ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Modelagem e simulação CFD da ventilação natural no Edifício Evandro Sena Freire

CFD modeling and simulation of natural ventilation in the Evandro Sena Freire Building

Igor Luiz dos Santos Rocha
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | ilsrocha.egc@uesc.br
Cleverson Alves de Lima
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | clalima@uesc.br
Raquel Rocha Cruz
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | rrcruz.egc@uesc.br
Andrezzo Julio Dantas Nascimento
Universidade Federal do Sul da Bahia|Itabuna|Brasil |andrezzomoreno@hotmail.com
Carolaine da Cruz Silva
Universidade Estadual de Santa Cruz |Ilhéus | Brasil | carolainecsilva@gmail.com

Resumo

O edifício Evandro Freire é um complexo estudantil no campus da UESC dependente de condicionamento de ar para garantir condições mínimas de habitabilidade, devido principalmente a sua locação frente a trajetória solar e do fluxo característicos de ventos. Esta condição de projeto ocasiona uma deficiente no aproveitamento dos recursos naturais e impactam diretamente na eficiência energética da edificação. Desta forma, propôs-se uma análise da ventilação natural característica da região, considerando o relevo e obstáculos no entorno do edifício por meio de modelos CFD (*Computational Fluid Dynamics*), de forma a se conhecer os percentuais residuais atuantes na envoltória, de forma a identificar o fluxo de vento residual sobre a edificação, necessários para um melhor controle da temperatura interna, ambiência e consumo energético racional; deste modo, podendo confirmar que a ventilação efetiva que atinge o prédio é ínfima.

Palavras-chave: Eficiência energética. Simulação da Ventilação. Modelagem Fluidodinâmica.

Abstract

The Evandro Freire building is a student complex on the UESC campus dependent on air conditioning to guarantee minimum habitability conditions, mainly due to its location facing the solar path and the characteristic winds flow. This design condition causes a deficient use of natural resources and directly impacts the energy efficiency of the building. In this way, an analysis of the natural ventilation characteristic of the region was proposed, considering the relief and obstacles around the building using CFD (Computational Fluid Dynamics) models, in

Como citar:
ROCHA, I.L.S. CRUZ, R.R. NASCIMENTO, A.J. LIMA, C.L.A; SILVA, C.C. Modelagem e simulação CFD da ventilação natural no Edifício Evandro Sena Freire. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

order to know the residual percentages acting on the envelope, in order to identify the flow of residual wind over the building, necessary for better control of internal temperature, ambience and rational energy consumption ; In this way, it can confirm that the effective ventilation that reaches the building is negligible.

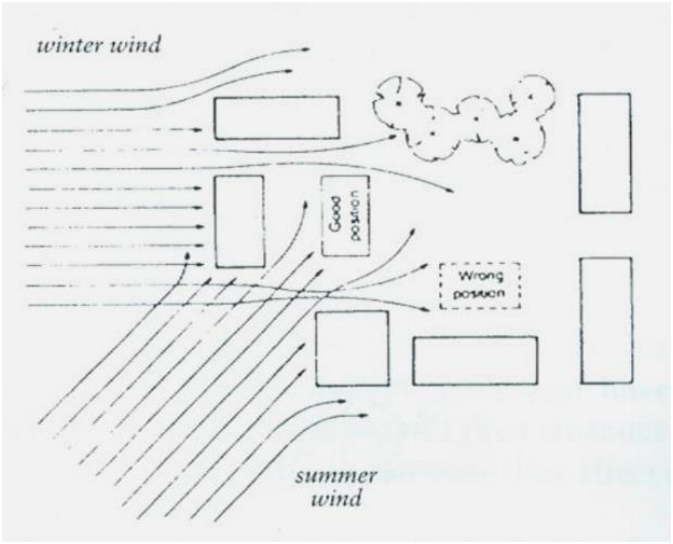
Keywords: Energy efficiency. Ventilation Simulation. Fluid Dynamics Modeling.

INTRODUÇÃO

A ventilação natural é a movimentação de massas de ar gerada na superfície do globo terrestre em decorrência das interações entre as zonas de baixa e alta pressão, as variações de temperatura da atmosfera e alguns outros cofatores meteorológicos [1]. Essa movimentação, quando em contato com edifícios e outros produtos da ação antrópica, efetua trocas de calor por convecção [2, 3], influenciando diretamente no conforto térmico dos interiores prediais. Em detrimento disso, a acurácia do projeto arquitetônico e seus estudos preliminares permitem encontrar soluções ou uma melhor locação da edificação, bem como a distribuição dos espaços, aproveitando ao máximo a carga de ventilação natural incidente, e, consequentemente, melhorando as condições de ambiência e conforto habitacional durante a utilização do local, reduzindo assim a necessidade do uso de condicionamento ativo de ar e otimizando a eficiência energética.

Em se tratando de referenciais entre a locação predial e a ventilação natural, segundo [1], a fim de otimizar a captação de vento e a redução da interferência de seu fluxo no espaço urbano, "pode-se adotar diretrizes quanto ao seu posicionamento, orientação e forma, que visem à eficiência da captação do vento e à redução da interferência de seu fluxo no espaço urbano." Assim, tem-se como primordial que seja realizada uma análise de disposição predial; [4] em diagrama, discorre a respeito do posicionamento dos prédios em relação ao fluxo de ar, como exibe a Figura 1.

