

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO - CAU

POLLYANNA PADRE DE MACEDO

VOLUMETRIA PARA CAPTAÇÃO DE VENTO:
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE SOLUÇÕES ARQUITETÔNICAS PARA
FORÇAR DIFERENÇAS DE PRESSÃO ENTRE ABERTURAS

CAMPINA GRANDE (PB)

AGOSTO DE 2017

POLLYANNA PADRE DE MACEDO

VOLUMETRIA PARA CAPTAÇÃO DE VENTO:
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE SOLUÇÕES ARQUITETÔNICAS PARA
FORÇAR DIFERENÇAS DE PRESSÃO ENTRE ABERTURAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Arquitetura e Urbanismo (CAU) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como requisito à obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo, sob orientação do Prof.º Dr. Raoni Venâncio dos Santos Lima .

CAMPINA GRANDE (PB)

AGOSTO DE 2017

Trabalho de Conclusão de Curso “VOLUMETRIA PARA CAPTAR VENTO: SIMULAÇÃO DE SOLUÇÕES ARQUITETÔNICAS PARA FORÇAR DIFERENÇAS DE PRESSÃO ENTRE ABERTURAS”, apresentado por POLLYANNA PADRE DE MACEDO, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo outorgado pela Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Curso de Arquitetura e Urbanismo.

APROVADO EM: 04 de setembro de 2017


BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Raoni Venâncio dos Santos Lima
Orientador - Presidente



Prof.ª. Me. Karla Azevedo dos Santos
Examinadora Interna



Prof.ª. Dr.ª. Juliana Magna da Silva Costa Moraes
Examinadora Externa

*“Pois toda casa é construída por alguém,
mas Deus é o edificador de tudo.”*

(Hebreus 3:4)

*“Pois dele, por ele e para ele são todas as coisas.
A ele seja a glória para sempre! Amém.”*

(Romanos 11:36)

RESUMO

A ventilação natural por ação dos ventos é uma das estratégias bioclimáticas mais eficazes para melhorar o conforto no interior da edificação, uma vez que é útil para a manutenção da qualidade do ar nos ambientes, termorregulação das edificações e resfriamento fisiológico dos usuários. Deste modo, compreender as relações das variáveis arquitetônicas com os condicionantes externos, principalmente em um clima quente, é preciso para identificar os fatores que interferem e influenciam a captação do vento, a fim de reduzir os ganhos indesejáveis de calor e fornecer condições ambientais confortáveis no interior da edificação para o desenvolvimento de atividades. Porém, quanto maior o nível de desempenho esperado de um projeto arquitetônico, os critérios devem ser mais rigorosos e com avaliações mais precisas, apontando assim para os métodos quantitativos, os quais os arquitetos não têm muita afinidade. Portanto, sabendo que os ganhos térmicos podem ser amenizados pela arquitetura, o presente trabalho busca verificar o desempenho de modelos volumétricos para captação de ventos, baseado em recomendações projetuais (solução sintética para determinada situação), como recursos para forçar diferenças de pressão e velocidades internas do ar, maximizando a ventilação cruzada, com o auxílio do programa *Autodesk CFD 2016* de simulação de dinâmica de fluidos computacional (*Computational Fluid Dynamics - CFD*), por sua precisão e praticidade. Logo, a simulação computacional foi o processo que requereu maior dedicação e atenção, pois exigiu uma grande demanda de tempo, seja pela quantidade de variáveis envolvidas ou pelo próprio processamento de resultados ou limitações do software. Esta fase foi dividida em três etapas: simulação externa - classificatória (i); simulação internas - desempenho (ii); e simulação interna - comparativo e abrangência (iii). Ao todo foram modelados, simulados e analisados cinquenta e nove modelos, o que representa uma amostra do potencial que se tem, ao utilizar as recomendações projetuais para aumentar o desempenho da volumetria quanto à ventilação, ao forçar diferenças de pressão e velocidades internas do ar. Contudo, para saber aplicar essas estratégias na prática, é preciso analisar e abstrair os resultados fornecidos pelo programa, para que não haja uma repetição literal do princípio, tendo assim, um respaldo quantitativo na tomada de decisões arquitetônicas, contribuindo para uma arquitetura mais eficiente.

Palavras-chave: Ventilação natural, Simulação computacional, Recomendação projetual.

ABSTRACT

Natural ventilation by the action of the winds is one of the most effective bioclimatic strategies to improve comfort inside the building, since it is useful for the maintenance of air quality in environments, thermoregulation of buildings and physiological cooling of users. Therefore, understanding the relationships between architectural variables and external constraints, especially in a hot climate, is necessary to identify the factors that interfere and influence wind capture, in order to reduce undesirable heat gains and provide comfortable environmental conditions within the building for the development of activities. However, the higher the level of performance expected from an architectural project, the more rigorous the criteria should be, and the more accurate the assessments should be, thus pointing to quantitative methods, which architects do not have much affinity for. Therefore, knowing that the thermal gains can be softened by the architecture, the present work seeks to verify the performance of volumetric models for capturing winds, based on design recommendations (synthetic solution for a given situation), as resources to force pressure differences and internal air velocities, maximizing cross ventilation, with the aid of the Autodesk CFD 2016 computational fluid dynamics simulation program (*Computational Fluid Dynamics - CFD*), for its accuracy and practicality. Thus, the computational simulation was the process that required greater dedication and attention, since it required a great demand of time, either by the quantity of variables involved or by the own processing of results or limitations of the software. This phase was divided in three stages: external simulation - classificatory (i); internal simulation - performance (ii); and internal simulation - comparative and comprehensiveness (iii). In all, fifty-nine models were modeled, simulated and analyzed, which represents a sample of the potential one has, when using the design recommendations to increase the performance of the volumetry as to ventilation, by forcing pressure differences and internal air velocities. However, in order to apply these strategies in practice, it is necessary to analyze and abstract the results provided by the program, so that there is no literal repetition of the principle, thus having a quantitative support in the making of architectural decisions, contributing to a more efficient architecture.

Keywords: Natural ventilation, Computer simulation, Design recommendation.

SUMÁRIO

Volumetria para captação de vento:
Simulação computacional de soluções arquitetônicas para
forçar diferenças de pressão entre aberturas.

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Ventilação natural	17
3.1.1 <i>Princípios do movimento do ar</i>	19
3.2 Recomendações projetuais	22
3.2.1 <i>Recomendações específicas</i>	27
3.3 Simulação em CFD	38
3.3.1 <i>Dinâmica de Fluidos Computacional - CFD</i>	39
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	45
4.1 Processamento de dados	45
4.2 Simulação computacional	46
4.3 Análise de resultados	47
5. PROCESSAMENTO DE DADOS	48
5.1 Definição do modelo	48
6. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	51
6.1. Descrição e Análise de resultados	51
6.1.1 <i>Simulação externa – Classificatória (1ª Etapa)</i>	51
6.1.2 <i>Simulação interna – Desempenho (2ª Etapa)</i>	59
6.1.3 <i>Simulação interna – Comparativo e abrangência (3ª Etapa)</i>	74
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICE	91

1. INTRODUÇÃO

A preocupação atual com o meio ambiente, motivada pelas mudanças climáticas e necessidades de preservação do mesmo, deve se refletir no nosso modo de pensar, agir e construir nossas cidades. Parte desta responsabilidade está com os profissionais da área de construção, incluindo engenheiros e arquitetos, que, para exercer sua função na sociedade precisam lidar com aspectos externos à proposta projetual.

Desta forma, a correta adequação da edificação aos condicionantes ambientais externos é um bom caminho para obter-se uma construção que use melhor os recursos que o próprio ambiente dispõe, como luz e ventilação natural. Contudo, é necessário saber e entender o que se pode aproveitar e o que se deve evitar, de acordo com a análise climática de cada local, buscando fornecer condições ambientais confortáveis no interior da edificação.

Uma vez que nos encontramos em uma região com o clima quente, temos, aqui no semiárido paraibano, temperaturas relativamente altas durante todo o ano, com poucas variações médias; e as aberturas da edificação são uma das principais maneiras de ganhos de radiação e trocas de calor entre o meio externo e interno. Sendo assim, é importante compreender a necessidade de se utilizar desses recursos naturais como forma de reduzir os ganhos indesejáveis de calor e promover uma melhor sensação térmica ao usuário, fornecendo um ambiente agradável para o desenvolvimento de atividades, utilizando a energia de maneira racional.

Uma das estratégias bioclimáticas mais eficientes para controlar esses ganhos térmicos, reduzir o consumo energético e melhorar o conforto é a ventilação natural. Esta é utilizada, por vezes, de maneira complementar, segundo Lamberts *et al.* (2016), Bittencourt (2010) e Cândido (2006), (i) para a manutenção da qualidade do ar nos ambientes, (ii) termorregulação das edificações e (iii) resfriamento fisiológico dos usuários.

A primeira finalidade, guiada pela NBR 15220-3 (ABNT, 2004), tem como característica a ventilação higiênica, que busca remover eventuais impurezas e odores indesejáveis pela renovação do ar, além de manter os níveis de oxigênio em patamares apropriados e qualidade do ar nos ambientes. Estes aspectos foram discutidos no século XIX, no intuito de melhorar a salubridade e higiene das habitações para uma melhor saúde e aptidão ao trabalho da população, atribuindo à arquitetura a função climática (BEGUIN, 1977). Atualmente a qualidade do ar nos ambientes é também amplamente utilizada em hospitais visando reduzir os riscos de infecção e contaminação.

A segunda, como ventilação térmica, diz respeito à redução dos ganhos de calor externos (radiação solar) e internos à construção, visando à remoção do calor acumulado no interior da edificação, seja ele produzido por pessoas ou fontes de energia internas (sistemas de iluminação artificial, motores e equipamentos), resfriando desta forma o ambiente, regulando o aquecimento do ar interno (LAMBERTS *et al.*, 2016, FROTA; SCHIFFER, 2001).

Por último, temos a ventilação de conforto no auxílio das trocas térmicas do corpo humano com o meio ambiente. Como forma de termorregulação do organismo, em situações de calor, os vasos se dilatam periféricamente e a pele produz suor, que aumenta a perda de calor por evaporação, quando o vento entra em contato com a pele, havendo assim resfriamento fisiológico (FROTA *et al.*, 2001; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A intensidade desse resfriamento varia em função da velocidade e da temperatura do ar; mas também depende da turbulência do fluxo de ar e da umidade relativa. O resfriamento fisiológico é particularmente importante em regiões com elevada umidade do ar, pois a pele úmida é, frequentemente, apontada como a principal causa de desconforto (GIVONI, 1991 *apud* BITTENCOURT *et al.*, 2010, p.12).

Outra estratégia bastante utilizada é a ventilação artificial ou mecânica, como o ar condicionado e o ventilador, que, apesar de diminuir a sensação térmica de calor dos ambientes, implica em gastos desnecessários de energia, uma vez que estes edifícios geralmente gastam mais que o dobro da energia utilizada em construções naturalmente ventiladas (LEITE, 2015), caracterizando assim, uma das maiores fontes de desperdício de energia (BITTENCOURT *et al.*, 2010), posto que estes poderiam ser climatizados de forma passiva. Contudo, os projetos arquitetônicos com baixa qualidade ambiental dos espaços internos continuam a remediar o problema por meio de condicionamento artificial (CÂNDIDO, 2006).

Sendo assim, para que a arquitetura aproveite este recurso natural, ela precisa apresentar e potencializar as diferenças de pressões necessárias, condição esta característica da ventilação cruzada, para que o vento circule com uma velocidade considerada aceitável para o fim desejado. Portanto, é importante compreender as relações das variáveis arquitetônicas com os condicionantes externos, e é preciso identificar os fatores que interferem e influenciam a captação dos ventos da edificação.

Nesse sentido, reforça-se a necessidade de aprofundar os conhecimentos acerca da estratégia de resfriamento passivo através da ventilação natural, compreendendo os seus limites e possibilidades de aplicação no âmbito do adensamento urbano que atravessam as principais cidades do planeta (Leite, 2015, p.33).

Pode-se dizer que a volumetria (forma e dimensão) e os elementos arquitetônicos do edifício (aberturas e projeções) são aspectos a serem levados em consideração, pois estes, associados com a implantação e a orientação, afetam a intensidade de captação dos ventos, para amenizar ou evitar perdas de calor, como defendem Bittencourt *et al.* (2010) e Lamberts *et al.* (2014).

Logo, é necessário refletir: qual o potencial da volumetria da edificação na captação dos ventos em termos de diferença de coeficiente de pressão externos e velocidade do ar? Para obter uma resposta, é preciso saber que métodos existentes poderiam auxiliar o projetista no aproveitamento da ventilação natural e qual a qualidade desse suporte.

Métodos qualitativos, como recomendações projetuais e ilustrações esquemáticas auxiliam o arquiteto na busca de soluções e na tomada de decisão. Entretanto, estes são, por vezes, imprecisos e/ou simples, por apresentarem uma solução sintética para uma determinada situação. Esta acaba por não se aplicar de maneira mais abrangente em outros contextos mais específicos de projeto, por ser insuficiente ou generalista.

Assim, é exigido do profissional uma olhar crítico e reflexivo sobre esses princípios gerais, entrando em conflito com a incapacidade ou inabilidade de avaliá-los de maneira apropriada (reflexo de sua formação acadêmica), para adaptá-los aos requisitos de determinado caso ou localidade (VENÂNCIO, 2012). Contudo, quanto maior o nível de desempenho esperado de um projeto arquitetônico, os critérios devem ser mais rigorosos e com avaliações mais precisas, se enquadrando assim os métodos quantitativos, embora os arquitetos não tenham afinidade ou apresentem resistência à sua utilização (BAY, 2001).

Apesar disso, simulações físicas e computacionais, como túnel de vento e CFD (*Computational Fluid Dynamics*), respectivamente, são métodos mais precisos e complexos por lidarem com diversas variáveis. Isso permite avaliar quantitativamente o impacto de cada estratégia adotada de acordo com as especificidades de cada projeto, por ser uma abordagem mais completa e próxima da realidade, reduzindo equívocos na tomada de decisão projetual (VENÂNCIO, 2012).

Portanto, a simulação computacional da ventilação natural em soluções arquitetônicas se mostra, por sua precisão e praticidade virtual (não demandar grandes equipamentos), como a mais viável estratégia para auxiliar na avaliação do potencial que os modelos volumétricos (amostras de edificações e ambientes recomendados na literatura) têm para forçar diferenças de pressão e maximizar a ventilação cruzada, contribuindo para uma arquitetura mais eficiente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Diante da problemática encontrada, por se constituir uma questão ambiental e econômica que pode ser amenizada pela arquitetura, pretende-se neste trabalho **verificar o desempenho de modelos volumétricos para captação de ventos como recursos para forçar diferenças de pressão e velocidades internas do ar, com o auxílio de simulação computacional de dinâmica de fluidos (CFD)**; para ter-se assim um respaldo quantitativo na tomada de decisões arquitetônicas.

2.2 Objetivos específicos

1. Identificar recomendações projetuais na literatura que adotem volumes e superfícies para forçar diferenças de pressão e maximizar a ventilação cruzada;
2. Definir e modelar casos a serem simulados, de acordo com as recomendações de projeto;
3. Realizar simulações computacionais de dinâmica de fluidos (CFD) das soluções arquitetônicas dos modelos volumétricos, de acordo com os casos modelados;
4. Avaliar soluções propostas de acordo com os resultados obtidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O embasamento teórico tem por finalidade dar suporte à metodologia de trabalho, bem como a produção e análise de resultados, por meio de determinados temas centrais e definições preliminares. Esse conteúdo é necessário para a construção da pesquisa e definição dos modelos a serem simulados. Sendo assim, serão apresentados os conceitos relativos à ventilação natural, incluindo os critérios de desempenho da volumetria (diferenças de pressão e velocidades internas do ar), bem como as recomendações projetuais, que são a base para o desenvolvimento do projeto, posto que este seja o ponto de partida para os modelos computacionais.

Além disso, serão apresentados os métodos de avaliação de ventilação natural, sejam estes precisos, complexos ou simplificados, visando apoiar a escolha da simulação em CFD como a forma mais adequada, neste caso, para avaliar quantitativamente os modelos adotados, validando a pertinência da utilização do software.

Entretanto, é primordial saber como os condicionantes ambientais, do local que será estudado, podem ser aproveitados visando à eficiência energética das edificações. Portanto, ao projetar-se uma edificação, deve-se levar em consideração às variáveis relacionadas com a forma, função e fechamentos (LAMBERTS *et al.*, 2014), de acordo com a realidade construtiva, o contexto climático local e o conforto desejado.

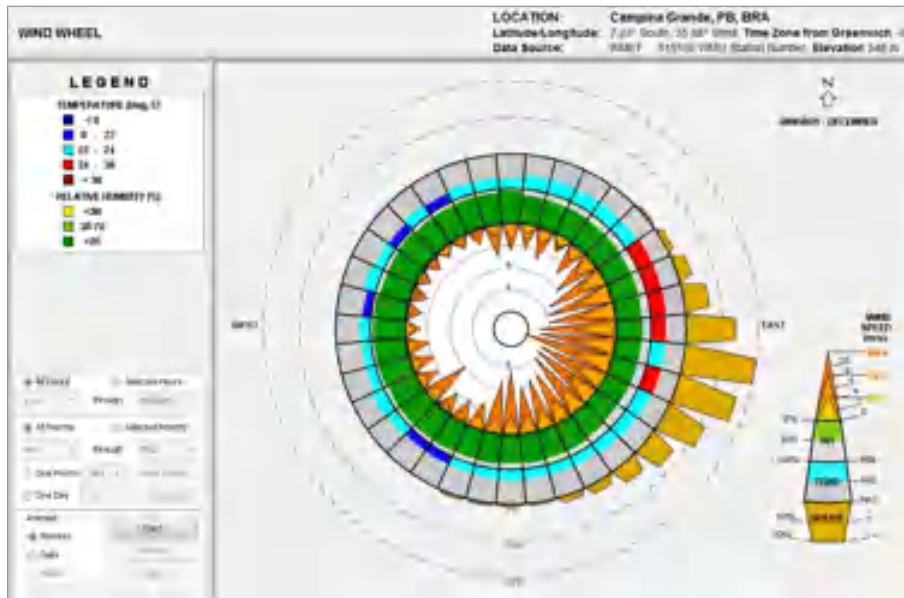
3.1 Ventilação natural

Tendo em vista a ventilação natural como recurso a ser aproveitado para regular os ganhos de calor no ambiente e incrementar a eficiência da edificação, é de suma importância compreender os princípios do movimento do ar e o comportamento da ventilação nos espaços externos e internos, bem como os componentes arquitetônicos na captação dos ventos (BITTENCOURT *et al.*, 2010; LAMBERTS *et al.*, 2014), como forma de uma estratégia passiva adequada ao clima. Contudo, Lamberts (2016) afirma que “para a eficaz aplicação das estratégias bioclimáticas em projeto é necessário a correta análise bioclimática do local, a partir dos dados climáticos disponíveis” (p.34).

O ponto de partida, ao se analisar esse potencial, consiste em verificar a disponibilidade de ventos com velocidades capazes de produzir o resfriamento das construções, bem como o resfriamento fisiológico de seus usuários. O desconhecimento das características dos ventos disponíveis em um determinado local tem conduzido a erros de interpretação do real potencial da ventilação natural em edificações. (BITTENCOURT *et al.*, 2010, p.23)

Sendo assim, Campina Grande, localizada na região do semiárido da Paraíba, tem a ventilação predominante, devido aos ventos alísios de sudeste que se situam as margens da América do Sul, nas orientações Leste-Sudeste, com velocidade média de 3m/s e umidade relativa acima de 70% ao longo do ano, de acordo com o arquivo climático da cidade, gerado no programa CLIMATE CONSULTANT 5.4, representado na Figura 1.

Figura 1 - Gráfico da direção dos ventos em Campina grande.

