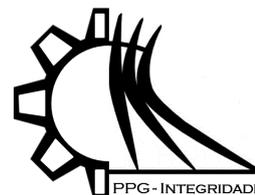




ISSN 2447-6102



Article

## Sobre a Ação do Vento no Campus Gama da Universidade de Brasília - Um Estudo de Dinâmica dos Fluidos Computacional

Isabela Rocha Macedo, Mylena Araújo Valadares, Giovanna Fujimura Soares, Luciano Gonçalves Noletto <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Faculdade do Gama;

\* Correspondência:

Área Especial de Indústria, Projeção A - UnB

Setor Leste - Gama

72444240 - Brasília, DF - Brasil

lucianoletto@unb.br;

Received: 21/08/2023; Accepted: 08/09/2023; Published: 08/09/2023

**Abstract:** Estudos sobre o escoamento do vento em edificações estão crescentemente em expansão devido a sua relação com os efeitos na preservação nas edificações e para estudos de eficiência energética. Compreender as direções e velocidades predominantes dos ventos de uma região auxiliam a determinar seu tipo de escoamento, suas ações e os efeitos das ações. A dinâmica dos fluidos computacional é uma ferramenta aliada neste estudo, através do uso de um modelo computacional da região a ser analisada. Neste contexto, o presente trabalho propõe um estudo computacional do escoamento dos ventos na região da Universidade de Brasília – Faculdade do Gama (FGA), para identificar topologias de escoamento e observar o comportamento de variáveis do escoamento no Campus. Foram estudados os perfis de velocidade e Energia Cinética de Turbulência no domínio determinado para ventos oriundos da direção sul-sudeste. Os resultados obtidos mostraram a formação de zonas de recirculação em áreas do campus.

**Keywords:** Dinâmica dos fluidos computacional; Ação do vento; Faculdade do Gama.

## On the Wind Effects at the Gama Campus of the University of Brasilia – A Computational Fluid Dynamics Study

Isabela Rocha Macedo, Mylena Araújo Valadares, Giovanna Fujimura Soares, Luciano Gonçalves Noletto <sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Brasília, Gama Faculty;

\* Correspondence:

Área Especial de Indústria, Projeção A - UnB

Setor Leste - Gama

72444240 - Brasília, DF - Brasil

lucianoletto@unb.br;

**Abstract:** Studies regarding the wind flow in urban buildings are expanding due to its relationship with the wind effects on its preservations and for energetic efficiency studies. Understanding wind velocity and directions in a urban region help determine the flow type, its actions and effects. Computational Fluid Dynamics is a useful tool for this kind of study, where one can generate a computational model of the region. The present work proposes the computational study of the wind flow at the region of the Gama Campus of the University de Brasília, to identify flow topologies and observe the behavior of flow variables. The velocity and Turbulent Kinetic Energy profiles were studied for winds coming from the South-southeast direction. The obtained results showed the formation of recirculation zones in determined areas of the campus.

**Keywords:** Computational Fluid Dynamics, Wind effects, Gama Campus.



## 1. Introdução

O vento é um fenômeno natural que ocorre devido a movimentação das massas de ar na atmosfera. Seu estudo pode ser realizado a partir de quatro métodos (estudo de campo, estudo teórico, estudo experimental e estudo numérico) e é vital para compreender o seu comportamento em regiões diferentes e as ações que podem ser desencadeadas (Hussein e El-Shishiny (2009)). Outro ponto a ser analisado é se o edifício é rígido ou flexível, pois cada uma dessas características possui diferentes comportamentos para a ação do vento. Para estruturas rígidas tem-se a atuação da força estática, uma vez que os valores de frequências naturais tendem a seguir os efeitos da turbulência presente no escoamento do vento, sem que haja amplificação ou amortecimento, fazendo com que as deflexões que a estrutura possa sofrer sejam irrelevantes (Vogado (2018)). A Norma NBR 61223:1988 (ABNT (1988)) - Forças Devidas ao Vento em Edificações - é a norma brasileira que fixa as condições exigíveis para o cálculo da ação estática e dinâmica do vento em edificações, sendo ela aplicada apenas para edificações de arquitetura comum. São estabelecidos procedimentos para cálculo da força estática e dinâmica do vento nas edificações.

É possível encontrar na literatura estudos numéricos do efeito do vento em edificações para várias aplicações, onde uma área de estudo está na conservação de monumentos e estruturas históricas que sofrem suas ações. O trabalho de Hussein e El-Shishiny (2009) simulou a ação dos ventos no Complexo das Pirâmides de Gizé, no Egito, de modo a avaliar a ação do vento no desgaste da esfinge e das pirâmides do complexo. Outros exemplos podem ser vistos na literatura, citando-se o trabalho de Yan e Li (2016). Os autores realizaram a simulação em CFD e medição *in situ* do vento em terrenos com desníveis de forma a caracterizar o escoamento e ver o efeito de elevações topográficas. Da mesma forma, o trabalho de Han et al. (2022) avaliou numericamente o efeito do vento em edificações tradicionais de madeira na China, tomando como estudo de caso o templo *Baoguo*. Outra aplicação considera o crescimento da utilização dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) para fins profissionais, bem como dos drones para fins recreativos. O trabalho de Sorbelli et al. (2021) disserta sobre a influência do vento no consumo de energia durante um voo de *drone* em ambiente urbano, avaliando seu efeito no veículo e no seu consumo de energia.

