

Em todos os cenários analisados, o 9º pavimento é o que apresenta a maior vazão de ar, em decorrência da alta permeabilidade do tecido urbano verificada no topo do edifício Galeria e da maior área de abertura neste andar.

De um modo geral, o período da manhã é o que oferece as menores vazões de ar para os três pavimentos analisados, em razão da baixa velocidade do ar proveniente da direção Norte. Com o aumento da velocidade do ar no inverno, as vazões crescem expressivamente nos três pavimentos. A propósito, esta é a única estação do ano que mantém relativamente constante a vazão do ar ao longo do dia, notadamente no 6º e no 9º pavimento.

As melhores condições de ventilação ocorrem nas tardes do verão e da primavera, com picos no 9º pavimento.

A vazão de ar no 2º pavimento sofre uma variação pouco expressiva com o aumento da velocidade dos ventos no período da tarde, o que revela o reduzido acoplamento entre o fluxo do interior do cânion urbano e da camada limite. Por outro lado, a menor profundidade do cânion urbano na Rua do Rosário (fachada noroeste) e, principalmente, a canalização dos

ventos nesta via favorecem este acoplamento pela manhã. Verifica-se que o aumento em 50% da velocidade do ar na manhã do inverno é responsável pelo incremento de pelo menos 40% da vazão nos escritórios. Somente nesta estação, a vazão de ar oferecida de manhã supera a da tarde no 2º e 9º pavimento.

Em termos absolutos, os valores de vazão de ar obtidos são significativamente superiores ao recomendado pela ASHRAE 62 - Standard (2007) para garantir condições satisfatórias de qualidade do ar nos ambientes de escritórios (0,0025 m³/s/pessoa, o que equivale a 0,88 m³/s para o 2º pavimento, 0,75 m³/s para o 6º pavimento e 0,44 m³/s para o 9º pavimento, considerando a ocupação máxima de cada andar). Convém lembrar que esta análise se restringe a vazão do ar admitido, considerando adequada a qualidade do ar externo.

Os números de renovações de ar por hora nos escritórios (vazão/volume do pavimento) são apresentados na Figura 108, para o 2º (2478 m³), 6º (2104 m³) e 9º (1251 m³) pavimento.

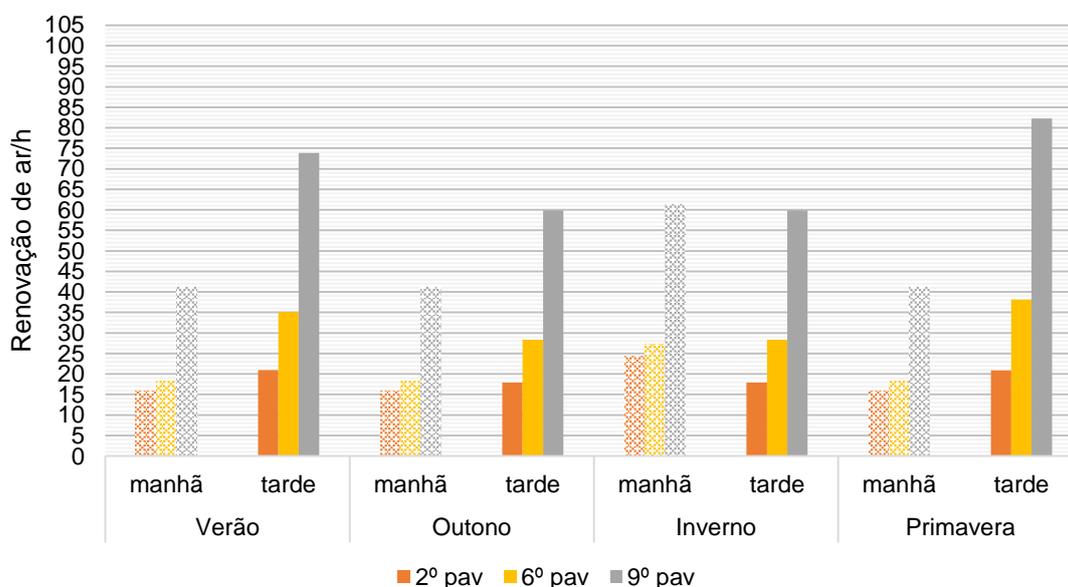


Figura 108 – Número de renovações de ar por hora nos três pavimentos. Fonte: a autora.

Tendo em vista que o 9º pavimento apresenta o menor volume dentre os andares analisados, sua taxa de renovação de ar se destaca em relação aos demais, e alcança até quase 4 vezes a vazão no 2º pavimento (no caso da primavera).

4.3.2.4. Simulações térmicas

Os resultados das simulações térmicas indicam que o aproveitamento da ventilação natural nos espaços corporativos acarreta em uma frequente oscilação das temperaturas internas do

ar, influenciadas diretamente pelas variações térmicas do meio exterior (Figura 109). Ao longo do ano, a temperatura operativa (interna) é geralmente superior a temperatura externa e chega a variar entre 18 e 38°C.

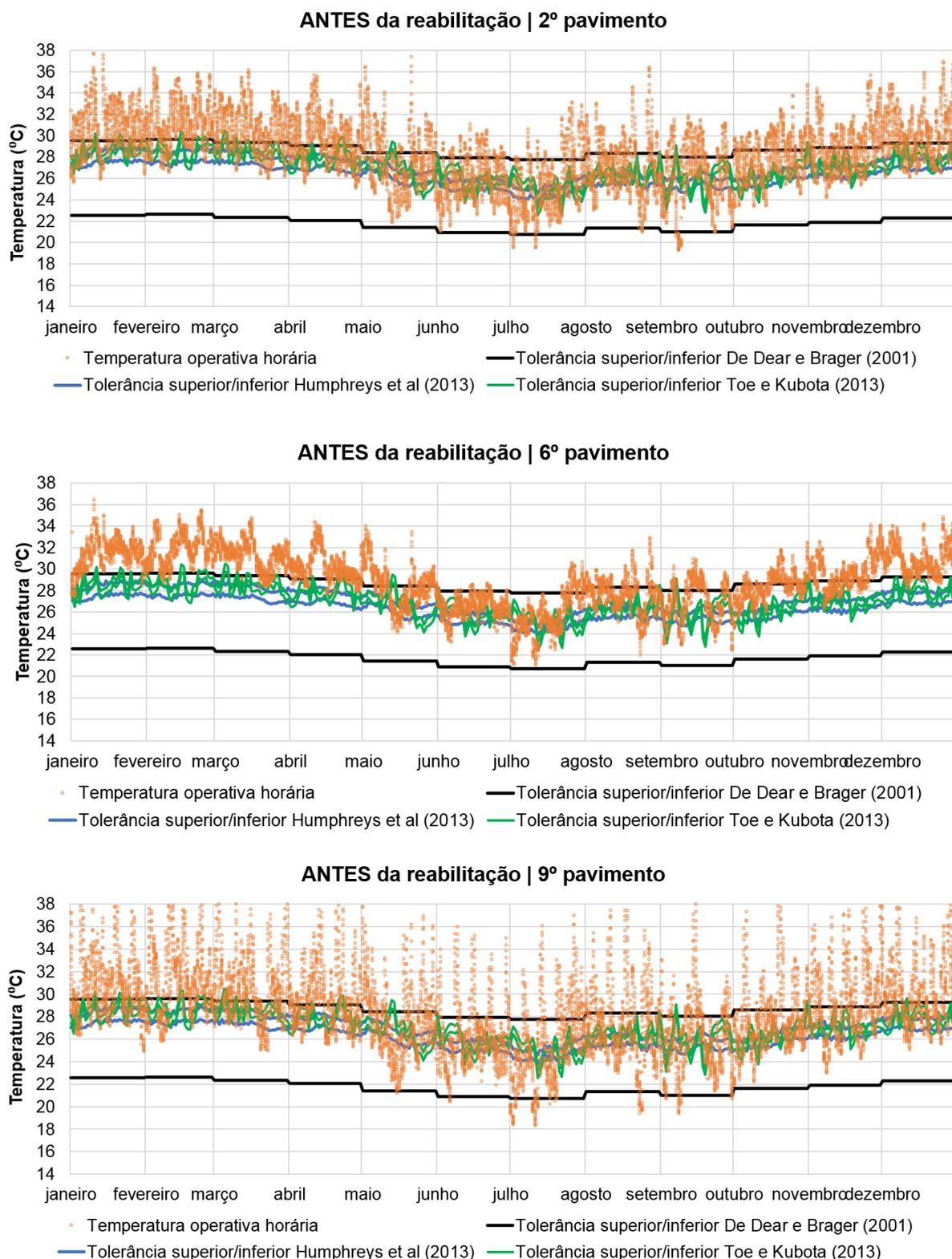


Figura 109 – Diagnóstico: temperaturas operativas x Faixas de temperatura de conforto. Fonte: a autora.

Dentre os modelos de conforto adaptativo considerados, o de De Dear e Brager (2001) é o que indica o maior número de horas dentro da faixa de conforto. Segundo este modelo, o desconforto ocorre na maioria dos casos devido ao calor.

Em contraste, os modelos de Humphreys et al (2013) e Toe e Kubota (2013)¹⁸ alertam uma situação predominante de desconforto, não só devido ao calor como também pelo frio. Segundo estes modelos, em casos de temperaturas relativamente altas como 24-26°C, os ocupantes chegam a sentir frio. Isto ocorre inclusive no 2º pavimento, onde, conforme observado nas simulações internas, a ventilação natural é mais precária.

As Figuras 110-112 sintetizam com maior precisão os resultados obtidos.

Para todos os modelos, verifica-se um baixo percentual de horas de conforto no verão, sobretudo nos andares mais baixos. No inverno, é possível observar uma divergência mais expressiva na interpretação dos resultados de cada modelo. O de De Dear e Brager (2001) indica até 73% das horas de conforto nesta estação, contra 16% no máximo pelos outros modelos. Segundo estes últimos, o desconforto pelo frio aumenta consideravelmente no inverno.

Observa-se que o desconforto pelo frio indicado pelos modelos de Toe e Kubota (2013) e Humphreys et al (2013) está em desacordo com o indicado pela carta bioclimática do Rio de Janeiro (LAMBERTS et al, 1997). Conforme se observa na Figura 113, a zona de conforto engloba, neste contexto climático, temperaturas de bulbo seco que variam entre 18 e 29°C e umidades relativas do ar entre 45 e 80%, o que indica uma tolerância a temperaturas mais baixas que aquelas apontadas por estes dois modelos.

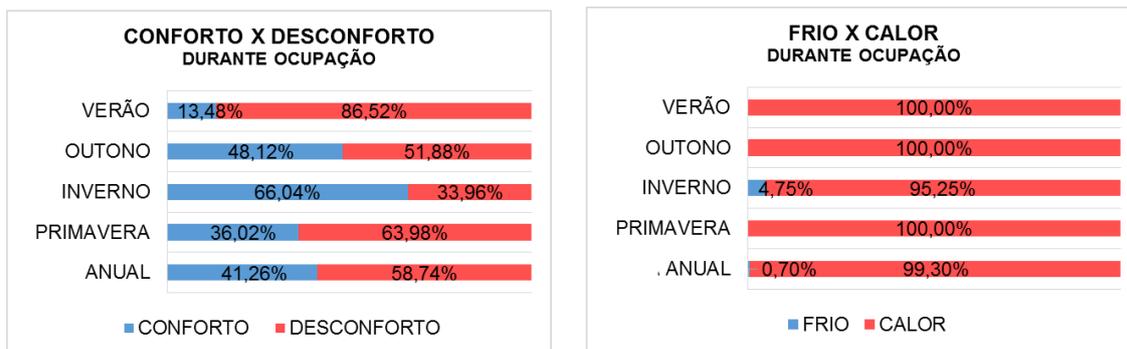
Anualmente, o percentual de horas de conforto é bastante reduzido segundo Humphreys et al (2013) e Toe e Kubota (2013), mas bastante expressivo de acordo De Dear e Brager (2001). Dentre os dois primeiros, observa-se que o modelo de Humphreys é ligeiramente mais restritivo.

Verifica-se que o 9º pavimento é o mais confortável dentre os analisados, o que corrobora com os resultados obtidos nas simulações internas. A exceção ocorre no inverno, quando o 6º pavimento apresenta um número superior de horas de conforto, seguido do 2º pavimento. Isto porque no 9º pavimento, o aumento expressivo da vazão e velocidade do ar nesta estação gera mais horas de desconforto por frio, segundo os três modelos considerados.

¹⁸ As equações de Toe e Kubota (2013) utilizadas nas análises dos resultados varia em função da velocidade média verificada em cada pavimento. No 2º andar, a velocidade média não ultrapassou 0,3 m/s (velocidade baixa), levando a adoção da equação 4. No 6º andar, a velocidade média permaneceu predominantemente entre 0,3 e 0,64 (velocidade moderada, levando à adoção da equação 5. Por fim, no 9º andar, as velocidades médias foram predominantemente altas ($\geq 0,65$), levando à adoção da equação 6.

De um modo geral, não há uma diferença significativa entre as condições de conforto no 2º e no 6º pavimento. Como visto, a captação de ar nestes dois pavimentos é muito mais afetada pelo entorno que no 9º, pois estão inseridos dentro de cânions urbanos.

2º PAVIMENTO DE DEAR E BRAGER (2001)



HUMPHREYS ET AL (2013)

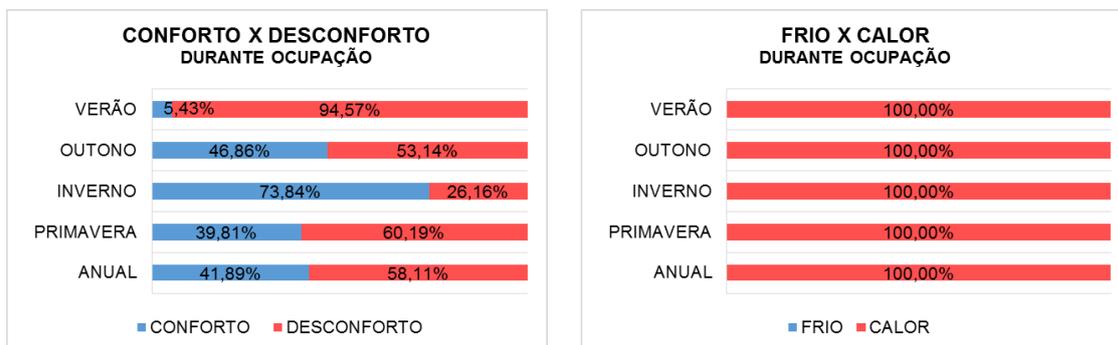


TOE E KUBOTA (2013)



Figura 110 – Diagnóstico: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 2º pavimento. Fonte: a autora.

6º PAVIMENTO DE DEAR E BRAGER (2001)



HUMPHREYS ET AL (2013)

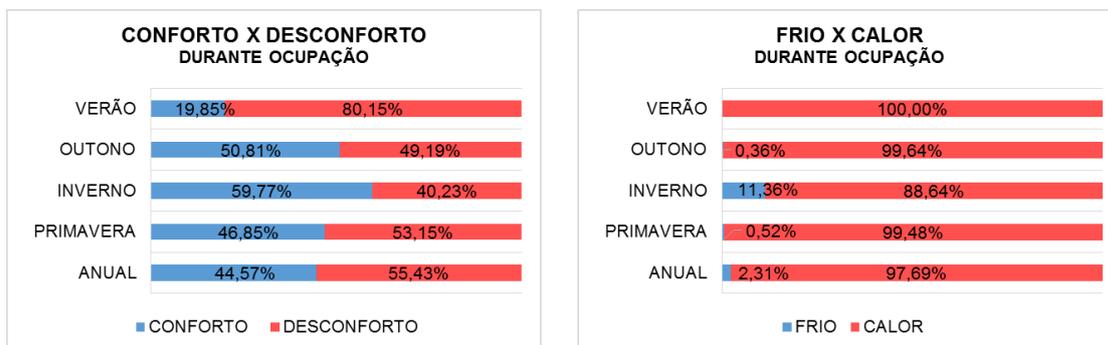


TOE E KUBOTA (2013)



Figura 111 – Diagnóstico: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 6º pavimento. Fonte: a autora.

9º PAVIMENTO DE DEAR E BRAGER (2001)



HUMPHREYS ET AL (2013)



TOE E KUBOTA (2013)



Figura 112 – Diagnóstico: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 9º pavimento. Fonte: a autora.

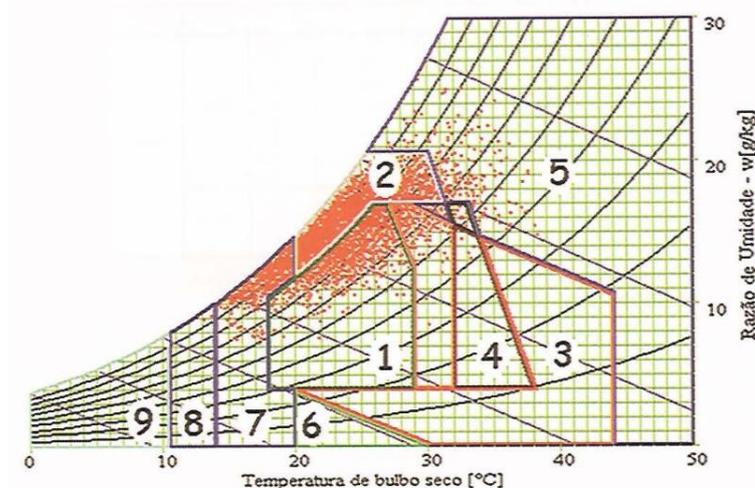


Figura 113 – Carta bioclimática do Rio de Janeiro. Fonte: Lamberts et al (1997).

4.3.2.5. Conclusões do diagnóstico

Com base nas **simulações urbanas**, conclui-se que a verticalização da área de interesse desencadeou uma série de transformações nos fluxos de ar em torno do edifício Galeria, gerando novas canalizações e desvios e uma menor penetração do vento nos cânions urbanos. Além da redução da intensidade dos ventos incidentes nos pavimentos mais baixos, houve uma queda no diferencial de pressão entre as fachadas.

As **simulações acústicas** indicam que o potencial de ventilação nos andares mais baixos é também prejudicado pela maior proximidade da fonte sonora, inviabilizando a abertura das janelas para captação dos ventos. Todavia, o ruído externo não impede o uso da ventilação natural a partir do 6º andar, graças ao distanciamento da via e ao escalonamento destes pavimentos. Ressalta-se como a volumetria do edifício é um aspecto primordial no seu desempenho acústico.

As **simulações internas** corroboram com a ideia de que o potencial de ventilação natural nos andares mais altos pode ser mais explorado. Em todos os cenários analisados, o 9º pavimento é o que apresenta maior vazão de ar, resultante da alta permeabilidade do tecido urbano no topo do ed. Galeria.

Compensando o elevado acúmulo de calor no período da tarde, neste turno a velocidade do ar é mais elevada e é possível garantir uma maior vazão do ar nos andares mais altos. Em termos de número de renovações do ar, em todos os pavimentos são atendidos os padrões mínimos de qualidade do ar estabelecido pela ASHRAE (2007).

As diferentes interpretações dos resultados das **simulações térmicas** alertam sobre a

importância de se fazer uma escolha acertada do modelo de conforto, uma vez que ela pode ser determinante na decisão de reabilitar ou não um edifício. Como visto, segundo os modelos de Humphreys et al (2013) e Toe e Kubota (2013), o potencial de ventilação do edifício Galeria é quase desprezível, ao passo que para De Dear e Brager (2001), pode ser considerado expressivo. Baseando-se neste último, tem-se uma perspectiva mais otimista sobre a possibilidade de incrementar seu potencial por meio de uma intervenção.

Considerando as respostas de desconforto para frio, pode-se afirmar que o modelo de De Dear e Brager (2001) é mais adequado para o contexto climático do Rio de Janeiro, pois as temperaturas ditas de desconforto por frio e calor são de fato desconfortáveis segundo a carta bioclimática do Rio de Janeiro.

No que concerne o percentual de horas de conforto por ano, nem mesmo sob a óptica de De Dear e Brager (2001), a ventilação natural é capaz de oferecer, por si só, mais de 45% das horas de ocupação em conforto. Isto se justifica não somente pela vazão de ar disponível durante as horas ocupadas, mas também pela impossibilidade de dissipar durante a noite o calor acumulado no horário de expediente, seja pelos ocupantes, equipamentos ou ganho de calor pela envoltória.

Verifica-se, neste sentido, um potencial ainda a ser explorado por meio da ventilação noturna. Como alertado pelas pesquisas internacionais descritas no capítulo 2, para viabilizar a ventilação fora do horário de ocupação, é preciso pensar em estratégias que possibilitem captar os ventos sem prejudicar a segurança do edifício, o que envolverá rever a tipologia de esquadria existente.

Entende-se que a ventilação noturna poderá maximizar as horas de conforto em todos os pavimentos, e será ainda mais desejável nos andares superiores. Isto porque além de sofrerem menor impacto da poluição sonora, estes pavimentos são os que apresentam maior aporte de calor pela envoltória por serem os menos beneficiados com o sombreamento gerado pelo entorno. Somado a isso, a elevada velocidade nos níveis mais altos e a menor obstrução dos ventos pelo entorno ampliarão a dissipação do calor nestes pavimentos, reduzindo as temperaturas operativas durante o expediente.

Conclui-se, por meio do diagnóstico, que, muito embora a ventilação natural não assegure o conforto térmico em todas as horas e estações do ano e o ruído externo não permita até o presente a abertura das janelas em todos os pavimentos, o potencial de ventilação do edifício Galeria não deve ser desprezado. As simulações realizadas na próxima etapa – Projeto – fornecerão respostas quanto aos benefícios oferecidos por uma reabilitação.