Figura 1: Exemplos da locação menos adequada e mais adequada no sítio urbano em relação a ventilação.



Fonte: Priolo (2002: pg. 197)

O campus da UESC foi implantado pelo em 1974 com o objetivo arquitetônico de representar a modernidade inclusa nos avanços das ciências e das letras, bem como do mercado e do comércio na região cacaueira. Deste modo, o plano diretor do mesmo pautou uma estrutura estrelada e de alameda central alinhada ao eixo norte-sul, com formas circulares simétricas em torres e áreas de convivência e os pavilhões dispostos radialmente sobre elas. Desta maneira, o posicionamento dos edifícios não passou prioritariamente por um estudo que envolvesse conforto térmico e de usabilidade, bem como a utilização da carga natural de vento.

Neste contexto, o edifício Evandro Sena Freire, no campus da UESC (Universidade Estadual de Santa Cruz), Ilhéus-BA, funciona sob uma elevada condição de temperatura em seus espaços internos, sejam salas de aulas, salas de reuniões ou espaços administrativas, com baixa incidência de ventos sobre suas fachadas e perceptíveis através das janelas e portas, demandando condicionamento de ar ativo e contínuo para garantir uma temperatura adequada de uso.

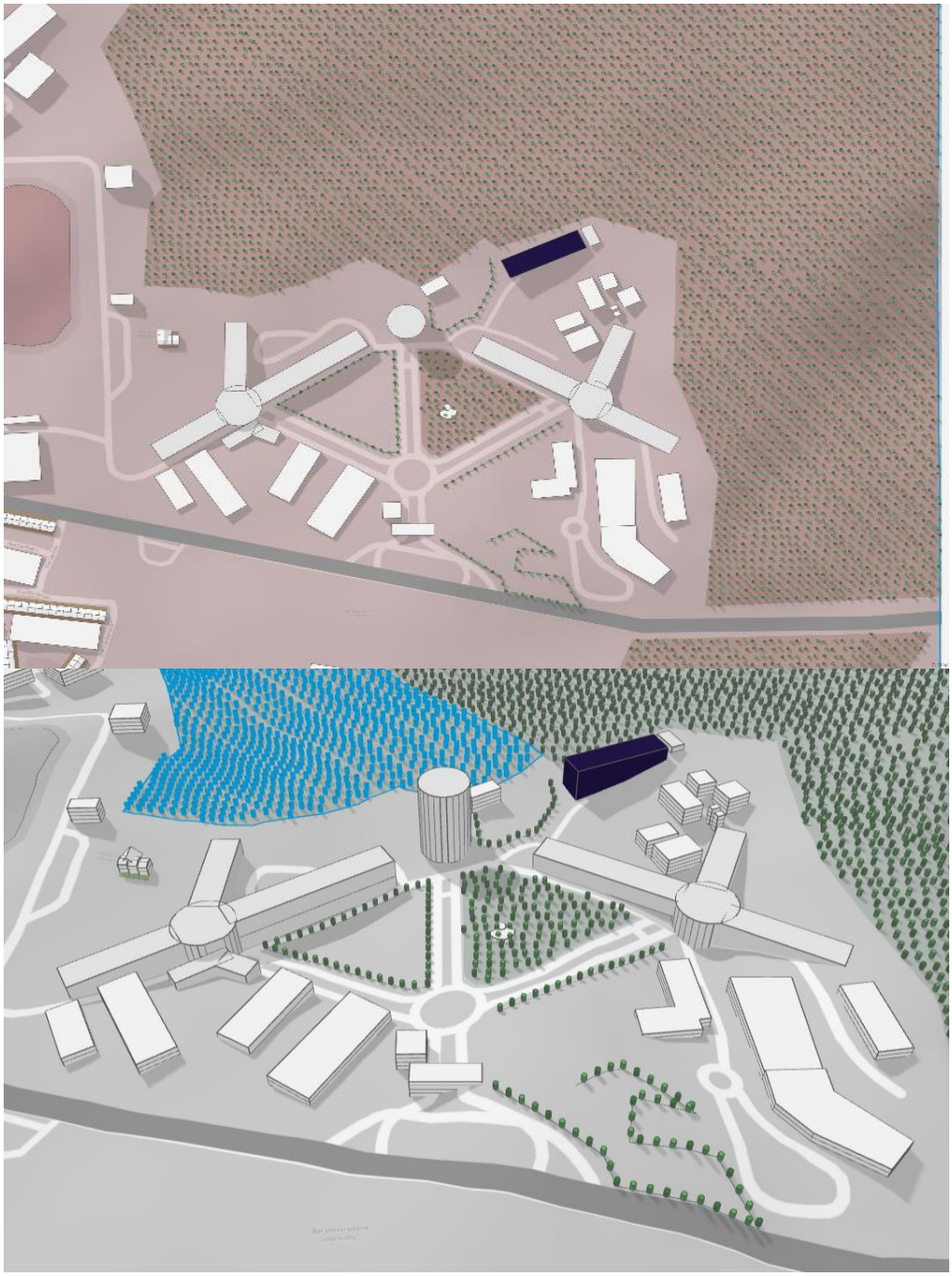
Partindo desta constatação, torna-se necessário quantificar esta percepção por meio de simulações numéricas de fluidodinâmica computacional (CFD) aplicada à ventilação natural, considerando todos os aspectos envolvidos, como a direção característica dos ventos, obstáculos, relevo e rugosidade do terreno, de forma a se entender o comportamento dos ventos e seus impactos sobre a edificação estudada. Esta ferramenta permite entender a influência dos obstáculos sobre a direção dos ventos, o grau de turbulência gerado, e percentual residual destes que chegam até a edificação.