A motivação para o estudo da ação do vento no Campus Gama da Universidade de Brasília (UnB) vem inicialmente do fato de que em seus primeiros oito anos, o ambiente do Campus só possuía os prédios. O estacionamento e urbanização da região do Campus foi concluído em 2020 (UnB Notícias 1 (2023)), e durante este tempo os edifícios do Campus foram expostos ao vento e a poeira presente na região. Esta exposição teve efeitos na conservação e estado dos prédios. Além disto, o Campus recebeu logo antes do estacionamento a instalação de usina fotovoltaica para geração local de energia elétrica (UnB Notícias 2 (2023)). A usina também está sujeita aos efeitos do vento e da poeira presente na região.



(a)

(b)

**Figura 1.** Sala das coordenações de graduação e pós-graduação da FGA após danos causados por evento climático: (a) Sala da pós-graduação; (b) Sala da Graduação (Autoria Própria)

No dia 16 de novembro de 2022, uma forte chuva com ocorrência de ventos de alta intensidade causaram a destruição das salas de coordenação de graduação e pós-graduação (Figura 1). Considerando esta ocorrência, e a necessidade de preservação das edificações e dos equipamentos que garantem suprimento de energia deles, observa-se a motivação para estudar a ação do vento nos edifícios no Campus Gama. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é

simular o vento em modelo computacional do Campus. Será usado o *software* ANSYS CFX para executar a simulação. Com ela, pretende-se obter visualizações do escoamento e observar perfis de variáveis do escoamento no modelo.

## 2. Materiais e Métodos

No estado da arte de modelagem da turbulência, para escoamentos incompressíveis, isotérmicos e em regime turbulento, as equações da continuidade e quantidade de movimento podem ser escritas em sua forma média através das equações médias de Reynolds (Silveira Neto (2021)):

$$\nabla \cdot u = 0. \quad (1)$$

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + (\mu + \mu_T) \nabla^2 u. \quad (2)$$

No presente trabalho, o tensor de Reynolds é modelado pela hipótese de Boussinesq (Silveira Neto (2021)), representado na equação 2 pela viscosidade turbulenta  $\mu_T$ . Nas equações 1 e 2,  $u$  e  $p$  representam os campos médios de velocidade e pressão.

### 2.1. Modelagem da Turbulência

O modelo SST, desenvolvido por Menter (1994), tem como princípio a combinação dos modelos de turbulência  $k-\varepsilon$  e  $k-\omega$ . Em regiões afastadas de superfícies sólidas o modelo recupera a formulação do modelo  $k-\varepsilon$ . Por sua vez, em regiões parietais, perto de superfícies sólidas, o modelo recupera a formulação do modelo  $k-\omega$ . As suas equações de transporte são dadas por:

$$\rho \left( \frac{\partial k}{\partial t} + u \cdot \nabla k \right) = P_k - \beta' k \omega \rho + \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \nabla k \right]. \quad (3)$$

$$\rho \left( \frac{\partial \omega}{\partial t} + u \cdot \nabla \omega \right) = \alpha \rho S^2 + \beta \rho \omega + \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\omega} \right) \nabla \omega \right] + 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega 2} + \frac{1}{\omega} \nabla k \nabla \omega. \quad (4)$$

A viscosidade dinâmica turbulenta  $\mu_T$  é dada por:

$$\mu_T = \frac{\alpha_1 k}{\max(\alpha_1 \omega, \Omega F_2)}. \quad (5)$$

Nas equações 4 e 5,  $S$  é o invariante do tensor taxa de deformação do escoamento,  $\Omega$  é a vorticidade e  $F_1$  e  $F_2$  são as funções de mistura do modelo. A formulação destas funções são baseadas na distância até a parede e nas variáveis do escoamento, e dadas por:

$$F_1 = \tanh(\text{arg}_1^4). \quad (6)$$

$$\text{arg}_1 = \min \left[ \max \left( \frac{\sqrt{k}}{\beta' \omega}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} y^2} \right]. \quad (7)$$

$$CD_{k\omega} = \max \left( 2\rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \nabla k \nabla \omega, 10^{-20} \right). \quad (8)$$

Na equação 7,  $y$  é a distância até a parede. A função de mistura  $F_1$  será igual a zero na região afastada de superfícies sólidas e igual a 1 na região parietal do escoamento, que também será a região interna da camada limite turbulenta. Por sua vez, a função  $F_2$  é dada por:

$$F_2 = \tanh(\text{arg}_2^4). \quad (9)$$

$$\text{arg}_2 = \max \left( \frac{2\sqrt{k}}{\beta' \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right). \quad (10)$$

Um limitador de produção de turbulência é aplicado nesta função de modo a evitar o crescimento da turbulência em regiões de estagnação. Este limitador é restrito à região parietal da camada limite turbulenta, e será dado em notação indicial por:

$$P_k = \mu_T \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right). \quad (11)$$

$$\overline{P}_k = \max(P_k, 10\rho\beta^*k\omega). \quad (12)$$

As constantes do modelo são definidas como uma combinação das constantes correspondentes dos modelos  $k-\varepsilon$  e  $k-\omega$  através da seguinte função:

$$\alpha = \alpha_1 F_1 + \alpha_2 (1 - F_1) + \dots. \quad (13)$$

Os valores das constantes são:  $\beta = 0,09$ ,  $\alpha_1 = 5/9$ ,  $\beta_1 = 3/40$ ,  $\sigma_{k1} = 0,5$ ,  $\sigma_{\omega1} = 0,5$ ,  $\alpha_2 = 0,44$ ,  $\beta_2 = 0,0828$ ,  $\sigma_{k2} = 1$ ,  $\sigma_{\omega2} = 0,856$ . A equação de transporte para  $\omega$  permite uma formulação para regiões parietais que muda gradualmente de modelagem a depender da distância até a superfície sólida. Para que este modelo forneça bons resultados, faz-se necessário um refinamento adequado da malha de cálculo nestas regiões (Menter (1994)).