4.4. Etapa 2: Projeto

4.4.1. Metodologia

4.4.1.1. Solução arquitetônica adotada

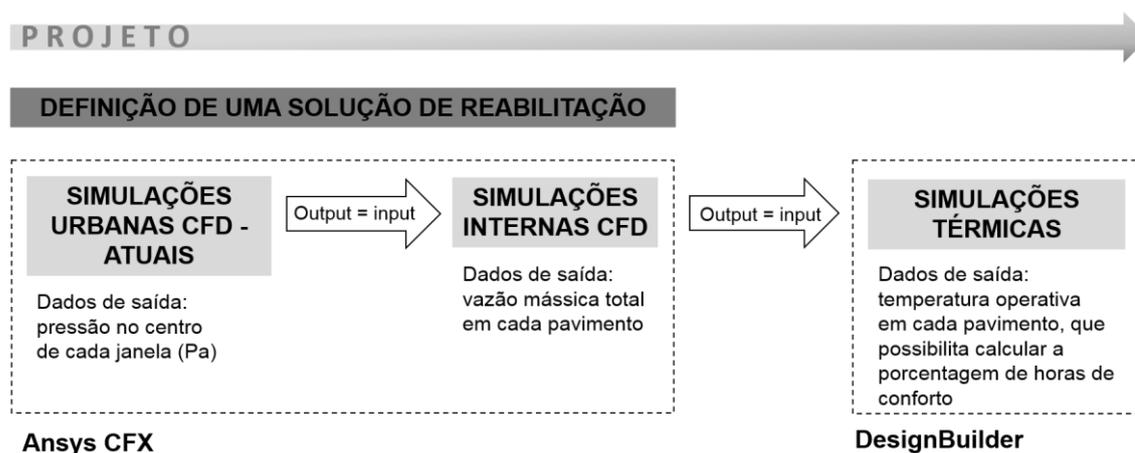


Figura 114 – Situação da etapa de definição da solução na metodologia. Fonte: a autora.

Com base no diagnóstico, pesquisou-se uma solução arquitetônica (Figura 114) para ampliar a vazão de ar nos pavimentos tipos, tendo como premissa três critérios essenciais:

1. Aumentar a vazão de ar durante o horário de ocupação, de modo a ampliar as horas de conforto no edifício;
2. Garantir a captação dos ventos durante a noite sem comprometer a segurança do edifício, a fim de possibilitar a dissipação do calor acumulado durante o dia em seu interior.
3. Assegurar a harmonia entre o passado, presente e futuro da edificação, por meio de uma solução que preserve ao máximo as características originais do edifício, atenda as necessidades atuais e seja reversível, facilitando intervenções futuras.

Apoiando-se nas discussões apresentadas no capítulo 3, optou-se por explorar uma alternativa dentro da categoria de intervenções brandas¹⁹, de modo a alcançar o máximo de eficiência com o mínimo de intervenção possível. Neste sentido, avaliou-se a possibilidade de modificar a tipologia das esquadrias existentes, composta por folhas fixas superiores (bandeiras) e folhas móveis (de abrir) inferiores (Figura 115).

¹⁹ Partiu-se do princípio de que esta solução fará parte de uma intervenção mais abrangente (de médio ou grande porte), motivada por múltiplos objetivos. Daí porque denominar uma intervenção pontual e branda como reabilitação.



Figura 115 – Portas originais do ed. Galeria. Fonte: Pinheiro (2011).

Reconhecendo a inviabilidade de manter as portas e janelas abertas durante a noite, decidiu-se transformar as bandeirolas fixas existentes (70 cm de altura) em folhas pivotantes horizontais. Além de conter um mecanismo de abertura discreto, esta tipologia de esquadria tem a vantagem de possibilitar uma captação dos ventos por praticamente 100% do seu vão (MASCARÓ, 1991; KENDRICK et al; 1998; YARKE, 2005) e permitir o redirecionamento das correntes de ar para determinadas áreas internas (LACERDA, 2014). Ressalta-se ainda que esta solução possibilita uma intervenção muito discreta e simples nas esquadrias existentes e pode ser reversível, caso desejado futuramente.

Admite-se que as folhas pivotantes permanecerão abertas durante a ocupação dos pavimentos corporativos, complementando a captação do ar feita pelas janelas/portas de abrir. Fora do horário de expediente – o que inclui o turno da noite/madrugada e 24h nos fins de semana e feriados – apenas as folhas pivotantes serão mantidas abertas.

Esta intervenção altera a porosidade da fachada de 17 para 22%. Ressalta-se que as simulações urbanas e internas poderão continuar sendo desacopladas, pois a nova porosidade ainda atende os 25% aceitos por Aysley (1988) para este tipo de análise.

4.4.1.2. Simulações urbanas CFD (atuais)

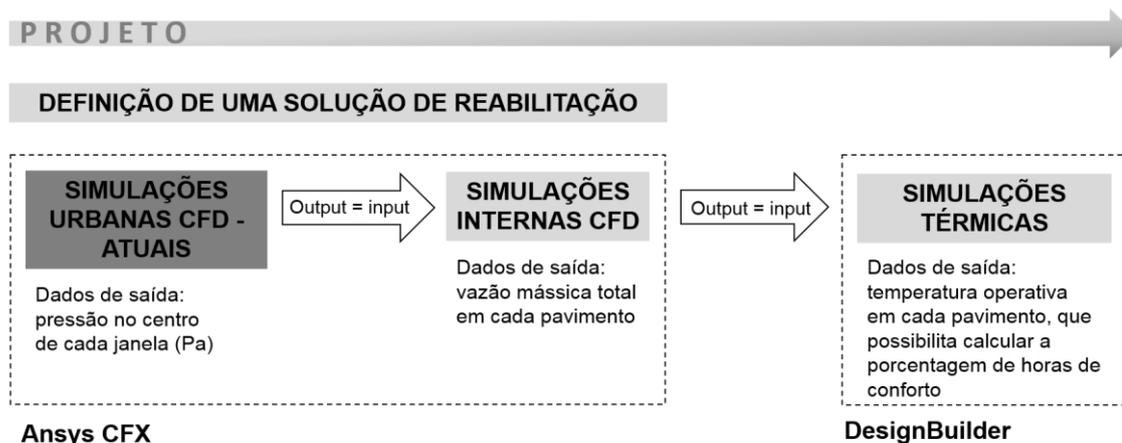


Figura 116 - Situação da etapa de simulações urbanas CFD na metodologia. Fonte: a autora.

A metodologia adotada para as novas simulações urbanas é idêntica à da etapa de Diagnóstico (Figura 116).

Para análise do período de ocupação, os mesmos arquivos das 5 simulações de diagnóstico foram utilizados na etapa de projeto, sendo que a pressão dos ventos sobre as fachadas foi medida no centro da abertura, considerando sua altura um somatório das alturas da parte de abrir e parte pivotante.

Para analisar o cenário sem ocupação, foram realizadas 6 simulações adicionais (Tabela 20), considerando os dados do vento para o período da noite (19-00h) e madrugada (00-8h). Nestas simulações, as pressões foram medidas no centro da parte pivotante.

As configurações destas novas simulações são semelhantes às anteriores. Seus resultados são apresentados no Tópico 4.4.2.1.

Tabela 20 – Simulações urbanas na etapa de Projeto. Fonte: a autora.

Cód.	Estação	Turno	Dados do vento	
			Dir	V _{10m}
I _n	Inverno (I)	Noite (19-00h)	S (180°)	4,5 m/s
P _n	Primavera (P)	Noite (19-00h)	S (180°)	5,0 m/s
VO _n	Verão (V) e Outono (O)	Noite (19-00h)	S (180°)	5,5 m/s
VO _{md}	Verão (V) e Outono (O)	Madrugada (00-8h)	N (0°)	1,5 m/s
I _{md}	Inverno (I)	Madrugada (00-8h)	N (0°)	2,5 m/s
P _{md}	Primavera (P)	Madrugada (00-8h)	S (180°)	3,0 m/s

4.4.1.3. Simulações internas CFD

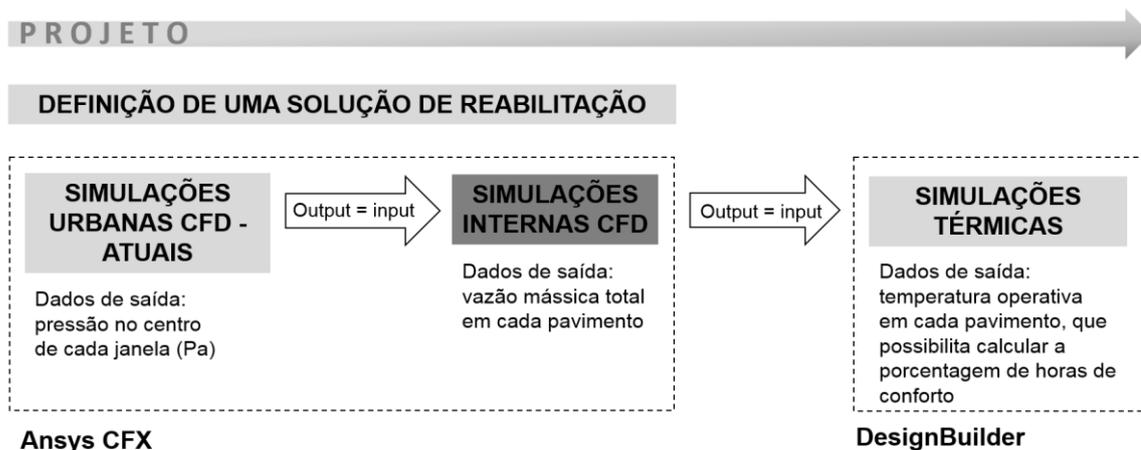


Figura 117 - Situação da etapa de simulações internas CFD na metodologia. Fonte: a autora.

Os valores de pressões obtidos nas 11 simulações urbanas são utilizados como dados de entrada das simulações internas (Figura 117).

A metodologia adotada no diagnóstico é repetida nesta etapa, sendo que as geometrias dos pavimentos são alteradas, de modo a representar as novas áreas de abertura (Figura 118). A geometria da esquadria foi desprezada.

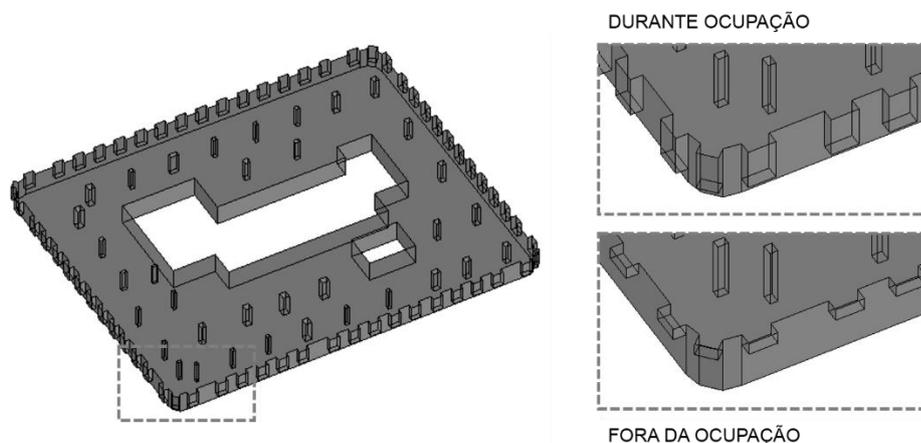


Figura 118 – Geometria do pavimento com as aberturas nos dois cenários analisados. Fonte: a autora.

Ao todo, 11 cenários são analisados (representando as condições de vento descritas nas Tabelas 11 e 20) para os 3 pavimentos, resultando em 33 novas simulações internas.

Uma análise qualitativa de distribuição dos fluxos somente será apresentada para o período de ocupação, no entanto, os dados de vazão e renovação do ar serão expostos para todos os cenários.

4.4.1.4. Simulações térmica

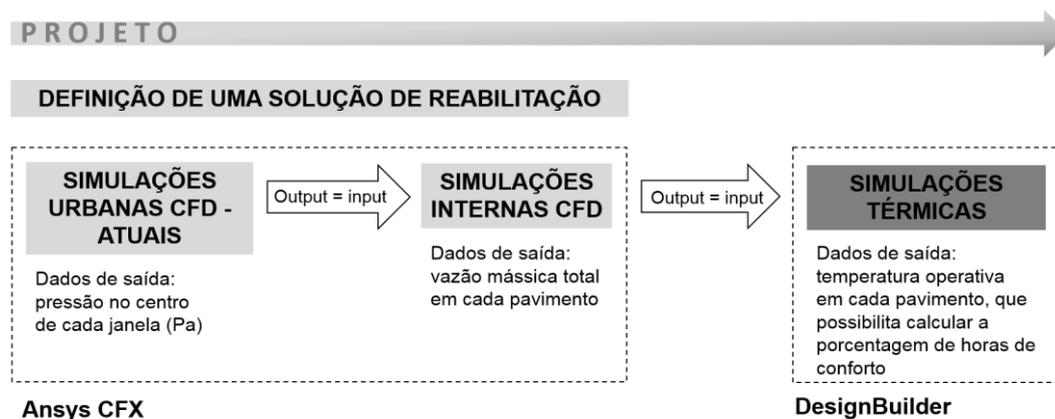


Figura 119 - Situação da etapa de simulações térmicas na metodologia. Fonte: a autora.

Nesta etapa (Figura 119), aproveitou-se o mesmo arquivo das simulações térmicas de diagnóstico, substituindo-se apenas seus dados relativos à renovação do ar pelos obtidos nas novas simulações internas.

Os dados de temperatura operativa para os 3 pavimentos serviram para quantificar o percentual de horas em conforto. Estes foram comparados aos resultados do diagnóstico, de modo a verificar os benefícios alcançados com a introdução da ventilação noturna no edifício.

4.4.2. Resultados

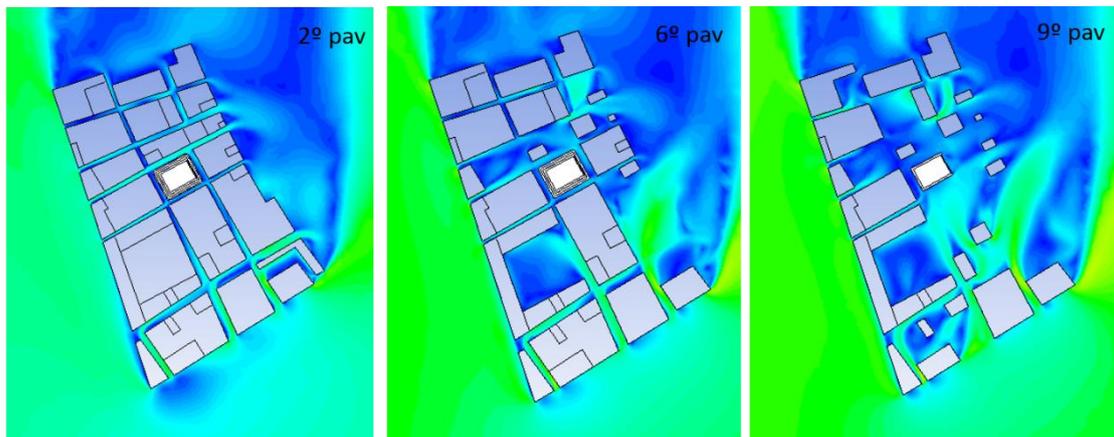
4.4.2.1. Simulações urbanas

Neste subtópico, serão apresentados apenas os resultados relativos ao período da noite e madrugada, uma vez que os resultados do período da manhã e tarde já foram expostos na etapa de diagnóstico.

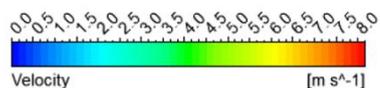
- Noite (Sul, 180°)

Durante a noite, os ventos predominantes de Sul são canalizados pelo tecido urbano até incidir no edifício Galeria de modo tangente na maioria das fachadas, para quase todos os pavimentos (Figura 120 e 121). A velocidade não ultrapassa 3,5 m/s mesmo no verão e outono, quando a velocidade a 10m é mais elevada.

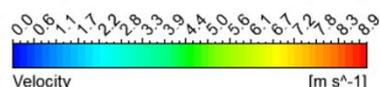
Observa-se que, assim como à tarde, a fachada mais favorável à captação é a Sudeste. Nesta, as pressões alcançam até 4,5 Pa no 8º pavimento (Figura 122). Nota-se também uma forte incidência na quina Sul nos andares mais baixos, decorrente sobretudo da canalização dos ventos pelos cânions urbanos.



LEGENDAS



Inverno de noite (S) -
 $V_{10m} = 4,5 \text{ m/s}$

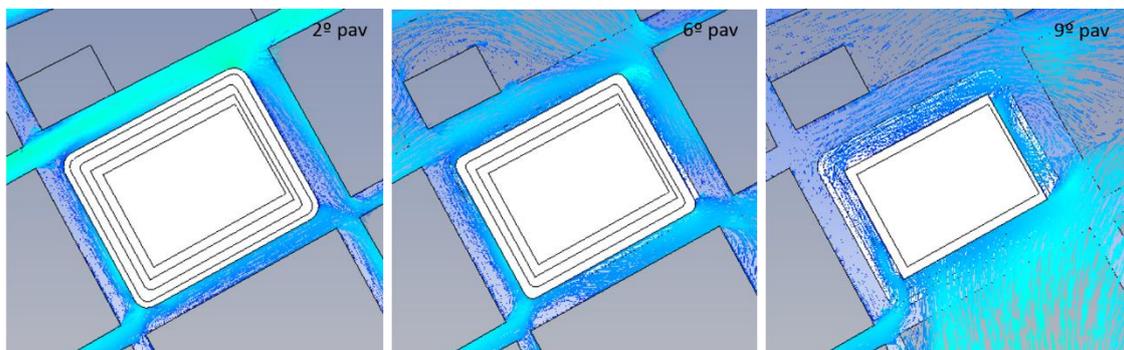


Primavera de noite (S) -
 $V_{10m} = 5,0 \text{ m/s}$

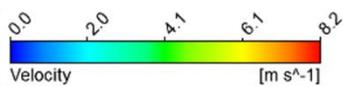


Verão e Outono de noite (S) -
 $V_{10m} = 5,5 \text{ m/s}$

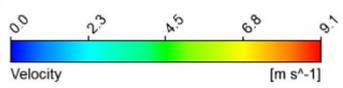
Figura 120 – Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento, noite. Fonte: Ansys CFX.



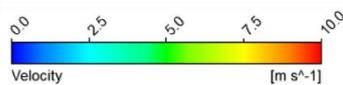
LEGENDAS



Inverno de noite (S) -
 $V_{10m} = 4,5 \text{ m/s}$

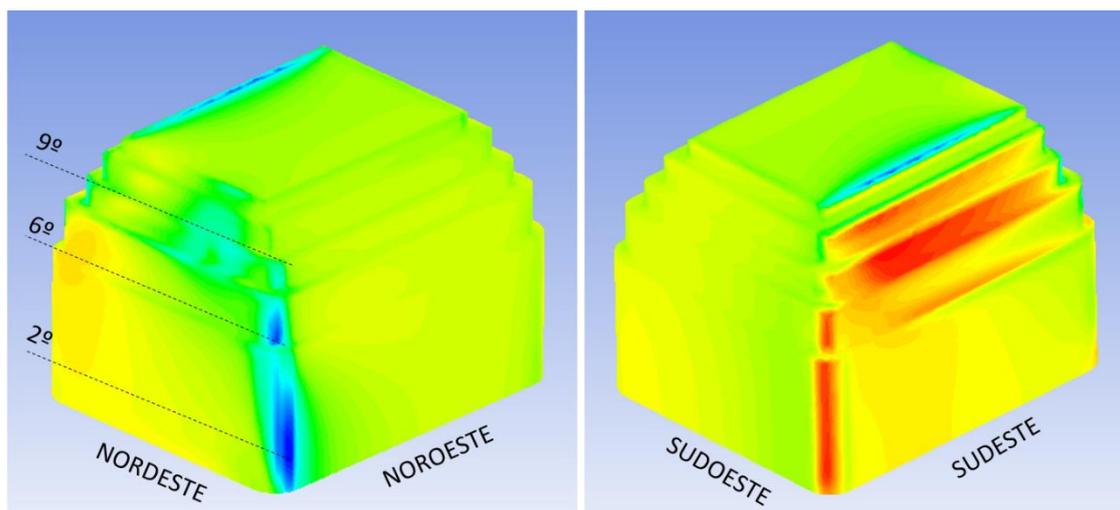


Primavera de noite (S) -
 $V_{10m} = 5,0 \text{ m/s}$

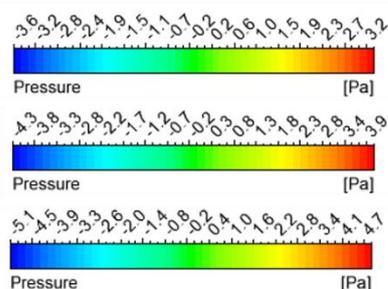


Verão e outono de noite (S) -
 $V_{10m} = 5,5 \text{ m/s}$

Figura 121 – Escoamento do ar em torno do edifício Galeria, noite. Fonte: Ansys CFX.



LEGENDAS



Inverno de noite (S) -
 $V_{10m} = 4,5 \text{ m/s}$

Primavera de noite (S) -
 $V_{10m} = 5,0 \text{ m/s}$

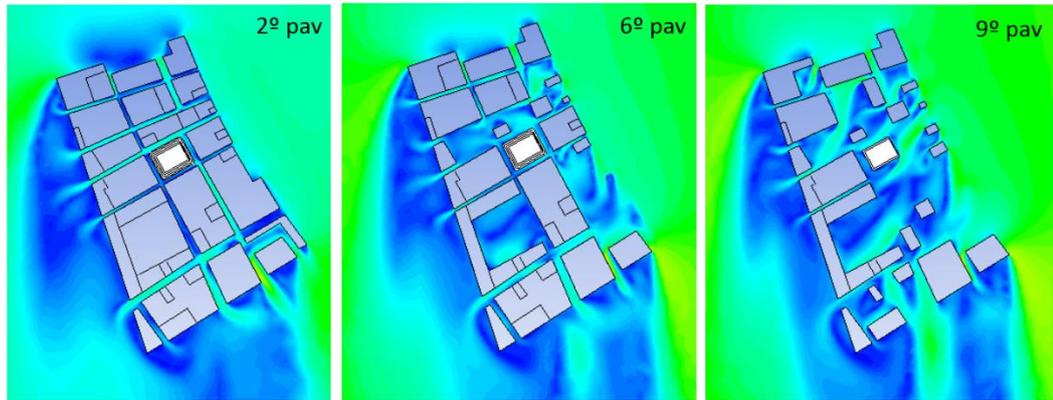
Verão e outono de noite (S) -
 $V_{10m} = 5,5 \text{ m/s}$

Figura 122 – Pressões nas fachadas do edifício Galeria, noite. Fonte: Ansys CFX

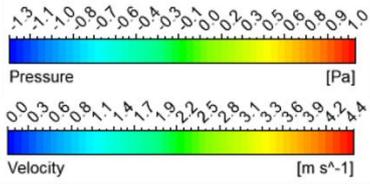
- Madrugada (Norte, 0° - Verão, Outono e Inverno; Sul, 180° - Primavera)

Na madrugada, os ventos se mantêm provenientes de Sul apenas na primavera. Nesta estação, a fachada barlavento continua sendo a Sudeste, porém a velocidade e pressão dos ventos incidentes sofrem uma redução em relação ao período da noite, devido à queda da intensidade do ar a 10m do solo (Figuras 123 a 125).

