

## **A VERTICALIZAÇÃO DE FORTALEZA E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A VENTILAÇÃO NATURAL EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR**

**Dorotheu Ximenes de Farias (1); Bruno de Paiva y Raviolo (2); Márcia Cavalcante (3)**

(1) Arquiteto e Urbanista, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, dorotheufarias@gmail.com, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Arquitetura, Natal - RN, 59072-970, Tel.: (84) 3215 3776

(2) Graduando do curso de Arquitetura e Urbanismo, bruno.raviolo@gmail.com, Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Fortaleza – CE, 60020-181, Tel.: (85) 3366 7491

(3) Doutora, professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, marcia@oikearquitetos.com.br, Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Fortaleza – CE, 60020-181, Tel.: (85) 3366 7491

### **RESUMO**

A verticalização urbana impacta diretamente no padrão de circulação dos ventos. Por meio de um estudo de caso de uma das primeiras edificações residenciais multifamiliaresem altura, em Fortaleza, Ceará, construída na década de 80 e reformada pouco depois de sua inauguração, o artigo descreve os efeitos de adensamento vertical no padrão de circulação de ar dentro de uma unidade habitacional. Também analisa os efeitos do fechamento da varanda do apartamento com esquadrias de vidro, tal reforma atendendo pedidos dos próprios usuários, logo após a inauguração do edifício, uma vez que os fortes ventos incomodavam o bem-estar dentro dos apartamentos. São estabelecidos cenários para descrever a evolução do prédio, bem como lançada a hipótese que atualmente, devido à verticalização do entorno, seja possível retornar à proposta arquitetônica original, sem o fechamento de vidro da varanda. Para tanto, os cenários caracterizam modelos utilizados em simulações computacionais de dinâmica dos fluidos (CFD). Os cenários são simulados e comentados, no qual a intensidade da velocidade do ar é discutida em função do ambiente construído. Conclui-se que a verticalização afetou sobremaneira a ventilação dentro do apartamento, diminuindo os fluxos de ar, e que a hipótese foi confirmada, já que a remoção do fechamento da varanda aumentou a velocidade dos ventos. Ainda, estabelece a importância da realização de análises de ventilação em processo de projeto, principalmente em tipologias verticais.

Palavras-chave: ventilação natural, edifício residencial, simulação computacional.

### **ABSTRACT**

This paper describes the relationship between cities' urban airflow pattern and urban verticalization by analyzing its links with indoor airflow speed through the case study of an early residential highrise building in Fortaleza, Ceará. Built on the 80's, users started to request refurbishments soon after its inauguration due to frequent high-speed winds hitting the building. In order to correct this, sliding windows were added through the entire varanda. Scenarios were established to describe the building's chronologic evolution, including its urban context, as well as imagining a return to the original design in present day. To check wind intensity's correlation with indoor airflow speed and urban verticalization, Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations were employed. In this case study it's clear that urban verticalization had a part in decreasing indoor airflow speed. The hypothetical scenario was also confirmed, meaning that nowadays it is possible to remove the sliding windows that were added, returning the building to its original design. Also, the relevance of CFD applications to design processes towards vertical typologies is highlighted.

Keywords: natural ventilation, residential building, computer simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

Em março de 1979, a Lei nº 5.122 A instituiu a altura máxima de 12 pavimentos nos bairros da Aldeota e Meireles (Zonas de Alta Densidade – ZR3) e 18 pavimentos na orla da Avenida Beira-mar desencadeando uma valorização imobiliária que mudou o perfil destes bairros. Segundo o Censo (IBGE, 1980), no início da década de 1980, 90% da população de Fortaleza morava em casas. No Censo de 1991 continua a predominância de casas (89%), porém os bairros da Aldeota, Meireles, Varjota, Fátima e Dionísio Torres apresentam percentuais de apartamentos acima de 45%. No caso do Meireles a verticalização ultrapassa 65% (BARROSO, 2015). Após 38 anos da instituição da lei que permitiu a verticalização, as torres residenciais verticais e isoladas no terreno se tornaram a ocupação prioritária da área leste de Fortaleza.

O aumento da altura dos edifícios residenciais gerou uma maior exposição à insolação e aos ventos. O impacto da velocidade dos ventos, nos pavimentos mais altos, em alguns casos, faz com que as varandas sejam fechadas por uma segunda camada de esquadrias ou simplesmente sendo eliminadas para aumentar as áreas dos apartamentos. Além disso as esquadrias de madeira usadas nas décadas anteriores foram substituídas por esquadrias de duas folhas do tipo de correr, feitas de alumínio e vidro, cujas opções de fechamento não consideram a necessidade de controle da ventilação proporcionadas pelo uso de venezianas móveis. Estes fatos têm provocado aumento do uso do condicionamento ambiental passivo ativo, o ar condicionado, e são questões instigantes a serem pesquisadas de modo a contribuir para que a arquitetura habitacional praticada na atualidade seja adaptada ao melhor aproveitamento das características da ventilação de Fortaleza.

Foi escolhido o Edifício Veneza I (figura 1), projetado pelos arquitetos José Nasser Hissa e Francisco Nasser Hissa e construído pela Construtora Veneza, do engenheiro Xisto Medeiros, como objeto da pesquisa por ser um dos primeiros edifícios construídos após a lei de 1979. O terreno tem uma localização privilegiada na Aldeota, bairro nobre de Fortaleza, (figura 2) em um terreno de esquina com frente leste e sul. A torre possui 13 pavimentos sendo o pavimento tipo composto por um apartamento por andar, com área privativa de 272,12 m<sup>2</sup>, foi implantada alinhada aos limites do lote, com os afastamentos impostos por lei. Em função da pouca largura da dimensão leste do terreno, somente as áreas sociais – sala, varanda e gabinete – e a suíte do casal, estão orientadas para o nascente, o setor íntimo foi orientado para o norte; os serviços para o oeste; enquanto a circulação vertical posicionou-se ao sul, isolando as visuais da rua mais movimentada (figura 3). As varandas e os elementos de fachada tais como jardineiras, pestanas e brises criam um jogo de sombreamento das fachadas e protegem as esquadrias (em alumínio e vidro) da insolação.