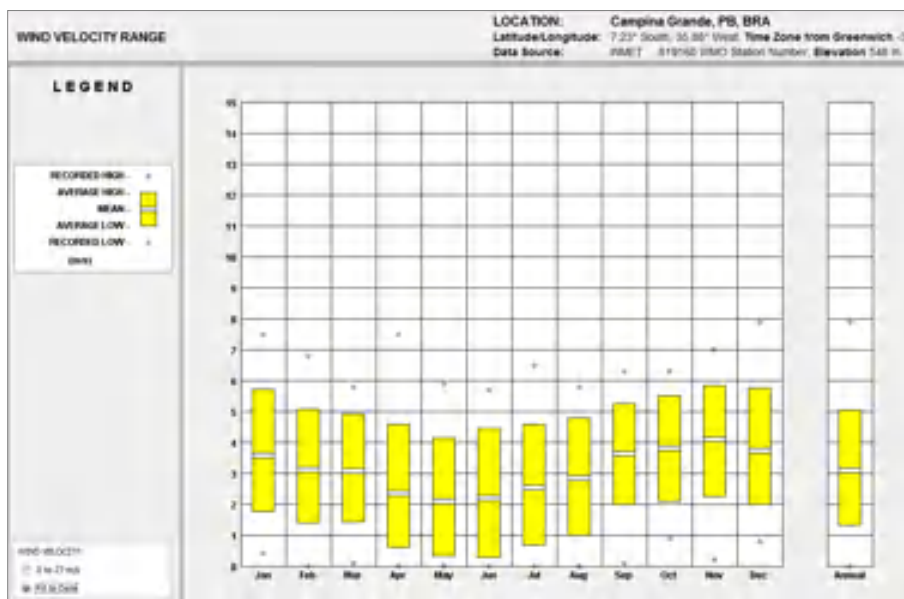


Fonte: Gerado no programa CLIMATE CONSULTANT 5.4, através do arquivo epw. de Campina Grande.

Em todos os meses nota-se a incidência dos ventos, sendo a mínima velocidade média menor que 1m/s, nos meses de Abril a Julho; e a máxima velocidade média ultrapassa os 5m/s, nos meses de Setembro até Janeiro, como apresentado na Figura 2.

A velocidade e a direção do vento são geralmente medidas a 10m de altura nas estações meteorológicas. Estas estações se localizam geralmente em regiões abertas, longe dos obstáculos urbanos, pois o movimento de ar sofre grande influencia da rugosidade da superfície. (LAMBERTS *et al.*, 2014, p.79)

Figura 2 - Gráfico mensal das médias da velocidade do vento em Campina Grande.



Fonte: Gerado no programa CLIMATE CONSULTANT 5.4, através do arquivo epw. de Campina Grande.

Desta maneira, verificado a existência de períodos com velocidades relativamente altas e a incidência da direção dos ventos, apesar das variações, a utilização da ventilação natural, na cidade, se dá como uma boa estratégia bioclimática, a partir da qual se pode “avaliar quais as melhores orientações para as aberturas do edifício, em função da associação entre predominância e velocidade dos ventos” (BITTENCOURT *et al.*, 2010, p.26). Contudo, antes que se passe para as recomendações projetuais, é necessário compreender os princípios básicos e comportamentos do movimento do ar.

3.1.1 Princípios do movimento do ar

Alguns mecanismos estão envolvidos na dinâmica do ar, como a diferença de pressão e velocidade do vento - que regem os princípios básicos do movimento do ar. Estas são consideradas adequadas para estimar a passagem de ar tanto no entorno quanto dentro das edificações (BITTENCOURT *et al.*, 2010).

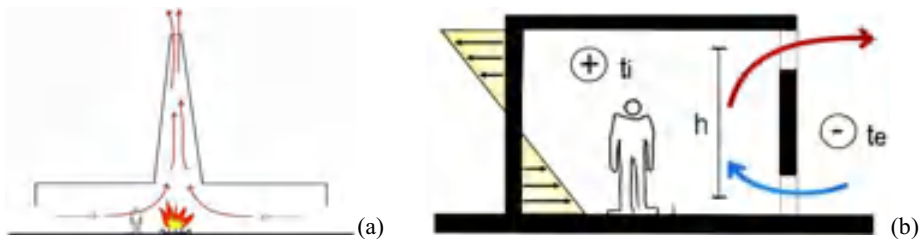
A causa de movimentos de ar é a diferença de pressão, seja esta decorrente das diferenças de temperatura (estática) ou dos ventos (dinâmica), sendo este tipo de pressão o enfoque do trabalho. Ao aquecer o ar, este se expande, fica mais leve e tende a subir, criando uma zona de baixa pressão que tende a ser ocupada por ar mais frio (com pressão mais alta). O inverso ocorre quando o ar quente se resfria. Em ambos os casos, há movimentos de ar e trocas de calor por convecção (LAMBERTS *et al.*, 2016).

A nível do globo, o determinante principal das direções e características dos ventos é a distribuição sazonal das pressões atmosféricas. A variação das pressões atmosféricas pode ser explicada, entre outros fatores, pelo aquecimento e esfriamento das terras e mares, pelo gradiente de temperatura no globo e pelo movimento de rotação da Terra sul (FROTA *et al.*, 2001, p.63).

Devido à diferença de temperatura, o deslocamento de massas de ar caracteriza a pressão estática, convecção natural ou “efeito chaminé” (Figura 3), onde a intensidade do movimento depende da diferença de altura entre as aberturas de entrada e saída de ar, levando em consideração a densidade do ar em determinada temperatura; e da diferença de temperatura interna e externa ao ambiente, para que haja a troca do fluido (FROTA *et al.*, 2001).

O efeito chaminé não é muito eficiente em casas térreas, pois depende da diferença entre as alturas das janelas. Como depende, também, das diferenças entre a temperatura do ar interior e exterior, para climas quentes, especialmente no verão, esse mecanismo de ventilação não deve ser visto como a forma mais eficiente de gerar situações de conforto térmico e/ou remover o excesso de calor acumulado no interior da edificação. Neste caso, deve-se dar maior importância à ventilação dos ambientes pelo efeito do vento. (LAMBERTS *et al.*, 2016, p.104).

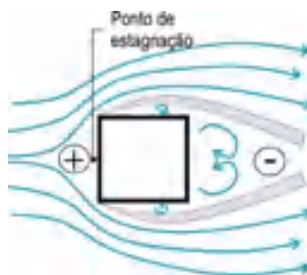
Figura 3 - O efeito chaminé (a); Esquema do movimento do ar devido à diferença de pressão estática (b).



Fonte: Bittencourt *et al.*, 2010, p.30.

Valendo-se, também, da diferença de pressão nas superfícies do edifício causada pela ação dos ventos (LAMBERTS *et al.*, 2016), decorrente da velocidade e do ângulo de incidência do mesmo (FROTA *et al.*, 2001); convencionou-se utilizar os termos positivo (+) e negativo (-) para facilitar a compreensão do efeito de pressão do escoamento sobre as superfícies do volume (Figura 4) - muito embora a pressão menor possível é nula, nunca negativa. Sendo assim, as pressões que causam empuxo na superfície são as positivas, estando estas a barlavento; e as que geram sucção, são as negativas, a sota-vento. (BITTENCOURT *et al.*, 2010; LEITE, 2015)

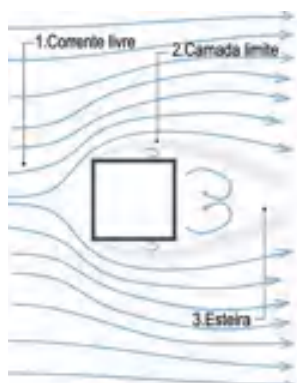
Figura 4 - Campos de pressão em um cubo.



Fonte: Adaptado de Givoni, 1976 *apud* Bittencourt *et al.*, 2010, p.37.

É notório, na imagem acima, que ao se deparar com um obstáculo, o escoamento do vento é dividido, levando-o a contornar a barreira, uma vez que este não possui aberturas, ocasionando perda de energia e, por consequência, de velocidade. Além disso, em decorrência do percurso instável da corrente livre de ar, é produzida uma camada limite, a qual seu interior é chamado de esteira ou sombra de vento (Figura 5). Nesta, o movimento pode ser turbulento, pela formação de vórtices e recirculação do ar; e após esta área o movimento volta a ser laminar, dependendo da configuração da edificação.

Figura 5 - Esquema em planta das três zonas formadas no escoamento do vento em torno de um obstáculo não aerodinâmico.



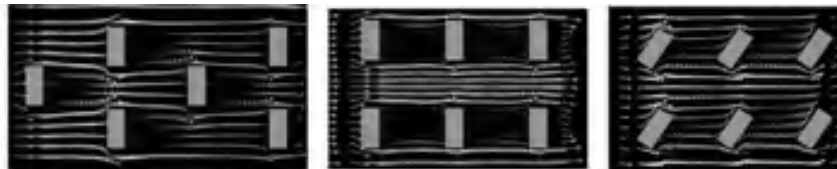
Fonte: Aynsley *et al.*, 1977 *apud* Bittencourt *et al.*, 2010, p.19.

A velocidade do vento está diretamente relacionada com a rugosidade da superfície a qual o ar percorre, seja essa a topografia, a vegetação ou a distribuição espacial das edificações; posto que a fricção ou interferência do caminho do mesmo poderá alterar a intensidade da velocidade do ar. Deste modo, em áreas abertas, como no campo, este fator irá ser maior do que em áreas urbanas, assim como a turbulência e a mudança de direção, devido à baixa rugosidade e tamanho dos obstáculos (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Sendo assim, Bittencourt *et al.* (2010) afirma que “a velocidade do vento na altura das construções dependerá do entorno no qual se encontram inseridas” (p.19), uma vez que “o tecido urbano pode reduzir drasticamente a velocidade do vento devido a alta rugosidade da malha urbana” (p.39), posto a influência da distância e a distribuição entre as edificações, como conclui Leite (2015) em sua tese, que a configuração urbana causa condições específicas de circulação do vento devido a sua individualidade espacial (Figura 6).

Ao analisar o vento sobre o ambiente construído é possível concluir que o comportamento dos fluxos é influenciado pela geometria e orientação dos obstáculos, sendo fundamental o conhecimento dos efeitos aerodinâmicos gerados pelas estruturas urbanas. O edifício, dada a sua massa volumétrica, é capaz de alterar significativamente os fluxos de ar em seu entorno, possuindo uma área de influência mais expressiva do que somente o seu volume. Em condições normais de escoamento, o edifício divide as correntes que incidem em sua fachada, acelerando o ar junto às suas arestas, criando condições altamente turbulentas no solo e vórtices na região imediatamente posterior (LEITE, 2015, p.64-65).

Figura 6 - Simulação computacional mostrando o escoamento do vento em torno de edifícios com diferentes arranjos.



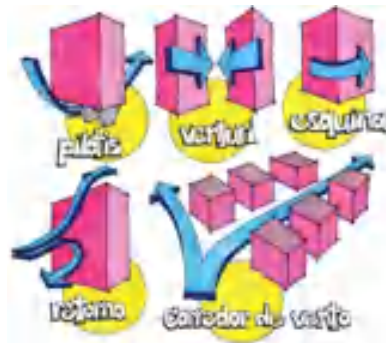
Fonte: Bittencourt *et al.*, 2010, p.41.

Portanto, tirar partido dos anteparos naturais ou artificiais pode potencializar as condições do vento local, canalizando os ventos desejáveis à edificação (LAMBERTS *et al.*, 2014). Por sua vez, de acordo com a configuração das edificações, o movimento do ar, ao “empurrar” obstáculos provoca aumento de pressão dinâmica. O volume de ar contido em áreas de pressão maior tende a escapar para áreas onde a pressão é menor. Quando a diferença de pressão entre duas áreas é maior, maior será a velocidade de movimento do ar de uma área para outra. É o que ocorre, por exemplo, em afunilamentos, ou, mais especificamente, o efeito Venturi: o ar reduz velocidade em regiões de alta pressão, mas acelera quando há movimentação para uma zona de baixa pressão.

Na aerodinâmica aplicada aos edifícios, o efeito Venturi pode ser percebido em muitas situações comuns, como passagens estreitas sob construções altas (pilotis, por exemplo) ou nas proximidades de aberturas de saída do ar pequenas, localizadas em ambientes que possuam amplas aberturas de entrada do vento. (BITTENCOURT *et al.*, 2010, p.33).

Valendo-se, também, do arranjo e altura da construção, que geram outros efeitos, como retorno e corredor de vento (Figura 7), se pode dizer que estes fatores, que influenciam diretamente o curso do vento, podem potencializar ou não a utilização da ventilação natural como estratégia de resfriamento dos ambientes. Assim, as cidades devem se desenvolver, se adaptar e avançar nas direções predominantes dos ventos, atentando para a rugosidade urbana, que desvia e canaliza os mesmos, buscando os benefícios dessa estratégia (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Figura 7 - Influência da forma no movimento do ar.



Fonte: Lamberts *et al.*, 2014, p.266.

Sendo assim, como foi apresentada a escala urbana, serão explanadas, a seguir, algumas variáveis mais pontuais relacionadas à ventilação nos espaços externos e internos, para ter-se uma visão mais objetiva dos fatores que influenciam o fluxo de ar no interior da edificação.

Em ambientes climatizados naturalmente, o projetista deverá dispor das características climáticas locais, a fim de dispor das melhores condições de aproveitamento da ventilação natural [...]. Para tal, é necessário o conhecimento do comportamento dos ventos no exterior e no interior das edificações, evitando assim incorrer em erros de dimensionamento ou localização das aberturas, por exemplo. (CÂNDIDO, 2006, p.31).

3.2 Recomendações projetuais

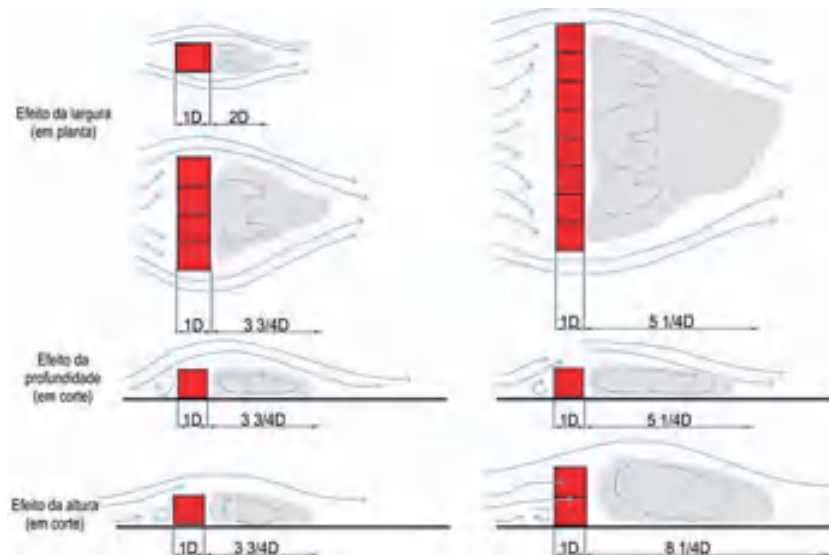
Para que se possam estabelecer parâmetros e estratégias, para atender as necessidades do projeto, é necessário saber o que a literatura e as normas trazem como recomendação para as características climáticas locais específicas de cada cidade, que estejam de acordo com as condições de conforto do usuário e a eficiência energética (LAMBERTS *et al.*, 2016).

[...] recomendações projetuais visam guiar o projetista, ilustrando fenômenos e apresentando maneiras supostamente satisfatórias de lidar com determinados problemas. Essas informações podem ser apresentadas em maior ou menor grau de abstração, podendo ser expressas por diagramas, desenhos simplificados ou até textualmente (VENÂNCIO, 2012).

Partindo dos princípios do movimento ar, pode-se compreender agora como a ventilação se relaciona com a concepção formal da edificação em si. Portanto, *a priori*, quanto aos espaços externos, é relevante observar a influência da dimensão e forma das construções, tomando por base os estudos, em simulação de túnel de vento com módulos cúbicos, de Evans (1973) *apud* Bittencourt *et al.* (2010).

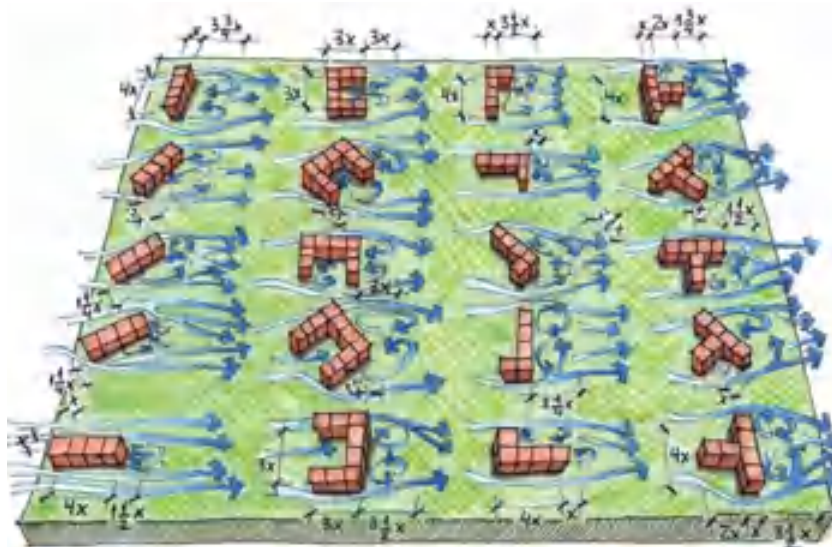
Seus resultados revelam a relação direta que a altura e a largura do módulo têm com a dimensão da esteira, bem como a relação inversa à profundidade do modelo (Figura 8); muito embora, a diversidade do formato da edificação gerem fluxos de vento diversos ao seu redor, como representado na Figura 9 (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Figura 8 - Influência das dimensões do edifício no tamanho da esteira.



Fonte: Evans, 1979 *apud* Bittencourt *et al.*, 2010, p.44.

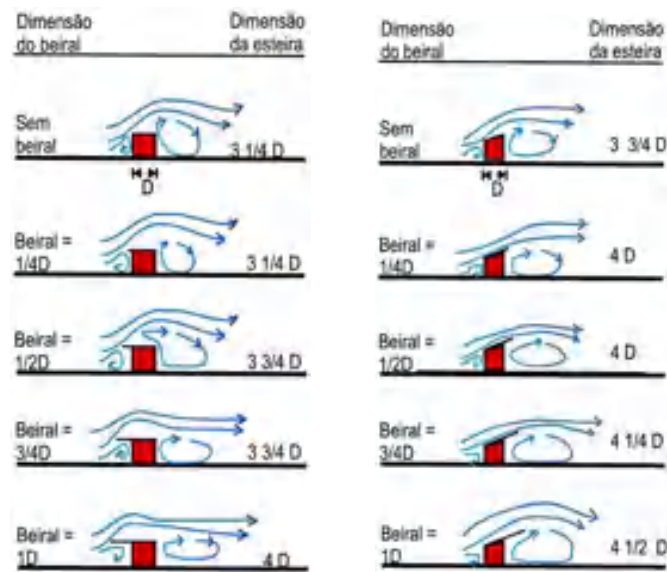
Figura 9 - Fluxo de ventos ao redor das edificações.



Fonte: Lamberts *et al.*, 2014, p.184.

Além das dimensões e formas, Evans em suas análises apresenta, também, as variações da esteira com relação aos beirais e inclinação da cobertura; onde este apresenta um melhor desempenho que aquele, mesmo que ambos afetem ligeiramente a profundidade da sombra de vento (Figura 10); pois as construções com declividade têm um fluxo de ar interno 15% maior que as de telhado plano, consequência da esteira de vento que gera uma maior pressão negativa.

Figura 10 - Efeito dos beirais com cobertura plana e dos beirais inclinados no tamanho da esteira.

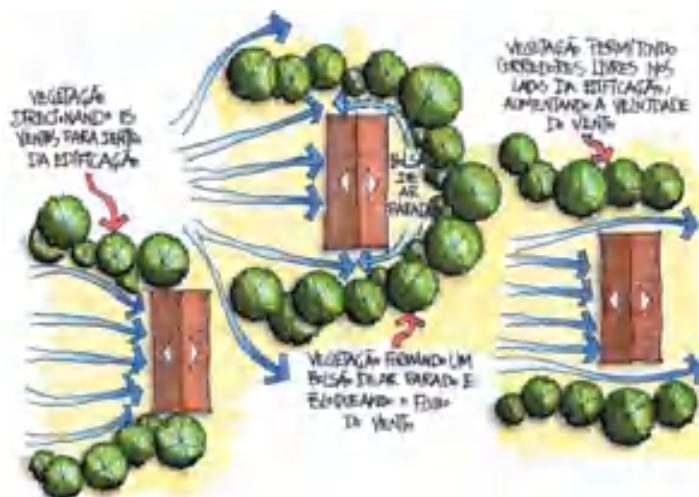


Fonte: Evans, 1979; Boutet, 1987 *apud* Bittencourt *et al.*, 2010, p.46.