A direção dos ventos sofre uma inversão de direção para norte nas demais estações, alterando a captação dos ventos para a fachada Nordeste. Nestas, a pressão atinge no máximo 3 Pa em alguns pontos do 8º e 9º andar.



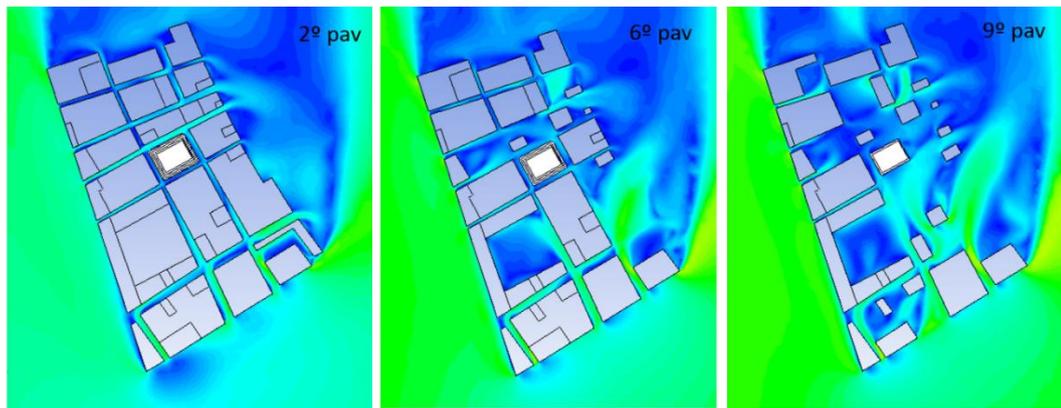
LEGENDAS



Verão e outono de madrugada (N) -
 $V_{10m} = 1,5 \text{ m/s}$



Inverno de madrugada (N) -
 $V_{10m} = 2,5 \text{ m/s}$



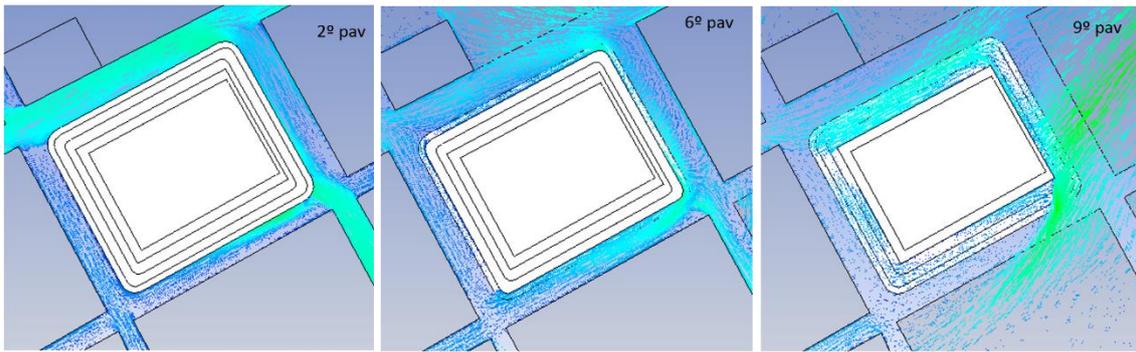
LEGENDAS



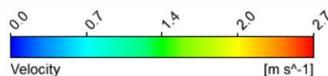
Primavera de madrugada (S) -
 $V_{10m} = 3 \text{ m/s}$



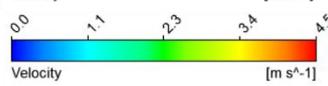
Figura 123 – Velocidade do ar na altura do 2º, 6º e 9º pavimento, madrugada. Fonte: Ansys CFX



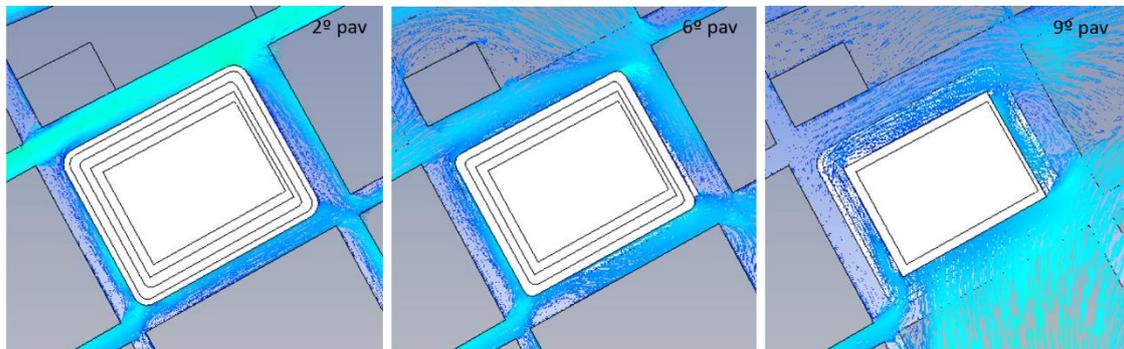
LEGENDAS



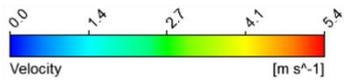
Verão e outono de madrugada (N) -
 $V_{10m} = 1,5 \text{ m/s}$



Inverno de madrugada (N) -
 $V_{10m} = 2,5 \text{ m/s}$



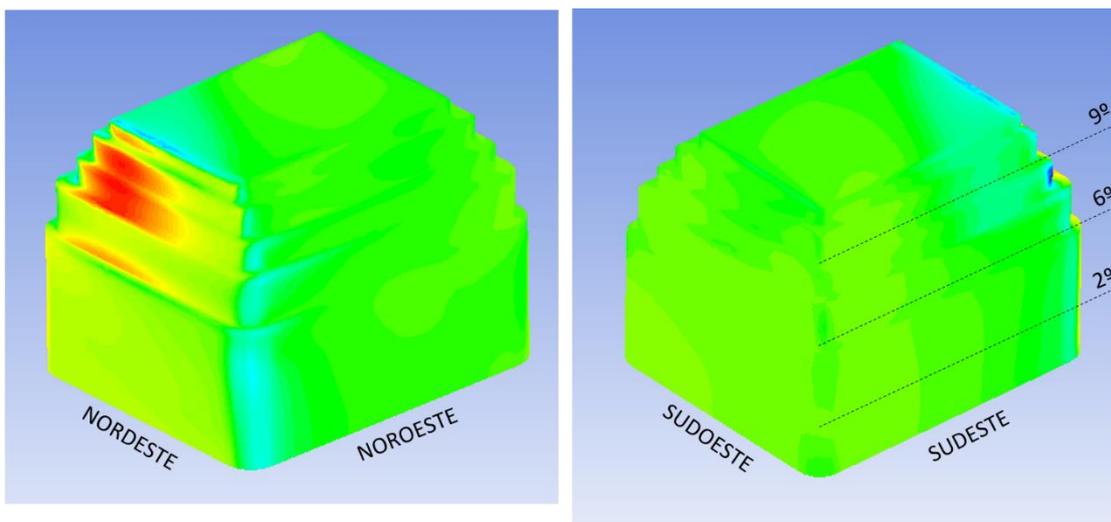
LEGENDAS



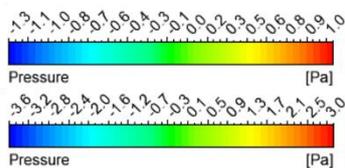
Primavera de madrugada (S) -
 $V_{10m} = 3 \text{ m/s}$



Figura 124 – Escoamento do ar em torno do edifício Galeria, madrugada. Fonte: Ansys CFX

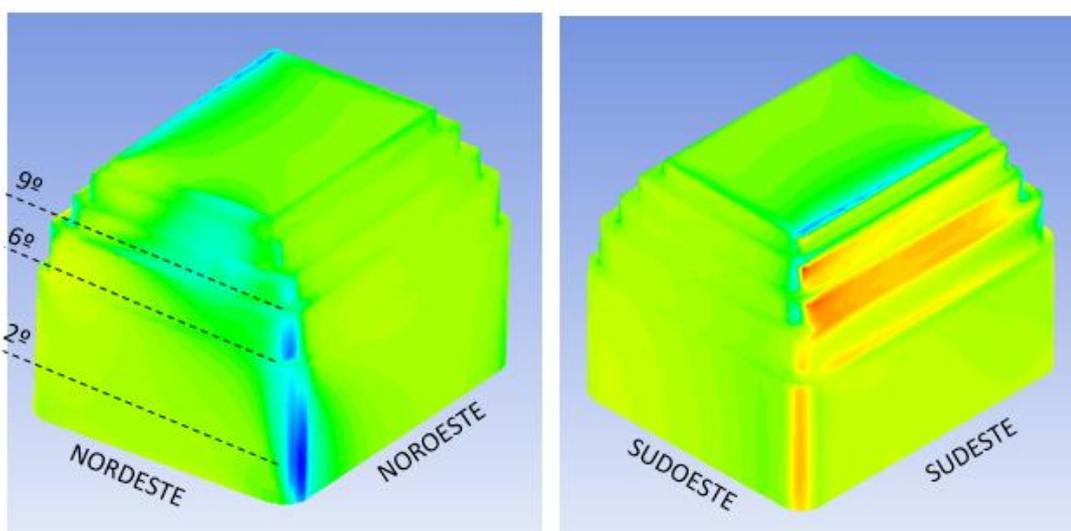


LEGENDAS

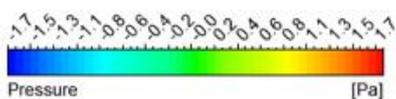


Verão e outono de madrugada (N) -
 $V_{10m} = 1,5 \text{ m/s}$

Inverno de madrugada (N) -
 $V_{10m} = 2,5 \text{ m/s}$



LEGENDAS



Primavera de madrugada (S) -
 $V_{10m} = 3 \text{ m/s}$

Figura 125 –Pressões nas fachadas do edifício Galeria, madrugada. Fonte: Ansys CFX.

4.4.2.2. Simulações internas

As Figuras 126 e 127 expõem a distribuição e intensidade dos fluxos de ar nos pavimentos durante o período de ocupação.

Como na etapa de diagnóstico (Figuras 103 e 104), observa-se que a velocidade do ar é

expressivamente maior no 9º pavimento e que a ausência da caixa de escada reduz a turbulência na ala Sudeste deste andar.

Nota-se que a introdução da esquadria pivotante resulta em um leve aumento da velocidade média do ar interno, principalmente no 6º e 9º andar, que sofrem menos com a obstrução do entorno (Figura 128).

Consequentemente, as pressões internas também apresentam um aumento após a reabilitação (Figuras 105 e 106 x Figuras 129 e 130).

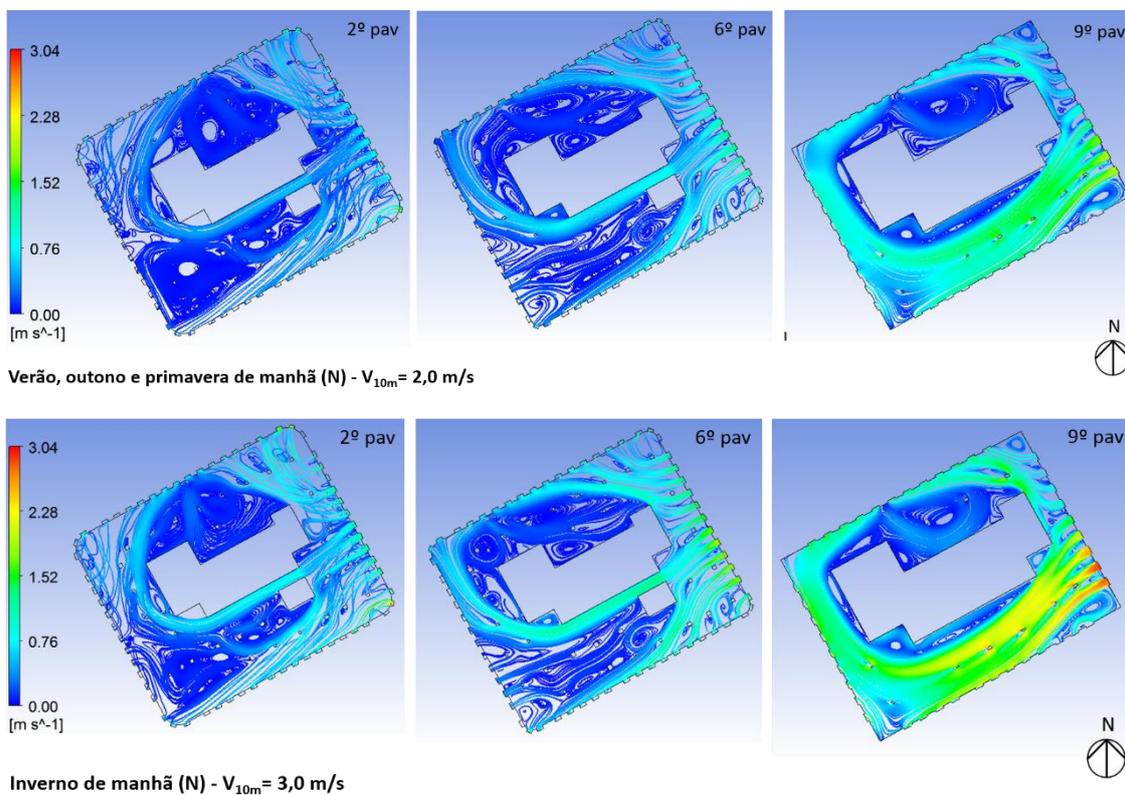


Figura 126 – Velocidade do ar e padrão de escoamento interno, manhã. Fonte: Ansys CFX.

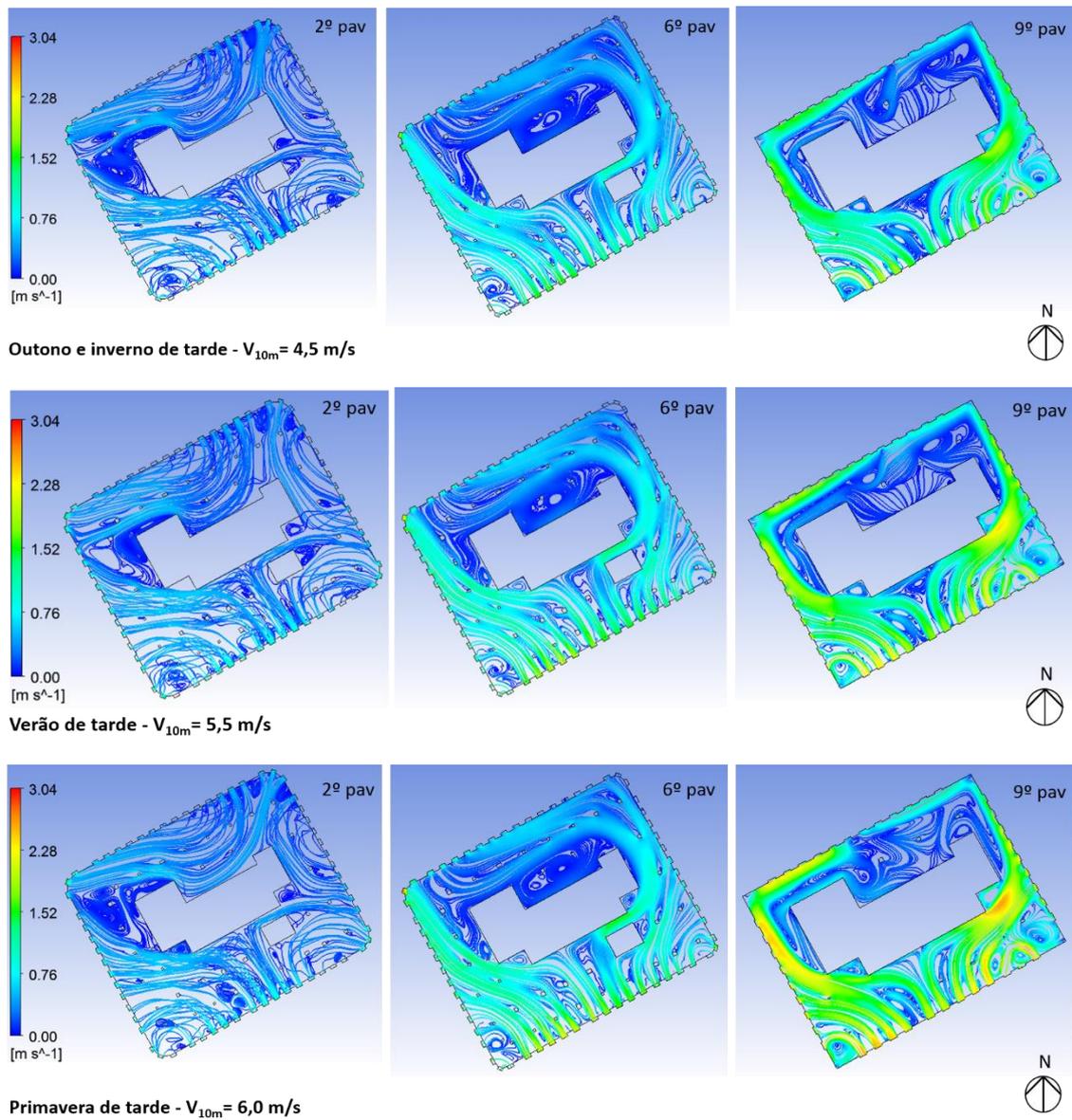


Figura 127 – Velocidade do ar e padrão de escoamento interno, tarde. Fonte: Ansys CFX.

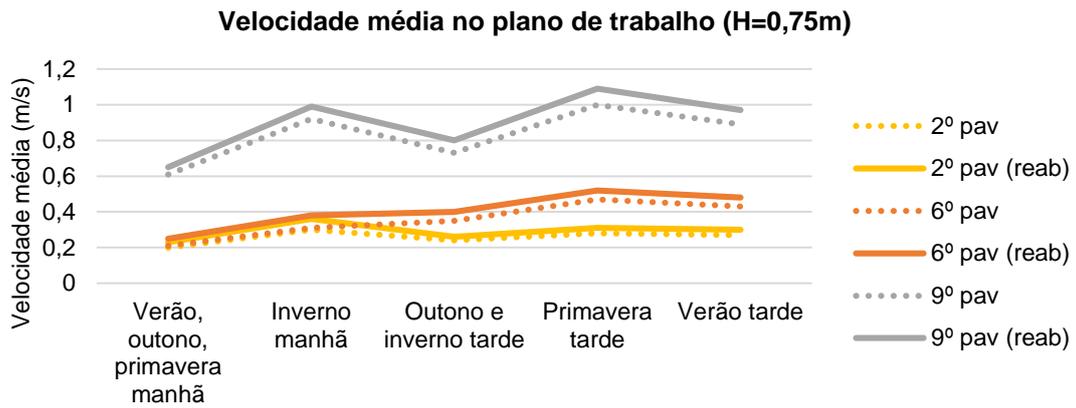


Figura 128 – Velocidade média no plano de trabalho antes e após reabilitação. Fonte: a autora.