Figura 1 – Foto externa do edifício. Fonte: os autores

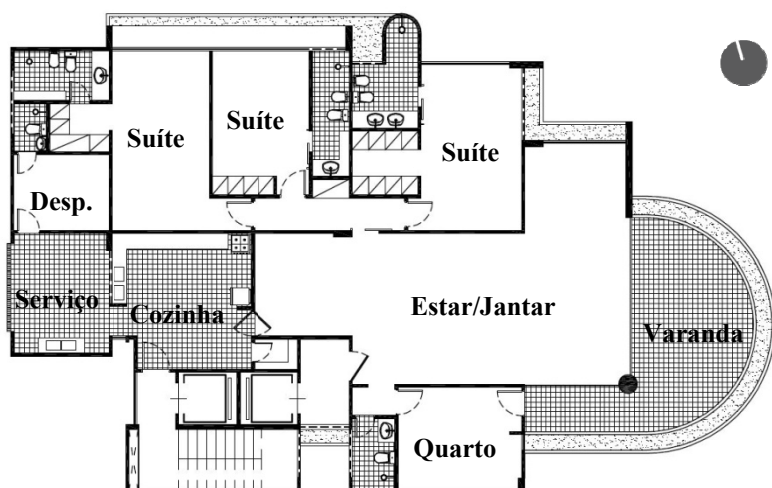


Figura 3 – Planta baixa do edifício. Esc. 1/250. Fonte: os autores

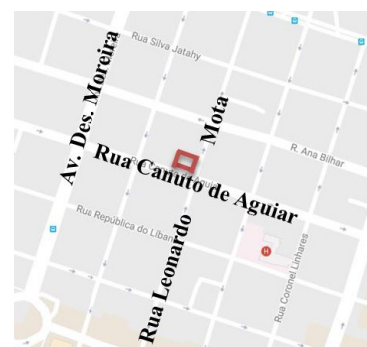


Figura 2 – Localização do edifício no seu entorno. Fonte: Google Earth

A ventilação no apartamento, que penetra principalmente pela área social, tinha intensas velocidades à época da inauguração do edifício em 1982, já que o seu entorno urbano era composto principalmente de residências unifamiliares com no máximo dois pavimentos. Isto fez com que, em 1985, o condomínio autorizasse o fechamento da varanda com esquadrias de vidro, alterando a fachada original, porém justificado pela necessidade de um controle maior da ventilação que entra no apartamento.

## 2. OBJETIVO

O intuito deste artigo é demonstrar a influência da verticalização do entorno e da colocação das esquadrias na varanda no comportamento dos fluxos de ventilação natural dentro do apartamento do edifício Veneza I. Assume-se a hipótese de que, dadas as atuais condições do ambiente construído, seria possível retornar ao projeto original, sem esquadrias adicionais. Pretende-se comprovar a hipótese por meio de simulações de fluidodinâmica computacional (CFD, em inglês), identificando as variações das regiões que causem desconforto ao usuário, devido aos fortes ventos, ao longo de diferentes cenários.

## 3. MÉTODO

Por meio do paradigma das ciências do artificial, o presente artigo pretende descrever um problema recorrente, adotando a indução como abordagem científica, de modo tal que, posteriormente, seja possível prescrever soluções arquitetônicas que alcancem melhores resultados (DRESCH, 2015). Para tanto, utiliza como métodos de pesquisa um estudo de caso com o uso de CFD (*Computational Fluid Dynamics* ou Dinâmica dos Fluidos Computacional), utilizando o software CFX (ANSYS, 2007) em diferentes cenários.

### 3.1. Definição e caracterização dos cenários

O estudo foca o edifício Veneza I em Fortaleza, analisando quatro cenários ao longo de sua existência. O primeiro cenário (C1) definido é da sua inauguração, em 1982, em que o entorno construtivo era primariamente horizontal, composto de casas. O segundo cenário (C2) data de 1985, quando foram instaladas as esquadrias de vidro na varanda dos apartamentos devido ao alto fluxo de ventos, ainda com o entorno horizontal. Já o terceiro cenário (C3) analisa o edifício atualmente, no ano de 2017, com o entorno apresentando alta verticalização e as varandas com o fechamento de vidro. O quarto e último cenário (C4) de simulação é o caso do edifício com o entorno atual, entretanto sem as esquadrias de vidro na varanda.

Para a correta caracterização do entorno nos cenários C1 e C2, foi realizada uma entrevista apoiada pelo levantamento aerofotogramétrico de Fortaleza, que data de 1973 (figura 4). O entrevistado foi o eng. Xisto Medeiros, construtor e morador do edifício desde sua inauguração.

Estimou-se que a maioria da ocupação do solo, à época, é dado com casas inseridas no meio de lotes, com uma taxa de ocupação que varia em geral entre 40% a 60%. Tal situação foi confirmada em entrevista com o construtor, afirmando que de 1982 a 1985 o entorno era composto principalmente de casas de no máximo 2 pavimentos. Essa configuração morfológica foi modelada de acordo com a figura 5. Já para a situação do entorno atual, é constatada a intensa verticalização do ambiente urbano (figura 6).



Figura 6 – Configuração morfológica da situação do entorno atual, com o edifício de estudo destacado em vermelho. Fonte: adaptado do Google Earth.