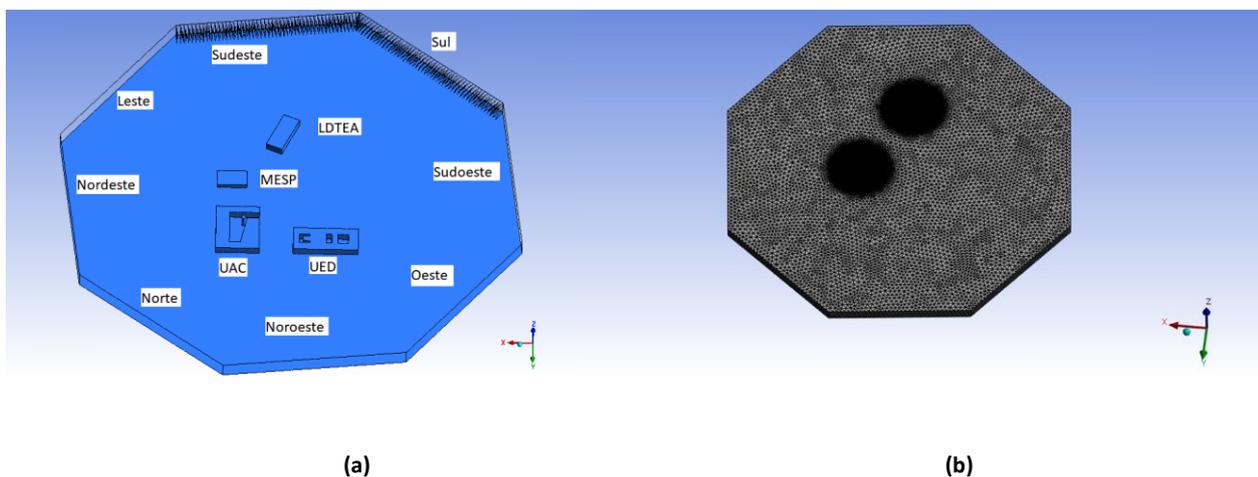
## 2.2. Domínio de Cálculo e Malha

A região analisada neste trabalho compreende as imediações da Faculdade do Gama, que é uma extensão da Universidade de Brasília localizada no Setor Leste da Região Administrativa do Gama, no Distrito Federal. Para melhor observar as direções de vento nesta região, escolheu-se um domínio em formato de octógono no módulo de geometria do código ANSYS para representar todas as direções da rosa dos ventos (Figura 2a). Para obter as medidas dos prédios, utilizou-se a ferramenta *Google Earth* e as informações mantidas pela administração do campus. Já para determinar o posicionamento geográfico dos prédios no campus, utilizou-se a ferramenta *Google Earth* para determinar seu alinhamento em relação à rosa dos ventos. Considerou-se também não haver desnível geográfico significativo no campus de forma a não considerá-lo no domínio. A tabela 1 mostra as dimensões de cada prédio do domínio:

**Tabela 1.** Dimensões dos prédios

Prédio	Comprimento x Largura x Altura
UAC	57 x 71,5 x 10 m
UED	85,5 x 36 x 10 m
MESP	38,5 x 24 x 5 m
LDTEA	22,5 x 55 x 15 m

Para o presente trabalho, optou-se por analisar a ação do vento nos prédios já consolidados no Plano Diretor do do Campus, que são a Unidade Acadêmica (UAC), a Unidade de Ensino e Docência (UED), o Laboratório de Desenvolvimento de Transportes e Energias Alternativas (LDTEA) e o Módulo de Serviços e Equipamentos Esportivos (MESP). Neste sentido, foram excluídos do domínio computacional os painéis fotovoltaicos no telhado, a praça solar e a praça de containeres para simplificar a geometria e para respeitar o projeto vigente do plano diretor e pelo fato de que a última praça está em processo de movimentação dentro do campus. O domínio octogonal foi determinado de forma tal que o lado do octógono tenha 10 vezes o comprimento médio dos prédios.



**Figura 2.** Modelo Computacional do Campus Gama da UnB: (a) Domínio de Cálculo (b) Domínio Discretizado com Malha tetraédrica

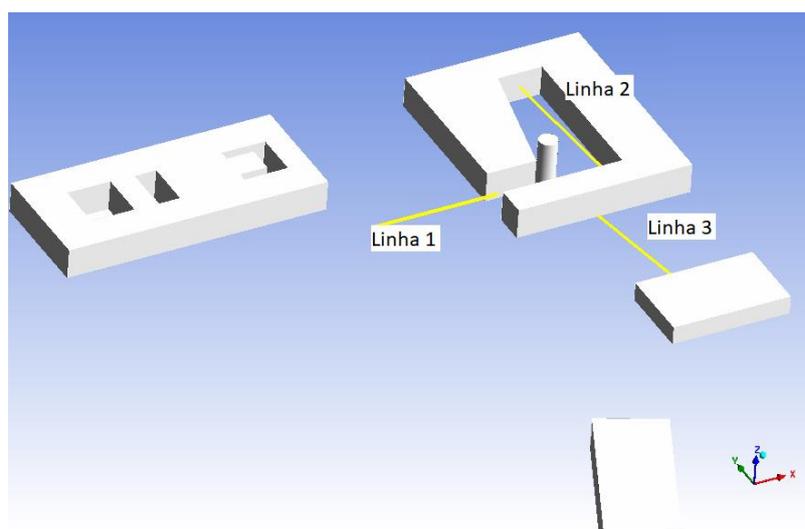
Para a malha de cálculo, foi-se utilizada uma malha não-estruturada composta por elementos tetraédricos (Figura 2b). Para uma análise inicial, escolheu-se refinar a região em torno do LDTEA e entre a UAC e o MESP por se tratarem dos centros com maior movimentação de pessoas da comunidade do campus. O refinamento escolhido foi de cerca de 5% do tamanho global da malha de modo a buscar capturar qualquer estrutura turbulenta ocorrente nesta região. A tabela 1 mostra as estatísticas e métricas da malha. Nota-se que, de acordo com ANSYS (2015) para simulações de Dinâmica dos Fluidos Computacional, a qualidade ortogonal mínima deve ficar acima de 0,1, a dissimetria deve ficar abaixo de 0,95 e a razão de aspecto máxima deve ser inferior a 100. Observa-se portanto que os valores dispostos na tabela 1 para as métricas se encontram em conformidade com as boas práticas para geração de malha.