Contudo, a porosidade da volumetria é o elemento fundamental na captação de ventos, uma vez que são as aberturas de entrada e saída de ar que vão acentuar ou reduzir o movimento de ar no interior das edificações, visto que “a intensidade e distribuição do escoamento de ar no interior de um ambiente são determinadas pelas diferenças de pressão encontradas nas diversas superfícies do edifício” (BITTENCOURT *et al.*, 2010, p.29). Portanto, qualquer obstrução ou barreira, de acordo com sua dimensão e disposição, irá interferir no fluxo de ar para o interior da construção, sejam estes muros, vegetação (Figura 11) ou o próprio entorno.

Grandes aberturas de entrada e de saída acentuam o movimento de ar dentro das construções e contribuem para diminuir o tamanho da sombra de vento. Para aberturas apresentando uma porosidade de cerca de 25% das paredes localizadas a barlavento e a sotavento, a redução da sombra de vento varia, mais ou menos, de 1/3 a 2/3 do tamanho da sombra de vento de uma construção sem nenhuma abertura, dependendo da localização das aberturas e da configuração da cobertura (BITTENCOURT *et al.*, 2010, p.45).

Figura 11 - Influência da vegetação na ventilação natural.



Fonte: Lamberts *et al.*, 2014, p.182.

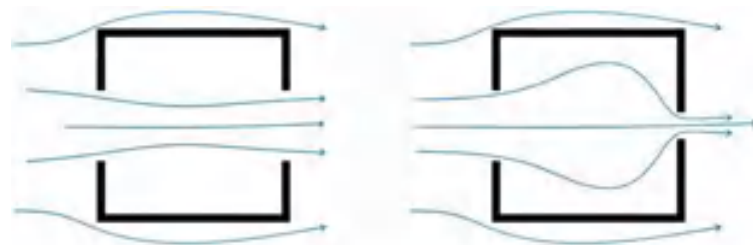
Deste modo, é preciso atentar, segundo Evans (1983) *apud* Bittencourt *et al.* (2010), para o tamanho, a localização, o tipo e a configuração das aberturas de entrada do ar na parede, bem como para a localização de outros componentes arquitetônicos próximos às aberturas; posto que estas configuram o fluxo de ar no interior da construção.

A localização das aberturas de entrada de ar deve ser disposta, preferencialmente, na direção do vento, visto que é onde se tem a pressão positiva; enquanto que a de saída deve estar situada na parte onde se tem a pressão negativa (seja em superfícies adjacentes ou opostas), almejando uma diferença de pressão que favoreça a intensidade do movimento de ar (FROTA *et al.*, 2001), a qual pode ser regulada, dependendo da necessidade, de acordo com a tipologia da esquadria ou elementos auxiliares, como venezianas.

Em geral, uma construção com aberturas distribuídas sobre diferentes fachadas aumentará o potencial para se obter uma adequada ventilação natural, pelo fato de produzir significantes gradientes de pressão em vários pontos da mesma. Dependendo da localização da abertura, a chamada ventilação cruzada, pode ser proporcionada, assim como diminuir a formação de zonas de estagnação do ar (CÂNDIDO, 2006, p.30).

Já no que diz respeito à dimensão da abertura na superfície da edificação, Van Straaten *et al.* (1965) *apud* Bittencourt *et al.* (2010) afirma que saídas de ar maiores apresentam taxas de ventilação maiores; enquanto Givoni (1976); Fairey; Bittencourt (1981); Ernest, (1991) *apud* Bittencourt *et al.* (2010) dizem que saídas de ar menores que as entradas reduzem o fluxo de ar e permitem uma uniformidade da velocidade do ar (Figura 12).

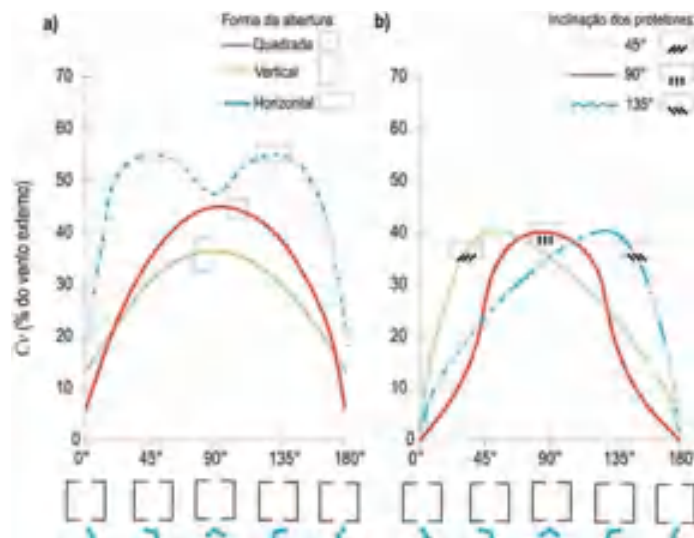
Figura 12 - A distribuição do fluxo de ar no interior dos ambientes é influenciada pelo tamanho das aberturas de saída.



Fonte: Bittencourt *et al.*, 2010, p.54.

Quanto à forma da abertura, Sobin (1981) *apud* Bittencourt *et al.* (2010), aponta que a abertura horizontal, em relação a quadrada e a vertical, apresenta uma maior eficácia na distribuição do fluxo do vento no rendimento médio da ventilação, seja qual for a incidência do vento, produzindo circulação de ar, embora o seu melhor desempenho se dê para incidências oblíquas (Figura 13). No entanto, esta abertura pode ser equiparada com as demais tipologias de aberturas adicionando-se painéis verticais.

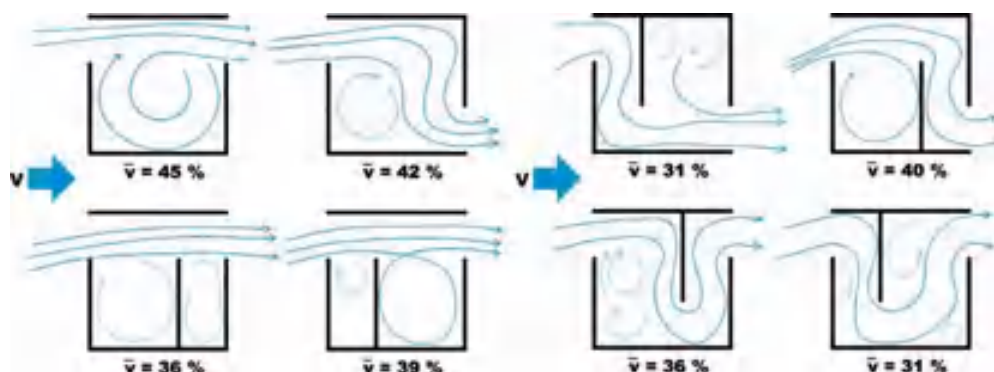
Figura 13 - Efeito da forma da abertura em função da direção do vento e da existência de protetores solares



Fonte: Sobin (1981) Bittencourt *et al.*, 2010, p.55.

No entanto, as divisões internas da edificação podem alterar o escoamento do ar e a velocidade dos ventos nos ambientes, distribuindo-o de maneira inadequada de acordo com o seu posicionamento e das aberturas (Figura 14).

Figura 14 - As divisões do espaço interno afetam a configuração do fluxo de ar.



Fonte: Givoni, 1976 *apud* Bittencourt *et al.*, 2010, p.62.

Todavia, deve-se saber qual o tipo de atividade irá ser desenvolvida nos ambientes, para que se possa estabelecer a configuração necessária para atingir o nível de conforto adequado, uma vez que tais fatores condicionam o escoamento de ar.

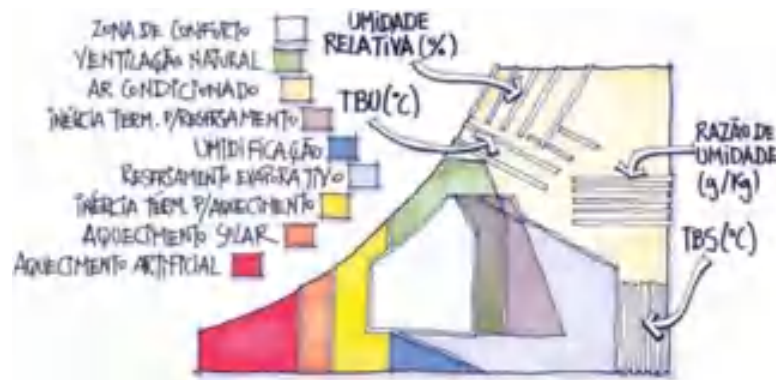
A decisão de se produzir uma distribuição uniforme do movimento de ar ou um jato concentrado depende dos requisitos específicos de cada projeto. Se a atividade desenvolvida em um determinado ambiente induz os usuários a permanecerem em uma localização fixa quando ocupam o espaço (como acontece em quartos, por exemplo), a concentração de jatos com velocidades maiores pode ser uma opção mais interessante[...]. Contudo, em espaços onde a flexibilidade é um importante requisito, uma distribuição uniforme do fluxo de ar pode produzir resultados mais apropriados (CÂNDIDO, 2006, p.28).

Além disso, a prática exercida no espaço interno, também deve ter relação com a velocidade máxima do vento, como por exemplo, em ambientes de escritório é indesejável uma velocidade muito alta, pois pode derrubar papéis e objetos leves. Desta forma, uma variação entre 0,5 e 2,5 m/s é uma velocidade aceitável, muito embora, em climas de quente e úmido, a depender da atividade, valores acima destes podem ser considerados aceitáveis, uma vez que a ventilação influencia no conforto humano (BITTENCOURT *et al.*, 2010).

3.2.1 *Recomendações específicas*

Para países em desenvolvimento, como o Brasil, é comum adotar a carta bioclimática de Givoni (Figura 15) como parâmetro para ter-se indicações das zonas de conforto e recomendações projetuais, uma vez que esta foi revisada para se adequar as condições climáticas (umidade relativa e temperatura do ar) e aclimatação das pessoas nessas regiões (LAMBERTS *et al.*, 2014).

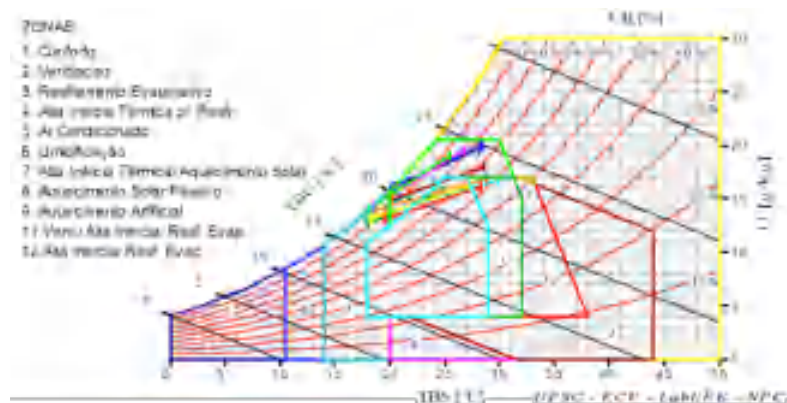
Figura 15 - Carta Bioclimática adotada para o Brasil.



Fonte: Lamberts *et al.*, 2014, p.86.

Mais especificadamente, em Campina Grande, a zona de ventilação é a mais incidente quanto estratégia de adaptação ao clima, se mostrando como o melhor recurso natural a se utilizar ao longo de todo o ano, uma vez que todos os meses, em algum momento, necessitam desse recurso para proporcionar conforto (Figura 16). Desta forma, é importante compreender os limites e recomendações dessa zona.

Figura 16 - Carta Bioclimática de Campina Grande.



Fonte: Gerado no programa Analysis BIO 2.2.

Portanto, nas horas do ano em que a umidade está acima de 80% e a temperatura for superior aos 29°C, a zona de conforto é extrapolada e, é necessário a utilização da ventilação cruzada para auxiliar a melhora a sensação térmica do ambiente (Figura 17). Contudo, deve-se estar atento para o limite em que a temperatura interna deve acompanhar a exterior, pois acima dos 32°C, os ganhos de calor por convecção tornam-se indesejáveis, preferindo-se a ventilação noturna quando se tem umidade inferior a 60%, muito embora, quando se ultrapassa os 36°C seja necessária a utilização de outros recursos de resfriamento (LAMBERTS *et al.*, 2014; LAMBERTS *et al.*, 2016).

Figura 17 - Zona de Conforto (esquerda); Zona de Ventilação (centro); Ventilação diurna e noturna (direita).



Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.*, 2014, p.86-87.

Partindo dessas delimitações, Lamberts *et al.* (2014) indicam para essa zona de ventilação quatro recomendações projetuais para potencializar o aproveitamento deste recurso. A princípio, a orientação e a forma do projeto são primordiais para captação das brisas, uma vez que estes são capazes de maximizar a exposição do edifício aos ventos. (Figura 18). Além disso, eles sugerem que elementos que sacam da volumetria além de direcionar o fluxo de ar para o interior, podem, também, aumentar a sua velocidade, devido à ação dos ventos que incrementam a diferença de pressão.

Figura 18 - A forma e a orientação do edifício (esquerda); Direcionamento do ar para o interior (direita).



Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.*, 2014, p.269-270.

Tendo a incidência de vento externo, projetar espaços fluidos que permitam a circulação do ar no interior dos ambientes, por meio de elementos que regulem o vento (venezianas, cobogós, bandeiras) e mantenham a privacidade visual do lugar; se faz necessário para ter-se uma distribuição uniforme no interior da construção (Figura 19). Por fim, tirando partido do efeito chaminé, promover a ventilação vertical por meio de aberturas em diferentes níveis (lanternins, aberturas zenitais ou no telhado), é uma opção viável para retirar o ar quente do ambiente e promover um fluxo ascendente de ar, amenizando o calor e melhorando o conforto. Vale ressaltar que essas estratégias não apenas influenciam a ventilação, mas também o sombreamento e a iluminação natural.

Figura 19 - Espaços fluidos (esquerda); Ventilação vertical (direita).



Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.*, 2014, p.270-271.

Muito embora tratem da mesma zona e tenham elementos semelhantes, Lamberts *et al.* (2016) apresentam as soluções arquitetônicas de maneira mais sintética, mostrando a ventilação cruzada, da cobertura e do piso sob a edificação (Figura 20) como princípios a serem empregados como estratégia de resfriamento natural. Frota *et al.* (2001) reitera o posicionamento dos autores, anteriormente citados, quanto às aberturas, fechamentos e posicionamento da edificação, mesmo que em escala urbana, acrescentando a vegetação como elemento externo que não impeça a permeabilidade do vento, mas que possibilite a condução e circulação interna do ar.

**Figura 20 - Ventilação cruzada, em planta (esquerda);
Ventilação pela cobertura (centro); Ventilação cruzada, elevação (direita).**



Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.*, 2016, p.36.

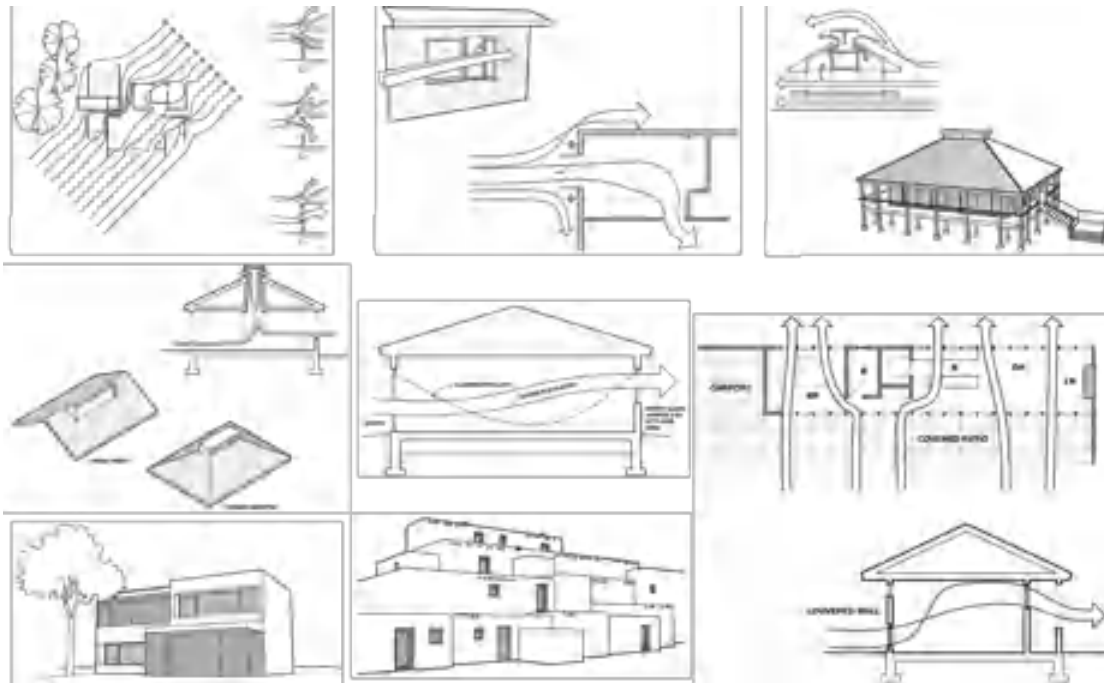
Pode-se, também, encontrar recomendações por meio da ferramenta gratuita de análise climática Climate Consultant 5.4, que apresenta uma quantidade considerável de *output* e estratégias de projeto de forma legível e interativa (VENÂNCIO, 2012). Este programa fornece táticas de conforto adaptativo, dentre as quais a ventilação natural se destaca, valendo-se, assim, como aporte para este trabalho, tendo visto seu objetivo.

Portanto, ao simular as condições climáticas para Campina Grande, tem-se que, para uma boa ventilação natural em climas quentes, as janelas devem ser bem sombreadas e orientadas para o vento predominante, podendo variar até 45° em direção do prédio, por meio de janelas de abrir ou vegetação. Desta forma, devem-se garantir aberturas voltadas em lados opostos do edifício, com cerca de 5% da área de piso do ambiente, para prover luz diurna e ventilação cruzada. Usar planos abertos ou portas com persianas (peitoril ventilado), bem como altos dutos de ar (bandeiras), caso a privacidade seja requerida; também promovem este tipo de ventilação (Figura 21).

Outras estratégias que, também, podem ser utilizadas são o efeito chaminé, por meio da distância vertical entre as entradas e saídas de ar quando a velocidade do vento estiver baixa; a elevação da edificação do chão, para minimizar a umidade e maximizar a ventilação; as varandas de tela e pátios, que podem proporcionar conforto por resfriamento e prevenir problemas com insetos; e a construção de alta densidade com pequenas aberturas sombreadas

móveis, para ventilação noturna. Todas essas recomendações auxiliam a reduzir a utilização de ar condicionado e gastos energéticos das edificações que se apropriam destas, potencializadas pelo sombreamento e iluminação natural.

Figura 21 - Recomendações projetuais para ventilação natural



Fonte: Adaptado do Climate Consultant, Liggett e Milne (2010).

Levando em consideração uma recomendação mais específica para o Brasil, a zona bioclimática número oito classificada pela NBR 15220-3 (ABNT, 2004), a qual 53,7% do território brasileiro está enquadrado, incluindo Campina Grande (Figura 22); será apresentada, abrangendo as diretrizes construtivas para habitações que a mesma traz, uma vez que visam o melhor desempenho térmico das edificações por meio de condicionamento passivo.

Figura 22 - Zona Bioclimática 8.



Fonte: ABNT,2004, p.8.

Sendo assim, esta norma, de caráter orientador, formulou suas estratégias baseadas nos seguintes parâmetros: tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedações externas e formas de condicionamento térmico passivo. Contudo, serão abordadas apenas as que se enquadram no enfoque deste trabalho, ventilação natural.

Para a zona 8 em específico, indicam-se grandes aberturas para ventilação, com 40% da área de piso dos ambientes; e sombreamento destas, além de vedações (parede e cobertura) leves e refletoras. Quanto ao detalhamento das estratégias de condicionamento térmico a ventilação cruzada permanente é o que predomina para o município em questão, buscando a renovação de ar e a amenização das temperaturas internas.

As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes. [...] A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos (ABNT, 2004, p.9-10).