Figura 4 – Levantamento aerofotogramétrico de Fortaleza, com o edifício destacado em vermelho. Fonte: Fortaleza (1973)

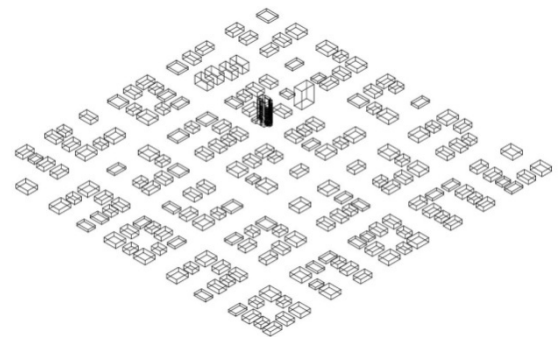


Figura 5 – Modelo da configuração morfológica adotado para as simulações dos cenários C1 e C2. Fonte: os autores.

### 3.2. Análise da ventilação

A natureza dos modelos para simulação CFD requer dados sobre a velocidade e direção dos ventos. Para obtê-los, foi utilizado um arquivo climático no formato *Typical Meteorological Year* (TMY) gerado a partir do projeto *Solar and Wind Energy Resource Assesment* (SWERA) e disponibilizado pelo *Department of Energy* (DoE). Por meio dele é possível obter os dados necessários dos ventos locais de Fortaleza para cada hora de um ano construído a partir de meses típicos, escolhidos a partir da ponderação de uma coleção de parâmetros climáticos (BARNABY, 2011).

Os dados climáticos revelam um clima quente e úmido que se mantém relativamente constante ao longo de todo ano, com grande insolação devido à proximidade com a linha do Equador. A ventilação natural aparece como a principal estratégia passiva para alcançar o conforto térmico durante grande parte desse período (Figura 7).

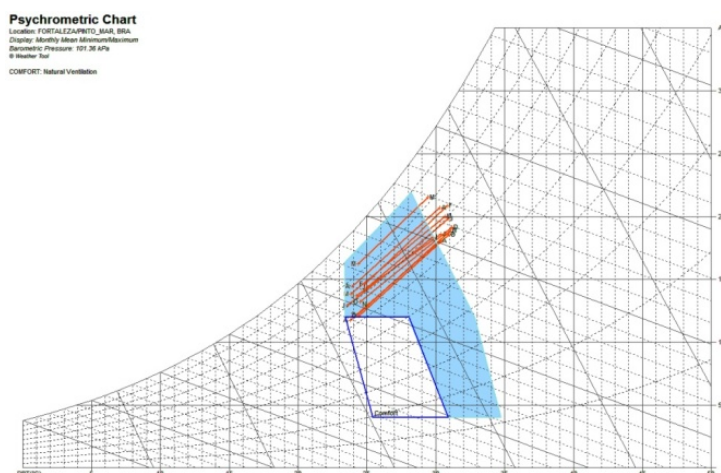


Figura 7- Diagrama bioclimático com os registros de Fortaleza dentro da área de conforto por ventilação natural, preenchida em azul claro. Médias mensais mínimas e máximas destacadas em linhas vermelhas. Fonte: SWERA. Gráfico elaborado pelos autores

O padrão da ventilação natural em Fortaleza é caracterizado pela presença dos ventos alísios, com o vetor predominante variando de sul a leste durante o raiar do dia, e realizando o movimento reverso à medida em que chega a noite (figura 8).

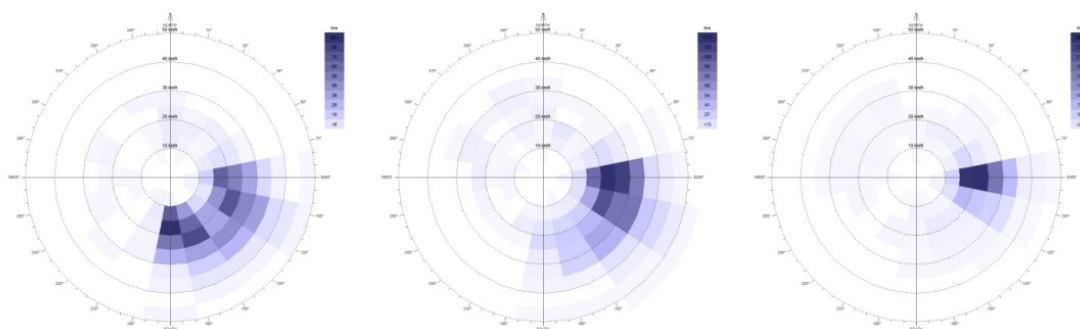


Figura 8 - Rosa dos ventos informando a direção e velocidade dos ventos de Fortaleza durante um ano, por faixas de horário diurno. À esquerda, 6-10h; ao centro, 12-14h; à direita, 14-18h. Fonte: SWERA. Gráfico elaborado pelos autores

A partir de visita ao local, entrevista com o construtor e morador eng. Xisto, foi possível constatar que os ventos de direção leste, normalmente os mais velozes, têm dificuldade de penetrar o entorno urbano adensado e atingir a edificação. Em contrapartida, constatou-se também que, devido à configuração morfológica do entorno atual, os ventos provenientes de sudeste conseguem atingir o edifício em estudo, fazendo com que o apartamento seja ventilado principalmente quando a ventilação vem desta direção.

De acordo com o relato na entrevista, a adição de esquadrias na fachada se deveu à impossibilidade de utilizar a varanda devido aos fortes ventos que se faziam presentes à época de sua construção, o que implicava desconforto dentro da unidade habitacional. Assim, para avaliar o desconforto causado pela elevada velocidade do ar, a simulação trabalhou com os ventos sudeste durante o período diurno, por serem frequentes, velozes e capazes de ainda hoje impactar substancialmente na ventilação dentro dos apartamentos da edificação.