**Tabela 2.** Estatísticas e métricas de qualidade da malha

Grandeza	Valor
Número de Nós	469290
Número de Elementos	2652776
Qualidade Ortogonal Mínima	0,21402
Dissimetria Máxima	0,78598
Razão de Aspecto Máxima	9,6811

### 2.3. Condições de Contorno e Perfis

O regime de ventos no Distrito Federal e na região da Ponte Alta no Gama foi mensurado através da Estação Meteorologia Automática Gama (Ponte Alta) (INMET, 2021). Analisando os dados obtidos entre outubro de 2018 e setembro de 2021 é possível observar na Figura 4 um padrão de ventos na região. Observa-se uma predominância de ventos recebidos na região do campus oriundos da direção Sul-Sudeste (SSE) com uma velocidade média do vento predominante entre 2,10 e 3,60  $m/s$  para o período. Baseado neste trabalho e estudo, estabeleceu-se nas fronteiras sul e sudeste do domínio na figura 2a a velocidade especificada de 3,6  $m/s$  como condição de contorno de entrada. Nas demais fronteiras laterais do domínio e na fronteira de topo, estabeleceu-se condição de contorno de abertura (*opening*), o que permite que o escoamento possa atravessar a fronteira em qualquer direção e sentido. Por sua vez, estabeleceu-se nos prédios e no solo a condição de contorno de parede com a condição de não-escorregamento. Por se tratar de um escoamento externo, a pressão no domínio foi considerada como a pressão atmosférica local da região do DF, que se encontra cerca de 1000 metros acima do nível do mar.



**Figura 3.** Localização dos perfis medidos de Velocidade e Energia Cinética de Turbulência

No sentido de se observar a ação do vento oriundo da direção sul-sudeste na região de maior movimentação dentro do campus, três linhas foram traçadas para se levantar os perfis de velocidade e energia cinética de turbulência.

A linha 1 está localizada entre os prédios UAC e UED na altura do topo dos prédios. A linha 2 está na área aberta interna da UAC na altura média do prédio, ao passo que a linha 3 está entre os prédios UAC e MESP perto do nível do solo.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Visualização do Escoamento

A Figura 4 mostra a topologia do escoamento do vento no campus. Observa-se da figura 4a o surgimento de zonas de recirculação no LDTEA, entre o MESP e a UAC e entre a UED e a UAC mais perto da parede nordeste da UED. Ressalta-se que na realidade, o escoamento que chega na UED da direção sul-sudeste é amortecido por árvores localizadas nesta região, e por contêineres que serão retirados para compor a futura praça de contêineres ao lado do LDTEA. Por este motivo, a análise do escoamento não irá explorar esta região. Nota-se que a esteira gerada pelo escoamento a jusante do LDTEA impacta o escoamento no espaço entre a UAC e a UED, gerando uma zona de recirculação. No que tange ao escoamento em torno da UAC, observa-se a presença de zonas de recirculação na área aberta interna do prédio (Figura 4b), bem como na área entre a UAC e o MESP. De forma geral, a velocidade do vento nestes prédios não atinge valores maiores a aproximadamente 3 m/s nas condições de vento estabelecidas pela simulação. Notam-se regiões de baixa velocidade, inferiores a 1 m/s nas áreas interna da UAC e entre a UAC e o MESP.