Já a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), destinada para edificações habitacionais de até cinco pavimentos, dá ênfase nas exigências dos usuários quanto ao comportamento dos sistemas e do desempenho do edifício. Dentre os requisitos e critérios estabelecidos por este regulamento, pode-se destacar nos sistemas de vedações verticais internas e externas, as aberturas para ventilação, no tocante à área mínima relativa ao piso que a mesma deve apresentar em ambientes de longa permanência (salas, cozinha, quartos), quando não houver legislação específica da localidade da construção. Por se valer da mesma classificação bioclimática que a NBR 15220-3 traz, para a zona 8 indicam-se aberturas grandes com área mínima de 8% para a região nordeste e sudeste do Brasil, enquanto que para o norte acima dos 12% para que se tenha o nível mínimo de desempenho aceitável.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) junto com a ELETROBRAS, no âmbito PROCEL EDIFICA - Eficiência Energética em Edificações, produziram uma trabalho intitulado “Ventilação natural em edificações”, o qual fornece um conteúdo amplo sobre ventilação, incluindo recomendações projetuais (BITTENCOURT *et al.*, 2010). Destes, podem-se destacar os componentes arquitetônicos que auxiliam na captação dos ventos para o interior dos ambientes. Dentre eles estão os captadores de vento, pátios, peitoris ventilados, anteparos, pérgulas e pilotis os quais incrementam a ventilação interna.

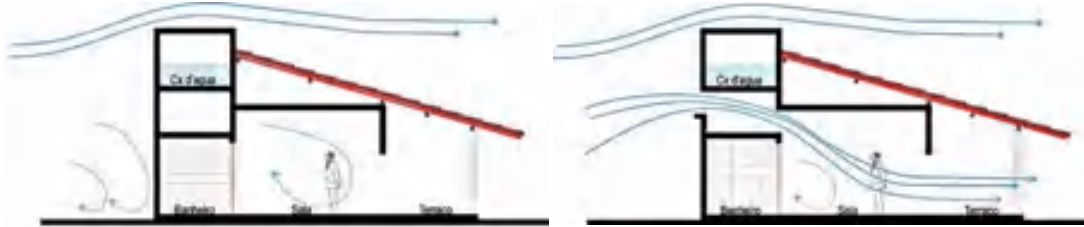
Os primeiros elementos se caracterizam por serem torres altas com aberturas em suas extremidades, acima do plano da cobertura, onde há maior velocidade do ar; visando conduzir os ventos com menor temperatura e menos poeira, para os ambientes, aumentando o movimento de ar do local desejado. Os captadores são bastante utilizados em locais de clima quente e seco, associados com componentes d’água para resfriamento da construção.

No Brasil, não se tem o hábito de se utilizar esse componente arquitetônico, muito embora tenham caixas d’água elevadas que poderiam servir, também, para tal finalidade, como mostrou a pesquisa que simulou a utilização das torres de caixas d’água como captadores de vento (Figura 23), o qual concluiu que a média da velocidade do vento dobrou nos ambientes das salas, quando comparada a não utilização desse elemento (LÔBO *et al.*, 2001 *apud* BITTENCOURT *et al.*, 2010).

Porém, deve-se atentar que neste caso, apesar do bom desempenho, a entrada de ar é por um local de difícil acesso, o que poderia levar a problemas de qualidade de ar (acumulo

de poeira, entrada de chuva, etc). Esta estratégia seria mais adequada como saída de ar (caso tivesse pressão mais negativa), pois evitaria trazer tal problema para o interior do ambiente.

Figura 23 - Aproveitamento da ventilação natural pela adaptação de caixas d'água.

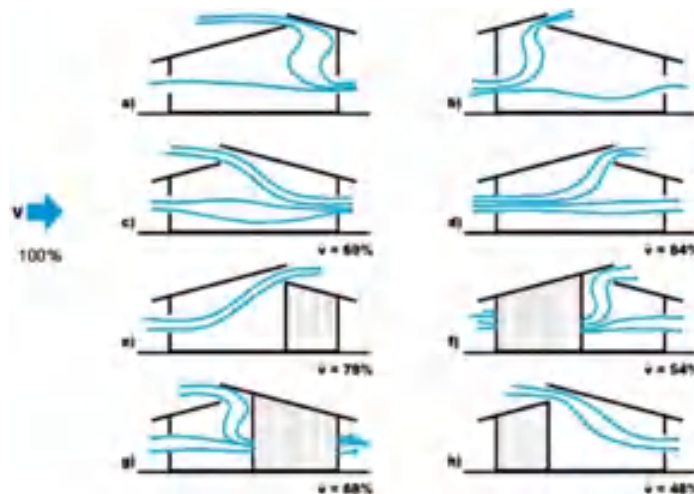


Fonte: Adaptado de Lôbo; Bittencourt, 2001 *apud* Bittencourt *et al.*, 2010, p.67.

Pode-se, também, enquadrar nesse tipo de elemento, o shed que pode servir tanto como captadores, com maior eficiência quando este se situa na primeira metade do telhado; ou exaustores de ar, da mesma forma quando localizado metade posterior da cobertura (Figura 24); visto sua orientação em relação aos ventos predominantes e sua dimensão. Estes se caracterizam por serem aberturas diretamente no telhado, que apresentam um grande potencial na ventilação interna quando projetados adequadamente, apresentando uma melhor distribuição do fluxo de ar nos espaços.

Em testes de túnel de vento, Gandemer *et al.* (1992) definiram que a área do shed deveria ser maior que 20% da área da seção transversal do edifício, no sentido perpendicular a direção do vento, para se obter resultados satisfatórios. Eles relataram que, com projeto adequado, a média da velocidade interna de ar em ambientes com ventilação cruzada pode ser aumentada em torno de 40%, quando o shed funcionar como saída de ar [...], e em torno de 15%, quando funcionar como entrada de ar (BITTENCOURT *et al.*, 2010, p.67-68).

Figura 24 - Efeito da localização do shed no fluxo de ar no interior dos ambientes.

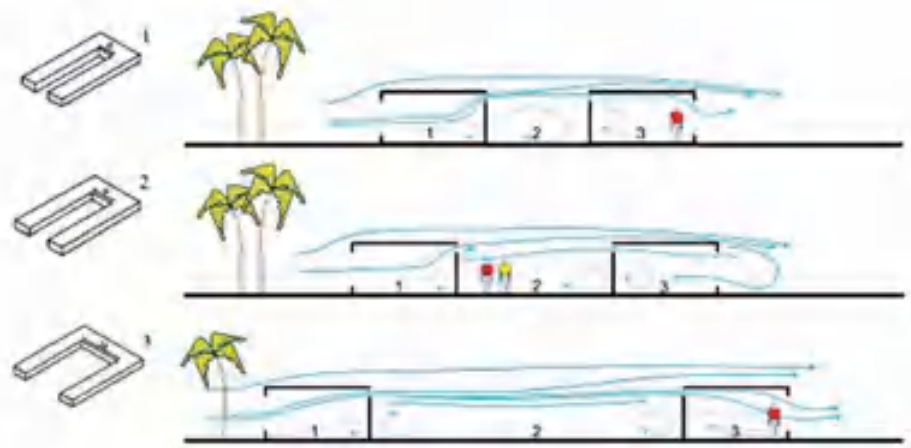


Fonte: Adaptado de Gandemer *et al.*, 1982 *apud* Bittencourt *et al.*, 2010, p.68.

Quanto aos pátios, de maneira semelhante ao anterior, podem estar associado a fontes de água em climas quente e seco para umidificar o ar e resfriar o ambiente; além de servirem, também, para proteger contra o vento quente e da poeira. Por serem espaços abertos no interior da construção, a distância entre os blocos é de suma importância para o

aproveitamento da ventilação, uma vez que, a distância é proporcional ao aproveitamento dos ventos nas salas de saída de vento (BITTENCOURT *et al.*, 2010) (Figura 25).

Figura 25 - Comportamento da ventilação natural resultante de diferentes dimensões de pátios.



Fonte: Bittencourt; Peixoto, 2001 *apud* Bittencourt *et al.*, 2010, p.73.

Peitoris ventilados são dispositivos que, quando combinados com as esquadrias, complementam o movimento e a velocidade do ar, direcionando o fluxo para a altura do usuário sentado ou deitado, sendo assim, um bom elemento a ser utilizado em quartos e escritórios.

O comportamento deste elemento está sujeito ao seu formato, que usualmente é de um “L” invertido localizado abaixo das janelas, pois a depender da aerodinâmica do mesmo (Figura 26), bem como da configuração do ambiente e das saídas de ar, este terá um melhor desempenho. Quando associado a esquadrias pivotantes, este é aprimorado, uma vez que poderá regular a intensidade e direção dos ventos. Para, além disso, devido a sua forma, o peitoril ventilado protege a abertura da chuva e da incidência solar direta, assim como, também, permiti a ventilação noturna mantendo a segurança do ambiente.

Figura 26 - O desempenho do peitoril ventilado é influenciado pelo formato adotado.



Fonte: Bittencourt *et al.*, 2010, p.75.

Os anteparos são componentes que podem auxiliar na captação de vento, dependendo das suas disposições e tamanhos, forçando as diferenças de pressão necessárias ao fluxo de ar interno próximo as aberturas, alterando o padrão de escoamento e intensidade do mesmo. Estes podem ser verticais, como proteções solares verticais e elementos estruturais (Figura 27); ou horizontais, a exemplo de proteções solares, marquises e beirais (Figura 28); bem como, também, a vegetação (Figura 29).

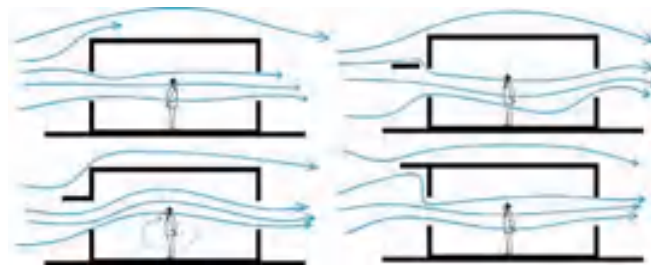
A ventilação pode ser acentuada em função do aumento da diferença de pressão criada por estes elementos, mas posicionamentos inadequados podem obstruir os ventos predominantes. Eles podem também ser usados para alterar a pressão desenvolvida ao redor das janelas e, também, mudar a configuração do fluxo interno (BITTENCOURT *et al.*, 2010, p.60).

Figura 27 - Projeções verticais podem interferir no fluxo de ar.



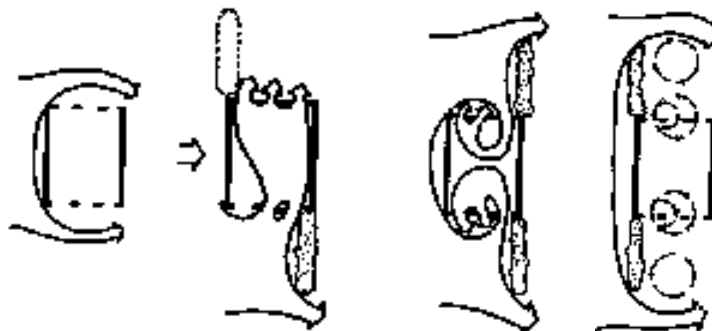
Fonte: Fleury, 1990 *apud* Bittencourt *et al.*, 2010, p.60.

Figura 28 - Efeito das projeções horizontais no fluxo de ar no interior dos ambientes.



Fonte: Bittencourt *et al.*, 2010, p.61.

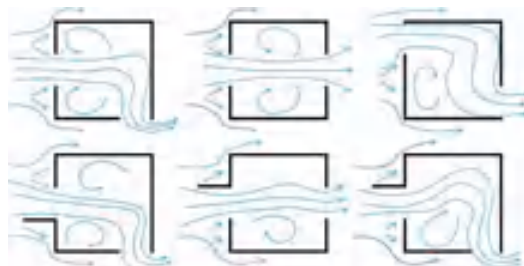
Figura 29 - Exemplos de influência favorável à ventilação que a vegetação pode proporcionar.



Fonte: Olgay, 1963 *apud* Frota *et al.*, 2001, p.135.

Vale destacar que os anteparos verticais produzem ventilação de maneira mais eficaz em ambientes com incidência de vento oblíqua à abertura, aumentando, assim, a circulação interna do ar em ambientes com mais de uma abertura (Figura 30).

Figura 30 - Componentes verticais afetam o conjunto de pressões desenvolvidas na entrada do ar, alterando o padrão de escoamento do mesmo.

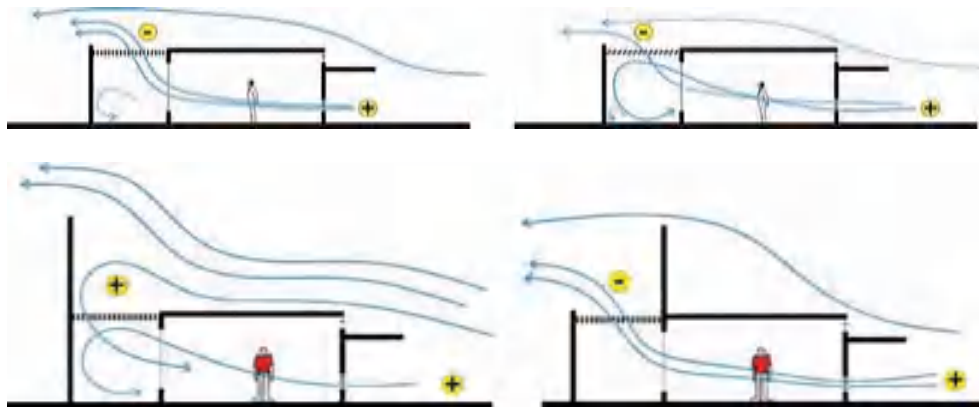


Fonte: Koenigsberger *et al.*, 1976 *apud* Bittencourt *et al.*, 2010, p.60.

Muito usadas em regiões quentes e úmidas, as pérgulas são componentes que fazem parte da arquitetura da edificação, integrando os espaços internos e externos, possibilitando a contínua circulação de vento e a proteção solar.

Devido à configuração do pergolado em relação aos ventos (inclinação e orientação), além dos anteparos próximos a ele, estes influenciam a velocidade e a distribuição do ar nos espaços interno (Figura 31). Contudo, a permeabilidade da luz e a chuva da pérgula são fatores que devem ser levados em conta na concepção do projeto.

Figura 31 - A inclinação das pérgulas influencia a possibilidade de exaustão do ar (Acima). A presença de anteparos associados ao pergolado modifica o comportamento do vento (Abaixo).

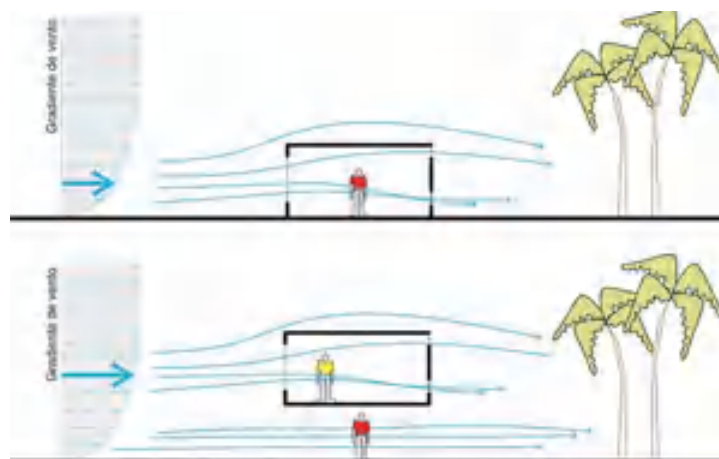


Fonte: Adaptado de Bittencourt *et al.*, 2010, p.76.

O ultimo componente é um dos cinco pontos da arquitetura moderna descritos por Le Corbusier. Os pilotis inicialmente foram pensados para promover a permeabilidade física e visual do térreo, permitindo a interação com o espaço público, proporcionando maior sensação de segurança nas pessoas.

Como estratégia bioclimática, por elevar o edifício, este se vale por aumentar a ventilação em dois níveis (Figura 32), no térreo, permitindo maior permeabilidade urbana a altura do pedestre e uma área sombreada; e no pavimento elevado, possibilitando velocidades acima das encontradas no andar inferior, uma vez que este apresenta aberturas para captar o vento.

Figura 32 - A utilização de pilotis auxilia a ventilação da construção.



Fonte: Bittencourt *et al.*, 2010, p.78.

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) juntamente com a Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, desenvolveram o ProjetEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes, resultado do Projeto Transformação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil, com o objetivo de colaborar com referências projetuais para construções eficientes, contribuindo para a capacitação técnica dos profissionais da área.

Este produto é uma plataforma on-line, que permite o acesso aos dados climáticos de mais de 400 cidades brasileiras (ventilação, temperatura, radiação, umidade), indicando as estratégias bioclimáticas de projeto, componentes construtivos e equipamentos que mais se adequam à localidade; de maneira lúdica, prática e detalhada.

Considerando ainda a importância dos equipamentos de condicionamento de ar, iluminação e de geração distribuída para a eficiência energética de edificações, a plataforma disponibiliza conteúdo didático sobre o funcionamento e aplicabilidade desses equipamentos. Esta ferramenta é direcionada tanto para profissionais que já integram a seus projetos a variável da eficiência energética, assim como para profissionais que ainda buscam referências para internalizar elementos bioclimáticos em seus trabalhos (LABEEE, 2014).

Para Campina Grande, o site apresenta que em 38,62% das horas do ano a cidade está em conforto, enquanto nas demais horas está em desconforto por calor (55,3%) ou frio (6,08%). Para amenizar essa situação, o site apresenta três estratégias bioclimáticas (Figura 33), ventilação natural, sombreamento e inércia térmica para aquecimento, dentre as quais a primeira se destaca por se aplicar a 55,18% das horas do ano.

Figura 33 - Estratégias Bioclimáticas.



Fonte: LabEEE, 2014.

Portanto, ao adentrar na opção sobre a ventilação natural, a plataforma disponibiliza uma série de informações acerca do tema, além de gráficos de temperatura e conforto, umidade e a rosa dos ventos específicos para o município, bem como uma vasta gama de recomendações projetuais (Figura 34) com suas respectivas descrições e esquemas que exemplificam a utilização de cada uma das estratégias.

Muito embora a plataforma apresente muitas recomendações, grande parte já foi apresentada. Contudo, vale destacar o recurso “aumentando o diferencial de pressão”, tendo em vista o objetivo de verificar o desempenho de modelos que forcem diferenças de pressão e velocidade interna do ar.

Essa estratégia se dá por meio de projeções horizontais e verticais, externas ao edifício, que interferem no movimento do ar, promovendo o aumento e canalizando do fluxo de entrada dos ventos, além de interceptar brisas oblíquas às aberturas; incrementando desta forma a ventilação, auxiliando no conforto dos usuários.

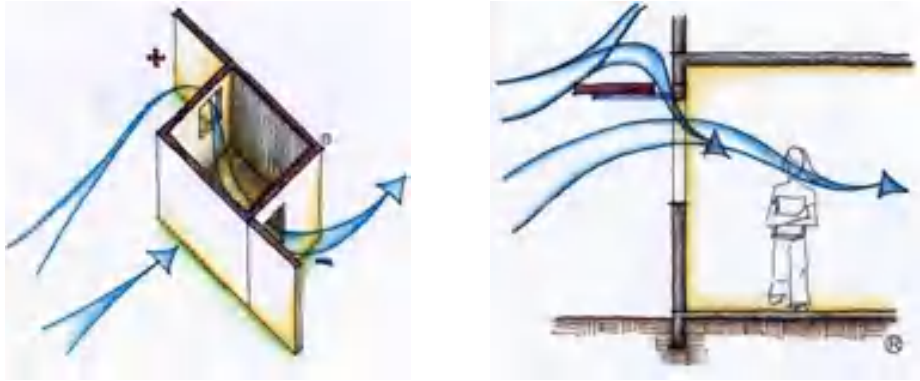
Figura 34 - Estratégias Bioclimáticas-Ventilação Natural.



Fonte: Adaptado de LabEEE, 2014.

Por meio do aumento ou decaimento dos níveis de pressão em determinadas zonas, produzidos por esses elementos verticais, pode-se levar a ventilação natural para as janelas paralelas às direções dos ventos predominantes. Uma vez obtida a entrada de ar, o direcionamento da brisa para a altura do ocupante pode-se dar pelas projeções horizontais, que permitem a circulação do vento e liberação do ar quente, quando deslocadas da edificação (Figura 35).

Figura 35 - Aumentando o diferencial de pressão: projeções verticais (esquerda) e horizontais (direita).



Fonte: Adaptado de LabEEE, 2014.

Portanto, diante do que foi mostrado nesta seção do trabalho, existem diversas recomendações projetuais, sejam em livros, normas, programas ou sites, que levam em consideração as necessidades locais para desenvolver uma arquitetura eficiente, adotando a ventilação natural como estratégia para promover o conforto, por meio de recursos para forçar diferenças de pressão e maximizar a circulação de ar.