Como discutido em Cóstola (2006), o valor de velocidade foi calculado mediante decomposição vetorial, encontrando um valor de 5,02m/s que serviu de informação de entrada para a construção do perfil de velocidade dos ventos. Para este estudo, foi utilizada a equação 1 a seguir (BRE, 1978):

$$V = V_m \cdot k \cdot z^a \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

V = velocidade média do vento à determinada altura (m/s)

$V_m$  = velocidade média do vento na estação meteorológica registrada a 10m (m/s)

z = altura determinada (m)

k, a = coeficientes segundo a rugosidade da superfície do terreno

Para os cenários C1 (1982) e C2 (1985), tomando como base o levantamento aerofotogramétrico e a entrevista com o morador local, foram utilizados coeficientes que descrevem campo abertos com obstáculos espaçados, apresentando  $k = 0,52$  e  $a = 0,20$ . Já para os cenários C3 e C4 (2017), foram utilizados os coeficientes que descrevem área urbana, com  $k=0,35$  e  $a = 0,25$ . O parâmetro altura (Z) é automaticamente calculado quando a equação 1 é inserida durante a etapa de configuração do domínio no software CFD.

Também foi levada em conta a importância dos efeitos da camada convectiva diurna sobre a velocidade e turbulência dos ventos na camada limite planetária (CÓSTOLA, 2006). Uma análise gráfica confirmou este efeito na velocidade dos ventos (figura 9), orientando o processamento dos dados a focar no período diurno (6-18h).

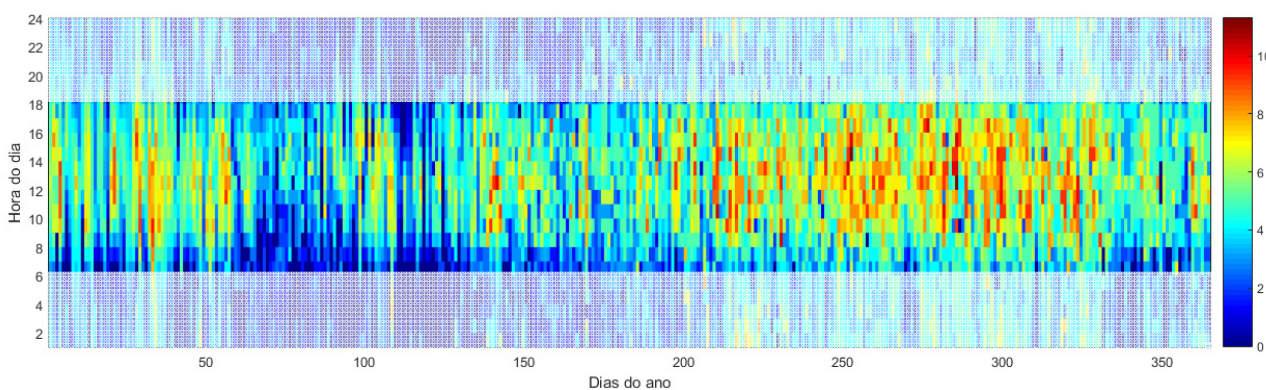


Figura 9 - Plotagem da velocidade do ar ao longo de um ano em Fortaleza, em m/s, com destaque para o período diurno. Fonte: SWERA. Gráfico elaborado pelos autores

Fundamentado na natureza do problema apresentado, em que havia intensos ventos à época da construção do edifício, a velocidade do ar foi adotada como indicador de performance para os diferentes cenários a serem simulados. Deste modo, a pesquisa não considerou outras variáveis, como temperatura do ar, umidade ou turbulência, pois não afetam diretamente a sensação desconforto causado por fortes ventos, dentro dos apartamentos.

### 3.3. Calibração de parâmetros para as simulações

Dentre as opções para mensuração da ventilação natural, incluindo a modelos multi-zonais de fluxo de ar, o modelo de simulação por CFD foi escolhido por ser uma abordagem mais precisa e de custo baixo (SREBRIC, 2011). Além disso, certos aspectos específicos podem ser negligenciados para reduzir a quantidade de parâmetros envolvidos no processo de modo a simplificá-lo, já que dessa forma incorpora menos variáveis mas preserva a performance geral da edificação (ETHERIDGE, 2012).

As simulações CFD foram realizadas de modo “desacoplado”, ou seja, foram separados os fluxos externos na escala urbana e os fluxos internos do apartamento. Carrilho da Graça et al (2002) explica que essa separação é possível caso a área total de aberturas for menor do que 20% da área fechada, que é o caso deste estudo. Caso fosse adotada uma simulação integrada, o custo computacional necessário para o seu processamento inviabilizaria a pesquisa, então, dada as limitações desta estratégia, a área de varanda foi considerada como área externa, sendo modelada apenas na simulação de escala urbana. A transferência dos dados de pressão das simulações em escala urbana para as simulações internas dos apartamentos se deu assim como realizado por Leite (2015). Nas simulações em escala urbana, é realizada a coleta do valor de pressão em pascal em cada ponto da fachada do edifício onde se localizam as esquadrias do apartamento. Em

seguida, para analisar as diferenças de comportamento da ventilação dentro do apartamento nos quatro cenários, tais valores de pressão são configurados, para cada abertura, como dados de entrada das simulações internas.

A distribuição da pressão na fachada causada pelos ventos foi utilizado como critério para a definição do cenário de pior caso a ser estudado com maior profundidade. Seu valor foi monitorado através do coeficiente de pressão, de natureza adimensional, que mede a intensidade de atuação das forças dos ventos na produção da pressão final (LEITE, 2015). Nos quatro cenários deste trabalho foi escolhido o mais alto apartamento tipo para a simulação dos fluxos internos, já que esta unidade habitacional apresentou os maiores valores de pressão nas aberturas, e conseqüentemente de velocidade do ar.