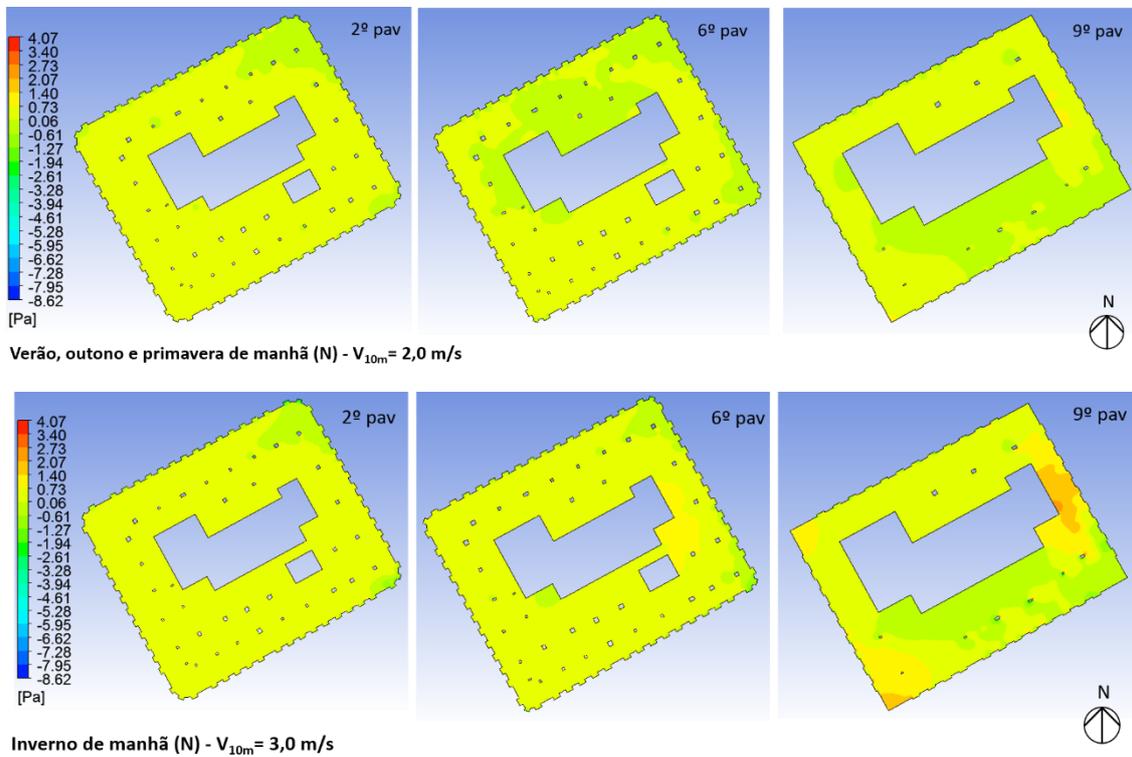


Figura 129 – Pressões internas, manhã. Fonte: Ansys CFX

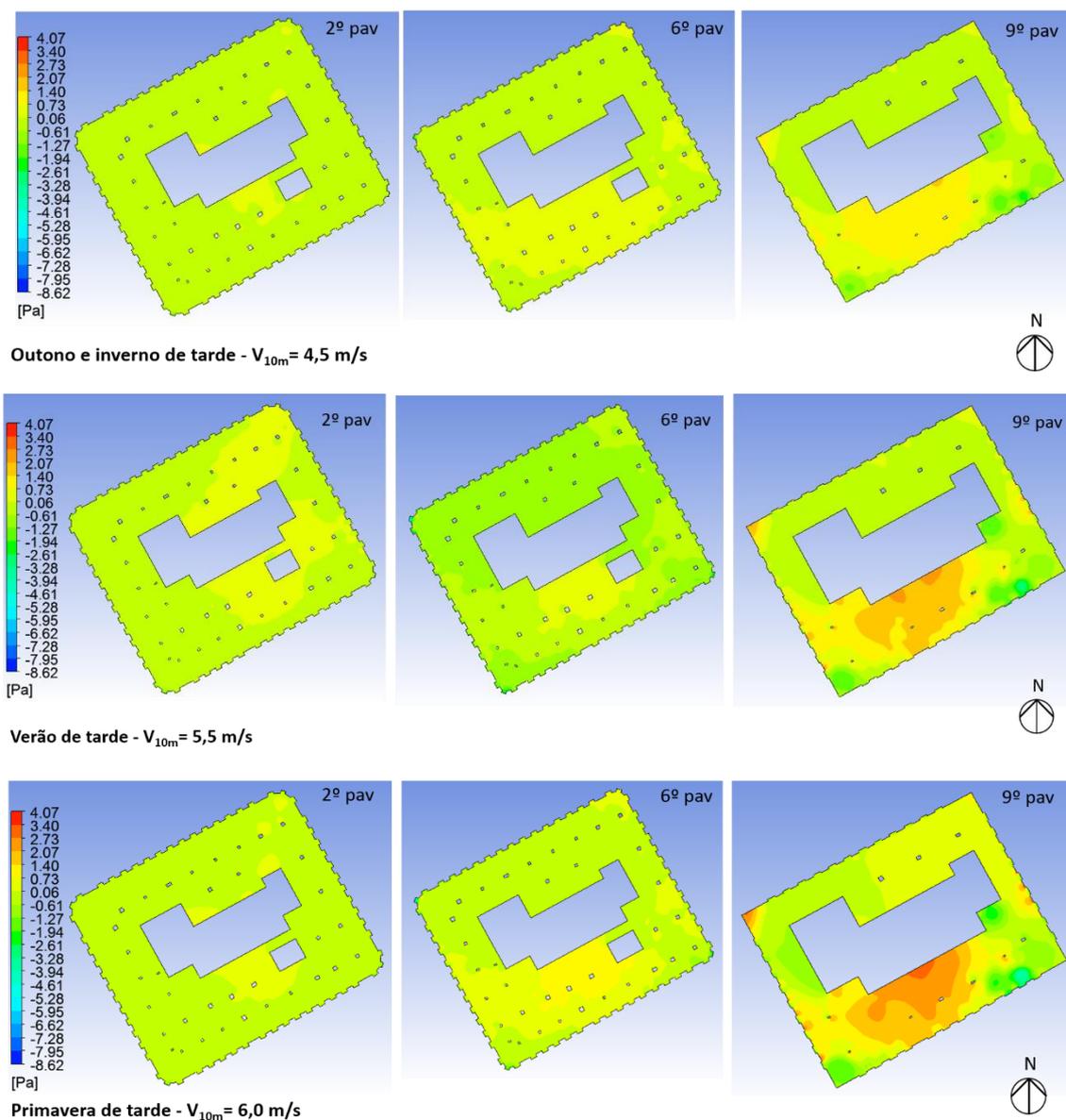


Figura 130 – Pressões internas, tarde. Fonte: Ansys CFX

Após a intervenção, observou-se um incremento de 11 a 41% da vazão de ar nos pavimentos, a depender do período analisado (Figura 131). O número máximo de renovações por hora subiu de 82 para 100 no 9º pavimento, ao passo que o mínimo, no 2º pavimento, saltou de 15 para 20 (Figura 132).

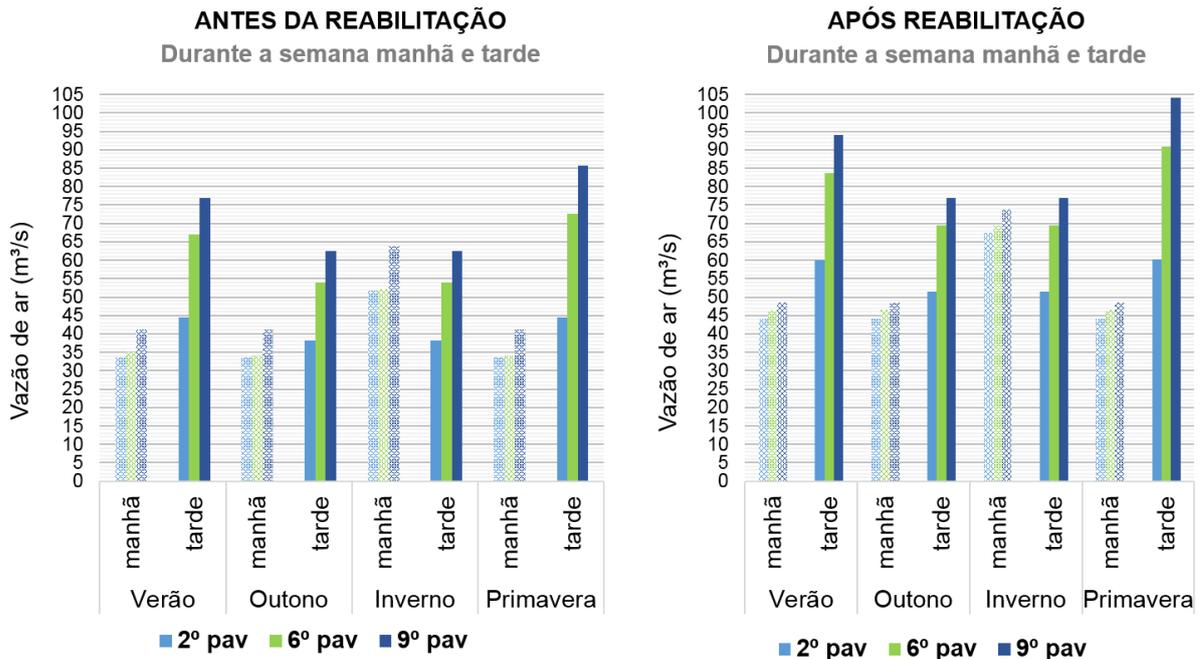


Figura 131 – Antes e após reabilitação: vazão de ar (m³/s) nos três pavimentos durante ocupação. Fonte: a autora.

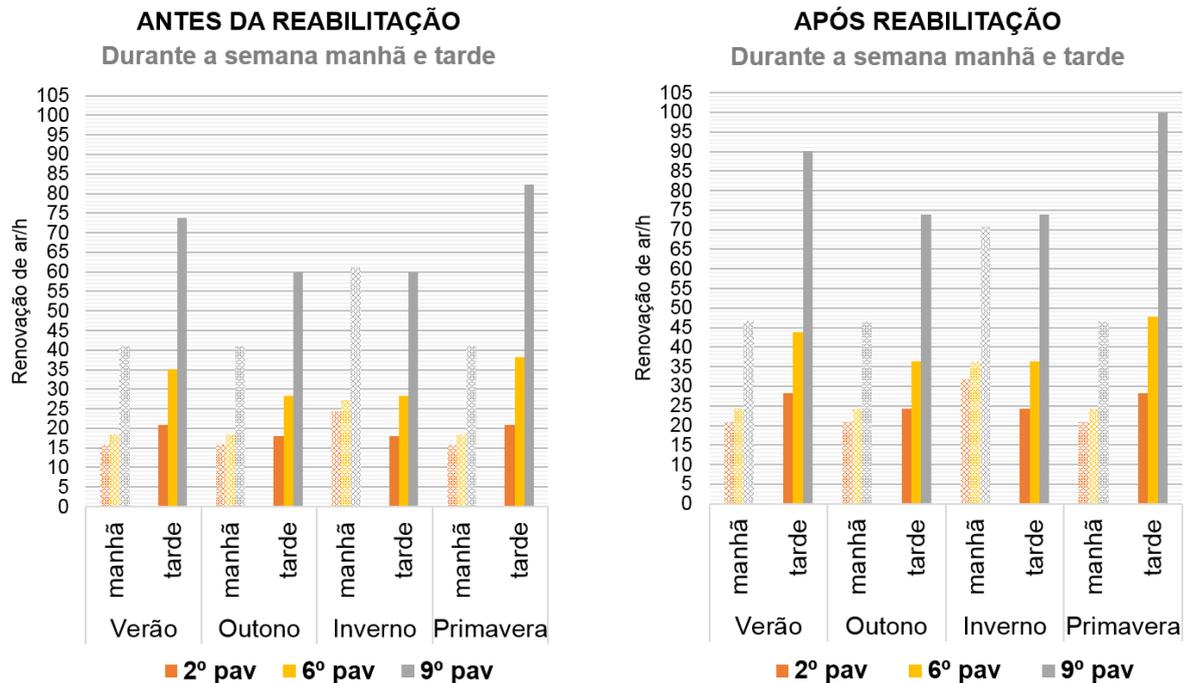


Figura 132 – Antes e após reabilitação: número de renovações de ar nos três pavimentos durante ocupação. Fonte: a autora.

Nas simulações diurnas (manhã e tarde), verifica-se que a vazão de ar aumenta com a distância do pavimento em relação ao solo em todos os casos estudados (Figura 131). Por outro lado, fora do período de ocupação, nota-se a redução da vazão do 2º ao 9º andar nas

manhãs dos fins de semana e feriados (Figura 133 e 134) e também durante a noite e a madrugada (Figura 135 e 136).

ANTES DA REABILITAÇÃO
Fins de semana e feriados



APÓS REABILITAÇÃO
Fins de semana e feriados

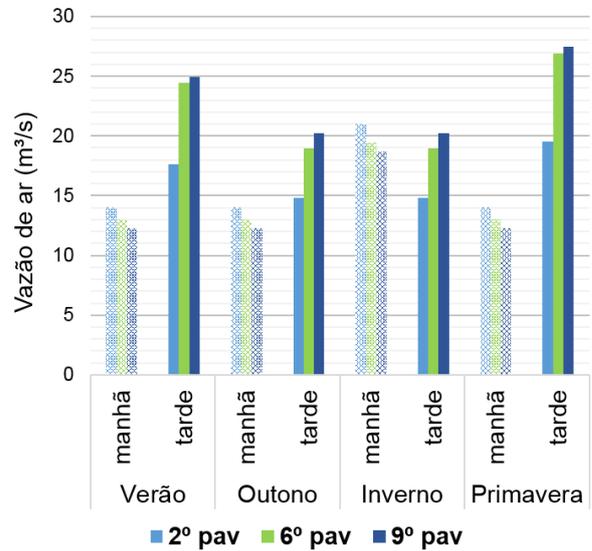


Figura 133 – Antes e após reabilitação: vazão de ar (m³/s) nos três pavimentos nos fins de semana e feriados. Fonte: a autora.

ANTES DA REABILITAÇÃO
Fins de semana e feriados



APÓS REABILITAÇÃO
Fins de semana e feriados

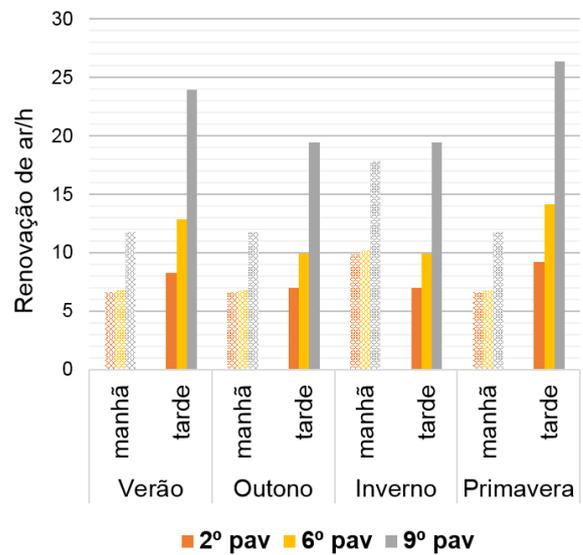


Figura 134 – Antes e após reabilitação: número de renovações de ar nos três pavimentos nos fins de semana e feriados. Fonte: a autora.

ANTES DA REABILITAÇÃO
Noite e madrugada



APÓS REABILITAÇÃO
Noite e madrugada

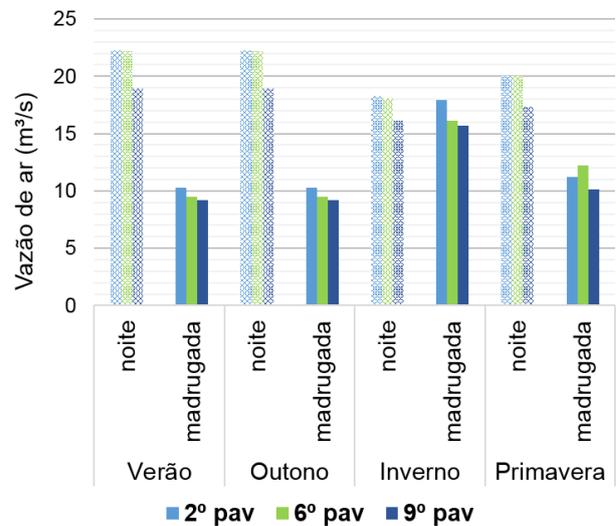


Figura 135 – Antes e após reabilitação: vazão de ar (m^3/s) nos três pavimentos durante a noite e madrugada. Fonte: a autora.

ANTES DA REABILITAÇÃO
Noite e madrugada



APÓS REABILITAÇÃO
Noite e madrugada

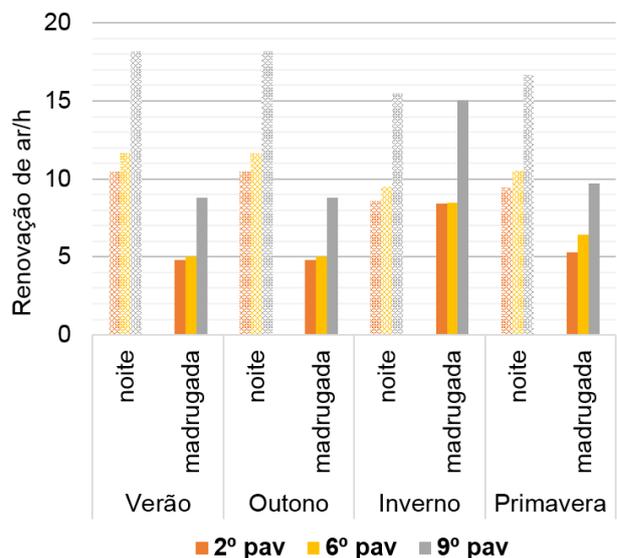


Figura 136 – Antes e após reabilitação: número de renovações de ar nos três pavimentos durante a noite e madrugada. Fonte: a autora.

No primeiro caso, a diferença de área de abertura entre os pavimentos é muito pequena. Se, por um lado, o número de janelas é reduzido nos andares mais altos devido ao escalonamento destes no topo do edifício, por outro, a altura da abertura tende a crescer. No 9º andar, por exemplo, existem apenas 42 aberturas (contra 62 do 2º e 6º andar), no entanto, a altura delas é maior que as demais, fazendo com que este pavimento apresente uma área de abertura

total apenas 6% menor que os outros pavimentos estudados. Conseqüentemente, durante a ocupação, o aumento da permeabilidade do tecido urbano nos andares mais altos é um fator preponderante sobre a área de abertura.

Fora do horário de ocupação, as únicas janelas que permanecem abertas (as pivotantes) possuem todas a mesma área. Deste modo, o menor número de aberturas no 9º pavimento gera uma área de captação dos ventos 38% menor que a dos outros andares. Este fator torna-se preponderante em relação ao aumento da permeabilidade nos andares mais altos e resulta numa redução entre 10 e 15% da vazão de ar do 9º em relação ao 2º pavimento. A única exceção ocorre nas tardes de fins de semana e feriado (Figura 133), quando a velocidade do ar aumenta e gera uma maior pressão sobre a fachada barlavento, recuperando a preponderância da influência da altura do solo sobre a vazão de ar interna.

4.4.2.3. Simulações térmicas

A incorporação da ventilação noturna no edifício Galeria possibilitou um aumento do número de horas em conforto durante o horário de ocupação.

As Figuras 137-139 indicam uma queda nas temperaturas operativas em direção as faixas de conforto, o que é mais perceptível para o modelo de De Dear e Brager (2001). As temperaturas operativas máximas e mínimas têm um decréscimo de 1 e 3°C, respectivamente. Conseqüentemente, houve um incremento das horas de desconforto por frio em todos os pavimentos, especialmente no inverno e no outono.

Nas Figuras 140-142, verifica-se que os benefícios da ventilação noturna foram mais percebidos no 6º pavimento, de tal modo que este passou do mais desconfortável para o mais confortável dos andares estudados. Por outro lado, este foi o que mais sofreu um incremento das horas de desconforto por frio, sobretudo para Humphreys et al (2013) e Toe e Kubota (2013)²⁰. Segundo estes modelos, o desconforto por frio aumentou 40 e 51%, respectivamente.

No entanto, a queda das temperaturas operativas gerou maiores prejuízos para o 9º pavimento. Este passou a ser o 2º em horas de conforto e teve ganhos pouco expressivos segundo Humphreys et al (3%) e Toe e Kubota (1,5%). Neste caso, o modelo de De Dear e Brager (2001) se mostra menos sensível às mudanças de temperatura, uma vez que se baseia em uma faixa de conforto mais ampla.

O melhor desempenho do 6º em relação ao 9º pavimento pode ser justificado pelo grande aporte solar observado no topo do edifício, que é mais exposto ao sol que os andares mais

²⁰ As equações adotadas nas análises mantiveram-se iguais às utilizadas na etapa de Diagnóstico.

baixos. O 9º apresenta ganhos térmicos 21% mais elevados que o 6º, e a decorrente redução do uso de energia para iluminação artificial não compensa a absorção de calor pelo envelope (Figura 143).

Os benefícios foram menos significativos no 2º pavimento, o que indica que o aumento da área de abertura é pouco vantajoso quando a obstrução do entorno é considerável.

O aumento das horas de conforto variou entre 15 e 35% para De Dear e Brager (2001), 2 a 12% para Humphreys et al (2013) e 0,5 e 10% para Toe e Kubota (2013). Conclui-se que, independente do modelo considerado, a ventilação noturna oferece benefícios para o conforto dos usuários no horário do expediente, ao dissipar o calor interno acumulado durante o dia. Ressalta-se que este ganho pode ser ainda mais perceptivo se os ocupantes adotarem uma postura proativa e buscarem meios de minimizar o desconforto por frio, fechando as janelas, incrementando a vestimenta ou mudando de posição no espaço.