Contudo, as recomendações apresentam esquemas simplificados, que muitas vezes deixam dúvidas sobre o quão eficientes são as soluções propostas, o que prejudica o senso de proporção necessário para uma tomada de decisões; pois, apesar de levar em conta o contexto climático, o conteúdo é limitado quanto às especificidades de cada projeto.

3.3 Simulação em CFD

Sabendo-se a complexidade de se trabalhar com as diversas variáveis envolvidas na avaliação do aproveitamento da ventilação natural, bem como os elementos que influenciam as mesmas, faz-se necessário a utilização de uma ferramenta que auxilie no manejo de tais fatores para obter-se uma estimativa mais precisa desta estratégia bioclimática. Contudo, por vezes, a representação da ventilação na elaboração do projeto se dá por meio de vetores que seguem a intuição do projetista, baseada em um conhecimento limitado sobre o assunto, contrastando com os complexos fenômenos físicos que envolvem a correta predição do fluxo de ar (CUNHA, 2010; BITTENCOURT *et al.*, 2010).

Sendo assim, os alguns métodos de simulação mais complexos são fundamentais para um cálculo mais preciso do movimento do ar, tendo em vista as especificidades de cada projeto. Dentre os quais estão: a mesa d'água, que simula a ventilação por meio da circulação de espuma na maquete em escala reduzida; o túnel de vento (com serragem ou fumaça), grande duto no qual modelos físicos são submetidos a determinadas velocidades de vento específicas, avaliadas através de sensores para identificar onde há circulação de ar ou turbulência; e os programas computacionais, que são baseados nas equações fundamentais da

dinâmica dos fluidos, sendo capazes de descrever o comportamento do ar em diferentes escalas (LEITE, 2015; BITTENCOURT *et al.*, 2010, LAMBERTS *et al.*, 2014).

“Utilizando a simulação, o arquiteto pode prever o desempenho energético de sua proposta arquitetônica, conhecendo inclusive o comportamento de cada elemento construtivo. Isto, aliado à aplicação dos recursos bioclimáticos, permite ao projetista conceber edificações mais eficientes. Além disso, é possível abordar de forma integrada os sistemas naturais e artificiais de condicionamento e de iluminação, respondendo mais adequadamente às condicionantes do clima e da função a que se destina o edifício.” (LAMBERTS *et al.*, 2014, p. 290)

Pode-se destacar a simulação computacional como um instrumento preciso, que possibilita a manipulação de dados, bem como realiza maior número de análises e apresenta grande volume e diversidade de resultados com um custo e tempo inferior, além de menor dispêndio de material e pessoas, quando comparado aos demais meios de avaliação do comportamento dos ventos, muito embora, ainda careça de adaptações para ser utilizado como parâmetro no processo projetual e exija do usuário conhecimento aprofundado e habilidade para configurar as variáveis da ferramenta de acordo com o objeto em estudo.

A simulação computacional é uma alternativa mais acessível do que testes em túneis de vento, por demandar menor infraestrutura e dispensar a confecção de maquetes físicas. Além disso, os softwares consomem menos energia, não demandam custos de manutenção mecânica, permitem que toda a operação seja realizada por apenas um usuário, não demandam equipe de apoio e apresentam diversas maneiras de visualização dos resultados através de imagens, vídeos, tabelas, gráficos, dentre outras. (CUNHA, 2010, p. 62)

Por meio deste recurso tecnológico, pode-se ter uma representação virtual mais próxima das características da edificação, mesmo que seja uma simplificação dos fenômenos reais; e um projeto mais eficiente com suporte quantitativo, o que permite ao usuário refletir, de maneira coesa e não arbitrária, sobre a representatividade da ventilação no seu projeto. Isso possibilita avaliar qualitativa e quantitativamente o impacto e o desempenho das estratégias adotadas de acordo com as especificidades de cada projeto, por ser uma abordagem mais completa e próxima da realidade, reduzindo equívocos na tomada de decisão projetual (VENÂNCIO, 2012).

Portanto, a simulação computacional de soluções arquitetônicas se mostra, por sua precisão, facilidade de manipulação do modelo e para variedade de resultados visuais e numéricos, como a melhor estratégia para auxiliar na avaliação do potencial que os modelos volumétricos (amostras de edificações e ambientes recomendados na literatura) têm para forçar diferenças de pressão e maximizar a ventilação cruzada, contribuindo para uma arquitetura mais eficiente.

3.3.1 Dinâmica de Fluidos Computacional - CFD

Diante do que foi apresentado, faz-se necessário entender melhor os programas de dinâmica dos fluidos computadorizada, que simulam os fluxos do vento. Por volta da década de 1960, a indústria aeroespacial incorporou as técnicas CFD no design de seus motores a jato e aeronaves, e desde então esta ferramenta está ganhando espaço na concepção e processos de produtos industriais ou não, uma vez que computadores de alto desempenho se tornaram mais

acessíveis e as interfaces mais amigáveis ao usuário, o que ampliou consideravelmente as áreas de aplicação dos mesmos nas últimas duas décadas (VERSTEEG; MALALASEKERA, 1995).

Na arquitetura e urbanismo sua aplicação se dá por meio de análises qualitativas e quantitativas do comportamento da ventilação natural em diferentes escalas, seja no que diz respeito ao projeto, ao conjunto de edifícios ou a área urbana. Isso possibilita a verificação de desempenho da edificação, o impacto de construções sobre a cidade, bem como a projeção de cenários futuros (LEITE, 2015).

Como o programa [CFD] torna-se de uso cada vez mais simples, incorporando a inteligência artificial, além de dados de computação paralela e uso da comunicação gráfica, eles tornar-se-ão mais adequados aos projetistas muito em breve [...]. Provavelmente substituirão todos os testes experimentais com modelos físicos, proporcionando flexibilidade nas avaliações da performance energética do edifício (BITTENCOURT *et al.*, 2010, p. 10).

O CFD, segundo Versteeg *et al.* (1995), é definido como a análise de sistemas, por meio da simulação computacional, que envolve fluxo de fluidos, transferência de calor e fenômenos associados. Já Franke *et al.* (2004) o descrevem como uma técnica numérica na qual equações descrevendo o fluxo de fluido são resolvidas em um computador. Enquanto que outros autores dizem que são ferramentas para quantificar o impacto das decisões projetuais (CUNHA, 2010), estudar fenômenos da dinâmica dos fluidos, incluindo a ventilação natural (LEITE, 2015), assim como, para analisar o caminho do fluxo de ar, a distribuição das temperaturas e os contaminantes de um espaço ventilado (MATOS, 2007); além de computar as trocas térmicas entre os fluxos e seus arredores e simular problemas envolvendo turbulência, aspecto este que ainda não é completamente conhecido (BITTENCOURT *et al.*, 2010).

Sendo assim, a simulação CFD corresponde ao método adotado neste trabalho, quanto a simular diferenças de pressão e velocidade do ar, tendo em vista o tempo e os recursos limitados para produção do mesmo. Assim, o programa adotado para tal finalidade é o Autodesk CFD 2016, por este ser disponibilizado gratuitamente para uso educacional. Contudo, para melhor aplicá-lo, serão apresentadas a seguir os principais conceitos, etapas e limitações que esta ferramenta requer.

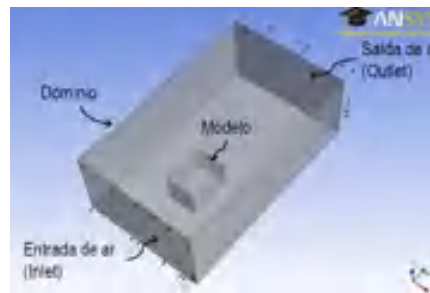
Com exceção da modelagem física, os modelos numéricos com base na Mecânica dos Fluidos Computacional, mais conhecidos como modelos CFD (iniciais de Computer Fluid Dynamics) são os únicos capazes de examinar alternativas de desenho e sua influência nos padrões de ventilação natural (BITTENCOURT *et al.*, 2010, p. 85).

Uma das definições que é preciso saber diz respeito ao domínio computacional que consiste no volume no qual o fluxo irá ser calculado (FRANKE *et al.*, 2004). Este deve ser definido após o modelo de estudo, uma vez que o volume do domínio envolve toda a região de interesse (Figura 36). Sua geometria pode assumir diversas formas, suas superfícies não devem interferir no escoamento para não influenciar os resultados da simulação (recomenda-se uma taxa de bloqueio inferior a 3%) e suas dimensões dependem do elemento mais alto contido na análise.

A opção por um domínio retangular pode ser feita quando se quer simular apenas uma direção de vento incidente. A confecção de domínio deste tipo

apresenta como principal vantagem a geração de malhas com menor número de elementos, uma vez que as dimensões do domínio são reduzidas em comparação ao formato octogonal ou circular, onde todas as direções tomam como medida àquelas indicadas para a região de sota-vento (LEITE, 2015, p. 128-129).

Figura 36 - Aspecto geral da malha composta por tetraedros para simulação de ventilação urbana.



Fonte: Cunha, 2010 p.74.

Desta maneira, dentre a literatura levantada tem-se um consenso de que, os limites do domínio superior, lateral e a barlavento devem distar cinco vezes ou mais a altura do maior edifício alvo, a partir do seu exterior. Contudo, a sota-vento, há divergência quando uns afirmam que deve ser de pelo menos 10 vezes a altura máxima (TOMINAGA *et al.*, 2008) e outros de pelo menos 15 vezes essa altura (FRANKE *et al.*, 2004; LEITE, 2015). Essa distância maior em relação aos demais limites se dá para permitir o desenvolvimento do fluxo.

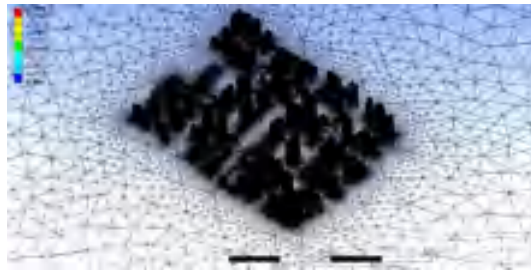
O domínio discretizado, ou seja, subdividido em várias células ou elementos de controle, com pontos não sobrepostos, tem o nome de grid ou malha computacional. Este define a resolução espacial da solução numérica, pois contém pontos que serão solucionados pelas equações fundamentais quando houver o processamento de dados, sendo assim, cada solução numérica depende da malha que é usada e do método de discretização a ser aplicado (VERSTEEG, 1995; LEITE, 2015; FRANKE *et al.*, 2004)

Quando se faz referência à malha computacional, é necessário primeiro definir o método de discretização que deve ser utilizado para as equações básicas. [...] Com os métodos de volume finito e diferença finita, os resultados computacionais dependem crucialmente da grade que é utilizada para discretizar o domínio computacional. O grid tem de ser concebido de tal forma que não introduza erros demasiado grandes. Isto significa que a resolução do grid deve ser suficientemente fina para capturar os importantes fenômenos físicos como camadas de cisalhamento e vórtices com resolução suficiente (FRANKE *et al.*, 2010, p.5)

O grid deve ter um bom refinamento, principalmente na área de interesse, para obter-se uma boa representação do comportamento do vento, mas, se muito refinado pode tornar o processamento muito lento (CUNHA, 2010). É recomendado que as formas das suas células sejam preferencialmente hexaédricas a prismáticas e/ou tetraédrica, uma vez que aquelas, geralmente, apresentam maior regularidade e convergência (Figura 37) (FRANKE *et al.*, 2004). Contudo, é indicado confirmar se os resultados iriam ter grandes alterações caso o refinamento ou a forma da malha fossem alterados (TOMINAGA *et al.*, 2008).

Para quantificar a influência da resolução de grid na solução, um estudo de convergência de malha deve ser idealmente feito. Para isso, devem ser utilizadas pelo menos três redes sistemáticas e substancialmente refinadas. A proporção de células para duas redes consecutivas deve ser de pelo menos 3,4. Em vez de refinar a grade inteira, o refinamento local da grade baseado em algum critério do refinamento (geralmente derivadas das variáveis do fluxo) pode ser usado para estimar a solução independente da grade. (FRANKE *et al.*, 2004, p.8).

Figura 37 - Aspecto geral da malha composta por tetraedros para simulação de ventilação urbana.



Fonte: Leite, 2015 p.131.

Todavia, apesar da malha poder ser configurada pelo usuário, esta pode ser gerada automaticamente pela opção *meshing*, que ajusta o grid ao modelo e ao domínio pré-definidos, ponderando quando há necessidade de um maior detalhamento ou espaçamento em determinadas regiões dos volumes. Apesar de utilizar parâmetros simplificados, os resultados continuam com uma boa qualidade, quando comparados a malhas mais ajustadas, contudo, e são apresentados com um menor tempo de simulação (CUNHA, 2010).

Outro conceito importante de ser esclarecido é o de condições de contorno, porque influencia a representatividade dos resultados, uma vez que simbolizam o entorno que fora cortado pelo domínio computacional (FRANKE *et al.*, 2010). Sendo assim, as condições de contorno especificam a velocidade e a direção do vento a serem adotadas na simulação da ventilação (CUNHA, 2010).

Como elas [condições de contorno] determinam em grande medida a solução dentro do domínio computacional, sua escolha apropriada é muito importante. Muitas vezes, porém, essas condições de contorno não são totalmente conhecidas. Portanto, os limites do domínio computacional devem estar suficientemente longe da região de interesse para não contaminar a solução com as condições de contorno aproximadas (FRANKE *et al.*, 2010, p.4).

Portanto, cada superfície deve ter sua especificação para o melhor funcionamento da simulação. Para as condições de entrada do fluido recomenda-se que seja uma camada limite de equilíbrio; enquanto que, para as faces lateral e superior é indicada a fronteira de simetria, pois proporciona um fluxo paralelo; ou o limite de escoamento de saída, que permite a existência de componentes de velocidade normais nesses planos.

Quanto ao contorno de saída, este deve ser representado pelo limite de vazão, também chamado de fronteiras abertas, por onde todo ou a maior parte do vento sai do domínio, correspondendo a um fluxo totalmente desenvolvido (FRANKE *et al.*, 2010; FRANKE *et al.*, 2004). Além disso, há uma distância mínima estabelecida entre os limites das condições de contorno e a área de análise, coincidindo ou se aproximando do domínio; para que não haja a

reentrada do fluxo de ar neste, evitando a interferência no desempenho da simulação (VERSTEEG,1995).

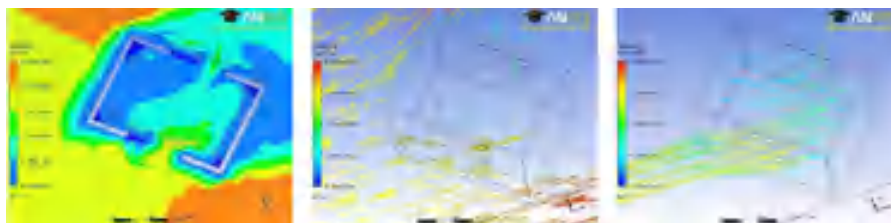
Sabendo disso, pode-se, agora, compreender as etapas envolvidas no procedimento de execução do CFD. Seguindo a divisão de Versteeg *et al.* (1995), pode-se dizer que o programa contém três passos principais denominados (i) pré-processador, (ii) *solver* e (iii) pós-processador. Na primeira fase, é onde se tem a entrada de dados confiáveis (obtidos em estações climatológicas), a seleção dos fenômenos físicos e químicos e a definição de propriedades do fluido na interface do software, que por sua vez, se transformam em informações adequadas para utilização no passo seguinte. Portanto, inicialmente é feita tanto a modelagem do objeto de estudo, seu entorno e domínio, seja na própria ferramenta CAD do software ou em outra que seja compatível com o mesmo; quanto à configuração da malha e condições de contorno (CUNHA, 2010).

A área de abertura e o coeficiente de descarga, o nível de obstrução do entorno e a rugosidade do meio, a velocidade do ar e a pressão sobre as aberturas são algumas das informações comumente solicitadas. Considerando que a área de abertura e o coeficiente de descarga são definidos por meio de decisões arquitetônicas baseadas em fatores como custos, tecnologias construtivas, plásticas do edifício, e que o entorno tem pouca ou nenhuma interferência do projetista de edificações, concluiu-se que a maior dificuldade consiste em definir o campo de pressões devido ao vento incidente sobre as fachadas da edificação e a velocidade dos fluxos, uma vez que estas sofrem alterações mais significativas em função da forma urbana. (LEITE, 2015, p. 90).

Na etapa seguinte, onde há o processamento do *input* e não há interferência do usuário, são calculadas e gerenciadas às equações de fluxo de fluido, sejam elas de aproximação das variáveis desconhecidas, de discretização da malha por substituição da aproximação na equação de escoamento e por manipulação matemática subsequente e de solução das equações algébricas. O *solver* pode ser realizado por meio de três técnicas: a diferença finita, os elementos finitos e os métodos espectrais. A diferença entre elas reside na maneira com que as variáveis de fluxo são aproximadas e pelo processo de discretização (VERSTEEG *et al.*, 1995).

Tendo obtido os resultados, estes são apresentados, na terceira fase, com uma qualidade visual boa e versátil, na forma de imagens, vetores, isolinhas, linhas de fluxo, superfícies e campos de contorno e, em alguns casos, animações, o que permite avaliar o aspecto qualitativo e quantitativo da ventilação, de acordo com sua legenda (Figura 38). Para, além disso, têm-se ainda os dados numéricos em textos, tabelas e gráficos, que servem para análise e síntese de resultados.

Figura 38 - Campos de velocidade (Esquerda), Vetores de velocidade (Centro) e Linhas de fluxo do escoamento (Direita).



Fonte: Cunha, 2010, p.68.

A representação em três dimensões é bastante didática, pois demonstra visualmente as informações do fluxo de ar. Os campos de velocidade são úteis para avaliar a distribuição interna do fluxo de ar [...], porém são pouco representativos na avaliação da direção do escoamento. Os campos de pressão são especialmente úteis para avaliar a distribuição dos coeficientes de pressão sobre as fachadas e aberturas, que é essencial no cálculo do potencial de uso da ventilação, bem como na determinação das zonas de baixa pressão, onde há pouca circulação de ar. [...] Os vetores permitem a visualização das zonas de maior ou menor intensidade do fluxo, de formação de vórtices e de aceleração ou perda de velocidade do ar. [...] As linhas de fluxo são linhas que representam o percurso do escoamento e, semelhante aos vetores, permitem a aferição do fluxo de ar ao longo do domínio com melhor descrição dos vórtices. A disposição adequada das linhas de fluxo é necessária para facilitar o entendimento da imagem (CUNHA, 2010, p.68-69).

Contudo, vale ressaltar que o CFD apresenta limitações quanto ao uso, no que diz respeito ao conhecimento necessário para utilizar o programa, proporcionado por um longo treinamento, devido a sua complexidade; bem como, à capacidade computacional, relativa ao processamento e a memória da máquina, o que invariavelmente resulta em simplificações dos modelos (BITTENCOURT *et al.*, 2010; CUNHA,2010).

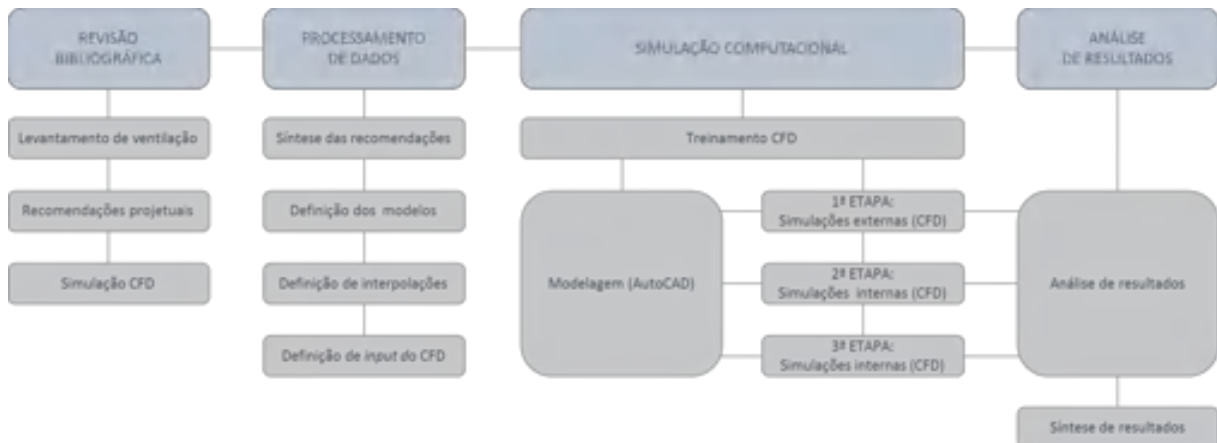
Entretanto, como Leite (2015) afirma que “as ferramentas computacionais representam mecanismos fundamentais na avaliação de um projeto ou mesmo edificação existente, permitindo contornar obstáculos e questões consideradas quanto à interferência do usuário num monitoramento” (p.127). Portanto, os métodos de simulação são precisos, posto os avanços dos códigos, interfaces e representações dos fluxos internos e externos à edificação, em um menor tempo, com alta qualidade e variedade de resultados.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho lida com resultados quantitativos, pois trata do desempenho de modelos tridimensionais com elementos que forçam diferenças de pressão e, por conseguinte, fluxos internos de ar. A ferramenta de simulação computacional de dinâmica de fluidos (CFD) fornece esses dados através de saídas gráficas diversas. Vale salientar, contudo, que o processo de elaboração e aperfeiçoamento dos modelos apresenta uma abordagem qualitativa, algumas vezes envolvendo processos de análise e síntese similares ao que acontece em processos projetuais. Os casos desenvolvidos partem da análise de situações encontradas em recomendações de projeto.