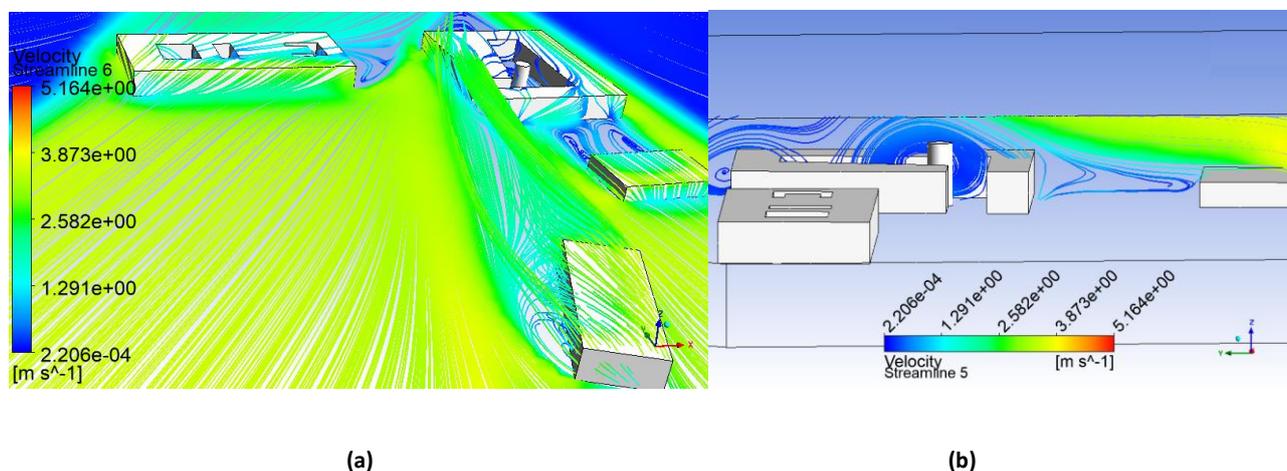
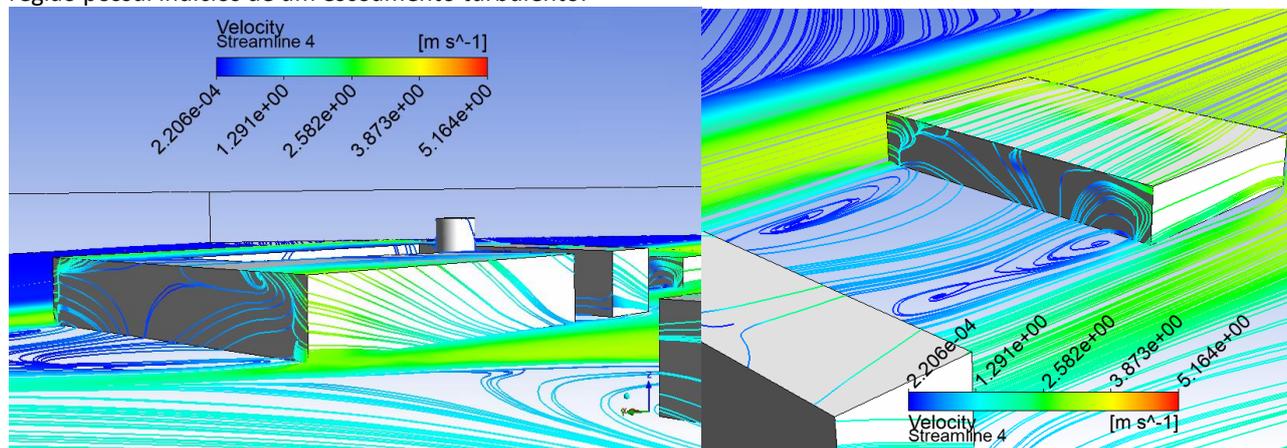


Figura 4. Linhas de Corrente (a) Vista Sul (b) Vista Sudoeste

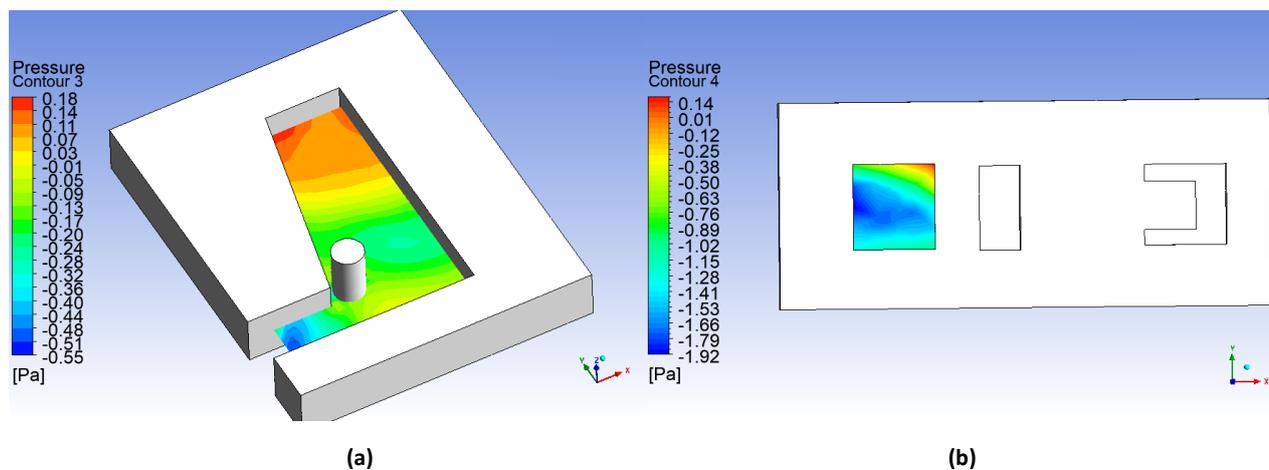
A figura 5 mostra as linhas de cisalhamento projetadas nas superfícies dos prédios UAC e MESP e no solo do Campus. Estas linhas evidenciam as zonas de recirculação observadas entre a UAC e o MESP, bem como observam a variação da velocidade do vento ao longo destes prédios. Na figura 5a, nota-se que o escoamento muda de direção, indo para oeste após passar pela UED, apontando que um possível motivo para esta mudança se deve à esteira oriunda do LDTEA. Também se nota uma zona de recirculação na face Noroeste da UAC, oriunda das esteiras combinadas do LDTEA, do MESP e da própria UAC. A figura 5b mostra zonas de recirculação entre a UAC e o MESP, indicando que esta região possui indícios de um escoamento turbulento.