A geometria dos modelos foi gerada em softwares do tipo *Computer Aided Design* (CAD) para as posteriores simulações. Para o entorno, foi realizada uma simplificação do modelo, de modo a facilitar o processo de simulação e ao mesmo tempo não perder sua confiabilidade, deste modo arestas e faces diminutas com menos de 5m foram desconsideradas (LEITE, 2010). Já o domínio foi modelado com base nas diretrizes de Cóstola (2006), que deve apresentar pelo menos cinco vezes a dimensão do maior elemento modelado nas laterais, altura e barlavento, e pelo menos quinze vezes a sotavento, sendo considerado como 500m a dimensão deste maior elemento, equivalente à dimensão da extensão de cinco quadras (figura 10).

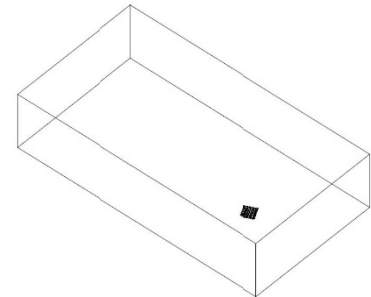


Figura 10 – Modelo do domínio gerado. Fonte: Autores.

Na escala urbana, o edifício Veneza foi modelado com sua geometria exterior, incluindo a sua varanda e as esquadrias de vidro que a vedam nos cenários que a compunham. Na figura 11, vemos destacado em vermelho as esquadrias em sua configuração a mais aberta possível, e que mesmo assim cria um fechamento de 50% da varanda, e deste modo foram modeladas para a posterior simulação. As esquadrias são compostas individualmente por duas folhas de correr e foram utilizadas um total de 13 esquadrias facetadas no fechamento da varanda (Figura 12). Para o modelo do interior do apartamento, todas as janelas e portas das áreas de permanência prolongada foram consideradas abertas, e foram consideradas fechadas as áreas de permanência transitória: hall de elevador, banheiros e despensa.

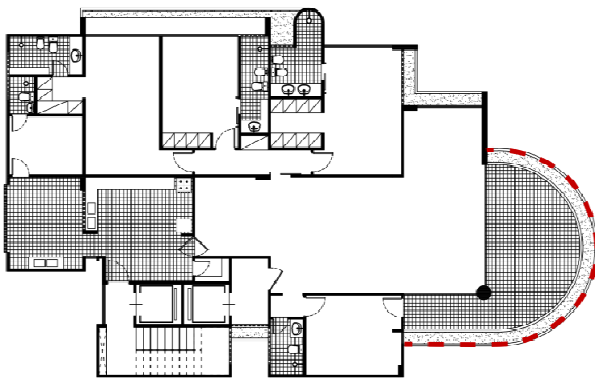


Figura 11 -Planta com indicação da posição das esquadrias do tipo de correr, com duas folhas, inseridas nas varandas do edifício após a reforma requisitada pelos moradores. Fonte: os autores.



Figura 12 - Fotografia da esquadria instalada nas varandas do edifício Veneza I. Fonte: os autores.

Com os domínios modelados, são exportados em ACIS (.sat) para serem submetidos às simulações no *software* CFX. Neste programa, devem ser seguidas as etapas de geração de malha, CFX-Pre, CFX-Solver, e a visualização dos resultados no módulo CFX-Post. O processo de criação de malha produziu uma malha desestruturada associada a uma camada de células prismáticas para a modelagem correta da camada limite. Tendo em vista as dificuldades de simulação devido à discrepância de volume entre as células da malha especialmente em escala urbana, o fator de crescimento dos elementos foi definido em 110%.

Na etapa de CFX-Pre, são estabelecidas as condições de contorno, onde características são atribuídas às faces do modelo. Nos modelos da situação urbana, a face da entrada de ventilação é definida como *inlet*; a face da saída como *outlet*; as faces laterais, piso, e faces dos edifícios como paredes (*wall*); e, por fim, o topo do domínio como parede livre de atrito (*free-slipwall*). Nos modelos internos dos apartamentos, as paredes, pisos e tetos são definidos como *wall*, e as janelas como *openings*.

Duarte (2015) e Srebric (2011) apontam para a interdependência entre o edifício e o ambiente urbano, mostrando que não há como pensar o edifício fora do seu contexto urbano e climático. Deste modo, para os cenários da década de 1980 e atual, o método de modelagem do entorno deste trabalho incorporou as quadras adjacentes à da edificação, bem como duas quadras adicionais a barlavento, totalizando 25 quadras.

Simulações baseadas nas equações de Navier-Stokes foram utilizadas por meio do método Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS), mais rápido, porém menos preciso (SREBRIC, 2011). O modelo  $k-\epsilon$  de turbulência foi empregado, com a taxa de turbulência sendo definida em 5% na *inlet* como nas *openings*. As simulações foram configuradas como isotérmicas e com a temperatura do ar em 25°C. Forças convectivas não foram modeladas para evitar problemas com convergência, bem como reduzindo a complexidade da simulação (ETHERIDGE, 2012).

O critério de convergência de resíduos foi definido inicialmente em  $10^{-5}$  mas aceitou-se o fechamento a  $10^{-4}$  em alguns casos devido a dificuldades encontradas. Nas simulações externas de escala urbana, foram extraídos como resultado os valores de pressão em cada abertura do apartamento, seja porta ou janela. Estes valores foram, então, levados para as simulações internas na escala do apartamento, para verificar o comportamento e velocidade dos ventos dentro dos ambientes.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados analisados foram os comportamentos da ventilação dentro do apartamento estudado e foram obtidos a partir de simulações CFD dos fluxos externos e internos para cada cenário. Cada cenário teve resultados diferentes devido à modificação do meio urbano do entorno e à presença ou não das esquadrias de vidro que realizam o fechamento da varanda, que geram pressões diferentes em cada abertura de entrada ou saída de ventos. A seguir temos a análise dos quatro cenários.