METODOLOGIA APLICADA

Para compor esta análise, segundo [5] são necessários três tipos de dados: frequência de ocorrência por direção dos ventos em termos de porcentagem de tempo; velocidade dos ventos; e características gerais tais como brisas quentes ou frias. Para a obtenção destes dados, foi desenvolvido uma maquete eletrônica do Campus Universitário e do seu entorno, incluindo relevos, vegetação e parte do bairro adjacente, com formas aproximadas, com cerca de 5 km² de extensão. Em seguida, foram coletados os parâmetros climáticos obtidos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia e aplicados na ferramenta *Autodesk Forma*, para se calcular a diretriz dos ventos característicos sobre a edificação, como as zonas de influência, direções e velocidades, considerando os aspectos de ocupação do entorno e interferências geomorfológicas.

Em se tratando de referenciais entre a locação predial e a ventilação natural, segundo [6, 7], a fim de otimizar a captação de vento e a redução da interferência de seu fluxo no espaço urbano, “pode-se adotar diretrizes quanto ao seu posicionamento, orientação e forma, que visem à eficiência da captação do vento e à redução da interferência de seu fluxo no espaço urbano.” Assim, tem-se como primordial que seja realizada uma análise de disposição predial; deste modo, cabe comparar a posição relativa do edifício estudado, destacado na Figura 2, e observar o sombreamento dos demais edifícios em relação a ele, como a mitigação da carga de vento residual incidente sobre seus planos de janela.

Figura 2: Locação do Edifício Evandro Sena Freire (em azul) no campus.



Pode-se observar na Figura 2, onde é exibida a maquete desenvolvida, os possíveis fatores de interferência dos ventos sobre o edifício, como a presença das edificações, relevo e da vegetação relativamente densa derivada da Mata Atlântica úmida. Quanto ao bloqueio do fluxo de vento pelos edifícios adjacentes, [3, 7, 8] afirma que “no seu caminho pela cidade, o vento é objeto de deflexões, alterando verticalmente seu perfil de velocidades em função do atrito com as superfícies que constituem a cidade e, consequentemente, reduzindo a pressão incidente sobre as fachadas de edifícios”, enquanto [4] cita que “as pressões do vento nas envoltórias da edificação são alteradas com a presença de elementos externos próximos que mudam

as características do fluxo incidente"; já [8] diz, para uma situação climática litorânea similar à estudada no presente texto

> *Em climas tropicais, a ventilação natural é uma estratégia importante para obtenção de conforto térmico, além de proporcionar melhor qualidade do ar. Entretanto, a presença de anteparos, como muros, no entorno das edificações pode prejudicar o aproveitamento desse recurso.* [8, p.1]

Segundo [7, 9, 10, 11], é muito difícil de se definirem, corretamente, as condições de velocidade e a direção do vento, pois se trata de forças variáveis, que não se pode controlar, como na ventilação mecânica. Deste modo, algumas metodologias de aproximação dos dados e simulação do efeito dos ventos foram expostas pelo autor, tais como os modelos analíticos e empíricos e os modelos CFD que, apesar de dependerem de boa precisão dos dados prévios e de boa capacidade computacional de processamento, são capazes de gerar a melhor aproximação ao efeito real da ventilação; surge assim a necessidade de recorrer aos bancos de dados oficiais fornecidos pelo INMET, obtidos das estações instaladas em portos, aeroportos, universidades e outras instituições. No caso do Edifício Evandro Sena, a estação meteorológica mais próxima fica a situada no Aeroporto Jorge Amado em Ilhéus e da CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira), da qual foram utilizados dados médios da direção e velocidade dos ventos com base em séries históricas. Estas séries históricas têm sua importância, segundo [5], nos setores de transportes hidroviários e aeroviários, na geração de energia e no setor da construção civil; facilitando decisões cruciais na implantação de usinas, vias e demais setores da infraestrutura mundial, pois projetam estatisticamente o comportamento das massas de ar e suas influências por diversos fatores, otimizando o uso dos espaços.

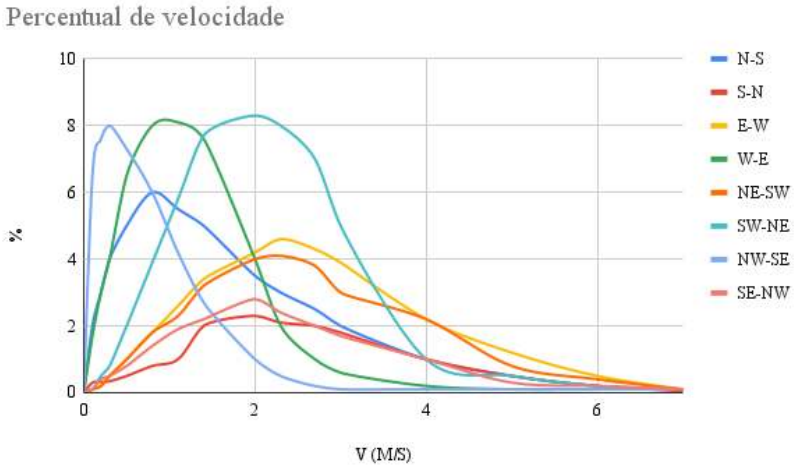
Finalmente, [8, 12, 13] considera que em locais de clima quente e úmido, especificamente em regiões de mata tropical, **a ventilação natural é o principal recurso passivo para obtenção do conforto térmico**, e por conta disso define métodos de simulação computacional como CFD e a simulação térmica/energética. Para o primeiro citado, ferramenta deste estudo, sugere-se duas etapas: a modelagem CFD em si e a análise de desempenho térmico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