(a) (b)

**Figura 5.** Linhas de Cisalhamento do Escoamento do vento no Campus Gama (a) Vista Noroeste da UAC (b) Vista Noroeste do MESP

A figura 6 mostra contornos de pressão nas áreas internas dos prédios UAC e UED. A figura 6a mostra um gradiente de pressão adverso (Pressão aumentando) da direção sudeste para noroeste, ao passo que na figura 6b observa-se um gradiente de pressão adverso de oeste para norte. Ressalta-se que nesta região da UED estavam localizadas as salas cuja destruição foi mostrada na figura 1. Logo, infere-se que, em uma situação de vento intenso, este gradiente de pressão será muito mais significativo do que o mostrado na figura. Da mesma forma, a depender da intensidade do vento, o gradiente de pressão na UAC poderá também mostrar variações mais significativas. Estudos posteriores serão necessários para avaliar o escoamento destas regiões e seus respectivos gradientes de pressão.



**Figura 6.** Contornos de Pressão em Regiões Internas dos Prédios do Campus (a) UAC (b) UED

### 3.2. Perfis do Escoamento

A figura 7 mostra os perfis de velocidade e intensidade de turbulência na linha 1, localizada no espaço entre a UAC e a UED. Nota-se da figura 7a um decréscimo da velocidade. Ressalta-se que a origem da abscissa deste gráfico está posicionada na UAC, o que indica que ao se avaliar a velocidade na direção da UAC para a UED, a velocidade decresce. Este comportamento está associado ao efeito da esteira do LDTEA nesta região e na própria UAC. Na figura 7b, observa-se o comportamento da energia cinética de turbulência. Observa-se um pico de energia cinética de turbulência aproximadamente no ponto médio do espaço entre os prédios, o que indica que a esteira oriunda do LDTEA influencia o comportamento do escoamento e seu respectivo comportamento turbulento.

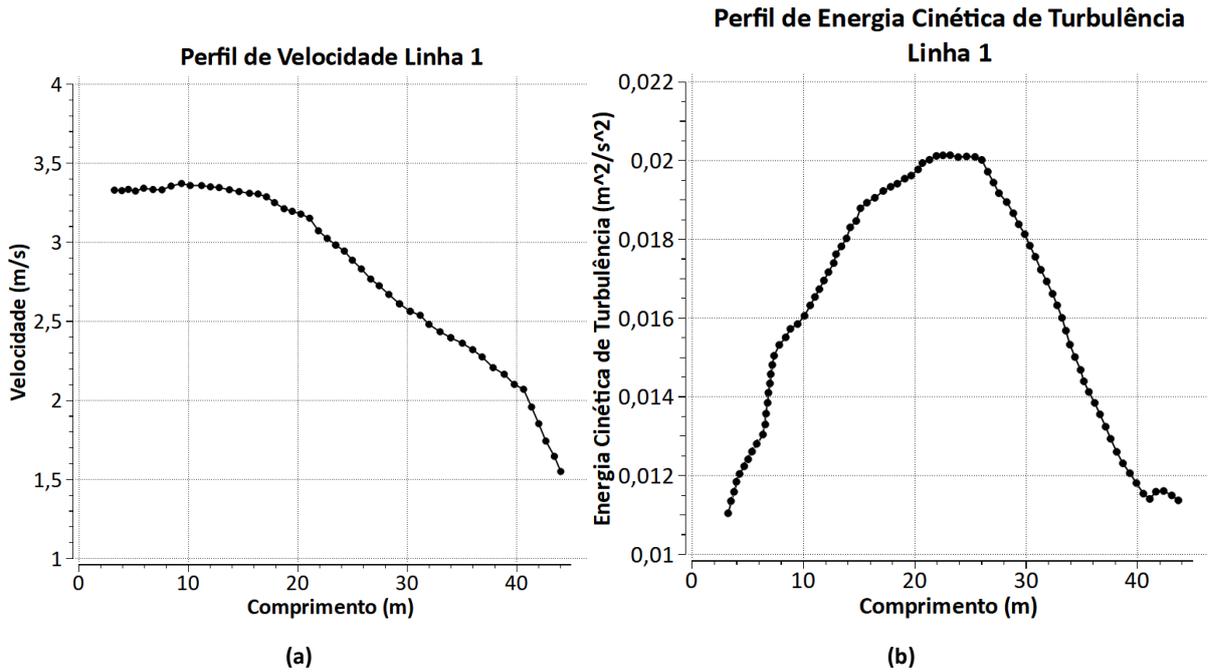


Figura 7. Perfis Obtidos na Linha 1 (a) Velocidade (b) Energia Cinética de Turbulência

A figura 8 mostra os perfis de velocidade e energia cinética de turbulência na linha 2, localizada no espaço aberto interno da UAC. A figura 8a mostra uma variação local de velocidade da ordem de 0,3 m/s, o que é consistente com a visualização do escoamento mostrado nas figuras 4b e 6a. Esta variação pode ser consequência da influência da esteira do LDTEA e da esteira do MESP. A figura 8b mostra um decaimento da energia cinética de turbulência, o que pode indicar a natureza do escoamento em mudar sua direção. Nota-se também que este decaimento não é uniforme e possui alguns picos, o que indica que esta região pode possuir flutuações de velocidade típicas de escoamentos turbulentos.