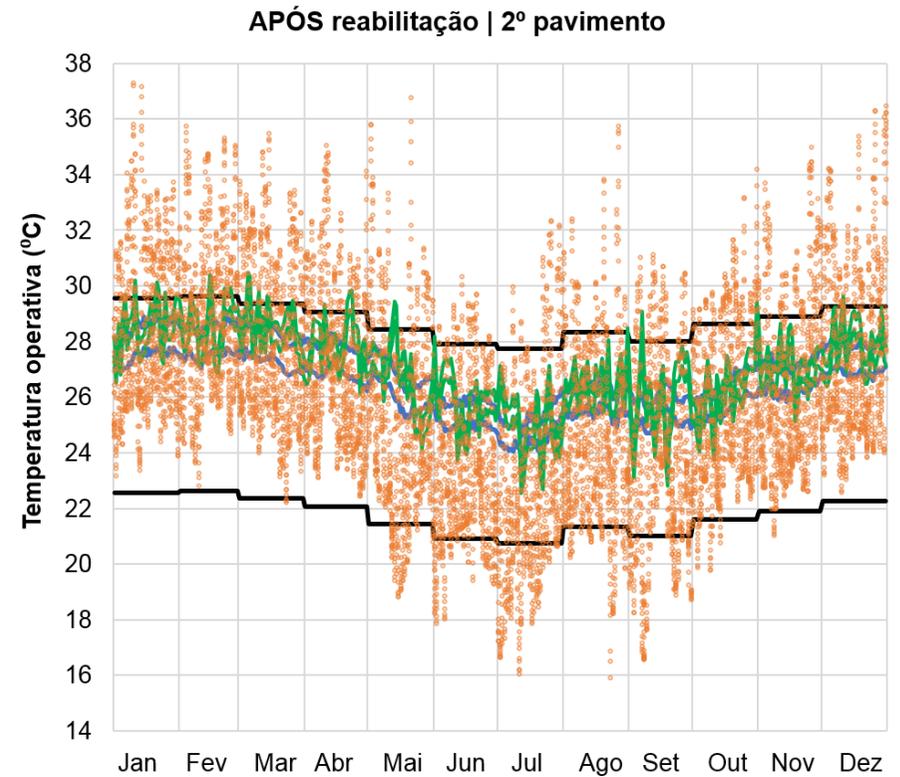
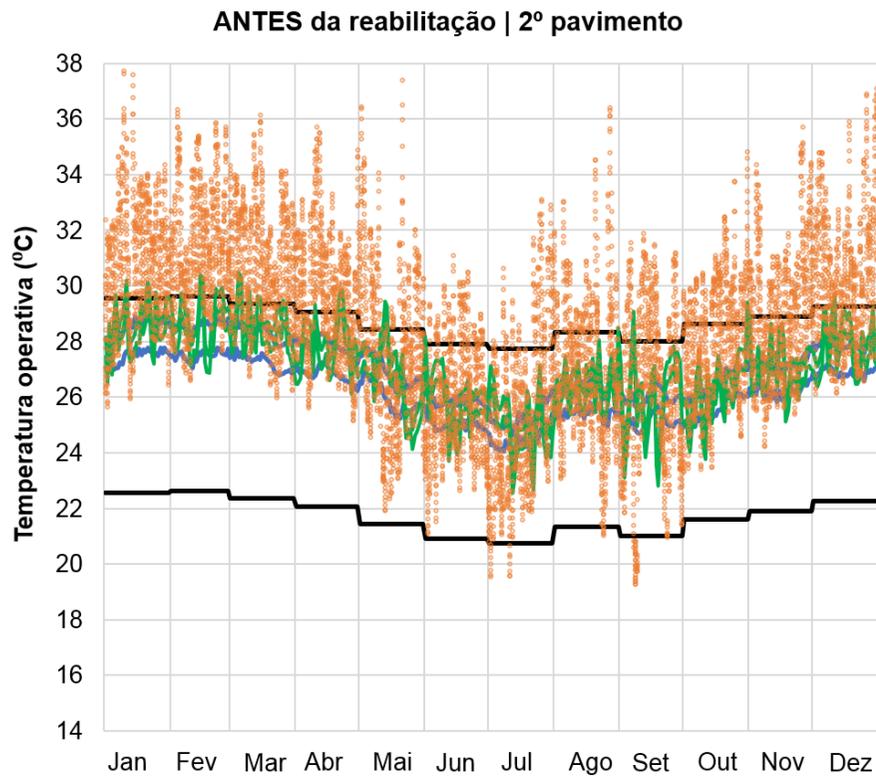


Figura 137 – Antes e após reabilitação: temperaturas operativas x Faixas de temperatura de conforto (2º pavimento). Fonte: a autora.

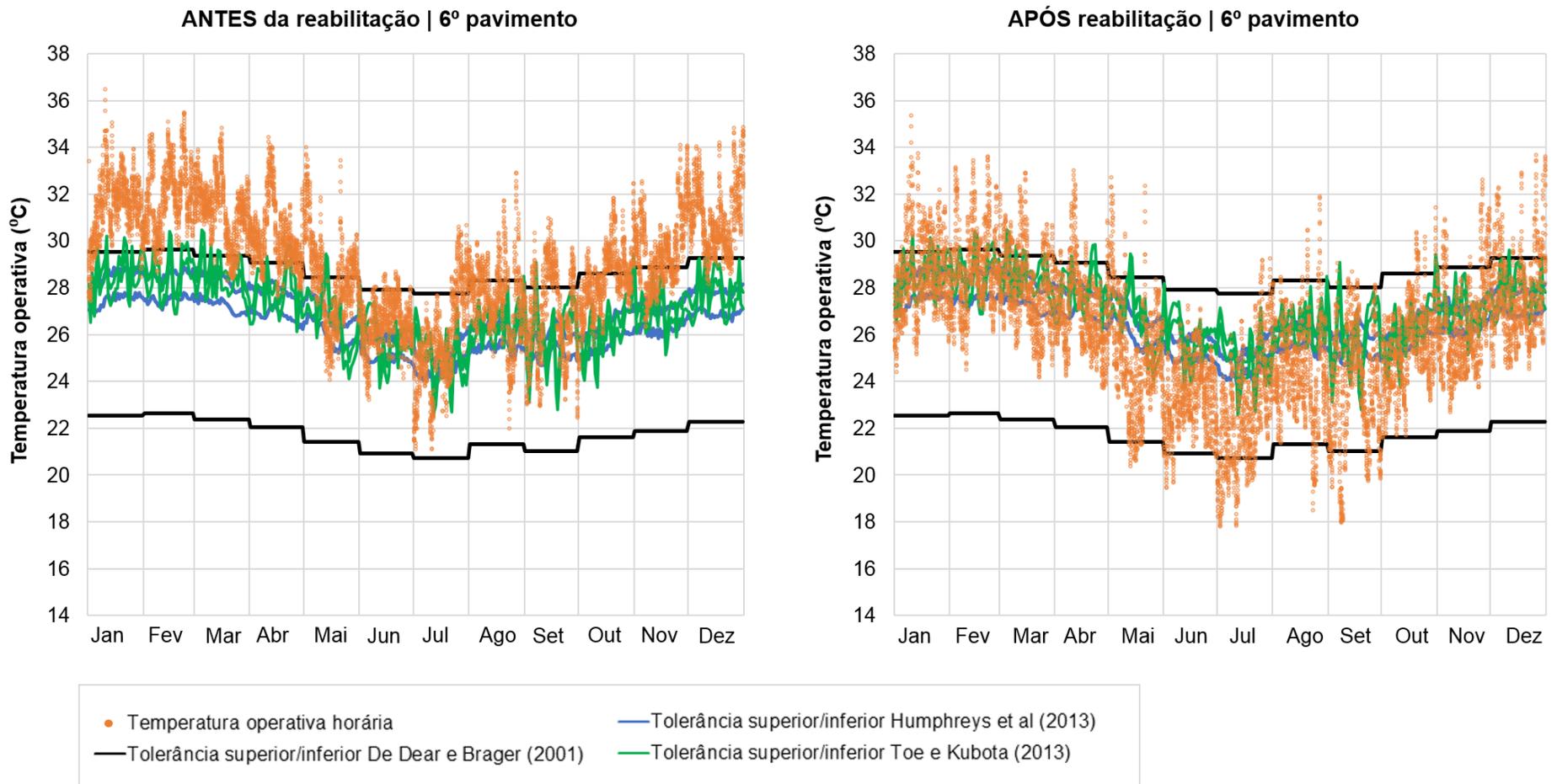


Figura 138 — Antes e após reabilitação: temperaturas operativas x Faixas de temperatura de conforto (6º pavimento). Fonte: a autora.

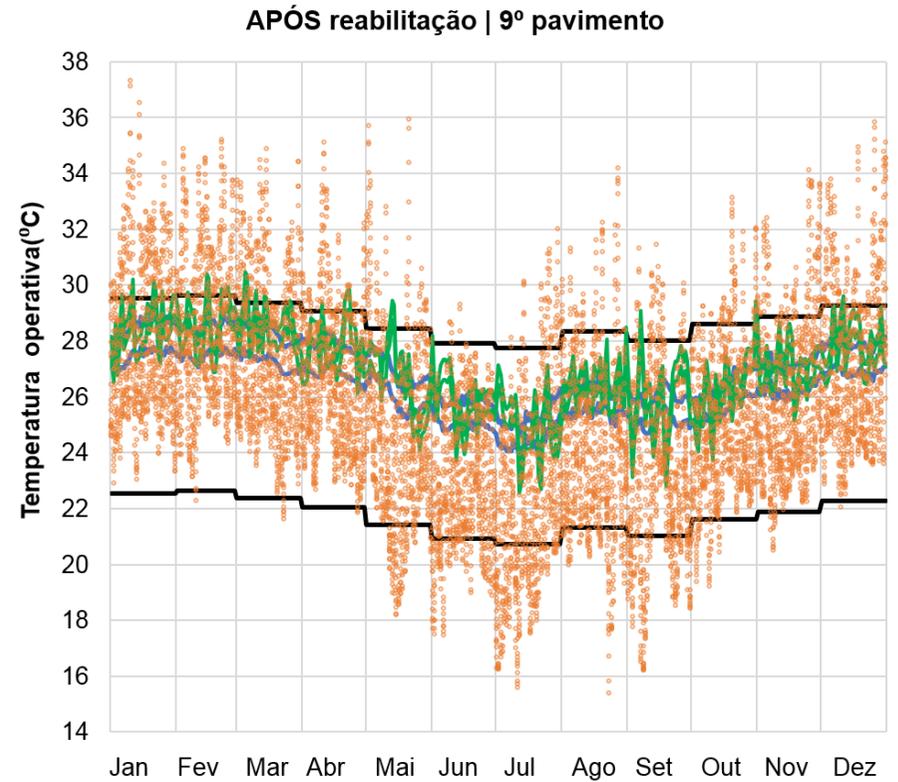
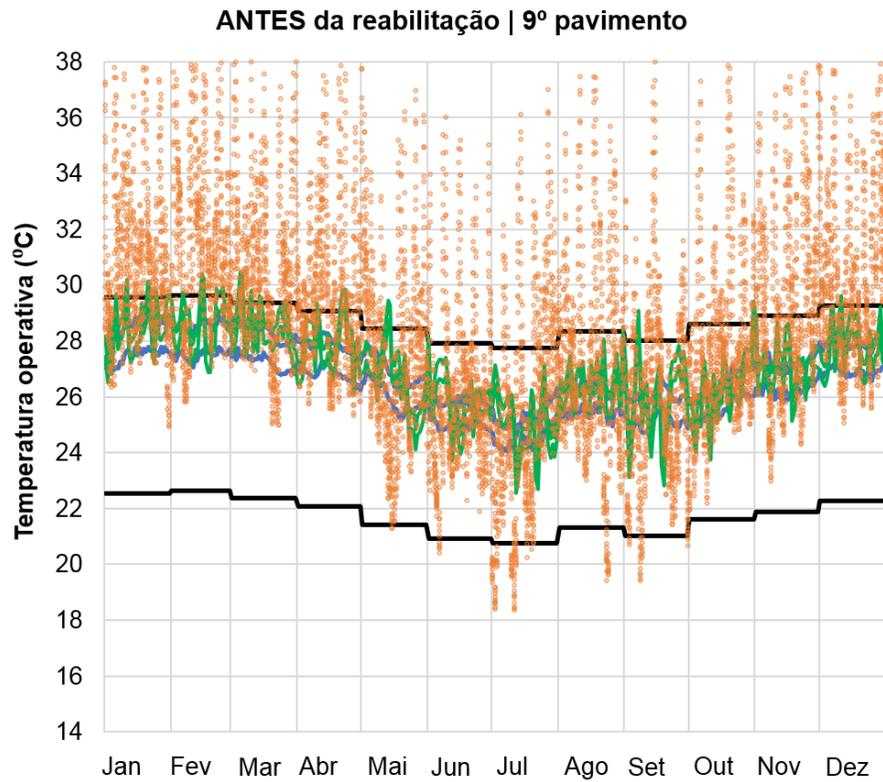


Figura 139 - Antes e após reabilitação: temperaturas operativas x Faixas de temperatura de conforto (9º pavimento). Fonte: a autora.

6º PAVIMENTO

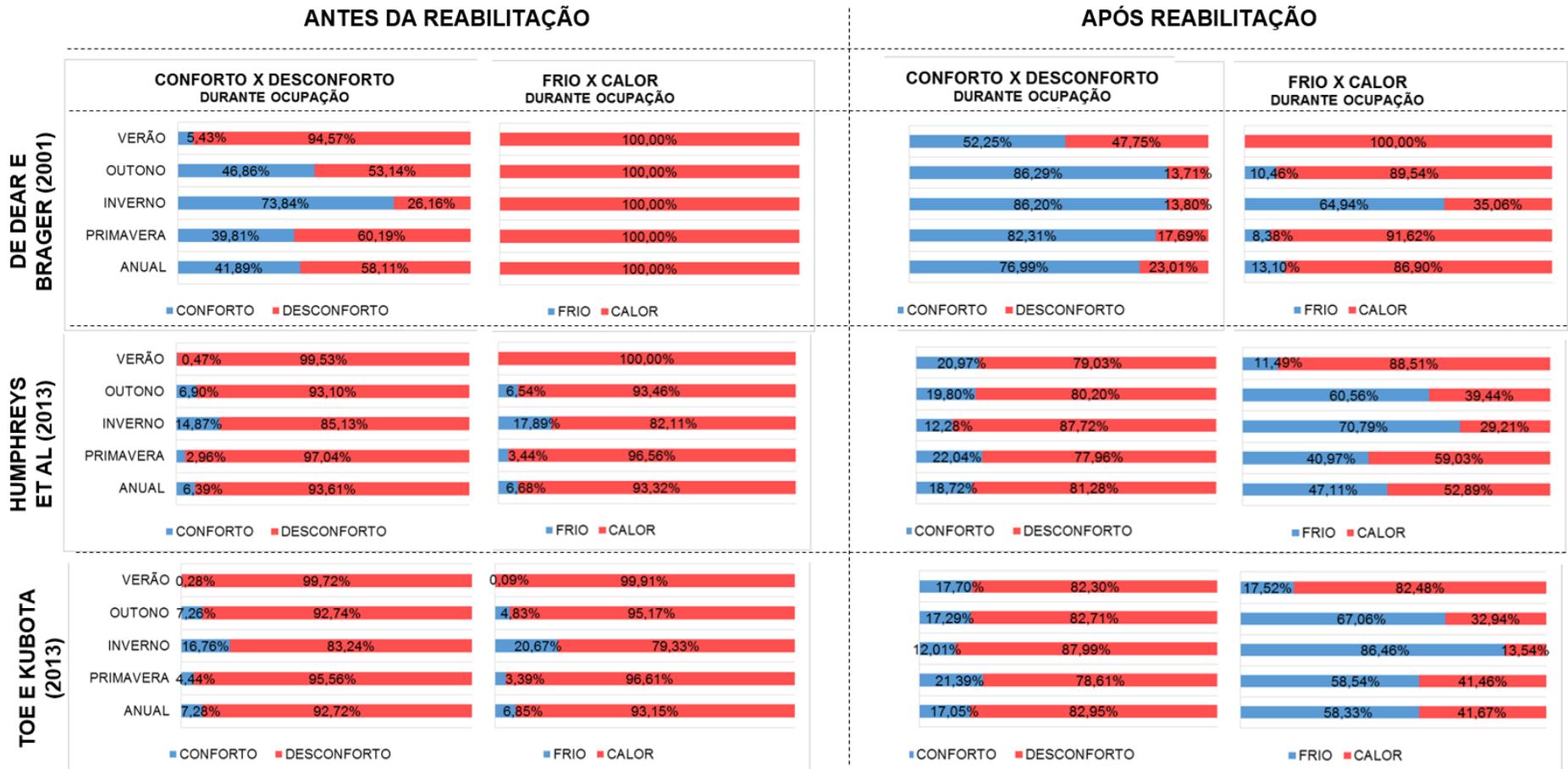


Figura 141 – Antes e após reabilitação: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 6º pavimento. Fonte: a autora.

9º PAVIMENTO

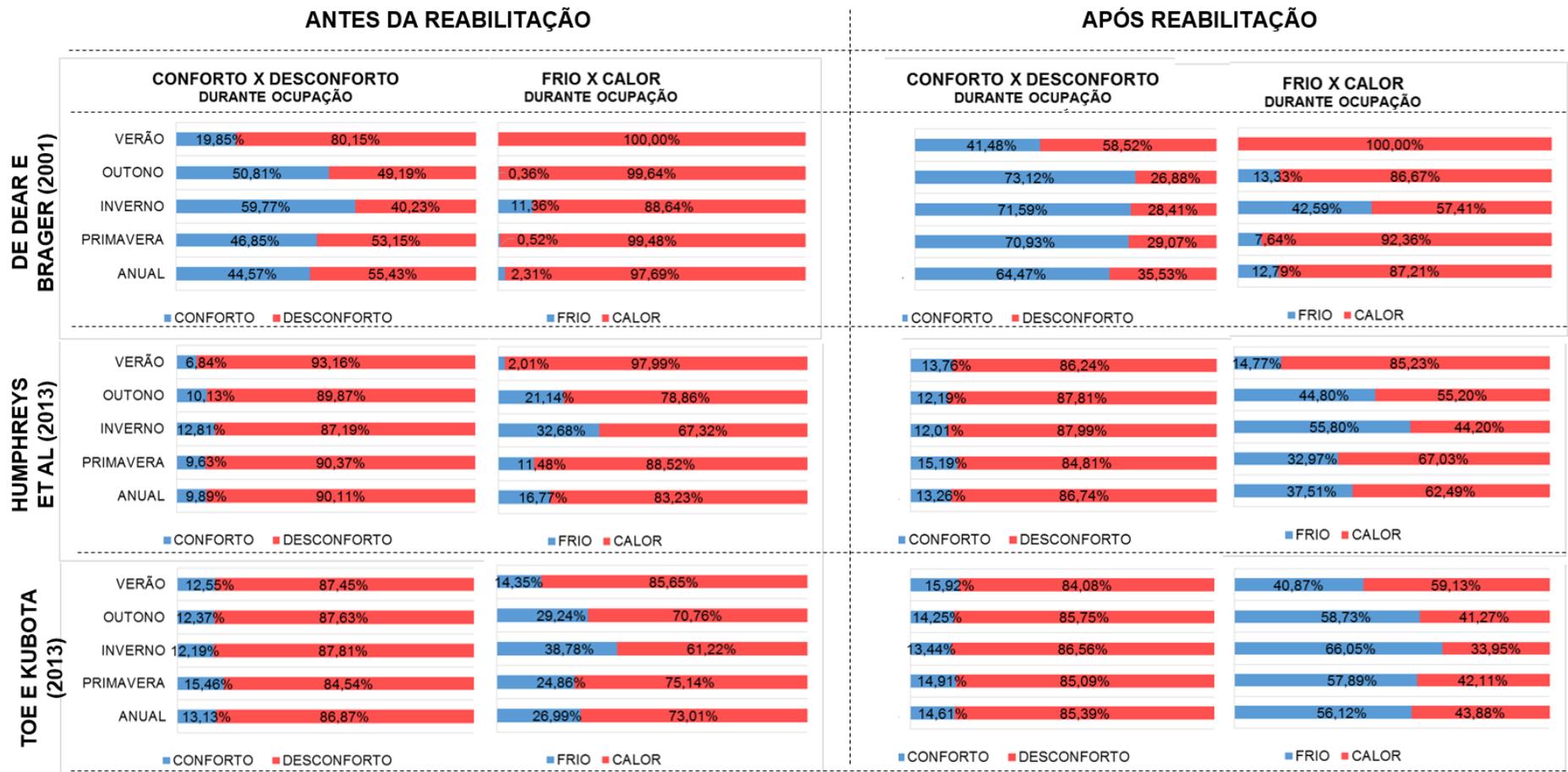


Figura 142 – Antes e após reabilitação: Porcentagem de horas de conforto e desconforto no 9º pavimento. Fonte: a autora.

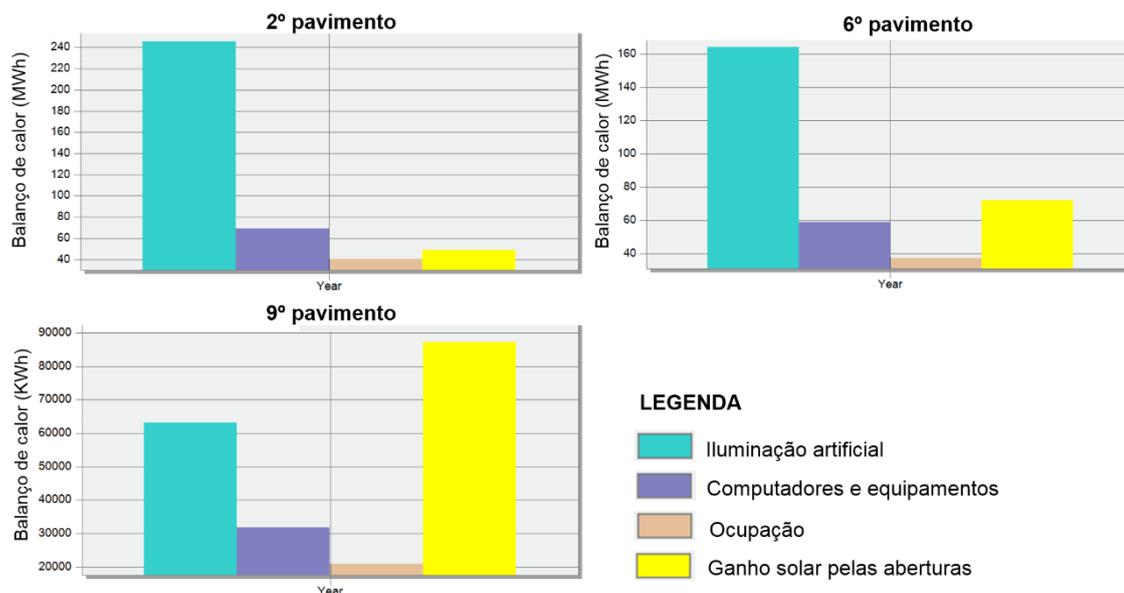


Figura 143 – Balanço de energia anual nos três pavimentos. Fonte: adaptado de DesignBuilder

4.4.2.4. Conclusões da etapa de projeto

As novas **simulações urbanas** reforçam que, além do grau de obstrução dos ventos pelo entorno, outro aspecto que influencia nas pressões atuantes em cada pavimento é a intensidade dos ventos nas fachadas. Isto fica claro quando visualizado os campos de pressão sobre o edifício Galeria durante a madrugada da primavera.

As **simulações internas** indicam que o aumento da área de abertura gera um incremento da velocidade média do ar interno e da vazão de ar durante o horário de ocupação, o que pode ampliar a tolerância dos usuários a altas temperaturas internas do ar.