Sendo assim, os processos de realização da pesquisa incluem, além da revisão bibliográfica, processamento de dados, simulação computacional e análise de resultados (Figura 39).

Figura 39 - Organograma metodológico.



Fonte: Acervo pessoal.

A seguir, são apresentados e descritos os processos que fazem parte da pesquisa. Porém a revisão bibliográfica já foi apresentada, pois esta é uma etapa de suporte direto à metodologia e à realização dos demais procedimentos, tanto no que diz respeito ao uso da ferramenta quanto à própria definição de casos que serão simulados.

4.1 Processamento de dados

Esta etapa busca definir os modelos a serem avaliados, agrupando, sintetizando e selecionando as recomendações projetuais identificadas. A seguir, são determinadas as interpolações a serem adotadas nos modelos de simulação de ventilação natural, bem como a descrição dos modelos e as principais variáveis envolvidas no *input* do programa CFD. Sendo assim, a etapa de processamento de dados faz uma delimitação inicial para a primeira série de simulações, realizadas apenas com fluxos externos.

4.2 Simulação computacional

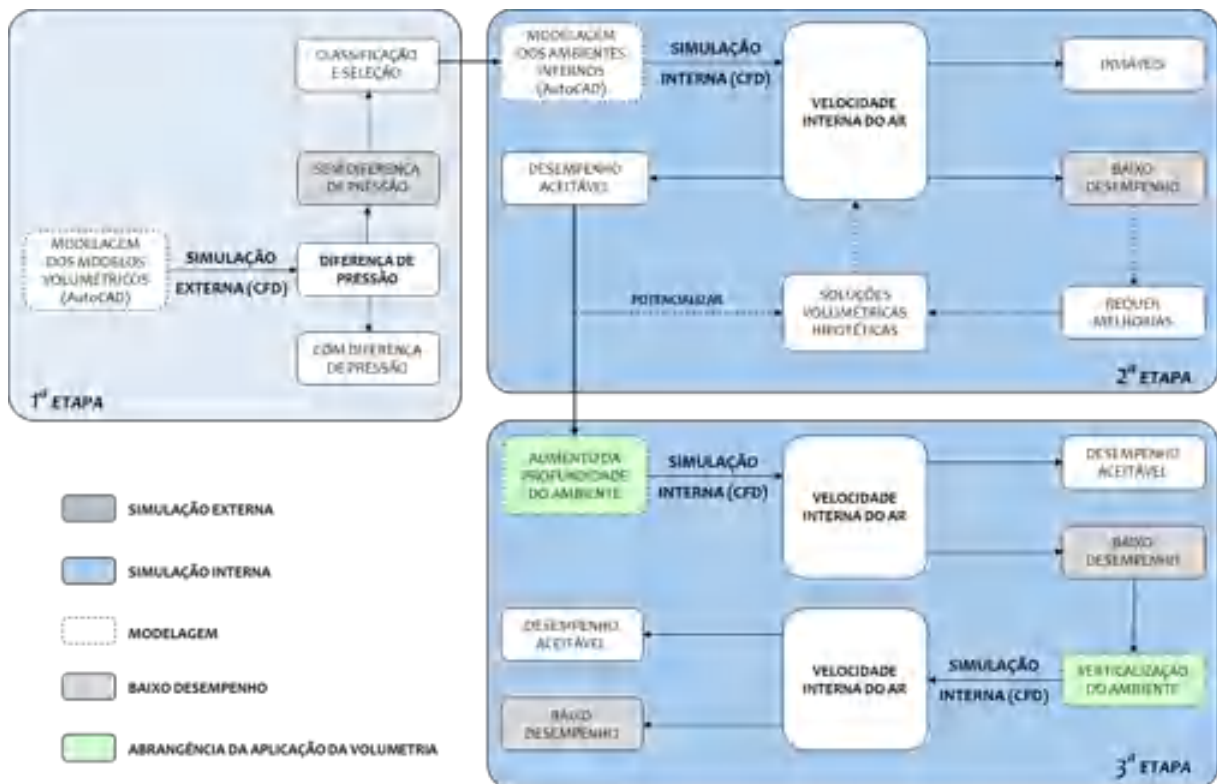
Esta é a fase chave do trabalho, uma vez que requereu maior dedicação e atenção. Os procedimentos são divididos em duas fases principais: de simulações externas e internas, o que exigiu uma grande demanda de tempo, seja pela quantidade de variáveis envolvidas ou pelo próprio processamento de resultados ou limitações do software. A ferramenta adotada é o Autodesk CFD 2016. Embora já se tivesse adquirido noções básicas da ferramenta em pesquisa anterior¹, foi necessário um tempo para se aprofundar no programa de simulação.

Após a delimitação inicial dos casos a serem simulados, a primeira etapa de simulação foi iniciada, a partir da modelagem digital de várias composições volumétricas no AutoCAD, considerando as restrições de modelagem do programa de simulação de ventilação. As simulações externas permitem uma aproximação inicial sobre a distribuição de diferenças de coeficientes de pressão em todos os casos definidos, variável essencial para se identificar situações em que há ou não potencial para ventilação cruzada. Assim, os dados obtidos formam um repertório de resultados de distribuição de coeficientes de pressão em fachadas, o que busca dar suporte qualitativo a etapas posteriores de criação de hipóteses. Dentre os casos simulados, foram identificadas situações em que diferentes fachadas de um suposto ambiente não apresentavam diferença de pressão consideráveis entre faces perpendiculares e/ou opostas. A esses casos, sem potencial para ventilação, foram adicionados elementos horizontais e/ou verticais para que pudéssemos verificar a eficácia de cada estratégia.

Partindo dos modelos selecionados, foram levantadas hipóteses – com base em todo o material teórico levantado – para melhorar o funcionamento de ambientes cujas faces externas não apresentam diferença de coeficiente de pressão. Assim, a manipulação de variáveis volumétricas e/ou superficiais teve o objetivo de potencializar a ventilação interna, forçando diferenças de pressão para verificar a pertinência da solução proposta. Sendo assim, as hipóteses foram simuladas internamente, a fim de verificar o comportamento e melhorar o desempenho dos ventos no interior dos ambientes quanto à velocidade do ar e alcance da ventilação no ambiente. Após obter volumetrias com bom desempenho para os padrões estabelecidos, foi verificada, também, a aplicação das mesmas em ambientes mais profundos ou mais elevados, compondo assim a terceira etapa da simulação computacional. Essas podem ser melhor compreendidas quando observamos a Figura 40, que interliga e desenvolve esse processo de forma objetiva.

¹ Projeto de pesquisa “Formulando e resolvendo dilemas de projeto: aplicação didática de modos projetuais de simulação em projetos de estudantes de arquitetura.”; desenvolvido no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), realizado e financiado com apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil).

Figura 40 - Fluxogramas dos processos de simulação externa e interna de ventilação natural.



Fonte: Acervo pessoal.

4.3 Análise de resultados

Os resultados foram analisados em dois níveis de abordagem. Primeiramente, ao longo do processo, de forma reflexiva e contínua, para identificar, testar e melhorar o desempenho dos modelos durante parte das fases de simulação externa e interna. Por fim, uma análise comparativa entre casos cujas tipologias são similares.

Sendo assim, os padrões e resultados poderão ser apresentados de forma clara e acessível. Embora as geometrias abordadas sejam simplificadas, pois foram desenvolvidas a partir da repetição de um módulo base, as soluções testadas são exemplificadas por meio de soluções usadas em alguns projetos construídos. A combinação dos resultados obtidos com a referência externa a casos que apresentam elementos que podem potencializar fluxos internos de vento fecham o percurso do trabalho, que parte da identificação de recomendações e princípios, passa pela contínua análise de soluções inspiradas pelas diretrizes encontradas na literatura e termina na busca por elementos em projetos concretos que podem, ao mesmo tempo, definir uma linguagem arquitetônica e maximizar o aproveitamento da ventilação natural.

5. PROCESSAMENTO DE DADOS

A partir dos conceitos apresentados sobre ventilação natural, recomendações projetuais e simulação computacional de dinâmica dos fluidos, pode-se agora agrupar, sintetizar e definir, dentre as recomendações projetuais identificadas, os modelos a serem simulados e avaliados em etapas posteriores.

Portanto, como forma de organizar o conteúdo apresentado, a Tabela 1 mostra as recomendações projetuais de acordo com o autor e a relação que as mesmas têm com a volumetria e as aberturas da edificação. Optou-se por esse agrupamento pelo fato das simulações serem divididas em externas, mais relacionadas com a volumetria do modelo e com a identificação da diferença de pressão entre as superfícies; e internas, voltadas para a configuração e posicionamento das aberturas de acordo com os resultados obtidos, bem como com a distribuição da ventilação no interior da edificação.

Fica claro ao observar a tabela, que a forma, as projeções volumétricas para captação de vento (projeções verticais/ horizontais e torres) e os pátios são os elementos mais relevantes quanto à volumetria. Quanto às aberturas, nota-se que tanto a orientação quanto a ventilação cruzada e vertical são os pontos que devem ter destaque nas simulações.

Tabela 1 - Síntese das recomendações projetuais apresentadas de acordo com o autor e a relação com volumetria e aberturas da edificação

AUTOR	RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS	
	VOLUMETRIA	ABERTURAS
LAMBERTS (2014)	Forma / Projeções volumétricas/ Ventilação vertical	Orientação / Espaços fluidos/ Ventilação vertical
LAMBERTS (2016)	-	Ventilação cruzada
FROTA (2001)	Forma / Vegetação	Orientação
CLIMATE CONSULTANT, LIGGETT E MILNE (2010)	Ventilação vertical/ Elevação da edificação/ Varandas/ Pátios	Orientação / Aberturas opostas/ Espaços fluidos/ Ventilação vertical/ Pequenas aberturas sombreadas
NBR 15220-3 (2004)	-	Grandes aberturas sombreadas/ Ventilação cruzada
NBR 15775 (2013)	-	Ventilação cruzada/ Grandes aberturas
BITTENCOURT (2010)	Forma / Captadores de vento/ Anteparos / Pátios/ Pilotis	Orientação/ Peitoril ventilado/ Pérgulas
LabEEE, ProjetEEE (2014)	Quebra vento/ Vegetação/ Aumento do diferencial de pressão/ Torre de resfriamento/ Pátio interno/ Torre de vento	Orientação/ Ventilação cruzada (volumetria, plantas abertas, janelas opostas)/ Efeito chaminé/ Aberturas / Cobertura e parede ventilada/ Ventilação noturna

Fonte: Acervo pessoal.

Além disso, como será apresentado a seguir, as variáveis de *input* no programa CFD, bem como as relacionadas ao modelo, devem ser bem definidas para que haja coerência entre os resultados a serem analisados e comparados.

5.1 Definição do modelo

Diante do exposto, devem-se levar em consideração as variáveis relacionadas à modelagem, ou seja, a forma do modelo, já que este é o início da simulação. Sendo assim,

inspirado no experimento em túnel de vento feito por Evans (1973) *apud* Bittencourt *et al.* (2010), será tomado um bloco padrão (Figura 41), de 3x3m com altura de 3m, como módulo base para as simulações.

Figura 41 - Bloco padrão.



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do AutoCAD.

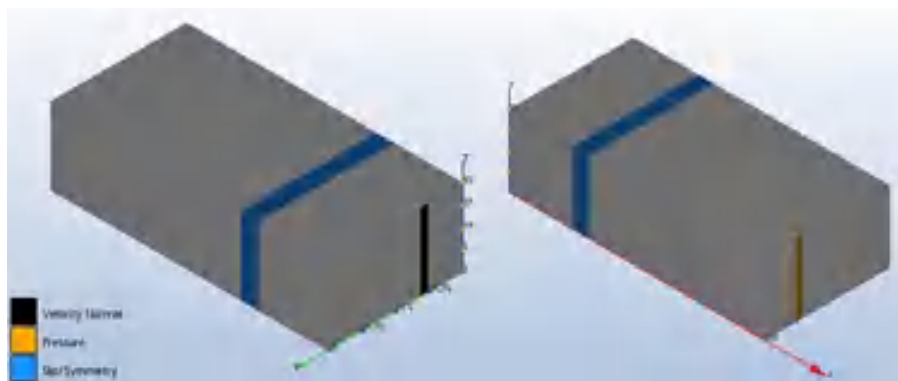
Por meio desse módulo, sabendo que o presente trabalho se propõe a estudar a volumetria para captar vento, as combinações têm como conceito as três dimensões (altura, largura e profundidade) e suas orientações, onde as variações formais foram realizadas pela adição de novos blocos dentro dos critérios pré-estabelecidos, que serão melhor explicados no capítulo seguinte - simulação computacional.

Tendo os modelos definidos, a próxima variável a ser considerada é o domínio, posto que este também é modelado. Levando em conta os autores aqui citados (TOMINAGA *et al.*, 2008; FRANKE *et al.*, 2004; LEITE, 2015), foi considerado a distância de cinco vezes a altura do modelo, partindo de sua superfície, para as faces superior, lateral e a barlavento do domínio; e de quinze vezes essa mesma distância a sota-vento do domínio.

No que diz respeito às variáveis de *input*, que devem ser determinadas para execução do programa CFD, as propriedades dos materiais utilizados são os primeiros a serem definidos. O modelo foi caracterizado como concreto (material sólido), enquanto o domínio como ar (material fluido).

Nas condições de contorno, as superfícies do domínio foram configuradas como variação espacial de velocidade no eixo vertical, calculadas considerando que a velocidade a 10 metros é de 3m/s^2 . A entrada do fluxo, já com as variações de velocidade (perfil logarítmico), é atribuída a uma das faces do modelo. Nas faces laterais e superior, superfície de deslize/simetria, enquanto que a saída de ar, é definida com pressão zero (Figura 42).

Figura 42 - Condições de contorno.

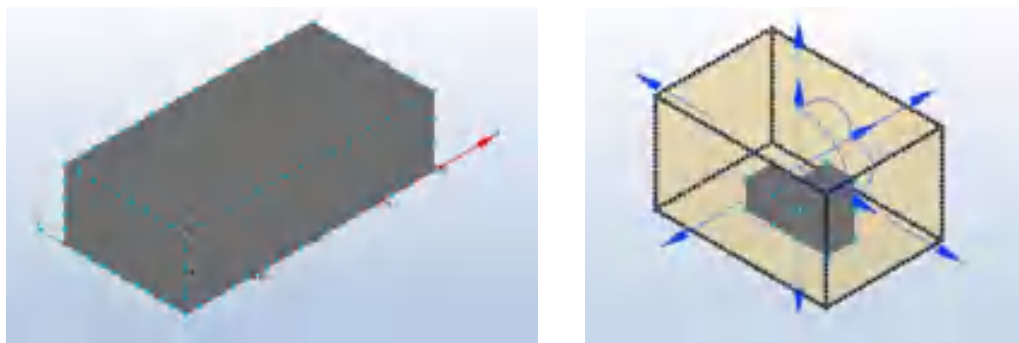


Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

² A equação que calcula a velocidade em determinada altura adota uma altura e velocidade de referência, além do expoente de Helmann, que expressa as características da localização. Foi adotado o expoente 0.27, adequado para “ar instável sobre áreas habitadas”.

Já o *grid*, este foi gerado automaticamente (*autosize*), pois além desse método apresentar bons resultados em menor tempo de simulação (CUNHA,2010), o modelo não apresenta maiores complexidades formais para que seja confeccionada uma malha muito refinada. Contudo, a região imediata ao volume analisado foi ajustada manualmente a uma distância máxima de 3 metros das superfícies do modelo, com uma proporção de refinamento de 15 centímetros, para que houvesse resultados mais precisos nos arredores da edificação (Figura 43).

Figura 43 - Autosize (Esquerda) e Ajuste do *grid* (Direita).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

No mais, em relação ao programa CFD, configurou-se o *solve*, para que o *output* tivesse as informações necessárias (pressão e velocidade) para análise de resultados e prosseguimento do projeto, além de definir o modelo de turbulência adotado, que foi o SST K-omega³, bem como a quantidade máxima de iterações (mil) a serem executadas, para que pudesse haver a convergência de dados em um tempo hábil.

Logo, após realizar as simulações externas, dentro destas configurações, e analisá-las, foram classificados e selecionados as situações, entre os casos simulados, que apresentaram baixo desempenho: salas (módulos) cujas faces externas não apresentam grandes diferenças de pressão; para serem simuladas internamente, dentro do tempo disponibilizado, com adição de grandes aberturas, totalizando no mínimo 40% da área do piso do módulo (ABNT, 2004), ou seja, aproximadamente 2,90 m². Portanto, dependendo da hipótese gerada, o peitoril e as dimensões da janela foram ajustados a fim de proporcionar uma melhor ventilação.

³ O modelo de turbulência SST K-omega (*Shear-Stress-Transport K-omega*) é indicado pelo guia de aprendizagem CFD da Autodesk (2015), por apresentar menor sensibilidade a condições de fluxo livre e evitar acumulação de energia cinética turbulenta desnecessária perto de pontos de estagnação.

6. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Uma vez que a diferença de pressão é o ponto principal para haver ventilação cruzada; e a velocidade interna do ar no ambiente é um dos fatores que geram a sensação de conforto térmico, esses dois parâmetros foram levados em conta na ventilação testada na simulação computacional.

Sendo assim, tendo em vista a metodologia e os parâmetros estabelecidos anteriormente para o desenvolvimento desta fase, alguns modelos foram simulados externamente. Em etapa posterior, os casos que têm um ou mais módulos que não apresentam diferença de pressão foram simulados, internamente por meio de hipóteses balizadas pelas recomendações de projeto. A baixa diferença de pressão é um forte indicativo de baixo potencial de fluxo de vento interno.

6.1. Descrição e Análise de resultados

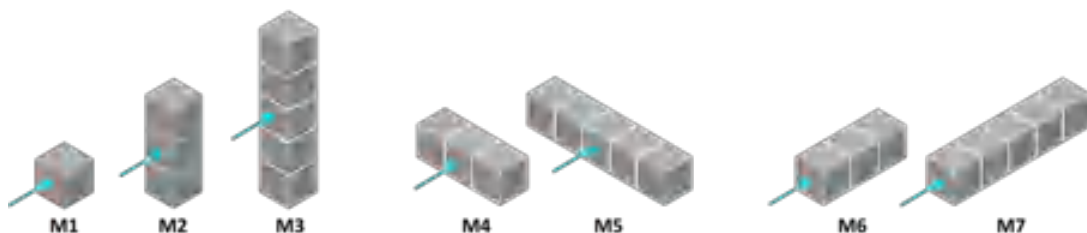
As descrições e análise de resultados dos modelos simulados estão divididas em duas partes principais, referentes à simulação externa, que busca identificar e selecionar os casos com baixa diferença de pressão (1ª Etapa); e interna, que tanto avalia o desempenho e a pertinência das hipóteses, quanto a velocidade dos ventos (2ª Etapa). Em fase posterior, são testadas e comparadas outras configurações das volumetrias hipotéticas previamente testadas (3ª Etapa) para maior abrangência de aplicação.