### 4.1. Cenário C1 (1982) – inauguração da edificação

A partir da figura 13 a seguir, vemos o comportamento da ventilação dentro da unidade habitacional no cenário C1, cujo modelo utilizado para a simulação CFD vemos na figura 14. Como constatado em entrevista com o construtor do edifício, na época da sua inauguração havia um intenso fluxo de vento dentro do apartamento, garantido pela alta diferença de pressão entre as aberturas de entrada e saída. Pelas aberturas voltadas a sudeste, o vento penetra a edificação, e sai pelas aberturas voltadas a norte e oeste, que possuem uma pressão menor.

É possível ver algumas zonas com uma velocidade rápida de ventilação, de valores maiores que 3,50 m/s, como na cozinha do apartamento. Áreas com velocidade do ar superior a 2,00 m/s estão presentes em grande parte na sala de estar, jantar e cozinha. É importante demarcar a intensa presença de tais velocidades, pois segundo Szokolay (2004), ventos de até 2,00 m/s, em condições de ar superaquecido, podem ser bem-vindos. Entretanto, velocidades acima deste valor pode causar desconforto pela intensa presença de vento, principalmente nas zonas do apartamento acima de 3,00 m/s.

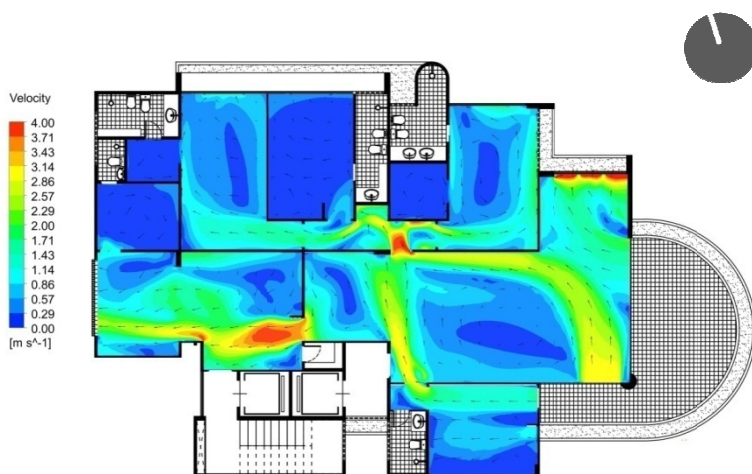


Figura 13 - Planta no cenário C1 de entorno pouco adensado, sem esquadrias. Fonte: os autores.

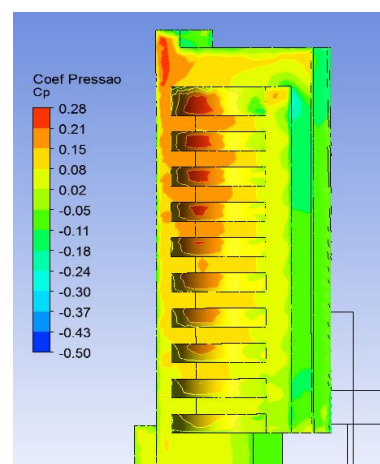


Figura 14 - Imagem da distribuição do Coeficiente de Pressão na fachada do modelo no cenário C1. Fonte: os autores.

## 4.2. Cenário C2 (1985) – colocação das esquadrias de vidro

No caso do cenário C2 (figura 15), há um comportamento do vento parecido com o cenário C1, com os principais fluxos de ar entrando pelas aberturas a sudeste do apartamento, e saindo pelas aberturas a norte e oeste. Entretanto, houve uma significativa diminuição da velocidade nas zonas de alto fluxo. Regiões no cenário C1 em que havia velocidade maior do que 4,00m/s, agora conta com ventos de cerca de 3,30m/s. Ao mesmo tempo as velocidades acima de 2,00m/s ocorrem com menos frequência ao longo do apartamento, comparado ao cenário C1.

Importante destacar que a diferença entre os cenários C1 e C2 se dá somente devido à adição das esquadrias de vidro que fecham a varanda, uma vez que o entorno construído permaneceu inalterado, bem como a equação que rege a construção da curva de perfil de velocidade do vento. O conjunto de esquadrias foi considerada o mais aberto possível para a entrada de vento dentro de suas limitações, como pode ser visto na figura 15. Como a esquadria da varanda é composta por duas folhas de correr de vidro, podendo abrir em, no máximo, 50% do vão, denota que mesmo assim é gerado um obstáculo ao vento suficiente para esta diminuição na velocidade verificada no cenário C2. A presença desta esquadria também significa uma maior capacidade de adaptação dos usuários do apartamento, podendo fechá-la o tanto quanto necessário para a obtenção de uma velocidade de vento confortável.

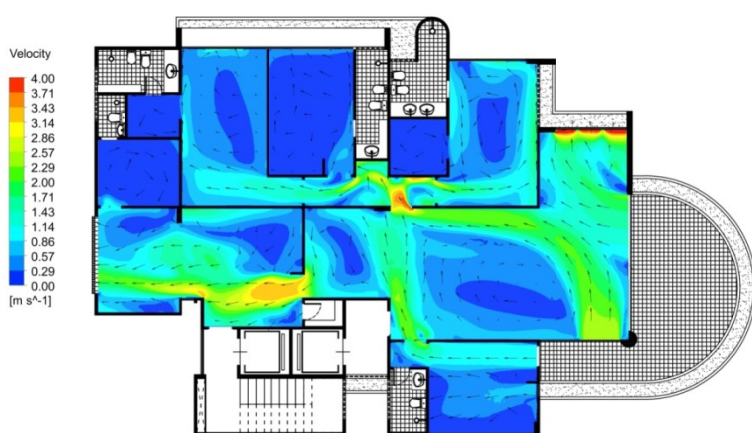


Figura 15 - Planta no cenário C2 de entorno pouco adensado, com esquadrias presentes. Fonte: os autores.