Verifica-se também que nem sempre a vazão de ar é mais elevada nos andares mais altos. Como observado nas simulações noturnas, além da permeabilidade do tecido urbano, outros fatores, como dimensão e número de aberturas dos pavimentos e a influência da intensidade dos ventos incidentes, podem gerar por vezes um decréscimo da vazão do ar com o aumento da distância do solo. Como discutido no capítulo 3, o padrão de escoamento do ar interna e externamente ao edifício depende de muitos aspectos e não deve ser predito sem uma análise minuciosa, que considere simultaneamente as especificidades do contexto urbano e dos aspectos construtivos do edifício.

Por meio das **simulações térmicas**, foi possível concluir que a ventilação noturna é uma estratégia eficiente na melhoria das condições de conforto durante o dia, mas seus benefícios são mais perceptíveis para pavimentos menos obstruídos pelo entorno. Resguardada as condições de segurança do edifício, é possível reduzir as temperaturas internas logo no início do expediente, ampliando-se as horas de conforto.

Mais uma vez, reforça-se a importância de se fazer uma escolha acertada do modelo de conforto a ser adotado na interpretação dos resultados. Como visto, a magnitude dos benefícios da ventilação noturna varia expressivamente entre um modelo e outro. Além disso, alguns modelos apontam falsas condições de desconforto por frio, que devem ser ponderadas.

4.5. Conclusões do capítulo

Este capítulo teve especial relevância para a presente pesquisa por possibilitar explorar na prática as particularidades da reabilitação do uso da ventilação natural em edifícios situados em meios urbanos densos.

A área de interesse selecionada apresentou todas as complexidades necessárias para enriquecer a discussão, destacando-se como exemplo de espaço em constantes transformações, que geram impactos ora positivos ora negativos sobre o potencial de ventilação natural dos edifícios. Neste contexto, o potencial torna-se uma condição momentânea a ser sempre observada e questionada pelos ocupantes.

A escolha do edifício Galeria também foi acertada no sentido que sua complexidade é proporcional a de seu entorno imediato. A sua significância enquanto objeto arquitetônico somada as variações de seus aspectos construtivos – volume e área de aberturas dos pavimentos, para citar apenas um – integram mais variáveis neste debate e aproximam a pesquisa acadêmica das dificuldades enfrentadas na prática profissional.

Ressaltam-se ainda as diversas adições e subtrações sofridas pelo edifício ao longo de seu ciclo de vida para atender as necessidades de seus ocupantes, que certamente foram modificando a relação de seus espaços internos com o meio exterior e, conseqüentemente, o desempenho das estratégias bioclimáticas originalmente adotadas.

A metodologia desenvolvida para o estudo de caso se mostrou bastante trabalhosa e complexa. Foi necessário incorporar múltiplas ferramentas de investigação e estabelecer um cuidado criterioso na escolha dos modelos de conforto para interpretação dos resultados, de modo a garantir uma maior precisão e confiabilidade da análise apresentada.

Neste processo, o Diagnóstico se revelou uma etapa imprescindível para compreensão das condições atuais do edifício e de seu entorno, sem o qual torna-se inviável o desenvolvimento de um projeto de reabilitação eficiente. A forte relação de dependência entre o diagnóstico e o projeto influenciou inclusive na estrutura do capítulo: intercalar a metodologia e resultados de cada etapa foi uma condição estabelecida para que o leitor compreendesse as decisões tomadas em todo o processo.

Por meio do Diagnóstico, reconheceram-se os impactos da verticalização do tecido urbano na incidência dos ventos sobre o edifício Galeria e o quanto estas transformações, neste caso específico, reduziu o diferencial de pressão entre suas fachadas. Ressalta-se que a decorrente redução do potencial de ventilação cruzada não implica em sua supressão, fazendo-se necessário complementar a análise com um diagnóstico do escoamento do ar nos espaços interiores, preferencialmente em pavimentos distintos.

A análise do ruído urbano possibilitou reconhecer a inviabilidade de abrir as janelas nos andares mais baixos, resultante da proximidade com a fonte sonora. Felizmente, este cenário é momentâneo e tende a mudar com a reestruturação do tráfego no centro da cidade. Após implantação do VLT e redução do tráfego de veículos particulares na av. Rio Branco, faz-se necessário um novo estudo de acústica para verificar se o potencial de ventilação do edifício se amplia neste sentido.

As simulações internas e térmicas se mostraram essenciais para uma análise qualitativa e quantitativa da circulação dos ventos nos espaços internos e seus impactos sobre o conforto térmico dos usuários, fornecendo subsídios para delinear diretrizes de intervenção no edifício.

Especificamente nas simulações térmicas, destaca-se a importância de interpretar os resultados sob a ótica de mais de um modelo de conforto, pois, como visto, as conclusões geradas podem ser bastante variadas.

O modelo de De Dear e Brager (2001) adotado pela ASHRAE 55 foi, dentre os estudados, o que se mostrou mais adequado para o contexto climático em questão, pois tem uma faixa de temperatura de conforto que se assemelha à amplitude térmica do Rio de Janeiro. Além disso, este modelo tende a indicar condições de desconforto por frio e por calor mais compatíveis com aquela indicada na carta bioclimática relativa a este contexto climático (LAMBERTS et al, 1997). Esta constatação contraria a proposição de Pereira e Assis (2010)²¹ do uso de um único modelo para todo o território brasileiro.

Percebeu-se também, durante a etapa de Diagnóstico, a necessidade de analisar diversas direções e intensidades do vento, de modo a aprofundar a análise do potencial de ventilação do edifício. Investigar o comportamento do vento em turnos e estações do ano distintas pode apontar soluções variadas para o resfriamento dos espaços.

A etapa de Projeto põe em evidência a importância de se buscar soluções de ventilação simples antes de se pensar em intervenções mais drásticas. É preferível analisá-la

²¹ Pereira e Assis (2010) comparam os modelos de conforto adaptativo propostos por Aluciems (1981), Humphreys (1978), Nicol e Humphreys (2002) e De Dear e Brager (2002) com resultados de estudos brasileiros realizados em Fortaleza (ARAUJO, 1996), Florianópolis (XAVIER, 1999) e Belo Horizonte (GONÇALVES, 2000). Conclui-se que o modelo de Humphreys (1978) é o mais adequado para uma abordagem geral no território nacional.

isoladamente para somente depois buscar estratégias mais elaboradas, que complementem seu desempenho. Um registro dos benefícios oferecidos por cada solução poderá, inclusive, oferecer futuramente maior consciência sobre os impactos desencadeados por subtrações e reversões.

As análises pós-reabilitação indicam que a solução adotada oferece benefícios significativos, ainda que, por si só, não seja capaz de garantir o conforto térmico dos ocupantes em todas as horas de ocupação do ano. No entanto, é inquestionável que sua incorporação ajudará a reduzir o consumo de energia do edifício Galeria, além de aumentar o bem-estar e saúde dos usuários.

Conclui-se que a ventilação mista – que alterna momentos de uso da ventilação natural com a operação de sistemas mecânicos – é uma estratégia mais adequada para este edifício. Por meio dela, é possível racionalizar os gastos com sua operação sem prejudicar o conforto térmico dos usuários em períodos de temperaturas mais adversas, como no verão. Esta proposta está em consonância com o que vem sendo discutido nas pesquisas internacionais sobre o uso da ventilação natural em edifícios reabilitados.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho alcançou plenamente seus objetivos ao aprofundar, tanto na teoria como na prática, a discussão sobre os desafios e potencialidades de introduzir a ventilação natural em projetos de reabilitação de edifícios de escritórios de meios urbanos densos.

Assinala-se como principal contribuição a abordagem simultânea de dois contextos complexos em um mesmo trabalho: a reabilitação de edifícios e os meios urbanos densos. Em se tratando do tema ventilação natural, este cenário revela-se duplamente desafiante, dado que as limitações impostas pelo ruído, poluição atmosférica e grau de permeabilidade do tecido urbano são acentuadas pelas restrições de intervenção no objeto arquitetônico existente.

Para enfrentar este desafio, foi necessário adotar uma abordagem holística, pouco recorrente nas investigações sobre ventilação natural. Este enfoque possibilitou apreender a problemática em sua totalidade, descentralizando a discussão de questões exclusivamente ambientais para evidenciar os conflitos existentes entre os múltiplos requisitos considerados no projeto de arquitetura.

A escolha deste caminho aproxima a produção acadêmica da prática profissional, pois não só reconhece que a intervenção no patrimônio edificado é raramente conduzida exclusivamente com o propósito de aprimorar seu desempenho ambiental, como também assume que, ao longo deste processo, outros fatores conflituosos estão envolvidos na tomada de decisão. Adotar este olhar multicritério na teoria é o primeiro passo para extrapolar as reflexões aqui expostas para a prática.

Esta pesquisa também se aproxima da prática profissional quando se propõe a enfrentar uma problemática sobre a qual cresce o interesse no cenário brasileiro, como é o caso da reabilitação de edifícios. A tese oferece uma reflexão importante e atual sobre os rumos que se tem tomado quando na intervenção sobre o parque edificado e alerta sobre novos caminhos para evoluir nesta *práxis*, de modo a se alinhar aos paradigmas contemporâneos da sustentabilidade.

Nesta busca pela evolução da prática da reabilitação, destaca-se, primeiramente, a importância de resgatar conceitos primordiais da arquitetura bioclimática de modo a criar ou reestabelecer as conexões entre o ambiente construído e o seu meio exterior. Como discutido, uma arquitetura contextualizada oferece grandes benefícios para seus ocupantes, além de se adaptar com mais facilidade a diferentes solicitações ao longo de seu ciclo de vida.

Em seguida, ressalta-se a necessidade de questionar qual é o grau de intervenção aceitável

para alcançar o compromisso entre alto desempenho ambiental e a proteção do patrimônio construído. Neste sentido, é imprescindível, antes de tudo, expandir o debate sobre como reconhecer a significância do objeto arquitetônico, no seu todo e em suas partes, sabendo-se que isto pressupõe um julgamento de valor, e valores se modificam continuamente ao longo das gerações. Estaremos fadados a transformar incessantemente nosso parque edificado para atender a anseios que, em um futuro próximo, perdem sua relevância? Ou engessaremos nosso patrimônio construído para não incorrerem na possibilidade de desagradarmos as gerações vindouras? Em que medida o desempenho ambiental e energético pode ser, de fato, explorado?

Na busca pelo equilíbrio entre desempenho e preservação, é comum que a fachada seja o componente da edificação tratado com maior cautela no processo de reabilitação, pois ela determina, ao mesmo tempo, a performance energético-ambiental do edifício e sua linguagem formal. Este elemento, que se conecta de forma tão direta com o meio exterior – seja fisicamente com as intempéries, seja visual e subjetivamente com o pedestre – deve, ao mesmo tempo, guardar as conexões com seu passado e se adequar continuamente às transformações climáticas e urbanas do entorno.

Diante deste dualismo entre permanência e transformação, o arquiteto não deve se limitar a aprimorar com discrição a inércia térmica das superfícies opacas. Como visto, as janelas também oferecem um grande potencial de intervenção, mas, para isso, é importante se libertar das soluções padronizadas e pouco eficientes em termos de captação e exaustão dos ventos. Isto é especialmente válido para edifícios de escritórios brasileiros, que apresentam um diminuto repertório de soluções de aberturas, reflexo de interesses alheios às questões ambientais.

A tese ofereceu também avanços nos estudos de ventilação natural ao abordar simultaneamente a escala urbana e do edifício. Além de evidenciar a indissociabilidade entre o desempenho da edificação e as condições ambientais oferecidas pela cidade, esta abordagem possibilitou salientar a responsabilidade dos arquitetos ao intervir, mesmo que pontualmente, sobre o meio urbano.

Do mesmo modo que as transformações do entorno podem alterar drasticamente o desempenho ambiental do edifício, uma reabilitação também pode impactar em menor ou maior escala nas relações entre edifícios vizinhos, seja por meio da modificação dos revestimentos externos, da abertura ou fechamento de janelas, da adição ou subtração de volumes ou mesmo da simples mudança de sua função.

Como visto, a legislação urbana tem um papel crucial no controle destas intervenções e geralmente é responsável indiretamente pelas maiores transformações das interações entre

os edifícios. Por isto, é fundamental que o planejador urbano se apoie em pesquisas como esta para ajudar a definir com cuidado os índices urbanísticos, como gabarito, taxa de ocupação e índice de aproveitamento do terreno, de modo a assegurar um crescimento urbano mais harmônico e sustentável.

Ressalta-se que pesquisas sobre ventilação natural em meios urbanos apenas introduzem os múltiplos fatores a serem considerados no planejamento urbano, mas são insuficientes para delas extrair uma análise precisa sobre o padrão de escoamento do ar em uma dada morfologia. Como visto, são diversos os fatores que influenciam na circulação dos ventos no meio urbano: a configuração e distância entre os obstáculos, a variabilidade de alturas dos edifícios, a composição das superfícies, as características do tráfego, dentre outros. O caráter aleatório e determinístico dos ventos acrescenta mais uma camada de complexidade a esta equação e aponta a necessidade de examinar cada caso individualmente, por meio de um diagnóstico.

É importante atentar que o diagnóstico da ventilação natural em um dado tecido urbano é, em sua essência, transitório, tendo em vista que suas condições ambientais e morfológicas dificilmente se mantêm intactas com o passar do tempo. Portanto, recomenda-se realizar estas análises de forma sistemática, aproveitando-se das pequenas transformações que vão se acumulando para se familiarizar com os fenômenos físicos e prever cenários futuros.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, verificou-se que um dos maiores desafios no diagnóstico do potencial de ventilação natural consiste em dominar suas ferramentas. Isto porque a manipulação de programas de simulação computacional fluidodinâmica demanda o conhecimento de conceitos de mecânica de fluidos, uma disciplina não contemplada na formação dos arquitetos. Além disso, destaca-se o laborioso processo de modelar a geometria, lançar uma malha de qualidade, definir condições de contorno, estipular parâmetros mínimos para garantir a precisão dos cálculos e, por fim, avaliar criticamente os resultados obtidos.

Além de dominar as ferramentas, é necessário construir de forma criteriosa a metodologia adotada nas análises, tomando cuidados para fazer uma transição consistente entre escalas (da cidade para o edifício) e transpor dados entre programas.

Ao fim deste processo, não resta dúvidas de que a figura do especialista é indispensável para dar suporte ao projetista na concepção de soluções de reabilitação. Enquanto o primeiro se concentra em dominar a ferramenta e testar possíveis cenários, o segundo pode se dedicar a buscar soluções inovadoras, específicas para o contexto analisado.

A despeito da importância das reflexões teóricas apresentadas nos três primeiros capítulos da tese, é no estudo de caso que os avanços da pesquisa são mais proeminentes. Neste

ponto, conceitos essenciais sobre reabilitação de edifícios e ventilação natural em meios urbanos densos se materializam, ampliando a compreensão sobre a problemática tratada. Graças a escolha acertada do objeto de estudos, foi possível exemplificar alguns dos conflitos e complexidades tratados na intervenção sobre o parque edificado situado neste contexto.

Destaca-se o caráter dinâmico do centro do Rio de Janeiro, que depois de décadas de abandono, passou a ser alvo de importantes reestruturações urbanas, que vem impulsionando a transformação acelerada de seu patrimônio construído. Por meio deste cenário, foi possível oferecer uma noção clara sobre como o desempenho ambiental do edifício é impactado pelo padrão de ocupação do seu entorno e, conseqüentemente, como as edificações precisam, cada vez mais e em um curto espaço de tempo, ser adequadas a estas transformações para continuarem atendendo aos requisitos de conforto de seus ocupantes.

A atual reestruturação do tráfego na área, por meio da implantação do veículo leve sobre trilhos, bem como a continua verticalização do centro, que contribuiu para a redução das cargas térmicas sobre a envoltória dos edifícios, são condições que indicam que nem sempre estas modificações são prejudiciais ao desempenho energético-ambiental das edificações.

Para tirar proveito destas melhorias, cabe aos ocupantes identificar novas oportunidades de explorar outros meios de assegurar o conforto ambiental do edifício, adotando uma postura mais proativa na forma como interagem com o ambiente construído e seus sistemas. Para uma satisfação individual mais duradoura, os usuários devem reconhecer quando e como operar as janelas e os sistemas artificiais, adequar suas vestimentas e considerar mudanças de layout dos postos de trabalho.

O estudo realizado no edifício Galeria evidenciou a necessidade de analisar a circulação dos ventos por pavimento, pois muitas vezes as restrições ocorrem apenas em partes da edificação. Isto também aponta a necessidade de criar soluções flexíveis que possam ser utilizadas de modo variado em cada andar.

A solução proposta na etapa de projeto exemplifica esta flexibilidade. Uma vez detectado o aumento do número de horas de desconforto por frio nos pavimentos mais altos, é possível prever uma operação diferenciada por pavimento das janelas pivotantes superiores. Sem prejudicar a homogeneidade do tratamento de fachada do edifício Galeria, pode-se manter esta parte da esquadria fechada nos pavimentos superiores para reduzir a vazão de ar no horário de ocupação, fazendo uso dela apenas durante a noite para dissipação do calor.

A solução proposta para o edifício Galeria elevou o número de horas de conforto nos pavimentos analisados, graças ao aumento da vazão de ar durante a ocupação e a dissipação do calor interno no período da noite. Vale ressaltar que estes benefícios foram gerados exclusivamente com uma única solução de ventilação natural, sem conjugá-la com outras

estratégias bioclimáticas.

Para maximizar os ganhos, poderia ainda se investir na exposição da massa térmica por meio da eliminação dos forros falsos nos escritórios, a fim de possibilitar as trocas de calor do ar com a estrutura. Esta solução potencializaria os efeitos da ventilação noturna no edifício, reduzindo as temperaturas operativas internas observadas no início do expediente. Além de ampliar as horas de conforto, esta intervenção pode retardar o acionamento dos sistemas mecânicos, quando utilizados, e contribuir para a redução do consumo energético da edificação.

É possível também propor uma redução das cargas térmicas internas, desligando-se as luzes e equipamentos durante o horário de almoço. Do mesmo modo, pode-se fechar as janelas em caso de desconforto por frio ou quando a circulação de ar provocar o levantamento de papéis.

Como destacado pelas pesquisas internacionais, sistemas de controle automatizados também podem manter as temperaturas internas mais agradáveis, ao indicar (ou acionar automaticamente) o fechamento das janelas quando as temperaturas externas do ar forem superiores às internas ou as condições sonoras e atmosféricas comprometerem o bem-estar dos usuários.

Ressalta-se que nenhuma das soluções descritas compromete a preservação das características originais de fachada e são reversíveis em caso de intervenções futuras. Todas, combinadas à solução de ventilação natural estudada podem incrementar sobremaneira as horas de conforto nos pavimentos e ampliar o potencial de ventilação do edifício Galeria.

Seja qual for a solução adotada, é imprescindível romper com a percepção de que a ventilação natural só é de fato considerada eficiente se garantir o conforto durante o ano todo e em todos os pavimentos. Especialmente em cidades em que há uma variação de temperatura entre as estações, como no caso do Rio de Janeiro, dificilmente esta estratégia será igualmente eficiente no inverno e no verão. Também, é importante atentar para as características dos ventos no local de análise, em termos de direção, intensidade e frequência, o que influencia sobremaneira na manutenção do conforto higrotérmico em todas as horas de funcionamento do edifício.

Deste modo, é indispensável reconhecer que a ventilação natural, mesmo sendo uma das estratégias viáveis para proporcionar condições de conforto higrotérmico na edificação em condições climáticas tropicais, tem suas limitações de uso. Assim, a ventilação cruzada em edifícios de escritórios pode ser conjugada ou não com sistemas mecânicos de ventilação, dependendo das condições externas. Reforça-se, assim, a importância de se investir na ventilação híbrida, conforme já atestado em pesquisas internacionais.

Verificou-se a influência significativa dos modelos de conforto adaptativo na interpretação dos

resultados. Por este motivo, adotou-se o caminho inverso ao de muitos estudos analíticos: ao invés de escolher o modelo para depois analisar os resultados, decidiu-se examinar os resultados face a cada um dos três modelos para depois concluir sobre a sua compatibilidade em relação ao contexto climático do Rio de Janeiro.

Atestou-se que o modelo de Toe e Kubota (2013), desenvolvido mais especificamente para climas quentes e úmidos, mostra-se menos compatível com o clima do Rio de Janeiro que modelos mais generalistas, como o de De Dear e Brager (2001). Constata-se a importância de adotar um olhar crítico nesta análise comparativa, avaliando se as respostas dos usuários quanto ao conforto e desconforto são compatíveis com as sensações térmicas vivenciadas pelos habitantes, especialmente quanto à capacidade destes se adequarem a dadas variações térmicas.

Uma escolha ponderada do modelo se mostra especialmente relevante numa etapa de análise de viabilidade de uma intervenção, pois pode levar a conclusões precipitadas quando de uma decisão entre reabilitar ou demolir a edificação.

VALIDAÇÃO DA HIPÓTESE

O estudo de caso realizado possibilitou validar a hipótese enunciada na introdução da tese:

O projeto de reabilitação pode favorecer o uso eficiente da ventilação natural em edifícios de escritório situados em meios urbanos densos, por meio de sua adequação às transformações urbanas e ambientais sofridas pelo entorno.

Por meio de um diagnóstico aprofundado sobre as condições ambientais e urbanas oferecidas pelo entorno, foi possível criar uma solução simples de ventilação natural que ofereça em até 77% das horas de ocupação do ano – a depender do pavimento e do modelo adotado na análise dos resultados – condições satisfatórias de conforto térmico para os ocupantes. As simulações indicam que os benefícios da ventilação são percebidos principalmente no outono e inverno, quando as temperaturas externas estão mais amenas, e são mais significativos para o 6º e 9º pavimento, em virtude da maior permeabilidade aos ventos nestes níveis. As simulações acústicas corroboram estas conclusões.

A reabilitação das janelas do edifício Galeria oferecem, deste modo, um aumento de até 35% das horas de conforto se comparados ao desempenho atual, graças à adequação da edificação às transformações urbanas e ambientais sofridas pelo entorno desde 1976.

Ressalta-se que para incrementar o desempenho da ventilação natural, não foi necessário renunciar o compromisso de harmonizar o passado, presente e futuro da edificação.

LIMITAÇÕES DA TESE

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, foram detectadas algumas limitações quanto às ferramentas e dados de entrada utilizados nas análises, as quais merecem ser ponderadas na avaliação dos resultados.