6.1.1 Simulação externa – Classificatória (1ª Etapa)

Uma vez determinado o bloco padrão, o conceito base, as variáveis do programa e tamanho das aberturas, pode-se agora seguir para as interpolações. Sendo assim, tendo em vista também o agrupamento das recomendações projetuais e o tempo limitante, decidiu-se subdividir a simulação externa em quatro tipos de volume e incidência dos ventos: formas básicas (i), variações verticais (ii), variações horizontais (iii) e casos com incidência inclinada (iv). Os casos serão avaliados por esquemas em planta, corte e superfícies.

Os casos de formas básicas buscam um diagnóstico inicial sobre as diferenças de pressão em modelos que variem em apenas uma das dimensões. Portanto, cada dimensão foi simulada e avaliada individualmente com um, três e cinco módulos (Figura 44), para, assim, observar a interferência gradual do volume ao forçar diferenças de pressão.

Figura 44 - Forma básica : altura (Esquerda), largura (Centro) e profundidade (Direita).

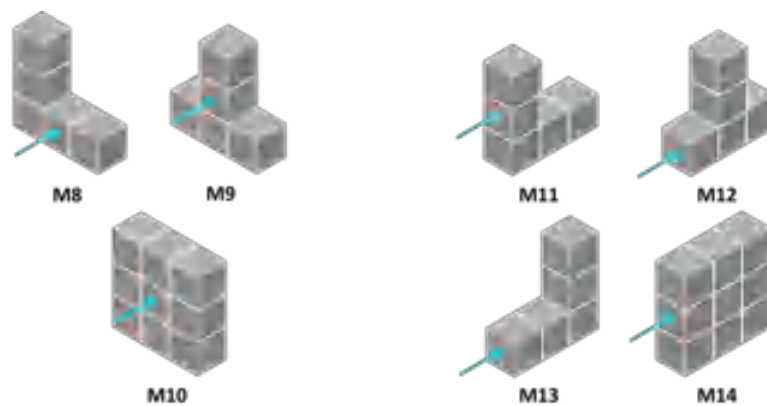


Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Contudo, a simulação com um módulo serviu para avaliação das três dimensões, uma vez que apresenta as mesmas medidas nos três sentidos; totalizando, então, sete simulações com modelos de formas básicas, onde a incidência do fluxo de ar está relacionada com a dimensão escolhida para análise (altura, largura ou profundidade), seja nesta fase ou nas seguintes.

No que diz respeito a variações verticais, que podem indicar potencial para ventilação em elementos verticais, como captadores de vento e torres de resfriamento. Os casos dessa categoria trazem alterações em apenas duas dimensões combinadas, sendo uma delas a altura. Todavia, apenas uma das dimensões foi modificada, de maneira tal que o posicionamento do volume em altura foi alterado enquanto a outra componente, largura ou profundidade, se manteve constante (Figura 45).

Figura 45 - Variação vertical: largura (Esquerda) e profundidade (Direita).

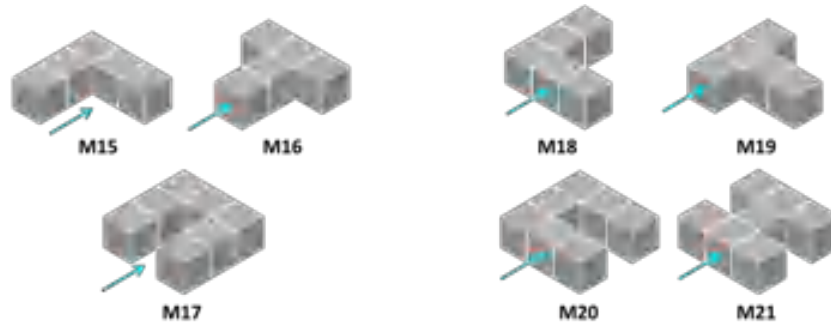


Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Ainda no que se refere a esta fase, optou-se pela interpolação dos modelos de três módulos, incluindo a altura, por serem as amostras intermediárias da etapa anterior, a fim de verificar a influência da verticalidade ao forçar diferenças de pressão em relação a uma das outras dimensões. Além disso, outro fator determinante foi a distribuição do posicionamento dos blocos adicionados. Quando houver a análise da largura, é provável que a colocação à esquerda ou à direita do modelo base tenha resultados semelhantes, porém invertidos. Por isso, foi escolhida apenas a localização à esquerda para ser simulada, além da posição central e da variação da altura (repetição do pavimento inferior). Quanto à profundidade, a escolha pela disposição à frente, no meio, atrás e de pavimentos sobrepostos, se deu, pois, possivelmente, apresentarão resultados distintos. A composição final, então, teve sete variações verticais, sendo três de largura, e quatro de profundidade.

Em terceiro, a variação horizontal, referente a projeções volumétricas, pátios e quebra vento; se deu pela combinação entre a largura e profundidade (Figura 46), por essa interpolação não ter sido ainda proposta nas etapas anteriores e por estar de acordo com a questão da influência horizontal. Pensando desta maneira, o critério dos três módulos por grandeza volumétrica será mantido.

Figura 46 - Variação vertical: largura (Esquerda) e profundidade (Direita).

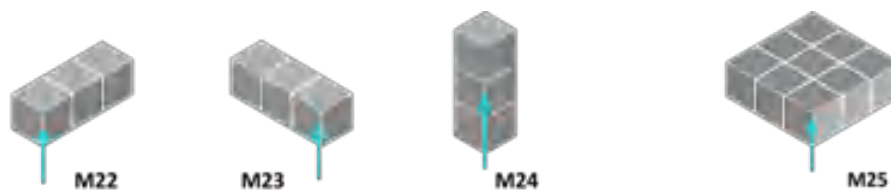


Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Para maior controle da quantidade de simulações externas, esta fase, também tem sete variações, com a mesma divisão entre as dimensões (largura e profundidade), pois as justificativas e limitações das distribuições dos blocos acrescentados, diante a dimensão avaliada, foram mantidas. Entretanto, após o modelo M19, que deveria ser seguido pela mesma concepção formal já apresentada no M15, no lugar desta foi, então, proposto outro caso para completar as quatro simulações em relação à profundidade na variação horizontal, sem comprometer a lógica da sequência utilizada.

Já na etapa da incidência inclinada, o que difere das demais é o encontro do vento a 45° em relação às fachadas, com a repetição de algumas geometrias simuladas com incidência ortogonal. Por exemplo, o modelo M24 é correspondente ao M2 com incidência inclinada à altura. Contudo, dada a limitação de tempo de simulação, resolveu-se realizar três casos comparativos, um relativo a cada dimensão e um caso exploratório, combinando a largura e profundidade, sendo avaliada esta última (Figura 47).

**Figura 47 - Incidência inclinada:
Comparativo - profundidade, largura, altura (Esquerda) e Exploratório - profundidade (Direita).**



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Em síntese, na fase de simulação externa as soluções arquitetônicas relativas à forma, variação vertical, horizontal e incidência inclinada foram modeladas, processadas e analisadas, de maneira específica nas três dimensões, no tocante a diferenças de pressão dos módulos projetados, totalizando 25 simulações (Tabela 2). Para facilitar o processamento de dados, foram estabelecidas codificações padronizadas para os modelos propostos, onde se encontram abreviadas a fase externa, a dimensão avaliada e em seguida o número do modelo, tendo em vista a grande quantidade de simulações realizadas.

Tabela 2 – Síntese das simulações externas: forma, variação vertical, horizontal e vertical-horizontal.

PREDOMINÂNCIA DOS VENTOS	REFERÊNCIA DOS MODELOS				SIMULAÇÕES
FORMAS BÁSICAS					
ALTURA	F:A:M1	F:A:M2	F:A:M3		3
LARGURA	F:L:M4	F:L:M5			2
PROFUNDIDADE	F:P:M6	F:P:M7			2
TOTAL PARCIAL					7
VARIAÇÃO VERTICAL					
LARGURA	V:L:M8	V:L:M9	V:L:M10		3
PROFUNDIDADE	V:P:M11	V:P:M12	V:P:M13	V:P:M14	4
TOTAL PARCIAL					7
VARIAÇÃO HORIZONTAL					
LARGURA	H:L:M15	H:L:M16	H:L:M17		3
PROFUNDIDADE	H:P:M18	H:P:M19	H:P:M20	H:P:M21	4
TOTAL PARCIAL					7
INCIDÊNCIA INCLINADA					
ALTURA	I:A:M24				1
LARGURA	I:L:M23				1
PROFUNDIDADE	I:P:M22	I:P:M25			2
TOTAL PARCIAL					4
TOTAL GERAL DE SIMULAÇÕES					25

Fonte: Acervo pessoal.

Ao finalizar as simulações externas, foram feitas a categorização e seleção dos vinte e cinco modelos já simulados. Sendo assim, diante dos resultados obtidos⁴, sobretudo os de coeficientes de pressão, expressos na Tabela 3 pela representação de duas vistas de cada caso. Foi observado que, embora se tenha uma considerável diferença de pressão entre algumas fachadas nos modelos como um todo, a mesma coisa não ocorre quando se remete à possível disposição interna dos ambientes (um por módulo) (Figura 48).

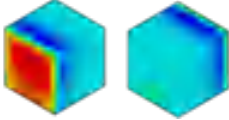
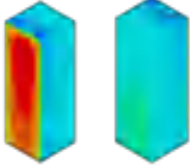
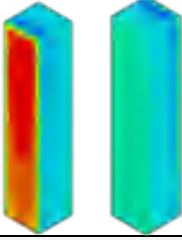
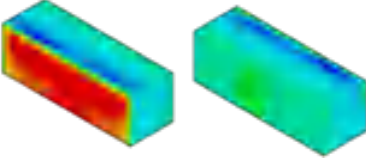
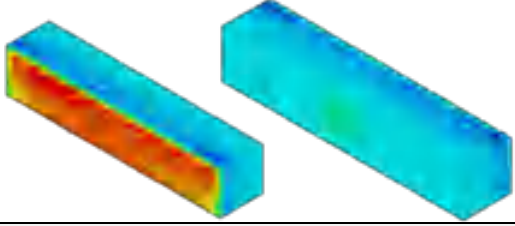
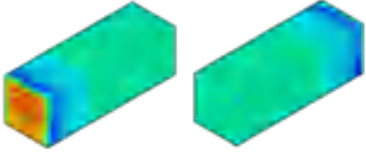
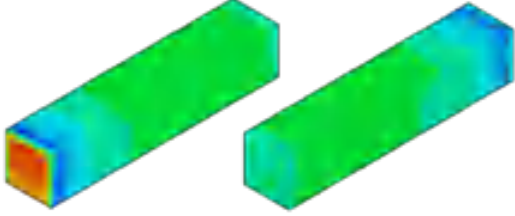
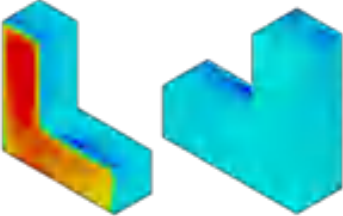
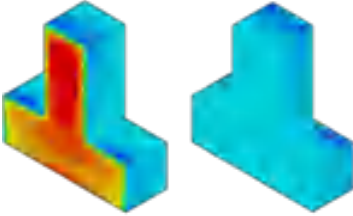
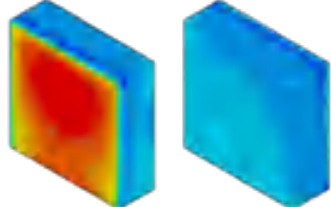
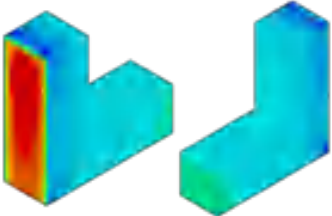
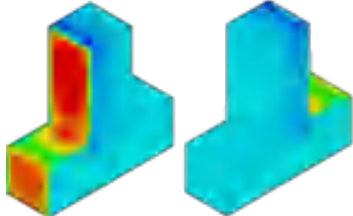
Figura 48 - Esquema em planta de diferença de pressão - Modelo (Esquerda) e Módulo (Direita)

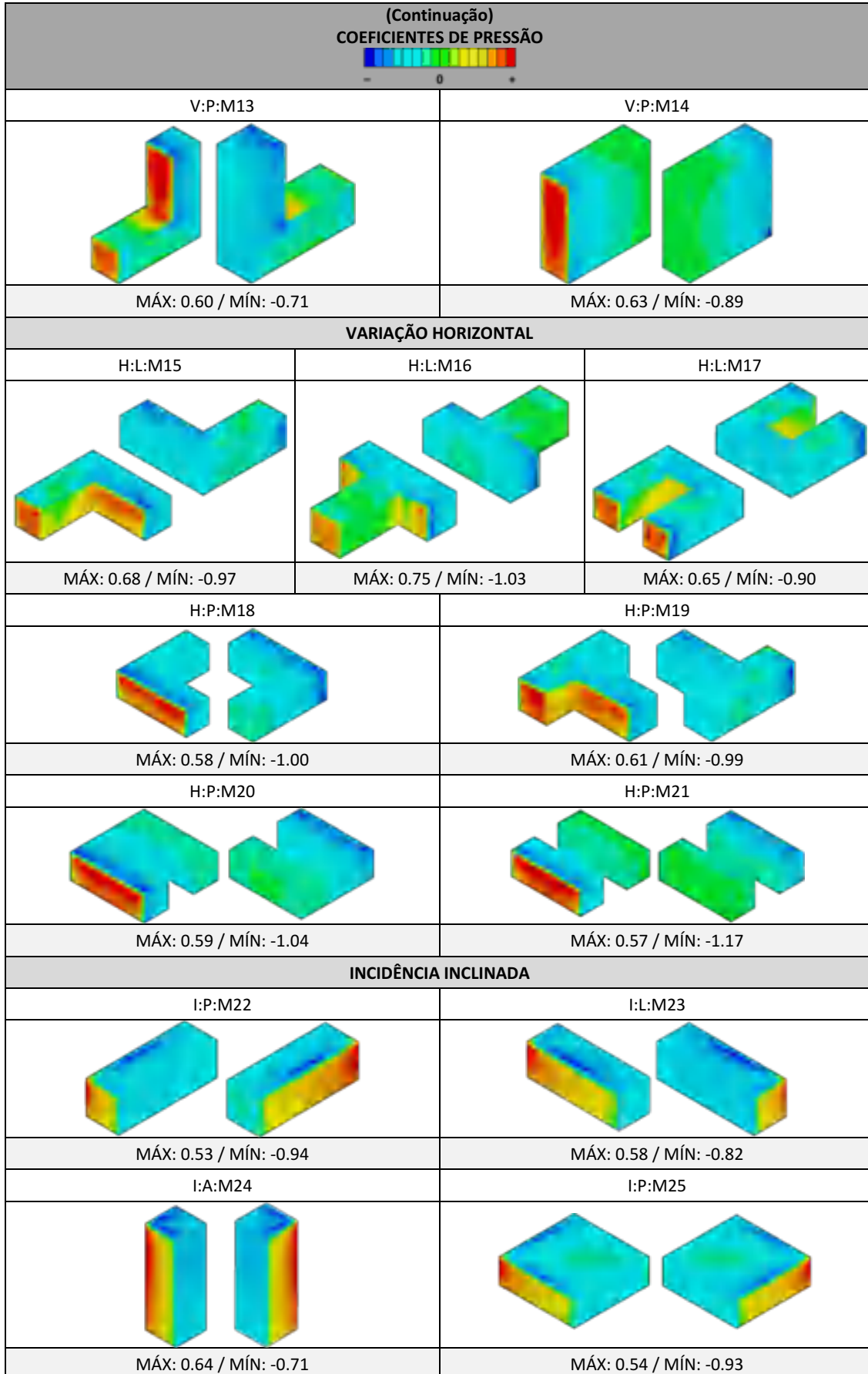


Fonte: Acervo pessoal

⁴ Os resultados gerados pelas simulações dos vinte e cinco modelos externos estão no arquivo digital presentes no CD em anexo no apêndice.

Tabela 3 - Síntese das simulações externas: coeficientes de pressão e pressões máximas e mínimas.

COEFICIENTES DE PRESSÃO		
FORMAS BÁSICAS		
F:A:M1	F:A:M2	F:A:M3
		
MÁX: 0.50 / MÍN: -0.59	MÁX: 0.68 / MÍN: -0.93	MÁX: 0.64 / MÍN: -0.95
F:L:M4	F:L:M5	
		
MÁX: 0.47 / MÍN: -0.94	MÁX: 0.65 / MÍN: -1.24	
F:P:M6	F:P:M7	
		
MÁX: 0.65 / MÍN: -0.81	MÁX: 0.59 / MÍN: -0.76	
VARIAÇÃO VERTICAL		
V:L:M8	V:L:M9	V:L:M10
		
MÁX: 0.65 / MÍN: -0.86	MÁX: 0.66 / MÍN: -0.79	MÁX: 0.69 / MÍN: -0.73
V:P:M11	V:P:M12	
		
MÁX: 0.63 / MÍN: -0.74	MÁX: 0.61 / MÍN: -0.70	



Ao identificar situações com baixa diferença de pressão entre possíveis janelas, os casos foram categorizados em tipos gerais, por existirem modelos de comportamentos semelhantes nos diversos casos simulados. Dentre eles, foram selecionados alguns modelos para prosseguimento do experimento (Tabela 4), que busca aprimorar e verificar o desempenho da volumetria para captação de ventos. Dessa maneira, a fase de simulações externas deu suporte à seleção de casos de simulação interna.

Portanto, tendo por base tais dados, esses foram classificados pela combinação entre a exposição das fachadas ao exterior e por apresentar a mesma diferença de pressão entre as faces, podendo se enquadrar em uma ou mais categoria, distribuídas da seguinte maneira: faces opostas (i), faces a 90° (ii), três faces negativas (iii), face única (iv) e face frontal com obstáculo (v) (Tabela 4).

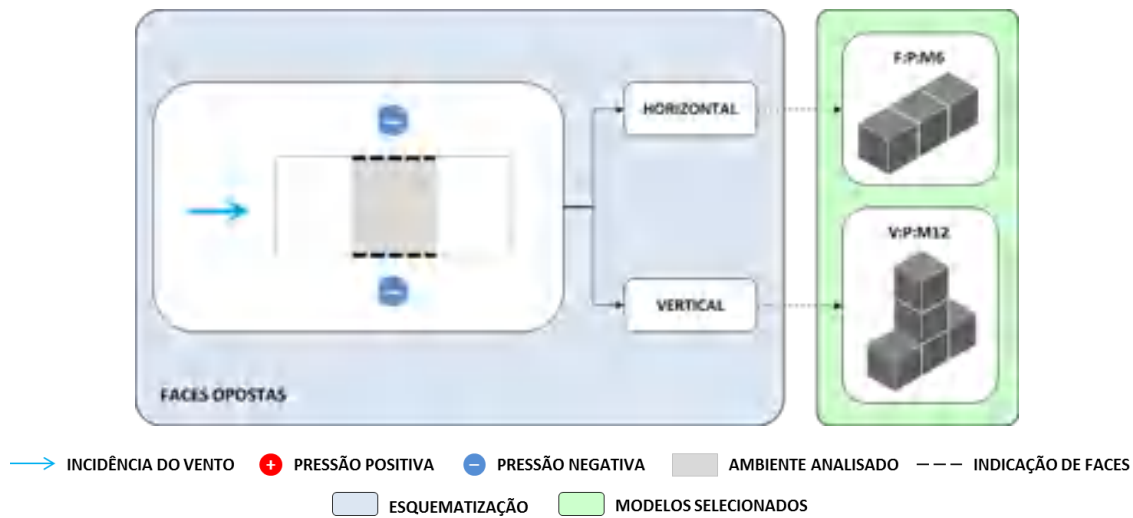
Tabela 4 – Síntese das simulações externas: faces com a mesma diferença de pressão.

SEM DIFERENÇA DE PRESSÃO		MODELOS SELECIONADOS	QUANT.
FACES OPOSTAS			
HORIZONTAL	F:P:M6 / F:P:M7	F:P:M6	1
VERTICAL	V:P:M11 / V:P:M12 / V:P:M13 / V:P:M14	V:P:M12	1
FACES A 90°			
POSITIVA	I:P:M22 / I:L:M23 / I:A:M24 / I:P:M25	I:P:M25	1
NEGATIVA	F:L:M4 / F:L:M5 / V:L:M8 / V:L:M9 / V:L:M10 / H:L:M15 H:L:M17 / H:P:M20 / I:P:M22 / I:L:M23 / I:A:M24 / I:P:M25	I:P:M25	1
TRÊS FACES NEGATIVAS			
F:A:M1 / F:A:M2 / F:A:M3 / F:P:M6 / F:P:M7 / V:L:M8 / V:L:M9 / V:P:M11 V:P:M12 / V:P:M13 / V:P:M14 / H:P:M18 / H:P:M19		H:P:M19	1
FACE ÚNICA			
H:L:M16 / H:P:M19 / H:P:M21 / I:P:M25		H:P:M19	1
FACE FRONTAL COM OBSTÁCULO			
H:P:M20 / H:P:M21		H:P:M20 / H:P:M21	2
TOTAL DE MODELOS SELECIONADOS			8

Fonte: Acervo pessoal.