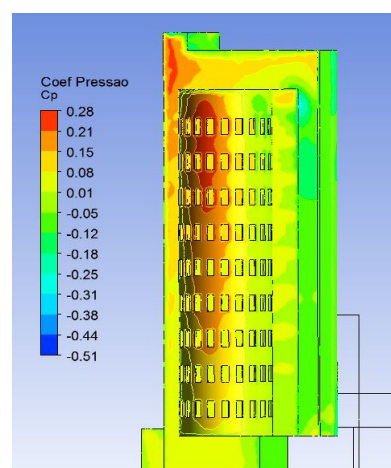


Figura 16 - Imagem da distribuição do Coeficiente de Pressão na fachada do modelo no cenário C2. Fonte: os autores.

## 4.3. Cenário C3 (2017) – situação atual, com esquadrias

Na situação atual, foi modelado o entorno de acordo com o que existe atualmente, de um ambiente urbano adensado e verticalizado (figura 17). Os valores mensurados do coeficiente de pressão na fachada são reduzidos drasticamente, e percebe-se uma clara alteração no seu padrão de distribuição. Como no cenário C2, as esquadrias da varanda também foram consideradas abertas o máximo possível. O resultado é visualizado na figura 15 e demonstra uma grande diminuição, em todo o apartamento, do fluxo de ar, ao se comparar com o cenário C2. Áreas onde, no cenário C2 tinham velocidade de cerca de 3,00 m/s, no cenário C3 tais velocidades não passam de 1,00 m/s. Tais alterações são percebidas principalmente na cozinha e na sala do apartamento.

Ainda, não é mais possível ver zonas em que a velocidade exceda 2,00 m/s, já que a velocidade máxima no apartamento é de cerca de 1,10 m/s na sala, denotando que atualmente é inexistente a preocupação com ventos com grande intensidade. Essa diminuição, causada pela alteração do entorno construtivo, demonstra a sua influência na ventilação interna do apartamento, modificando o potencial de conforto pela ventilação.



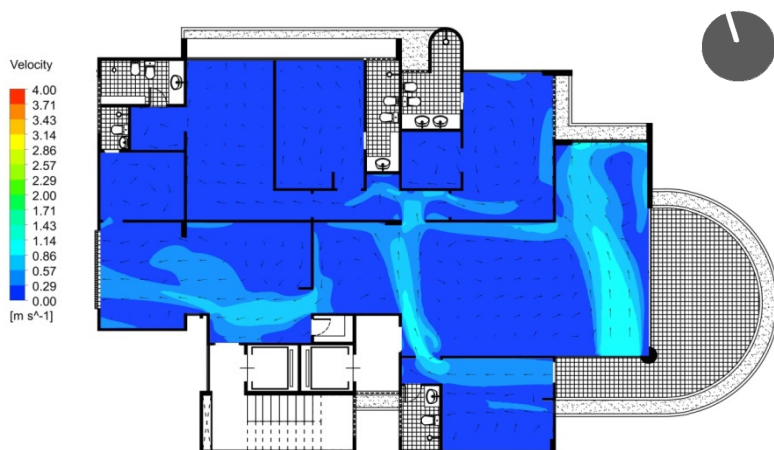


Figura 17 - Planta no cenário C3 de entorno já adensado, com esquadrias presentes. Fonte: os autores.

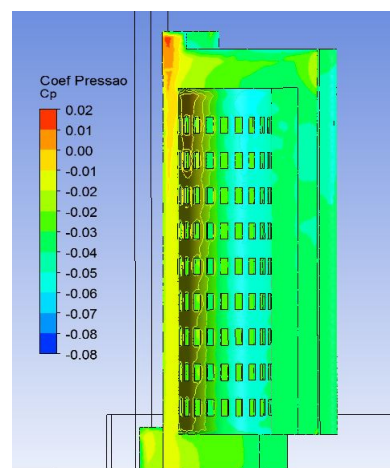


Figura 18 - Imagem da distribuição do Coeficiente de Pressão na fachada do modelo no cenário C3. Fonte: os autores.

#### 4.4. Cenário C4 (2017) – entorno atual e sem esquadrias

O cenário C4 busca investigar o padrão da ventilação dentro do apartamento considerando que o edifício, dentro do contexto urbano atual, não tenha mais as esquadrias da varanda. Analisando tal situação a partir da figura 19, é possível ver a influência que a presença das esquadrias de vidro, mesmo completamente abertas, geram na ventilação interna do apartamento.

Neste cenário sem as esquadrias (fig 18), ocorreu um aumento visível na ventilação dentro do apartamento, devido ao aumento de pressão nas aberturas de entrada. Tal aumento da ventilação ocorreu principalmente na sala e cozinha, onde velocidades que chegavam a um máximo de 1,10 m/s agora se encontram na ordem de 1,40 m/s.

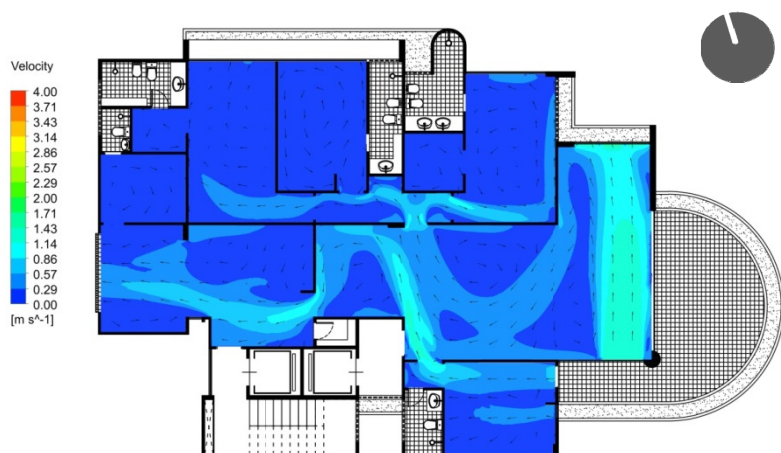


Figura 19 - Planta no cenário C4 de entorno já adensado, sem esquadrias. Fonte: os autores.