FASE 1: DIREÇÃO DOS VENTOS

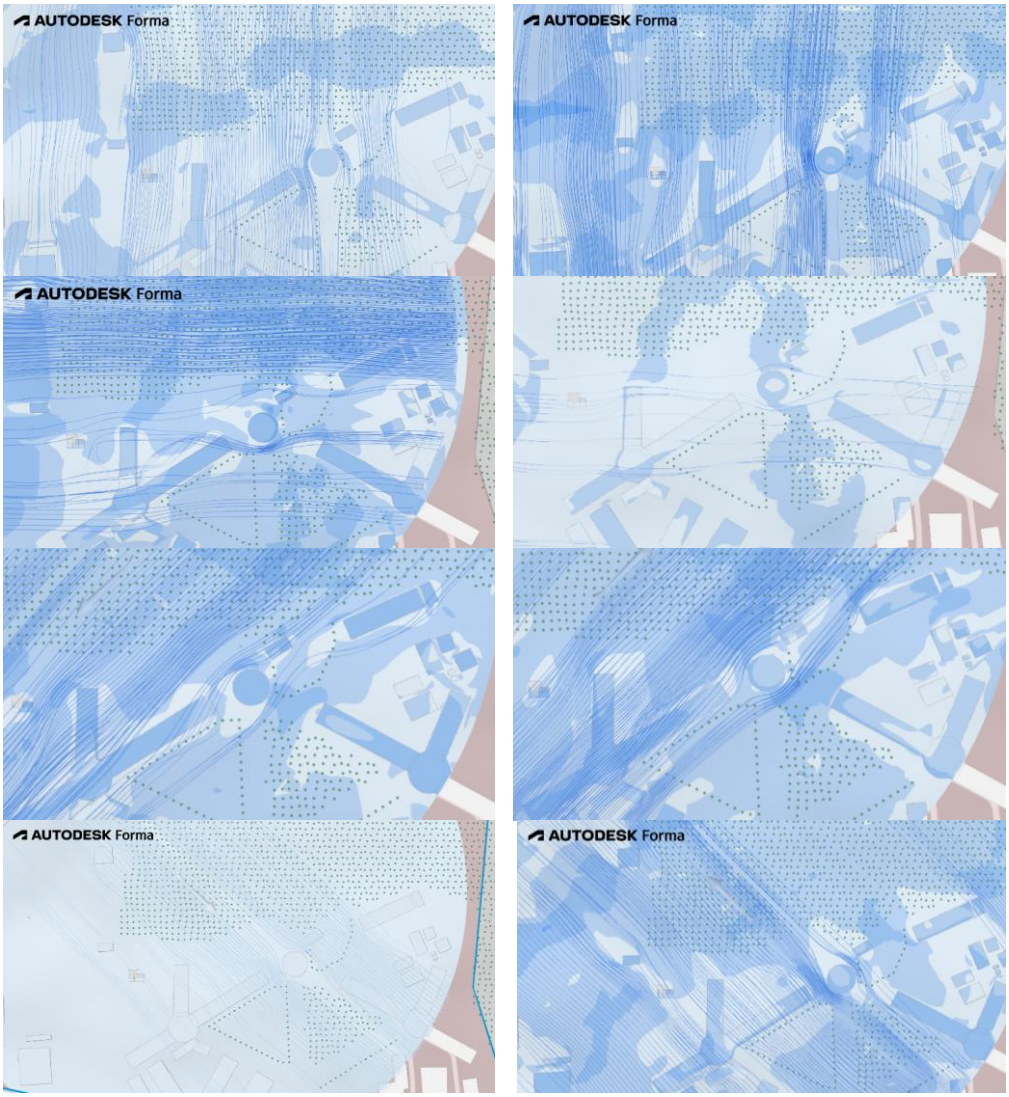
Dentre os dados gerados para uma análise avançada, foram obtidos das referências oficiais as direções e frequência de circulação características do vento dos últimos 12 meses. Estes foram os dados de entrada para a realização de uma modelagem numérica da incidência dos ventos sobre a edificação, bem como a sua velocidade. Estes dados foram tabulados e representados na Figura 3.

Figura 3: Escala das velocidades de vento.



Em seguida, foi modelado com o uso do Autodesk Forma as linhas de fluxo dos ventos para se identificar as zonas de fluxo laminar e turbulento devido aos obstáculos existentes no entorno da edificação, conforme Figura 4 . Da análise primária, notou-se que as linhas de fluxo pouco atingem o edifício em questão, tendo comportamento divergente na maior parte das vezes, seja circundando-o ou distando do mesmo, tornando assim crível a hipótese de influência da rugosidade do terreno e do barramento realizado pelo sombreamento dos demais edifícios e estruturas.