Primeiramente, destaca-se que, a despeito do esforço de incluir mais de um critério – ventilação natural e conforto acústico – na análise de desempenho da edificação, não foram considerados os impactos da poluição atmosférica do centro do Rio de Janeiro na análise do potencial de ventilação do edifício Galeria. Para um diagnóstico mais completo, reconhece-se ser imprescindível atentar para a dificuldade de dissipação dos poluentes devido ao tráfego, o que é recorrente em cânions urbanos, e as consequências disto no aproveitamento dos ventos para fins de conforto térmico. No entanto, levando-se em consideração que no sítio em questão o transporte urbano se fará com veículo leve sob trilhos e de tração elétrica, o efeito de poluição atmosférica devido ao tráfego será significativamente reduzido, o que mais uma vez vem corroborar para a viabilidade do uso da ventilação natural no edifício Galeria.

Ressalta-se também que, para as simulações computacionais fluidodinâmicas, foi adotado para o ar um regime de escoamento estacionário e isotérmico. Com isto, foi desprezado o caráter dinâmico dos ventos, as trocas térmicas entre as edificações e os efeitos da temperatura no escoamento do ar e não foram analisados os efeitos da pluma térmica decorrente das trocas de calor no meio urbano. Reconhece-se, portanto, que as análises apresentadas podem apresentar imprecisões decorrentes da simplificação do fenômeno.

Destaca-se também as incertezas decorrentes da simplificação das geometrias urbanas analisadas de modo reduzir a demanda computacional das simulações. Muito embora as recomendações de *guidelines* de simulações CFD tenham sido atendidas, restam ainda algumas incertezas sobretudo quanto à decisão em homogeneizar a altura de alguns edifícios, tendo em vista os impactos que a variabilidade do gabarito pode desencadear na circulação dos ventos.

Finalmente, é importante salientar que a análise térmica realizada para o edifício Galeria se restringe às condições oferecidas pelos ventos provenientes das direções dominantes Norte e Sudeste, que representam cerca de 7% e 12% das horas de ocupação, respectivamente, segundo dados meteorológicos dos últimos 10 anos. Isto significa que os percentuais de horas de conforto poderão ser ainda maiores que os obtidos, já que estes ventos em direções próximas estão incluídos nos mesmos quadrantes daquelas direções analisadas. Recomenda-se que, para uma maior independência do uso de meios artificiais, seja testado um maior número de cenários com relação aos ventos locais em termos de direção, frequência e intensidade.

RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Tendo em vista a complexidade da problemática tratada na tese, na qual se sobressaem assuntos de natureza multidisciplinar, torna-se impossível abarcar todas as situações com a necessária abrangência e detalhes requeridos. Assim, restam numerosas lacunas a serem ainda preenchidas nos estudos de ventilação natural relacionados com a reabilitação de edifícios em meios urbanos densos. Como contribuição para pesquisas futuras são apresentadas a seguir, algumas temáticas.

- Discussão sobre como reconhecer a significância do objeto arquitetônico e qual o grau de intervenção aceitável para conciliar preservação do patrimônio e alto desempenho ambiental.
- Análises de desempenho de soluções bioclimáticas conjugadas voltadas para o incremento do conforto higrotérmico de edifícios reabilitados em centros urbanos consolidados. Podem ser associadas soluções de ventilação natural com outras estratégias para redução das cargas térmicas do edifício, tal como a exposição da massa térmica, a redução dos ganhos internos pelos equipamentos e sistemas de iluminação, a instalação de sensores, dentre outros. Sugere-se incluir nesta investigação uma análise da redução do consumo energético, como mais um incentivo ao resgate do bioclimatismo nos projetos de reabilitação.
- Estudos centrados no uso da ventilação híbrida em ambientes de escritórios sob condições climáticas tropicais, analisando sua influência no conforto higrotérmico dos usuários e na eficiência da energia da edificação.
- Análise da adequabilidade das soluções arquitetônicas citadas no capítulo 3 aos meios urbanos densos.
- Estudos experimentais no edifício Galeria, que conjuguem análise de desempenho da ventilação natural, das condições sonoras e da poluição atmosférica, de modo a analisar com maior precisão o potencial de uso da ventilação natural em edifícios situados em contexto urbanos semelhantes.
- Pesquisas que deem continuidade aos estudos de acústica já iniciados na área, verificando os benefícios oferecidos pela reestruturação do tráfego local ao desempenho ambiental de seu parque edificado.
- Estudos analíticos para comprovação das limitações das ferramentas de simulação computacional utilizadas nesta tese.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INTRODUÇÃO

ABNT. NBR 15575 -1:2010. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

CMSMAD – Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso Futuro Comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1991.

COTTA, J. P. O. **The impact of window design in the environmental performance of work environments in São Paulo**. Dissertation (M.Sc.). SED, Environmental and Energy Programme, AA School, 2012.

DOUGLAS, J. **Building Adaptation**. Edinburgh: Butterworth-Heinemann, 2006.

ELETROBRAS. **Pesquisa de Mercado 2007**. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Ministério de Minas e Energia, 2007.

FIGUEIREDO, C. M. DE. **Ventilação Natural em Edifícios de Escritórios na Cidade de São Paulo : Limites e Possibilidades do Ponto de Vista do Conforto Térmico**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2007.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOL, J. F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors: new insights and an extended database. **Building and Environment**, v. 63, pp. 40-55, 2013.

JOCE – Jornal Oficial das Comunidades Europeias. **Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios**. 2003. Disponível em: [http:// http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0091&from=PT](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0091&from=PT). Acesso em: 10/05/2016.

LEITE, R. C. V. **Cidade, vento, energia: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido**. Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2015.

MARCONDES, M. P. **Soluções projetuais de fachadas para edifícios de escritórios com ventilação natural em São Paulo**. Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010.

MAZZARELLA, L. Energy retrofit of historic and existing buildings. The legislative and regulatory point of view. **Energy and Buildings**, In Press, Corrected Proof, 2014.

MENDELL, M. J. et al. **Elevated Symptom Prevalence Associated with Ventilation Type in Office Building**. *Epidemiology*, 1996.

RODERS, A. P. **Re-architecture. Lifespan rehabilitation of built heritage**. Tese (doutorado). Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Holanda., 2007.

VIEIRA, J. L. **Concrete in Architecture: Thermal inertia as a passive cooling strategy in working environments in Rio de Janeiro**. Dissertation (M.Sc.). SED, Environmental and Energy Programme, AA School, 2011.

WILKINSON, S.; REMØY, H.; LANGSTON, C. **Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision-Making**. Oxford: John Wiley, 2014.

ZIMMERMAN, M. **ECBCS Annex 50 – Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings. Project summary report**. Hertfordshire: AECOM, 2012.

CAPÍTULO 01

BAKER, N. V. **The handbook of sustainable refurbishment – non domestic buildings**. London: Earthscan, 2009.

BRAND, S. **How buildings learn: what happens after they're built**. New York: Penguin Books, 1995.

BRANDI, C. **Teoria da restauração**. 3a edição. São Paulo: Ateliê Editorial, 2008.

BULLEN, P.; LOVE, P. A new future for the past: a model for adaptive reuse decision-making. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 1, n. 1, p. 32–44, 2011.

BURTON, S. **Energy efficient office refurbishment: designing for comfort**. New York: Earthscan, 2013.

CARVALHO, L. T. A. DE; SALGADO, M. S.; BASTOS, L. E. G. Projeto de reabilitação das edificações: estudo de caso do Solar da Imperatriz. In: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído – SBQP. **Anais...** São Carlos: EESC-UPS, 2009.

DASCALAKI, E.; SANTAMOURIS, M. On the potential of retrofitting scenarios for offices. **Building and Environment**, v. 37, p. 557–567, 2002.

DOUGLAS, J. **Building Adaptation**. Edinburgh: Butterworth-Heinemann, 2006.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). **Anais...** Florianópolis, 1998.

HAKKINEN, T. (ed.). **Sustainable refurbishment of exterior walls and building facades - Final report. Part A - Methods and recommendations**. Finland: VTT Technical Research Centre of Finland, 2012.

HOW buildings learn. Produção de James Runcie. BBC TV, 1997. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=AvEqfg2sIH0>>. Acesso em: 10 janeiro 2013.

HUI, S. C. M. Low energy building design in high density urban cities. **Renewable Energy**, v. 24, pp. 627-640, 2001.

ICOMOS. **Declaration of Icomos marking the 50th anniversary of the universal declaration of human rights**. ICOMOS, Estocolmo, 1998.

JOFFROY, P. **La réhabilitation des bâtiments. Conserver, améliorer, restructurer les logements et les équipements.** Paris: Le Moniteur, 1999.

KELLY, D. J. **Design life of buildings: a scoping study.** Livingston: Crown, 2007.

MA, Z.; COOPER, P. ; DALY, D. ; LEDO, L. Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 889–902, dez. 2012.

MANSFIELD, J. R. What's in a name? Complexities in the definition of refurbishment. **Property Management**, v. 20, n. 1, p. 23–30, 2002.

MARQUES DE JESUS, C. R.; BARROS, M. M. S. B. DE. Recomendações para elaboração de orçamento de obras de reabilitação de edifícios habitacionais. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 2, p. 57–72, 2011.

O GLOBO. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa.** Rio de Janeiro: O Globo, 1997.

ROCHA, R. **Minidicionário Ruth Rocha.** Rio de Janeiro: ed. Scipione, 2000.

RODERS, A. P. **Re-architecture. Lifespan rehabilitation of built heritage.** Tese (doutorado). Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Holanda., 2007.

SANTAMOURIS, M.; DASCALAKI, E. Passive retrofitting of office buildings to improve their energy performance and indoor environment: The OFFICE project. **Building and Environment**, v. 37, p. 575–578, 2002.

VALE, M. S. **Diretrizes para racionalização e atualização das edificações segundo o conceito da qualidade e sobre a ótica do Retrofit.** Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

WILKINSON, S.; REMØY, H.; LANGSTON, C. **Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision-Making.** Oxford: John Wiley, 2014.

YUDELSON, J. **Greening existing buildings.** Estados Unidos: McGraw-Hill, 2010.

CAPÍTULO 02

AECWEB. **Paulista tem primeiro retrofit sustentável.** 2014. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/n/paulista-tem-primeiro-retrofit-sustentavel_5827>. Acesso em: 22 julho 2014.

ALLARD, F. (ed.). **Natural Ventilation in Buildings: a design handbook.** London: James & James, 1998.

ARCOWEB. **Edifício na avenida Paulista passa por retrofit e ganha selo LEED.** 2014a. Disponível em: <<http://arcoweb.com.br/noticias/arquitetura/edificio-avenida-paulista-retrofit-leed-athie-wohnrath>>. Acesso em: 22 julho 2014.

_____. **Triptyque assina edifício que produzirá própria energia no RJ.** 2014b. Disponível em: <<http://arcoweb.com.br/noticias/arquitetura/triptyque-assina-1-edificio-cooperativo-a-produzir-energia-no-brasil>>. Acesso em: 19 março 2014.

_____. **Modificações na face externa revelam alteração de programa.** 2006. Disponível em: <<http://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/konigsberger-vannucchi-arquitetos-associados-edificio-cultural-22-03-2006>>. Acesso em: 04 março 2015.

ARQUITETURA.COM.BR. **Tendência no Rio, o retrofit.** 2014. Disponível em: <<http://www.arquitetura.com.br/noticias/noticia.php?idNot=116>>. Acesso em: 3 junho 2014.

AW. **Panorama Paulista Corporate, Athié Wohnrath Arquitetura e Engenharia.** São Paulo, 2014.

BAKER, N. V. **The handbook of sustainable refurbishment – non domestic buildings.** London: Earthscan, 2009.

BEUVINGMARTENSEN. **Imagens da reabilitação do edifício Albatros, Holanda.** 2005 Disponível em: http://www.beuvingmartensen.nl/werk1/in_dienst_van/2005_herbestemming_de_albartos_den_helder/. Acesso em: 25 fevereiro 2015.

BITTENCOURT, L.; CANDIDO, C. **Introdução à ventilação natural.** 3a. ed. Maceió: EdUFAL, 2008.

BNCORP. **Paulista 2028.** 2014. Disponível em: <<http://www.paulista2028.com.br/site/#retrofit>>. Acesso em: 22 julho 2014.

_____. **Rio Branco 115 - video contendo informações técnicas do empreendimento.** 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=BeXynuiDxMQ>>. Acesso em: 14 julho 2014.

BORGES, W.; WREDE, C. **Biblioteca Estadual do Centro é reaberta após quatro anos de obra.** 2014. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/biblioteca-estadual-do-centro-reaberta-apos-quatro-anos-de-obra-12027600>>. Acesso em: 20 abril 2014.

BP. **BP Statistical Review of World Energy 2013.** London: BP Distribution Services, 2013.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura.** Porto Alegre: Bookmark, 2004.

BUILDINGS. **Rio Branco 115. Um sucesso de planejamento, engenharia e retrofit.** *Buildings*, v. 7, n. 4, p. 10–12, 2009.

_____. **Paulista Star: Retrofit Triple A agrega modernidade à região de Jardins.** **23**, p. 40, 2013.

BURTON, S.; KESIDOU, S. **Refurbishment of old buildings for sustainable use.** In: International Conference “Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment”. **Proceedings...**Santorini, Grécia, 2005.

CAMPELLO, G. **Biblioteca Estadual - 1984.** Disponível em: <<http://www.glaucocampello.com.br/>>. Acesso em: 28 maio 2014.

CHAVES, L. M. **Fotos de edifícios reabilitados na av. Paulista e adjacências disponibilizadas pela fotógrafa.** São Paulo, 2015.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.

COTTA, J. P. O. **The impact of window design in the environmental performance of work environments in São Paulo**. Dissertation (M.Sc.). SED, Environmental and Energy Programme, AA School, 2012.

CUNHA, E. G. da (org). **Elementos de arquitetura de climatização natural**. Porto Alegre: Masquatro editora, 2006.

DIOGO, E. C. C. **Habitação social no contexto da reabilitação urbana da área central de São Paulo**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2004.

ERACOBUILD. **School Vent Cool: Ventilation, cooling and strategies for high performance school renovations**. 2015. Disponível em: <<http://www.school.ventcool.eu>>. Acesso em: 14 janeiro 2015.

ESTADÃO. **“Retrofit” muda cara de prédios na Paulista**. 2014. Disponível em: <<http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,retrofit-muda-cara-de-predios-da-paulista-imp-,834641>>. Acesso em: 22 abril. 2014.

EUROCONSTRUCT. **69th Euroconstruct Conference - Summary report**. Dublin: DKM, 2010.

FIGUEIREDO, C. M. de. **Ventilação Natural em Edifícios de Escritórios na Cidade de São Paulo: Limites e Possibilidades do Ponto de Vista do Conforto Térmico**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2007.

GAUDIN, T. C. F. de Q.; BASTOS, L. E. G. Alta qualidade ambiental em projetos de edificações escolares. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...Ouro Preto**, 2007.

GAUDIN, T. DE Q.; GAUDIN, G. Sustainable refurbishment of large tertiary buildings from the post-war - Prioritizing of thermal comfort in summer. In: Climamed - Congrès Méditerranéen des Climaticiens. **Proceedings...Lyon**, 2006.

GEIER, S.; KOPEINIG, G. School renovation to passive house standard – a methodical approach and success story. In: Passivehouse Symposium. **Proceedings...** Bruxelas, 2012.

GLOBO. **Prédios do Rio passam por retrofit**. 2014. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/predios-do-rio-passam-por-retrofit-4744863>>. Acesso em: 31 julho 2014.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GOOGLE. **Ed. Bela Paulista (Av. Paulista, 2421, São Paulo) – Arquivos de 2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 10 de janeiro 2015.

_____. **Ed. Paulista 2028 (Av. Paulista, 2028, São Paulo) – Arquivos de 2011**. 2011a. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 10 de janeiro 2015.

_____. **Ed. Sesc Paulista (Av. Paulista, 119, São Paulo) – Arquivos de 2011.** 2011b. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 10 de janeiro 2015.

_____. **Ed. Paulista Star (R. Alameda Campinas, 1070, São Paulo) – Arquivos de 2011.** 2011c. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 10 de janeiro 2015.

_____. **Ed. Portugal (Av. Franklin Roosevelt, 39, Rio de Janeiro) – Arquivo de 2014.** 2014. Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 20 abril 2014.

HAKKINEN, T. (ed.). **Sustainable refurbishment of exterior walls and building facades - Final report. Part A - Methods and recommendations.** Finland: VTT Technical Research Centre of Finland, 2012.

HEISELBERG, P. **Apresentação do Annex 62.** In: Seminário Ventilative Cooling, International Energy Agency (IEA) - Annex 62. Londres, 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=8b8GhsxS8t4>>. Acesso em: 23 janeiro 2015.

HYBVENT. **IEA EBC Annex 35 – HybVent.** 2015 Disponível em: <http://www.hybvent.civil.aau.dk/index.htm>. Acesso em: 27 fevereiro 2015.

HOCHTIEF. **Reabilitação do Ed. Castelo.** 2014. Disponível em: <www.hochtief.com.br/pt-br/servicos_edificacoes_retofit_castelo.html>. Acesso em: 3 junho 2014.

IEA. **IEA Energy in Buildings and Community Programme (EBC).** 2015. Disponível em: <http://www.iea-ebc.org/>. Acesso em: 25 fevereiro 2015.

INFRA. Mudanças que valem a pena. **Revista INFRA n. 142.** São Paulo: Talen, 2012.

_____. Sopro de modernidade. **Revista INFRA n. 153.** São Paulo: Talen, 2013.

IPP. **Tabela nº 1200 - imóveis prediais e área construída, por faixa de idade.** Rio de Janeiro, 2000.

ITARD, L.; MEIJER, F. ; VRINS, E. ; HOITING, H. **Building Renovation and Modernisation in Europe : State of the art review. Final Report.** Delft: TUDelft, 2008.

KHAN, N.; SU, Y.; RIFFAT, S. B. A review on wind driven ventilation techniques. **Energy and Buildings**, v. 40, pp. 1586-1604, 2008.

KOBLER, R. L.; DOTT, R.; HEIM, T. School renovation with modular prefabricated façade elements including ventilation. In: Passivehouse Symposium. **Proceedings...** Bruxelas, 2012.

LACERDA, M. A. **Ventilação natural e qualidade do ar em escritório carioca: análise e propostas para o edifício Barao de Ladário.** Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW Editores, 1997.

LATOURE. **Torre Vargas 914.** 2014. Disponível em: <www.torrevargas914.com.br>. Acesso em: 3 junho 2014.

LEITE, C. G. **Alterações da ventilação urbana frente ao processo de verticalização de avenidas litorâneas: o caso da avenida litorânea de São Luís/MA.** Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

LEITE, R. C. V. **Fortaleza: Terra do Vento. A influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidades de clima tropical úmido.** Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010.

_____. **Cidade, vento, energia: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido.** Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2015.

MAGALHÃES, S. **Bibliotecas públicas fechadas no Brasil.** 2014. Disponível em: <<http://biblioo.info/bibliotecas-publicas-fechadas-do-brasil/>>. Acesso em: 28 maio 2014.

MARCHETTI, D. dos S. **Recomendações para a redução do consumo de energia elétrica no prédio do BNDES.** Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

MARCONDES, M. P. **Double-skin façades in high-rise office buildings in São Paulo. A possible environmental efficient solution?** Dissertation (M.Sc.). SED, Environmental and Energy Programme, AA School, 2004.

_____. **Soluções projetuais de fachadas para edifícios de escritórios com ventilação natural em São Paulo.** Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010.

MARQUES, R. S. **Ventilação e prescrições urbanísticas: uma aplicação simulada para a orla da Praia do Meio em Nata/RN.** Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003.

MARTINS, T. A. L.; BASTOS, L. E. G.; BARROSO-KRAUSE, C.; BITTENCOURT, L.; PASSOS, I. O uso de torres de vento em edificações residenciais geminadas de meia morada. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Natal, 2009.

MASCARÓ, L. R. DE. **Energia na edificação. Estratégias para minimizar seu consumo.** São Paulo: Projeto, 1991.

MAVROGIANNI, A. **Monitoring summer indoor overheating risk and ventilative cooling behavior in London homes.** In: Seminário Ventilative Cooling, International Energy Agency (IEA) - Annex 62. Londres, 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DRVlzt7VQaA>. Acesso em: 22/01/2015.

MCGRAW-HILL CONSTRUCTION. **Green Building Retrofit & Renovation.** Bedford: McGraw-Hill Construction, 2011.

OLGYAY, V. **Design with climate.** New Jersey: Princeton University, 1963.

PONTUAL. **Pontual Arquitetura: retrofits.** 2014. Disponível em: <<http://www.pontual.arq.br/projetos.html#retrofit>>. Acesso em: 20 abril 2014.

PRATA, A. R. **Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano**. Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2005.

REVIVAL. **Retrofitting for environmental viability improvement of valued architectural landmarks**. 2009. Disponível em: <<http://www.revival-eu.net>>. Acesso em: 10 janeiro 2014.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 6400, de 5 de março de 2013**. Rio de Janeiro, 2013.

SECRETARIA DE CULTURA. **Biblioteca colorida, mas principalmente verde**. 2014. Disponível em: <<http://www.cultura.rj.gov.br/materias/biblioteca-colorida-mas-principalmente-verde>>. Acesso em: 20 abril 2014.

SPEYER, T. **Galeria Sul América**. 2014. Disponível em: <www.galeriasulamerica.com.br>. Acesso em: 20 abril 2014.

TUDELFT. Hybrid Ventilation: an integral solution for ventilation, health and Energy. In: Second International One-day Forum on Hybrid Ventilation. **Proceedings...Delft**, 2001.

VEJA. No centro dos negócios. **Revista Veja Rio – julho 2008**. São Paulo: Abril, 2008.

VIDRO IMPRESSO. Refrofit renova fachada do Bela Paulista. **Revista Vidro Impresso**, p. 15, 2010.

VIEIRA, J. L. **Concrete in Architecture: Thermal inertia as a passive cooling strategy in working environments in Rio de Janeiro**. Dissertation (M.Sc.). SED, Environmental and Energy Programme, AA School, 2011.