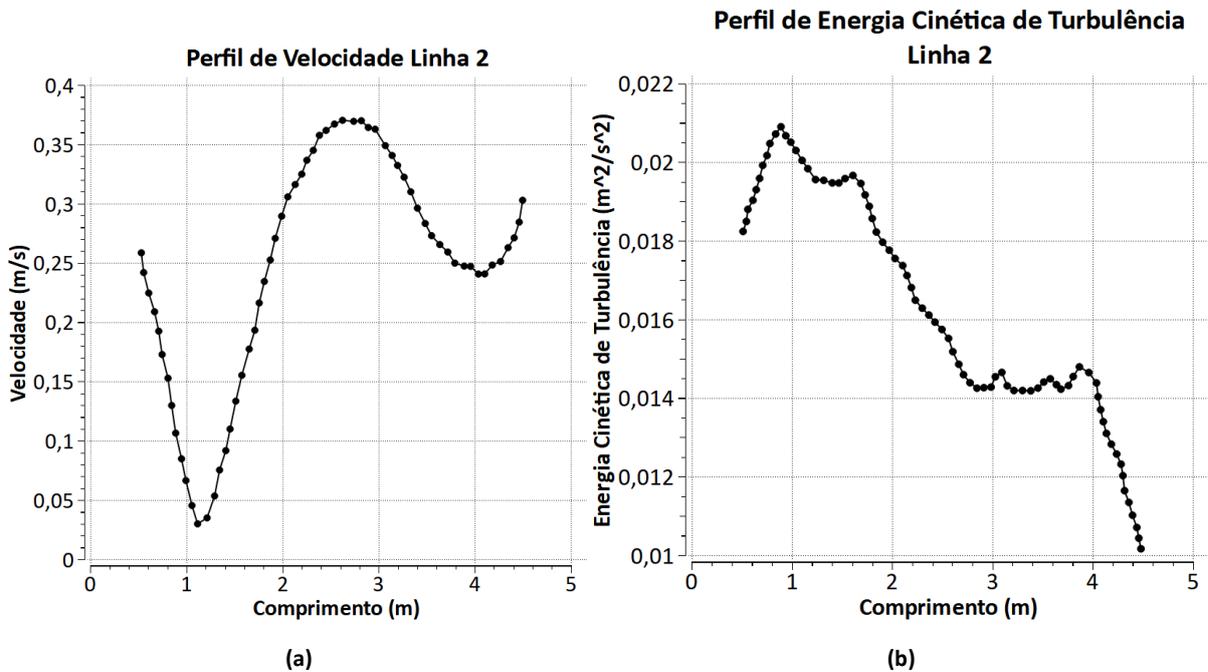


Figura 8. Perfis Obtidos na Linha 2 (a) Velocidade (b) Energia Cinética de Turbulência

A figura 9 mostra os perfis de velocidade e intensidade de turbulência na linha 3, localizada no espaço entre a UAC e o MESP. A figura 9a mostra um decréscimo da velocidade com subsequente aumento, o que representa a zona de recirculação a sudoeste do MESP. Ao longo da linha, indo na direção nordeste, observa-se que a velocidade aumenta e depois decresce ligeiramente, o que indica que a zona de recirculação a nordeste do MESP não possui a mesma intensidade da zona a sudoeste. Esta diferença pode ser explicada pelo efeito da esteira oriunda do LDTEA, que possivelmente intensifica a turbulência desta região. A figura 9b mostra também um decréscimo da energia cinética de turbulência com alguns picos, o que pode refletir a influência da esteira do LDTEA nesta região do Campus.

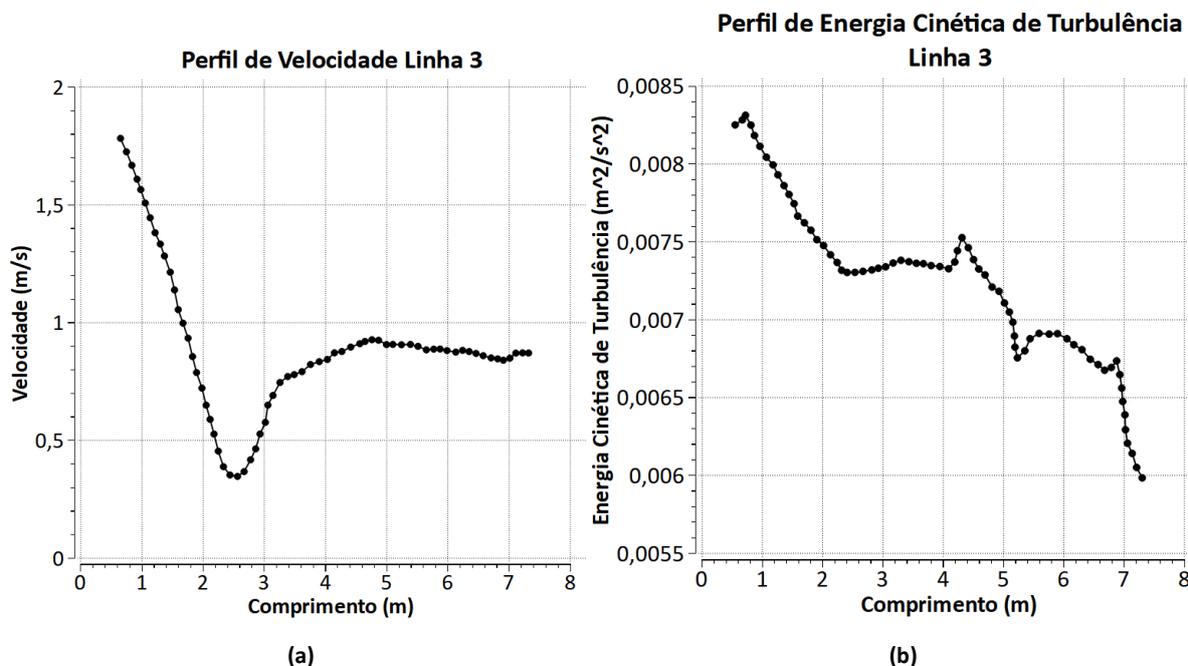


Figura 9. Perfis Obtidos na Linha 3 (a) Velocidade (b) Energia Cinética de Turbulência