Figura 4: Linhas de fluxo dos ventos predominantes sobre o campus durante 12 meses



Fonte: Autoral. Autodesk Forma.

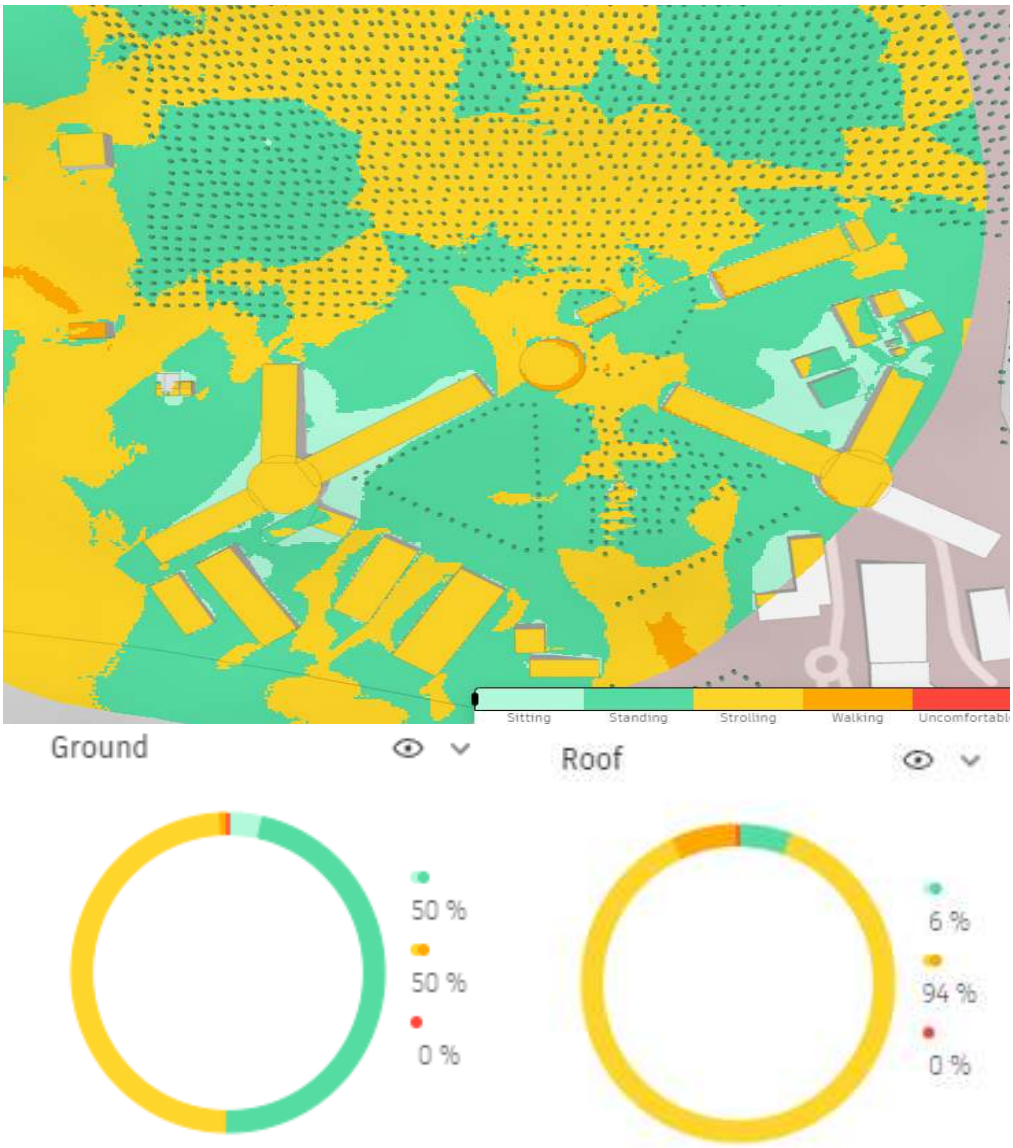
Após as análises, foi possível identificar um fluxo de vento perpendicular a maior fachada da edificação, correspondente ao vento Leste-Oeste, cuja velocidade média é de 2,1 m/s, sendo esta a única direção sem interferências diretas. Tal situação difere nos demais cenários, seja devido a rugosidade do terreno ou da infraestrutura predial instalada nas adjacências, que geram mudanças no regime de fluxo dos ventos.

CONFORTO AMBIENTAL

A temperatura de chegada dos ventos teve sua média medida em 25,5°C, medida sobre o terreno. Pela análise CFD, foi possível estimar as trocas térmicas por convecção da envoltória para o ambiente, considerando o estado atual da edificação sem a instalação de sistemas de ventilação eficientes. Desta forma, a Figura 5 representa o diagrama de conforto da ocupação de espaço referente ao microclima existente no entorno da edificação, de modo geral, sobretudo devido ao baixo fluxo de ventilação em nível da edificação, sendo os ventos predominantes com cota bem

acima da edificação decorrentes dos desvios e turbulências geradas pela rugosidade do entorno.

Figura 5: Diagrama de conforto da ocupação do espaço



Fonte: Autoral. Autodesk Forma

Diante deste aspecto, nota-se que o conforto no edifício tende a ter o pior cenário de trocas térmicas por convecção no pavimento térreo, enquanto os de maior nível conseguem realizar maiores trocas térmicas, embora estes tenham maior exposição a incidência solar gerando maior carga térmica.