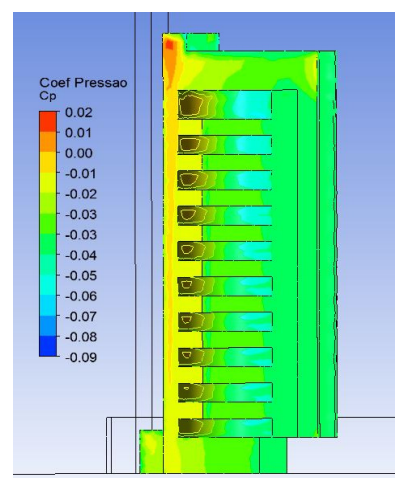


Figura 20 - Imagem da distribuição do Coeficiente de Pressão na fachada do modelo no cenário C3. Fonte: os autores.

## 5. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos, é possível ver como os padrões de ventilação de um apartamento do Edifício Veneza I, em Fortaleza, foram alterados devido às modificações do entorno construído e da adição de esquadrias de vidro como fechamento da varanda. Ao comparar os cenários C1 e C2, vemos como a colocação das esquadrias foi importante para o conforto dos usuários dos apartamentos, à época de sua construção, confirmando as informações dadas pelo eng. Xisto Medeiros. Entretanto, é importante destacar que, segundo Villas Boas (1983), a massa construída da cidade modifica sobremaneira a forma de deslocamento do ar. Assim, analisando o caso do cenário C3 e comparando ao C2, é possível ver como o entorno que se verticalizou ao longo do tempo impactou diretamente o vento presente dentro do apartamento.

A presente pesquisa analisou somente a direção de ventilação sudeste para a cidade de Fortaleza, pois foi verificado que é a direção predominante em que os ventos penetram o apartamento. No entanto, mesmo sendo a principal direção, é possível ver com a análise do cenário C3, que atualmente pouca

ventilação penetra os ambientes de permanência prolongada, principalmente comparado aos cenários da década de 1980. Em contrapartida, ao se comparar os cenários C3 e C4, vemos que há uma influência significativa da presença das esquadrias, indicando que, devido ao adensamento ao longo dos anos, atualmente não há necessidade da presença de tais obstáculos ao vento.

As alterações entre os cenários simulados, principalmente as grandes diminuições de ventos entre C2 e C3, apontam a necessidade de analisar e projetar edificações com a preocupação e consideração do entorno e de elementos da própria edificação que podem influenciar a ventilação dentro dos apartamentos. Tal necessidade de análise da ventilação é ainda mais importante em uma cidade de clima quente e úmido, como é o caso de Fortaleza, em que a ventilação se caracteriza como uma das mais importantes estratégias bioclimáticas.

Apesar de não estarem disponíveis à época do projeto e construção do Veneza I, ferramentas de simulação computacional de dinâmica dos fluidos podem e devem ser aplicadas durante o processo de projeto, especialmente quando se depende tanto da ventilação natural, sobretudo em tipologias verticais, pois estas estão sujeitas ao perfil de velocidade dos ventos. Critérios de conforto ambiental também devem ser enfatizados como essenciais para um bom projeto, pois percebe-se que a ventilação excessiva pode acarretar em reformas. Ao projetar uma nova edificação, deve-se ter em mente uma expectativa do tempo de permanência da construção, e como o seu entorno pode ser alterado. Por isso, recomenda-se simular cenários de ocupação para avaliar rapidamente as transformações que o entorno pode causar à qualidade ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSYS. **Workbench™ 11.0 SP1**. Canonsburg, 2007.
- BARNABY, Charles S; CRAWLEY, Drury B. **Weather data for building performance simulation**. In: HENSEN, J; LAMBERTS, R. *Building Performance Simulation for Design and Operation*. Londres: Spon Press, 2011. p.37-55.
- BARROSO, Paulo Hermano Mota. **Verticalização residencial em Fortaleza**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.
- BRASIL, IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Censo Demográfico 1980. Disponível em: <http://loja.ibge.gov.br/censo-demografico-1980-regioes-norte-nordeste-sul-e-centro-oeste-microdados-da-amostra.html>. Acesso em 20 de março de 2017.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE). **Principles of Natural Ventilation**. BRE Digest nº 210, Garston: BRE, 1978.
- CÓSTOLA, D. **Ventilação por ação do vento no edifício: procedimentos para quantificação**. (Dissertação). Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES Jr.; J. A. V. **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement**. Suíça: Springer, 2015.
- DUARTE, D. **O clima urbano e o ambiente construído**. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.) *Edifício Ambiental*. 1 ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2015.
- ETHERIDGE, David. **Natural Ventilation of Buildings: Theory, Measurement, and Design**. West Sussex, John Wiley & Sons, 2012.
- FORTALEZA, Prefeitura Municipal de. **Levantamento Aerofotogramétrico**. 1973. Cópia Heliográfica.
- 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 em Arquitetura e Urbanismo. 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 em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.
- SREBRIC, Jelena. **Ventilation performance prediction**. In: HENSEN, J; LAMBERTS, R. *Building Performance Simulation for Design and Operation*. Londres: Spon Press, 2011. p.143-169.
- SZOKOLAY, S. V. **Introduction to architectural science: the basis for sustainable design**. Amsterdam, Architectural, 2004