### 3.3. Forças do vento no LDTEA

A tabela 2 mostra as forças exercidas pelo vento no prédio LDTEA. Observa-se que as forças nas direções y (Que aponta para a direção noroeste) e z (Que aponta para o céu) mostram valores cerca de 2,5 (Para a força em y) a 3 vezes (Para a força em z) o valor da força em x (Que aponta para a direção nordeste). Estes valores indicam que quando o escoamento vem da direção sul-sudeste, as forças exercidas pelo vento irão exercer carregamentos na direção oposta da origem do vento (De sul para norte). Nota-se uma predominância da componente z, o que pode ser justificado pelo fato de que o escoamento do vento mudará sua direção para esta direção devido a presença de um obstáculo ao mesmo. No sentido de confirmar as hipóteses levantadas pela simulação, outros estudos devem ser executados, onde o valor e a direção do vento de entrada devem ser alterados para ver o comportamento das forças no LDTEA e em outros prédios do Campus.

Tabela 3. Forças exercidas pelo vento no LDTEA

Componente da Força	Valor
$F_x$	-779,94 N
$F_y$	1865,00 N
$F_z$	2325,48 N

### 4. Conclusões

Foram apresentados resultados da simulação do escoamento do vento em modelo computacional do campus Gama da UnB. Os resultados apresentados foram de linhas de corrente, linhas de cisalhamento, contornos de pressão e levantamento dos perfis de velocidade e energia cinética de turbulência nas áreas de maior movimentação de pessoas.

As imagens da topologia do escoamento mostraram a presença de zonas de recirculação no interior da UAC, e entre este prédio e seus vizinhos. Observou-se a formação de uma zona de recirculação no LDTEA, e a esteira formada por este prédio impacta na formação de estruturas turbulentas na UAC. Os contornos de pressão indicaram gradientes de pressão nas regiões internas abertas dos prédios, o que em uma situação de vento acima da média medida pelo INMET, pode ser o responsável pelo dano descrito na Introdução deste trabalho. Os perfis de velocidade e energia cinética de turbulência mostraram variações destas grandezas que indicam a influência da esteira gerada pelo LDTEA nas zonas de recirculação observadas na UAC e suas vizinhanças. Finalmente, as forças exercidas pelo vento no LDTEA indicam que este prédio receberá carregamentos oriundos da direção do escoamento.

Conclui-se que a simulação apresentada no presente trabalho forneceu subsídios para elucidar as causas da destruição descrita na Introdução e pode também fornecer subsídios para ações de preservação dos prédios e de eficiência energética do Campus. No entanto, são necessárias mais informações para obter estes subsídios, que podem ser obtidas através das seguintes ideias de trabalhos futuros: Medição *in situ* do vento no Campus, estudo computacional e experimental de propagação de partículas de poeira pelo vento, estudo computacional do vento nas demais direções em volta do Campus e caracterização da turbulência neste escoamento. Além disto, o modelo computacional deverá receber a praça solar, as placas solares no telhado dos prédios e a praça de contêineres assim que estes forem incorporados ao plano diretor do Campus.

## 5. Referências

1. ANSYS, I. Mesh Quality and Advanced Topics Introduction to ANSYS Meshing. Release 15.0, p. 37, 2015.
  2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988. 69 p.
  3. B.W. Yan, Q.S. Li. Coupled on-site measurement/CFD based approach for high-resolution wind resource assessment over complex terrains. *Energy Conversion and Management*, 117 (2016), pp. 351-356 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.076>.
  4. Han, Y.; Chun, Q.; Xu, X.; Teng, Q.; Dong, Y.; Lin, Y.; Wind effects on Chinese traditional timber buildings in complex terrain: The case of Baoguo Temple, *Journal of Building Engineering* 59 (2022) 105088. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105088>.
  5. HUSSEIN, A. S.; EL-SHISHINY, H. Influences of wind flow over heritage sites: A case study of the wind environment over the Giza plateau in Egypt. *Environmental Modelling Software*, v. 24, n. 3, p. 389–410, 2009. ISSN 1364-8152. DOI:10.1016/j.envsoft.2008.08.002
  6. INMET. Tabela de Dados das Estações. 2021. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/CondicoesRegistradas>
  7. MENTER, F. R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, v. 32, n. 8, p. 1598–1605, 1994, DOI: 10.2514/3.12149
  8. Silveira Neto, A.; *Escoamentos Turbulentos: Análise Física e Modelagem Teórica*, 1ª Edição, Editora Composer, Uberlândia, Brasil, 2021. ISBN-10: 6599036511.
  9. SORBELLI, F. B. et al. Energy-constrained delivery of goods with drones under varying wind conditions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 22, n. 9, p. 6048–6060, 2021.
  10. UnB Notícias 1 - Faculdade UnB Gama recebe obra do estacionamento. Disponível online: <https://noticias.unb.br/76-institucional/4260-faculdade-unb-gama-recebe-obra-do-estacionamento> (Acessado em 11/08/2023)
  11. UnB Notícias 2 - Universidade inaugura usina de energia solar no Gama. Disponível online: <https://noticias.unb.br/76-institucional/3752-universidade-inaugura-usina-de-energia-solar-no-gama#:~:text=A%20Faculdade%20UnB%20Gama%20%28FGA%29%20passou%20a%20contar,capacidade%20m%C3%A1xima%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20104%2C6%20kWp%20%28quilowatt-pico%29> (Acessado em 11/08/2023)
- Vogado, M. W. CARACTERIZAÇÃO AERODINÂMICA DE EDIFÍCIOS ALTOS COM PLANTA EM FORMATO DE “V” ATRAVÉS DE ANÁLISE ESPECTRAL, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS, Apresentada em 24/05/2018.