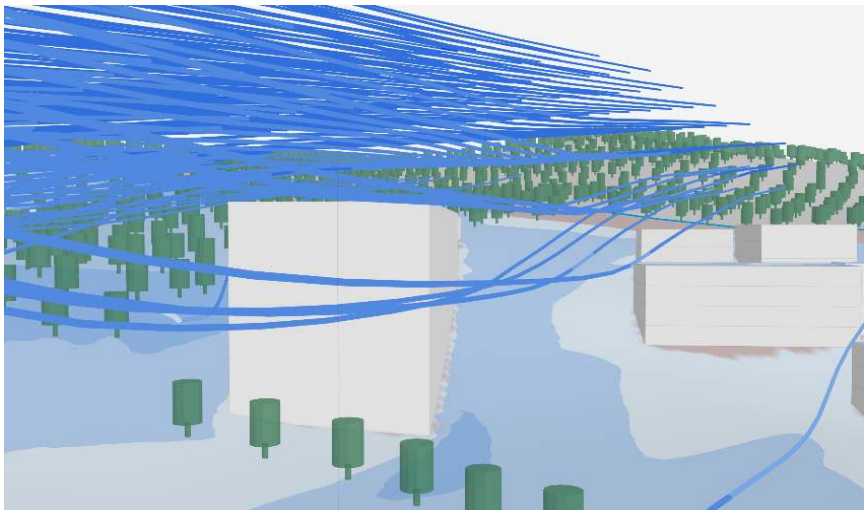
ANÁLISE DAS LINHAS DE FLUXO

Para realizar a análise de fluxo, definiu-se como critério a direção de vento com maior carga incidente na maior fachada. Nos cenários avaliados, sete das oito direções possíveis possuem baixa carga incidente sobre a fachada devido aos diversos obstáculos do entorno, restando a direção Leste-Oeste, como direção de análise por ter seu fluxo com pouca interferência, situação análoga a encontrada por [6]. Neste

cenário, nota-se que a cota de passagem do fluxo dos ventos predominantes ocorre acima da edificação, medidas em 15,50 m, indicando que na zona abaixo há o efeito de retenção de calor e turbulência dos ventos (Figura 6).

As interferências do entorno como as edificações e o relevo ao fundo foram preponderantes no desvio do fluxo dos ventos, indicando que não há vento residual sobre a maior fachada da edificação, tornando a locação atual do edifício inadequada para recebimento dos ventos, e com isso, demandando de condicionamento ativo de ar ou outro método de ventilação forçada mais eficiente.

Figura 6: Visualização tridimensional do edifício Evandro Sena.

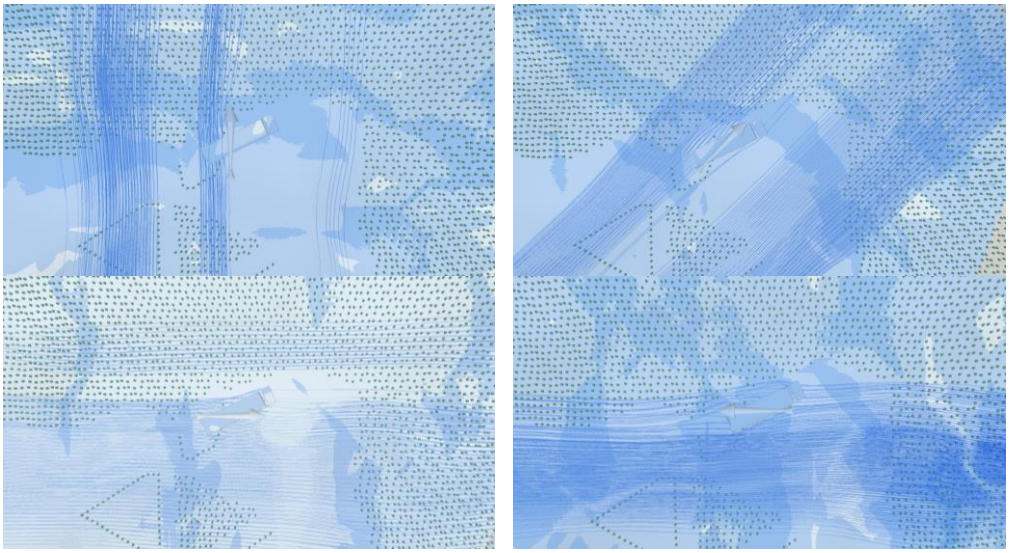


Fonte: Autoral. Autodesk Forma.

ANÁLISE ALTERNATIVA SIMPLIFICADA

Com o objetivo de excluir a influência dos edifícios adjacentes, observando se há de fato influência deste sombreamento sobre o local estudado, foi realizada uma excluindo todas as edificações existentes no campus e mantendo apenas o objeto de estudo e a topografia do entorno. Desta forma, foram repetidos todos os procedimentos de análise descritos para todas as direções de vento predominantes nos 12 meses, sendo o seu resultado na Figura 7.