WAIDE, P.; AMANN, J. T.; HINGE, A. **Energy efficiency in the north american existing building stock**. Paris: OECD/IEA, 2009.

WIAZOWSKI, I. **Renovação e requalificação de edifícios de escritórios na região central da cidade de São Paulo: o caso do edifício São Bartholomeu**. Trabalho de conclusão de curso (Especialização). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2007.

WILKINSON, S.; REMØY, H.; LANGSTON, C. **Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision-Making**. Oxford: John Wiley, 2014.

CAPÍTULO 03

AHMAD, K.; KHARE, M.; CHAUDHRY, K. K. Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections – a review. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 93, pp. 697-717, 2005.

ALLARD, F.; GHIAUS, C. **Natural Ventilation in the urban environment – assessment and design**. Londres: Earthscan, 2005.

BAKER, N. V. **The handbook of sustainable refurbishment – non domestic buildings**. London: Earthscan, 2009.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. Pedestrian wind environment around buildings: literature review and practical examples. **Journal of Thermal Envelope and Building Science**, v. 28, n. 2, pp. 107-159.

BROWN, A. L.; LAM, K. C. Levels of ambient noise in Hong Kong. **Applied Acoustics**, v. 20, pp. 85-100, 1987.

CHAN, A. T.; SO, E. S. P.; SAMAD, S. C. Strategic guidelines for street canyon geometry to achieve sustainable street air quality. **Atmospheric Environment**, v. 35, pp. 4089-4098, 2001.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.

DEPAUL, F. T.; SHEIH, C. M. Measurements of wind velocities in a street canyon. **Atmospheric Environment**, v. 20, pp. 445-459, 1986.

ELIZALDE, T.; MUMOVIC, D. 107 simulated performance of windcatchers in an urban environment. In: 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA). **Proceedings...** Dublin, 2008.

EMMANUEL, R.; ROSENLUND, H.; JOHANSSON, E. Urban shading – a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal of climatology**, v. 27, pp. 1995-2004, 2007.

FONTENELLE, M. R.; LORENTE, S.; BASTOS, L. E. G. Impact of urbanization on air flow pattern: the case of Rio de Janeiro. **International Journal of Green Energy**, Vol. 12, pp. 908-916, 2015.

GALLAGHER, J.; GILL, L. W.; MCNABOLA, A. Numerical modelling of the passive control of air pollution in asymmetrical urban street canyons using refined mesh discretization schemes. **Building an Environment**. V. 56, pp. 232-240, 2012.

GEORGAKIS, C.; SANTAMOURIS, M. Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyon for natural ventilation purposes. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 367–376, 2006.

_____. On the estimation of wind speed in urban canyons for ventilation purposes — Part 1: Coupling between the undisturbed wind speed and the canyon wind. **Building and Environment**, v. 43, n. 8, p. 1404 –1410, ago. 2008.

GHIAUS, C. ; ALLARD, F. ; SANTAMOURIS, M.; GEORGAKIS, C.; NICOL, F. Urban environment influence on natural ventilation potential. **Building and Environment**. V. 41, pp. 395-406, 2006.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GONÇALVES, J. C. S. ; MULFARTH, R. C. K.; MONTEIRO, L. M.; MOURA, N. C.; PRATA, A. R.; MIANA, A. C. The environmental performance of high-density urban living: with reference to the city centre of São Paulo. 27th Conference of Passive and Low Energy Architecture (PLEA). **Proceedings...** Louvain-la-Neuve, Belgium, 2011.

HANG, J.; LI, Y.; SANDBERG, M.; BUCCOLIERI, R.; DI SABATINO, S. The influence of building height variability on pollutant dispersion and pedestrian ventilation in idealized high-rise urban areas. **Building and Environment**, v. 56, pp. 346-360, 2012.

HU, T.; YOSHIE, R. Indices to evaluate ventilation efficiency in newly-built urban area at pedestrian level. **Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics**, v. 112, pp. 29-51, 2013.

HUGHES, B. R.; CALAUTIT, J. K.; GHANI, S. A. The development of commercial Wind towers for natural ventilation: a review. **Applied Energy**, v. 9, pp. 606-627, 2012.

HUGHES, B. R.; CHEUK-MING, M. A study of wind and buoyancy driven flows through commercial wind towers. **Building and Environment**, v. 43, pp. 1784-1791, 2011.

IG. **São Paulo passa a ter a maior frota de helicópteros do mundo e adota restrições**. 2015. Disponível em: <http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/sp/2013-08-19/sao-paulo-passa-a-ter-a-maior-frota-de-helicopteros-do-mundo-e-adota-restricoes.html>. Acesso em: 28/ abril 2015.

INGARD, U. **Acoustics**. Hingham: Infinity Science Press LLC, 2008.

KENDRICK, C.; MARTIN, A.; BOOTH, W. **Technical Note TN 8/98 – Refurbishment of air-conditioned buildings for natural ventilation**. Berkshire: BSRIA, 1998.

KHAN, N.; SU, Y.; RIFFAT, S. B. A review on wind driven ventilation techniques. **Energy and Buildings**, v. 40, pp. 1586-1604, 2008.

KUBOTA, T.; MIURA, M.; TOMINAGA, Y.; MOCHIDA, A. Wind tunnel tests on the relationship between building density and pedestrian-level Wind velocity: development of guidelines for realizing acceptable Wind environment in residential neighborhoods. **Building and Environment**, v. 43, pp. 1699-1708, 2008.

LACERDA, M. A. **Ventilação natural e qualidade do ar em escritório carioca: análise e propostas para o edifício Barao de Ladário**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

LEE, C. H.; KANAPATHIPILLAI, S. Noise level variation in the CBD with height. In: **Acoustics. Proceedings...** Gold Coast, Australia, 2011.

LEE, B. E.; HUSSAIN, M.; SOLLIMAN, B. **A method for the assessment of wind induced natural ventilation forces acting on low rise arrays**. Report no. Bs50. Sheffield, Department of Building Science, University of Sheffield, 1980.

LEE, R-X; WONG, N-H. A parametric study of gross building coverage ratio (GBCR) variation on outdoor ventilation in Singapore's high-rise residential estates. **Journal of Civil Engineering and Science**, v. 3, n. 2, pp. 92-116, 2014.

LEITE, C. G. L. **Alterações da ventilação urbana frente ao processo de verticalização de avenidas litorâneas: o caso da Avenida Litorânea de São Luís/MA**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

LEITE, R. C. V. **Fortaleza: terra do vento. A influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidade de clima tropical úmido**.

Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

_____. **Cidade, vento, energia: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido.** Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2015.

LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. A influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural urbana: estudo de caso na cidade de Fortaleza, Ceará. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). **Anais...** Juiz de Fora, 2012.

MARCONDES, M. P. **Soluções projetuais de fachadas para edifícios de escritórios com ventilação natural em São Paulo.** Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010.

MARINS, K. R. de C. C. **Proposta metodológica para planejamento energético no desenvolvimento de áreas urbanas.** Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010.

MARQUES, R. S. **Ventilação e prescrições urbanísticas: uma aplicação simulada para a orla da Praia do Meio em Nata/RN.** Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003.

MARTINS, T. A. L.; ADOLPHE, L.; BASTOS, L. E. G. From solar constraints to urban design opportunities: optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city. **Energy and Buildings**, v. 76, pp. 43-56, 2014.

MASCARÓ, L. R. DE. **Energia na edificação. Estratégias para minimizar seu consumo.** São Paulo: Projeto, 1991.

MCCORMICK, R. A. Air pollution in the locality of buildings. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Series A, v. 269, pp. 515-526, 1971.

MELLO, M. R. de A. **Refurbishing the urban fabric of centre Sao Paulo.** Dissertação (mestrado). Architectural Association School of Architecture, Londres, 2012.

MOGHADDAM, E. H.; AMINDELDAR, S.; BESHARATIZADEH, A. New approach to natural ventilation in public buildings inspired by iranian's traditional windcatcher. **Procedia Engineering**, v. 21, pp. 42-52, 2011.

MONTAZERI, H.; MONTAZERI, F.; AZIZIAN, R.; MOSTAFAVI, S. Two-sided Wind catcher performance evaluation using experimental, numerical and analytical modeling. **Renewable Energy**, v. 35, pp. 1424-1435, 2010.

NAKAMURA, Y.; OKE, T. R. Wind, temperature and stability conditions in a east-west oriented urban canyon. **Atmospheric Environment**, v. 22, pp. 2691-2700, 1988.

NG, E. (ed.). **Designing high-density cities for social and environmental sustainability.** London: Earthscan, 2010.

NG, E.; WONG, N. H. Better daylight and natural ventilation by design. In: Passive and Low Energy Architecture Conference (PLEA). **Proceedings...** Eindhoven, 2004.

NG, E; WONG, H-H. Building heights and better ventilated design for high density cities. In: 22nd Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA). **Proceedings...** Beirut, 2005.

NICOL, F.; WILSON, M. The effect of street dimensions and traffic density on the noise level and natural ventilation potential in urban canyons. **Energy and Buildings**, v. 36, pp. 423-434, 2004.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2a ed. ed. London: Methuen, 1987.

PRAJONGSAN, P.; SHARPLES, S. Enhancing natural ventilation, thermal comfort and energy savings in high-rise residential buildings in Bangkok through the use of ventilation shafts. **Building and Environment**, v. 50, pp. 104-113, 2012.

PRATA, A. R. **Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano**. Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2005.

RICHOUX, O. ; AYRAULT, C. ; PELAT, A. ; FÉLIX, S. ; LIHOREAU, B. Effect of the open roof on low frequency acoustic propagation in street canyons. **Applied Acoustics**, v. 71, pp. 731-738, 2010.

SANTAMOURIS, M. ; GEORGAKIS, C. ; NIACHOU, A. On the estimation of wind speed in urban canyons for ventilation purposes – Part 2 : Using of data driven techniques to calculate the more probable wind speed in urban canyons for low ambient wind speeds. **Building and Environment**, v. 43, pp. 1411-1418, 2008.

SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; LIVADA, I.; KORONAKIS, I.; GEORGAKIS, C.; ARGIRIOU, A.; ASSIMAKOPOULOS, D. N. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. **Solar Energy**, v. 70, n. 3, pp. 201-216, 2001.

SCHULTZ, T. J. Variation of the outdoor noise level and the sound attenuation of windows with elevation above ground. **Applied Acoustics**, v. 12, pp. 231-239, 1979.

TOMINAGA, Y.; MOCHIDA, A.; SHIRASAWA, T.; YOSHIE, R.; KATAOKA, H.; HARIMOTO, K.; NOZU, T. Cross comparisons of CFD results of wind environment at pedestrian level around a high-rise building and within a building complex. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v. 3, n. 1, pp. 1-8, 2004.

UNFPA – Fundo de População das Nações Unidas. **Situação da população mundial 2007. Desencadeando o potencial do crescimento urbano**. Nova Iorque: UNFPA, 2007.

VARDOULAKIS, S.; FISHER, B. E. A. PERICLEOUS, K.; GONZALES-FLESCA, N. Modelling air quality in street canyons: a review. **Atmospheric Environment**, v. 37, p. 155–182, 2003.

WANG, B.; DOGAN, T.; PAL, D.; REINHART, C. Simulating naturally ventilated buildings with detailed CFD-based wind pressure database. In: 5th National Conference of IBPSA-USA. **Proceedings...** Madison, 2012.

WEBURBANIST. “**Death ray**” skyscraper stands accused of blowing people over. 2015. Disponível em: <http://weburbanist.com/2015/07/28/death-ray-skyscraper-stands-accused-of-blowing-people-over/>. Acesso em: 10 agosto 2015.

WISE, A. F. E. Effects due to groups of buildings. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 269, pp. 469-485, 1971.

YANG, A-S.; WEN, C-Y.; JUAN, Y-H.; SU, Y-M.; WU, J-H. Using the central ventilation shaft design within public buildings for natural aeration enhancement. **Applied Thermal Engineering**, v. 70, pp. 219-230, 2014.

YARKE, E. **Ventilación natural de edificios**. Buenos Aires: Nokubo, 2005.

ZHANG, B.; XIE, G-D, GAO, J-X, YANG, Y. The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: a case study in Beijing, China. **Building and Environment**, v. 76, pp. 37-43, 2014.

CAPÍTULO 04

ABNT. **NBR 9077 – Saídas de emergência em edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR 10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 16401-1 – Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008;

ASHRAE. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 2001.

_____. **ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2004.

_____. **ASHRAE Standard 62.1: Ventilation for acceptable indoor air quality**. Atlanta: ASHRAE, 2007

AYNSLEY, R. M. A resistance approach to estimating airflow through buildings with large openings due to wind. **ASHRAE Transactions 94: 1661 – 1669**. Atlanta: ASHRAE, 1988.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. Pedestrian wind environment around buildings: literature review and practical examples. **Journal of Thermal Envelope and Building Science**, v. 28, n. 2, pp. 107-159, 2004.

CARRILHO-DA-GRAÇA, G.; CHEN, Q.; GLICKSMAN, L. R; NORFORD, L. K. Simulation of Wind driven ventilative cooling systems for an apartment building in Beijing and Shanghai. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 1, pp. 1-11, 2002.

CELPE. **Norma Fornecimento de Energia Elétrica a Edificações de Uso Coletivo. Tabela 6 – Potência dos aparelhos eletrodomésticos**. 2007.

COST. **Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment**. Brussels: COST Office, 2007.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. Developing and adaptive model of thermal comfort and preference. **ASHRAE Transactions**, v. 104, n. 1, pp. 145-167, 1998.

_____. The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 45, pp. 100-108, 2001.

ECOTECH. **Projeto executivo em dwg – Reabilitação do Edifício Galeria**. Rio de Janeiro: Ecotech, 2011.

ESSS. **Introdução à simulação Fluidodinâmica - Teoria de CFD e aplicações com ANSYS CFX**. Rio de Janeiro: ESSS, 2013.

FONTENELLE, M. R.; LORENTE, S.; BASTOS, L. E. G. Impact of urbanization on air flow pattern: the case of Rio de Janeiro. **International Journal of Green Energy**, Vol. 12, pp. 908-916, 2015.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GOOGLE. **Google Maps**. 2014. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 20 abril 2014.

_____. **Google Earth**. Google, 2015.

GOULDING, J. R.; LEWIS, J. O.; STEEMERS, T. C. (ed.). **Energy in architecture: the European passive solar handbook**. London: Commission of European Communities, 1992.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

HUMPHREYS, M. A. Outdoor temperatures and comfort indoors. **Building Research & Information**, v. 6, n. 2, p. 92, 1978.

HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOL, J. F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors: new insights and an extended database. **Building and Environment**, v. 63, pp. 40-55, 2013.

IPP – Instituto Pereira Passos. **Mapa Centro 2 - Rio de Janeiro. Arquivo digital em formato dwg**. Rio de Janeiro, 2013.

LABEEE. **Programa Analysis Bio**. Florianópolis, 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LEITE, R. C. V. **Trabalho Programado 3 - Simulação computacional da ventilação natural**

urbana. Material não publicado disponibilizado pelo autor. São Paulo, 2013.

_____. **Cidade, vento, energia: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido.** Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2015.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. de. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, pp. 31-51, 2010.

PINHEIRO, A. I. de F. **Galeria.** Rio de Janeiro: Tix, 2011.

PMRJ – Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. **Classificação da qualidade do ar - Estação Centro (Largo da Carioca), Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. **Mapa de Índice de Aproveitamento do Terreno de 1976.** Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smu>>. Rio de Janeiro, 2012a.

_____. **Mapa de Índice de Aproveitamento do Terreno de 2011.** Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smu>>. Rio de Janeiro, 2012b.

SCHIJNDEL, A. W. M. 3D modeling of urban areas for built environment. CFD applications using COMSOL. COMSOL Conference. **Proceedings...**Milan, 2012.

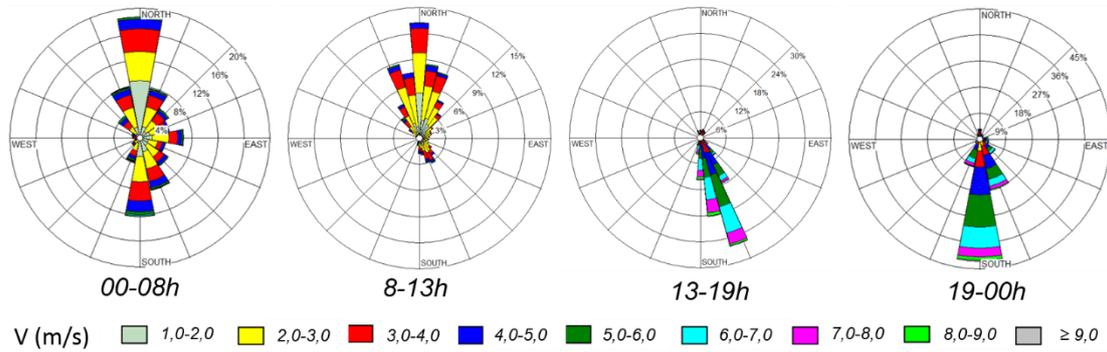
STRAATEN, V. **Thermal performance of buildings.** Amsterdam: Elsevier, 1967.

TOE, D. H. C.; KUBOTA, T. Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database. **Frontiers of Architectural Research**, v. 2, pp. 278-291, 2013.

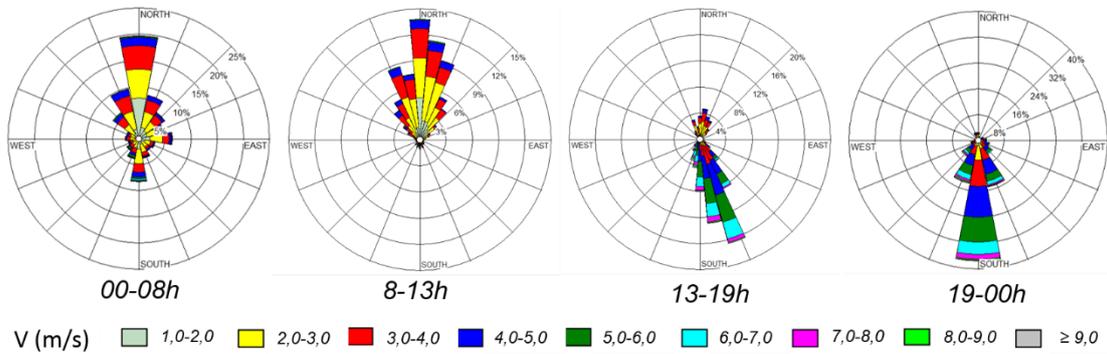
WISE, A. F. E. Effects due to groups of buildings. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 269, pp. 469-485, 1971.

ANEXO A - Rosas dos ventos sazonais, Rio de Janeiro

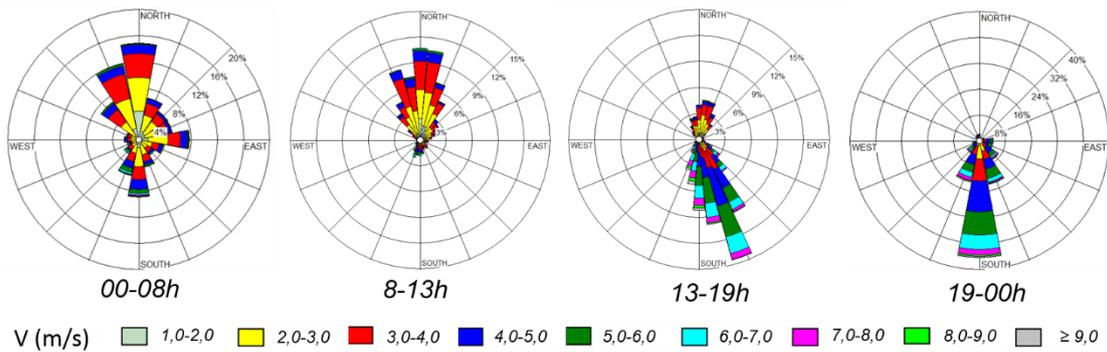
VERÃO



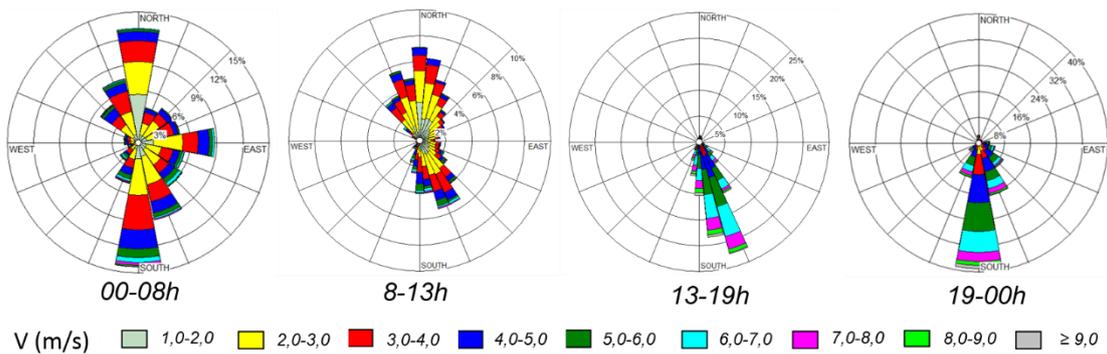
OUTONO



INVERNO



PRIMAVERA



Observação:

Para compor as rosas dos ventos correspondente aos períodos de 8-13h e 13-19h, foram considerados os dados disponibilizados no site do INPE (<http://bancodedados.cptec.inpe.br/downloadBDM/consulta.jsp>) para os últimos 10 anos (1/1/2005 a 1/1/2015). Os dados climáticos desta década estavam incompletos entre 19-00h e 00-8h, deste modo, as rosas dos ventos relativas a estas horas foram obtidas considerando os dados de 01/01/2000 à 31/12/2009. Optou-se por utilizar fontes distintas a fim de que os dados do período de ocupação típica de edifícios de escritórios fosse a mais atual possível. A variação de direção entre Sudeste (13-19h) e Sul (19-00h) indica, portanto, uma pequena alteração na direção dos ventos ao longo dos anos.