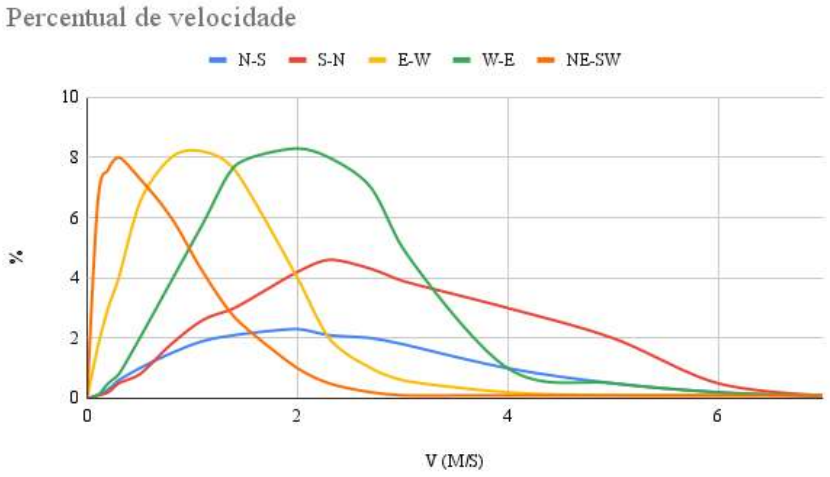
Figura 7: Linhas de fluxo, análise sem prédios.



Fonte: Autoral. Autodesk Forma.

Como na primeira análise, após modelagem numérica da incidência dos ventos sobre a edificação foram tabuladas as velocidades incidentes foram tabuladas e representados graficamente na Figura 8, contendo a velocidade do fluxo dos ventos.

Figura 8: Escala das velocidades de vento, análise sem prédios.

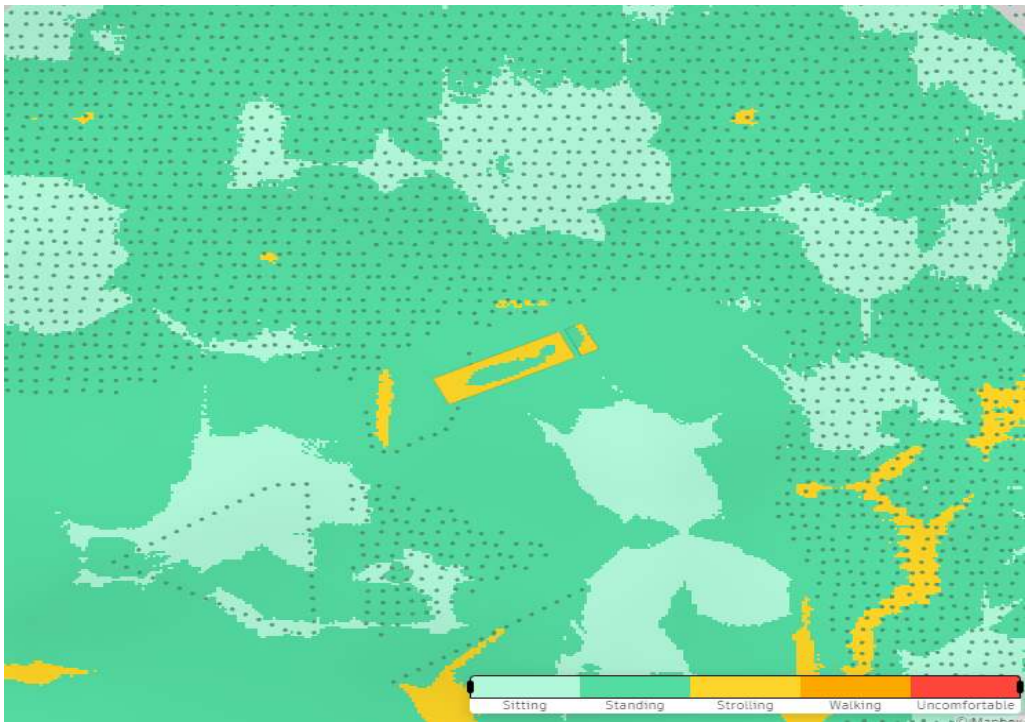


Fonte: Autoral. Autodesk Forma.

Nesta análise, nota-se que não houve grandes alterações das velocidades médias dos fluxos de vento, embora tenha ficado claro o aumento da carga de vento sobre as edificações sem a interferência dos edifícios do entorno. Uma exceção foi observada na direção Sudoeste-Noroeste, provando que neste caso os fatores geomorfológicos geraram barramento ou desvio dos ventos de curta e longa distância. Para as outras direções, foi possível identificar a incidência direta com o desvio dos ventos feitos pela envoltória da edificação. Esta análise confirma a interferência direta da falta de planejamento na locação das edificações e sua interferência na

permeabilidade de ventos, tendo com consequência, um aumento da temperatura média do local (Figura 9).

Figura 9: Diagrama de conforto ambiental análise sem prédios.



Fonte: Autoral. Autodesk Forma.

Com isto, sugere-se a elevação do nível de detalhamento do projeto, com a inclusão de uma área maior de estudo para se identificar os ventos de longo curso, além do uso de simuladores CFD que permita a análise multivariada e multitemporal, associadas a medições da ventilação com anemômetro a nível do terreno e no topo da edificação. Os valores residuais obtidos e validados pelo equipamento de medição podem subsidiar no desenvolvimento de modelos de fluxo de ventos no interior da edificação e a influência das aberturas atuais da fachada no conformo térmico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo mostra que o posicionamento do edifício Evandro Sena Freire, bem como dos demais prédios do campus, compromete a circulação do vento e penetração nos pavilhões comprometendo a ambiência e o conforto térmico nas edificações. Além disso, o relevo do entorno do campus desfavorece o fluxo regular de ventos em todas as direções, já que, por se tratar de um vale, há obstáculos naturais que desviam os ventos predominantes para cotas acima das edificações. Tal condição implica no uso de condicionamento de ar ativo ou ventilação forçada para equacionar o conforto com a usabilidade dos espaços disponíveis.

Já que a posição da edificação é imutável, sugere-se novos estudos para mitigar tal situação como o emprego de sistemas ativo-passivos de aproveitamento da pouca carga de vento ou de sistemas de ventilação energeticamente eficientes como

os sistemas por diferença de pressão. Propõe-se o uso de sistemas passivos como chaminés solares para geração de ventilação cruzada, exaustores passivos no topo da edificação e instalação de “quebra-ventos” nas janelas, além de outras medidas mais custosas como a requalificação da envoltória com materiais refratários, cuja absortância seja menor que os materiais atuais ou o uso de fachadas ventiladas, de forma a reduzir o impacto da energia solar incidente sobre os ambientes internos.

AGRADECIMENTOS

Aos amigos protetores, pelo compartilhamento de todos os momentos. À família, aos amigos, à companheira, e além de parcerias. À ANTAC pelo fomento e incentivo à produção científica no setor AEC no Brasil, de ímpar relevância na disseminação das tecnologias e inovações. A PROPP/UESC, pela ampliação dos projetos de iniciação científica e tecnológica que progridem as engenharias e geociências no sul da Bahia. Aos companheiros dessa jornada e ao Colegiado de Engenharia Civil.

REFERÊNCIAS

[1] SALES, Gustavo de L. **Diagrama de Ventilação Natural:** Ferramenta de Análise do Potencial de Ventilação Natural no Estudo Preliminar de Projeto. Tese; UNB, FAU, PPG. Brasília, 2016. http://dx.doi.org/10.26512/2016.03.T.22747

[2] BEVILAQUA, C. P.; BRESSIANINI, B.; AZUMA, M. H.; LUKIANTCHUKI, M. A. **Análise da ventilação natural: simulações CFD e ensaios em um modelo físico reduzido**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 10, p. e019022, 30 maio 2019. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652835

[3] FILHO, Amando C.C. **RUGOSIDADE E POROSIDADE DO TECIDO URBANO COMO CRITÉRIO DE ANÁLISE QUALITATIVA DA VENTILAÇÃO NATURAL EM CIDADES LITORÂNEAS.** Universidade Presbiteriana Mackenzie, Programa de Pós-graduação em arquitetura e urbanismo. São Paulo, 2017. http://dspace.mackenzie.br/handle/10899/25865

[4] PRIOLO, C. **Design Guidelines and Technical Solutions for NaturalVentilation**. In.: Natural Ventilation in Buildins. Allard, F.(ed.).James &James. London, 2002.

[5] ANTUNES, Francisco Mateus. **MODELAÇÃO EM FLUENT DA VENTILAÇÃO NATURAL DE UM EDIFÍCIO EM COMUNICAÇÃO COM O EXTERIOR.** Universidade NOVA de Lisboa. Lisboa, 2021. http://hdl.handle.net/10362/148927

[6] MALTA, Cínthia S. **Estudos de Séries Temporais de Vento Utilizando Análises Estatísticas e Agrupamento de Dados.** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Rio de Janeiro, 2009. http://hdl.handle.net/11422/7281

[7] CASTAÑO, Héctor Fabián M. **Impacto de dispositivos de sombreamento externos e muro na ventilação natural e no desempenho térmico de uma habitação de interesse social térrea.** Dissertação; Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos. São Carlos, 2017. https://doi.org/10.11606/D.102.2017.tde-04092017-125132

[8] PRATA, Alessandra R. **Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural no meio urbano.** Tese; Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-20012010-113103/en.php

[9] DA COSTA, Isabely P. C.; BARBOSA, Ricardo Victor R.; BARBIRATO, Gianna M. **A INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA DE MUROS VAZADOS NOS PADRÕES DE COMPORTAMENTO DOS VENTOS EM HABITAÇÕES TÉRREAS.** ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: v. 15 (2019): ENCAC/ELACAC. https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3983

[10] FERNANDES, Victor; MORAIS, Juliana M. S. C.; LABAKI, Lucila C. **VENTILAÇÃO EM MEIO URBANO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO EM CFD**. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: v. 15 (2019): ENCAC/ELACAC. https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4101

[11] DA COSTA, Isabely P.; LABAKI, Lucila C. **UMA REVISÃO PRELIMINAR SOBRE A INFLUÊNCIA DOS MUROS NO COMPORTAMENTO DA VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES.** ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: v. 16 (2020/2021): ENCAC/ELACAC. https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4611

[12] TRINDADE, Sileno C.; PEDRINI, Aldomar; DUARTE, Raimundo N. C. **Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios ventilados no clima quente e úmido.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 37-58, out./dez. 2010. https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000400004

[13] DE SOUZA, Henor Artur; RODRIGUES, Luciano S. **Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações.** REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 65(2), 189-194, abr. jun. 2012. https://doi.org/10.1590/S0370-44672012000200007