A classificação do grupo de faces opostas abrange duas categorias, modelos horizontais e verticais. Nesse grupo, se enquadram os modelos com fachadas paralelas com mesma diferença de pressão negativa (Figura 49), incluindo os quatro exemplares da variação vertical com profundidade, como por exemplo, o M6 e o M12, que foram selecionados por apresentarem laterais ligeiramente negativas, o que dificultaria a ventilação cruzada no ambiente.

Figura 49 - Esquema de faces opostas.



Fonte: Acervo pessoal

De maneira semelhante, por apresentar lados perpendiculares com a mesma pressão, as faces a 90° são divididas em pressão positiva e negativa (Figura 50). Na primeira, a incidência do vento foi o diferencial pra classificar apenas os quatro modelos da incidência inclinada, uma vez que os demais apresentam laterais negativas.

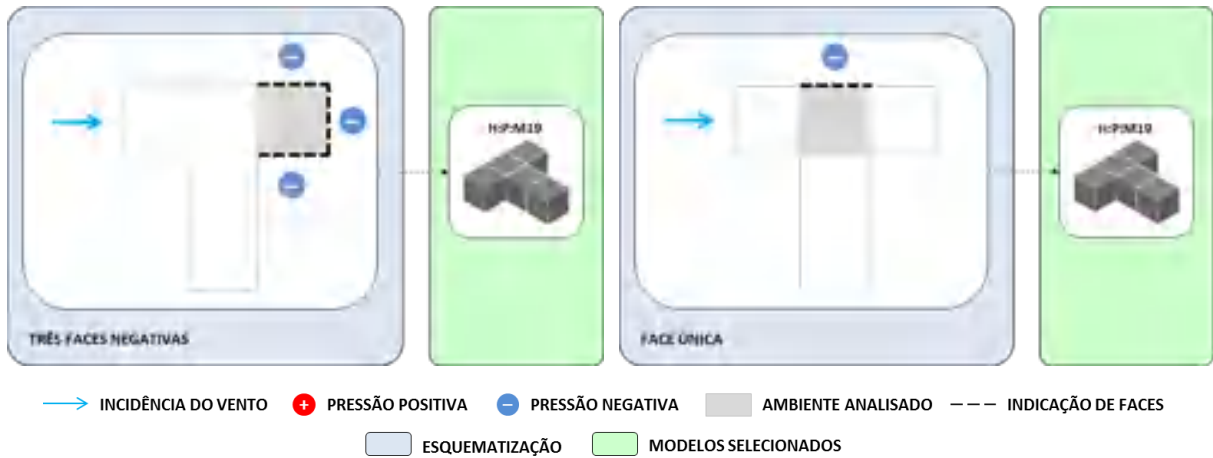
Figura 50 - Esquema de faces a 90°.



Fonte: Acervo pessoal

Quanto à classe três faces negativas, estas contemplam treze casos, o grupo mais numeroso. Fazem parte desse grupo os modelos das faces opostas, pois apresentam três fachadas de coeficientes de pressão negativos voltadas para o exterior. A categoria de face única, por sua vez, apresenta apenas uma face externa (Figura 51).

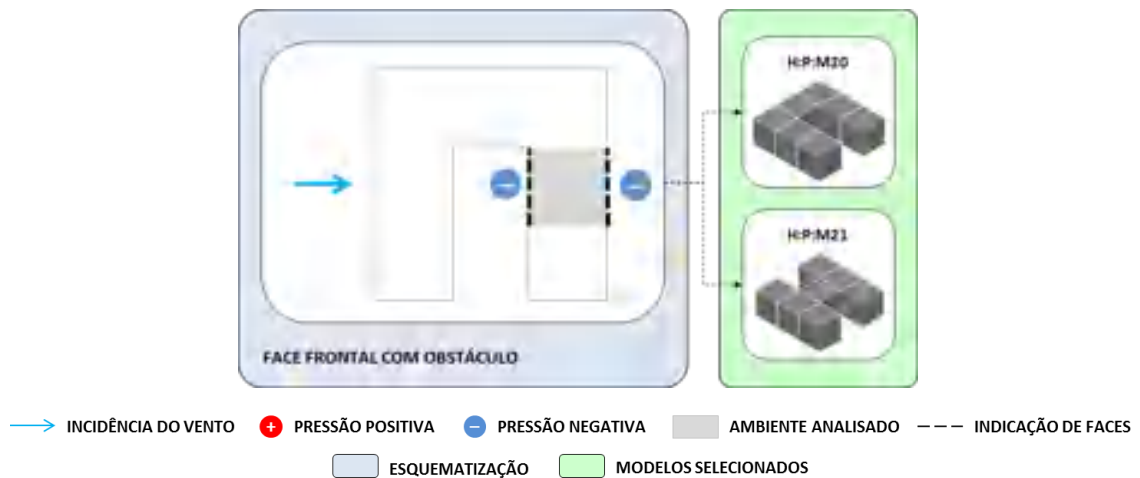
Figura 51 - Esquema de três faces negativas (Esquerda) e de face única (Direita).



Fonte: Acervo pessoal

Por fim, como o pátio interno representa uma barreira à entrada de vento, foram identificadas duas situações com face frontal com obstáculo (Figura 52). Nesse caso, apesar de haver ligeira diferença de pressão, ambas são negativas e certamente não são valores consideráveis para possibilitar uma boa ventilação, necessitando de melhorias em seu volume.

Figura 52 - Esquema de face frontal com obstáculo.



Fonte: Acervo pessoal

Com a classificação realizada, foi selecionado um modelo de cada conjunto, com exceção do grupo de face frontal com obstáculo, que teve dois casos escolhidos. Assim, oito modelos foram definidos para o teste de hipóteses (proposições), que foram desenvolvidas de acordo com as recomendações projetuais avaliadas (Tabela 4).

6.1.2 Simulação interna – Desempenho (2ª Etapa)

Após a escolha de oito modelos com baixo desempenho, sem diferença de pressão, a simulação interna pôde então ser iniciada. Para tanto, foi necessário, *a priori*, modelar os espaços internos, partindo das simulações externas. Vale ressaltar que cada modelo escolhido nesta etapa tem suas particularidades de acordo com sua classificação. Por conseguinte, as

hipóteses propostas são condicionadas às características de cada caso. Cada hipótese pode ser aprimorada com base nos resultados das primeiras simulações.

Portanto, tomando os casos selecionados na etapa anterior, as hipóteses foram geradas e avaliadas a cada simulação, levando em consideração as recomendações projetuais, bem como o tempo limitante. Desta maneira, foram formuladas vinte e quatro hipóteses, sendo estas distribuídas e caracterizadas de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 – Síntese das simulações internas: hipóteses de faces com a mesma diferença de pressão.

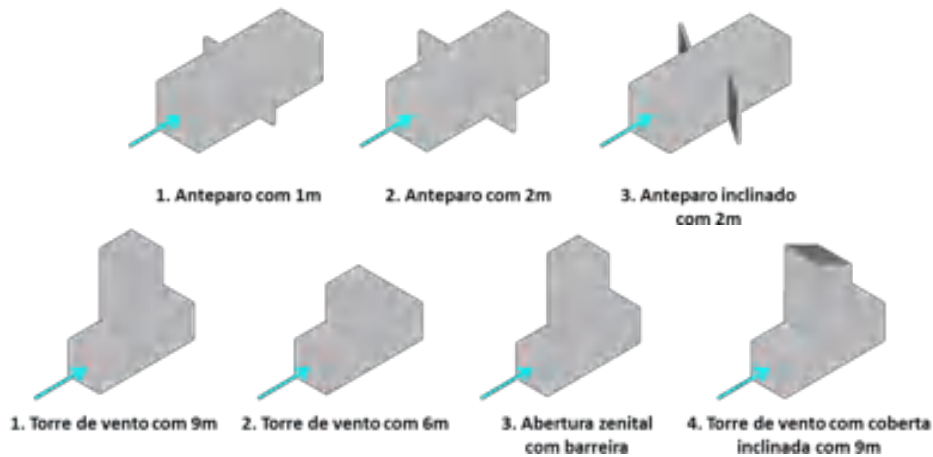
MESMA DIFERENÇA DE PRESSÃO		Nº	HIPÓTESES SIMULADAS	QUANT.
FACES OPOSTAS				
HORIZONTAL	F:P:M6	1	Anteparo com 1m	3
		2	Anteparo com 2m	
		3	Anteparo inclinado com 2m	
VERTICAL	V:P:M12	1	Torre de vento com 9m	4
		2	Torre de vento com 6m	
		3	Abertura zenital com barreira	
		4	Torre de vento com coberta inclinada com 9m	
FACES A 90°				
POSITIVA	I:P:M25	1	Torre de vento com janelas laterais	5
		2	Torre de vento com janela de canto e lateral	
		3	Torre de vento com janelas de canto	
		4	Abertura zenital	
		5	Anteparo com 2m	
NEGATIVA	I:P:M25	1	Torre de vento com janelas laterais	2
		2	Torre de vento com janelas de canto	
TRÊS FACES NEGATIVAS				
H:P:M19		1	Anteparo com 2m	2
		2	Anteparo inclinado com 2m	
FACE ÚNICA				
H:P:M19		1	Anteparo com 2m	2
		2	Anteparo inclinado com 2m	
FACE FRONTAL COM OBSTÁCULO				
H:P:M20		1	Deslocamento do volume lateral	4
		2	Pátio com 9m	
		3	Pátio com 18m	
		4	Anteparo vertical	
H:P:M21		1	Anteparo com 2m	2
		2	Anteparo inclinado com 2m	
TOTAL DE HIPÓTESES SIMULADAS				24

Fonte: Acervo pessoal.

Com relação às simulações dos modelos de faces opostas com mesma diferença de pressão, que são subdivididas em horizontal e vertical, três e quatro hipóteses foram geradas, respectivamente, avaliando o módulo central da amostra. Nesta julgou-se adequado explorar

as possibilidades quanto ao volume elevado, servindo este tanto como captador ou como barreira de vento. Já quanto ao modelo horizontal, avaliou-se o potencial do anteparo vertical e sua inclinação, uma vez que a verticalização da abertura se enquadraria na outra classificação (Figura 53).

Figura 53 - Hipóteses de faces opostas : M6 - Horizontal (Acima) e M12 - Vertical (Abaixo).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

No caso das simulações com faces a 90° , que são subdivididas em positivas e negativas, sete hipóteses foram formuladas, sendo avaliados os módulos frontal (cinco hipóteses) e posterior (duas hipóteses) ao volume, respectivamente.

Nos casos com duas faces positivas, optou-se por combinar a variação da altura com dois tipos de janela, lateral e de canto, bem como o uso de uma abertura zenital, tomando partido da diferença de nível e pressão entre as aberturas. Também foi investigado o uso de anteparos verticais para proporcionar uma maior diferença de pressão. Nos demais casos, com duas faces negativas, há uma limitação maior para a entrada de vento, posto que a incidência do mesmo é a 45° e o ambiente estudado não recebe ventilação diretamente. Portanto, apenas foram selecionados casos com diferença de nível vertical com variações de tipos de janelas (Figura 54). Vale ressaltar que, em todos os casos, apesar das diferentes configurações das aberturas, estas apresentam a mesma área útil (aproximadamente $2,90\text{m}^2$) para captação e exaustão do ar.

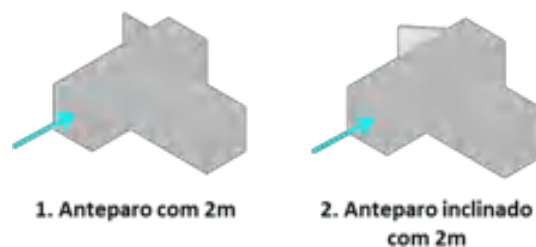
Figura 54 - Hipóteses de faces a 90° - Modelo 25: Positiva (Acima) e Negativa (Abaixo).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

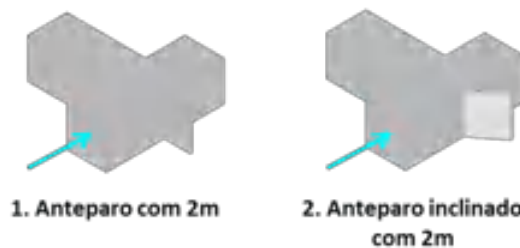
Variações do modelo 19 geraram dois tipos de casos de simulação interna: ambientes com três faces negativas e com face única. Estratégias similares foram utilizadas em ambas, buscando direcionar o vento, por meio de um anteparo. No primeiro caso, o último ambiente foi avaliado, podendo assim ter duas aberturas em faces distintas, além de tirar proveito da forma em ‘T’ que auxilia a aumentar esta diferença (Figura 55). No entanto, como na outra classe o módulo apresenta só uma face voltada para fora, as hipóteses ficam limitadas quanto a entrada e saída de ar (Figura 56). Apesar de se poder verticalizar e modificar a entrada de vento, nesses casos optou-se por não fazê-lo, uma vez que, passaria a representar um caso com faces opostas. Portanto, quatro simulações foram realizadas, duas em cada categoria.

Figura 55 - Hipóteses de três faces negativas - Modelo 19.



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

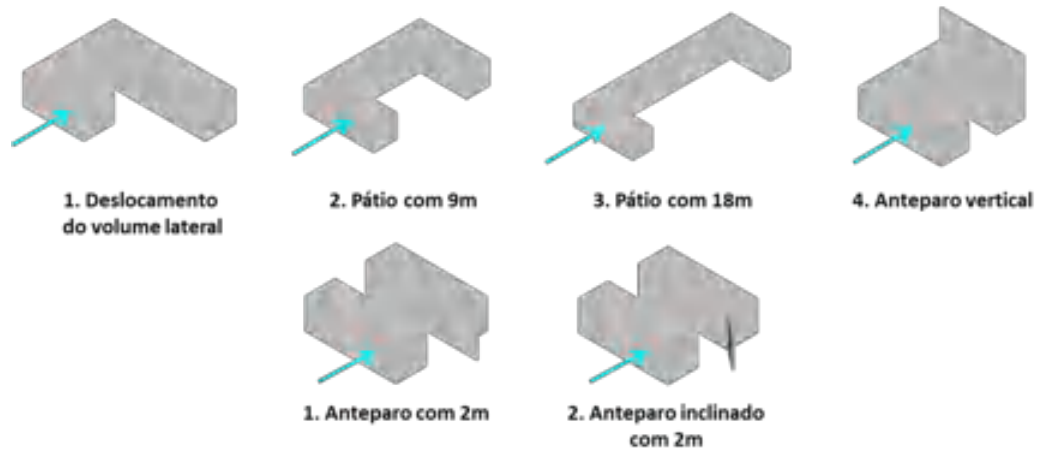
Figura 56 - Hipóteses de face única - Modelo 19.



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Por fim, no grupo das hipóteses frontais com obstáculo, dois modelos foram levados em consideração, M20 e M21 (Figura 57). A partir do M20, quatro hipóteses foram testadas com base em três recomendações: a forma, onde o deslocamento do volume se dá pra reduzir a obstrução e direcionar a ventilação; a dimensão do pátio, para que a sombra de vento seja superada e o mesmo volte ao seu direcionamento inicial; e a barreira, buscando forçar uma pressão mais negativa na parte posterior ao módulo em questão. O caso M21 gerou duas hipóteses que buscam avaliar o redirecionamento por meio de anteparo.

Figura 57 - Hipóteses de face frontal com obstáculo: Modelo 20 (Acima) e Modelo 21 (Abaixo).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Portanto, como todas essas hipóteses simuladas foram baseadas em recomendações projetuais para forçar diferença de pressão e melhorar a ventilação interna, é importante destacar que esses modelos podem ser encontrados na arquitetura. Sendo assim, serão expostos a seguir, para maior abstração dos volumes, alguns projetos representativos das soluções propostas, como o anteparo vertical ou inclinado, torres de vento, abertura zenital, pátios e deslocamento do volume lateral. Estes exemplificam o potencial de aplicação concreta da relação entre os princípios gerais encontrados na literatura e as possíveis soluções arquitetônicas reais.

Contudo, é bom deixar claro que, os correlatos foram compilados com o objetivo de identificar o potencial dessas soluções, e não necessariamente porque foram projetados para captar ventilação. Eles servem como referências para elementos futuros, pois fornecem possibilidades de elementos que podem ser trabalhados para atingirem um bom desempenho e, ao mesmo tempo, contribuírem para a definição da linguagem arquitetônica do projeto.

Deste modo, como indicam as recomendações, os anteperos podem ser uma boa estratégia para redirecionar os fluxos de ar nos espaços internos. Essas superfícies podem ser tanto naturais (vegetação) quanto artificiais, sejam como superfícies adicionais, aparentemente desvinculadas do todo, ou mesmo como parte da própria linguagem arquitetônica, como mostra a Figura 58.

Esses são exemplos, onde o brise vertical poderia trabalhar como anteparo aumentando a diferença de pressão entre aberturas, sendo utilizado para compor a fachada, seja como um componente pontual de destaque ou para criar ritmo na mesma. Contudo, apesar de poder como proteção solar e elemento de condução de vento, deve-se atentar para as dimensões e posicionamentos da barreira de acordo com a orientação da edificação. Embora, os casos ilustrados funcionem para inclinações oblíquas, não seriam adequados para incidência de fluxo de ar tangencial, ou seja, precisariam de ajustes, de acordo com as especificidades do projeto.

Figura 58 - Exemplos de anteparo na arquitetura:
Centro de Educação Arthur Yvonne Boyd - Glenn Murcutt (1), Habitação multifamiliar EZ4 - P11
Arquitetos (2), R-House- Q-LAB (3), Lundgaard e Tranberg Arquitetos A/S (4)
e Edifício 1232 - Arquea Arquitetos (5).



Fontes: <https://www.flickr.com/photos/adrianboddy/6739076837/in/photostream/>
<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/791822/ez4-p11-arquitectos>
<http://mx.archello.com/en/project/r-house-6>
https://www.flickr.com/photos/ximo_michavila/16271152170/in/photostream/
<http://arquea.com.br/EDIFICIO-1232>

Já as torres de vento, dependendo de sua finalidade de captação ou exaustão de ar, precisam ter suas altas aberturas a barlavento e a sota-vento, respectivamente, para que haja a diferença de pressão necessária à circulação do fluxo. Esta estratégia é utilizada com frequência para resfriamento em locais de clima quente e seco. No nosso contexto, esse recurso é pouco aproveitado, mesmo sendo comuns volumes verticais como caixas d'água (Figura 59).

Uma configuração diferente da torre, que também parte do princípio de aberturas elevadas, é o shed (Figura 59). Este toma partido da elevação e inclinação da cobertura para ter uma entrada ou saída de ar, dependendo do posicionamento das mesmas, direcionando o vento e permitindo a entrada de luz natural. Esse tipo de recurso, se usado para captar luz e para exaustão ou captação do vento, pode ser um dos elementos definidores da qualidade do espaço, tanto em termos de desempenho, como de percepção espacial.

Figura 59 - Exemplos de torre de vento e shed na arquitetura:
Old City of Dubai (1), Casa LA - Esquadra Arquitetos e Yi Arquitetos (2),
Restaurante Albert's shed - Stephenson Bell (3), Casa de campo - David Restrepo e Alejandro Vélez (4).



Fontes: <https://www.wilderness.org.au/articles/vicas-doha-diary>
<https://arcoweb.com.br/noticias/arquitetura/casa-em-destaque-esquadra-arquitetos>
<http://www.stephenson-studio.com/architecture/bars-and-restaurants/alberts-shed/>
<https://revistaaxis.com.co/una-con-su-entorno/>

Outro componente arquitetônico, que também possibilita a permeabilidade de vento e luz, são as aberturas zenitais. Estas influenciam a velocidade interna do ar, porém, permite a entrada de luz direta e de chuva (caso não haja cobertura). Portanto, deve-se ter cautela ao integrar tal elemento no projeto, mas não se deve abrir mão da grande variação quanto à forma, material e estilo que o mesmo possui, podendo ser caracterizado por pergolados, jardins de inverno e claraboias operáveis, que trazem um jogo de luz e sombra, cheios e vazios conferindo certa dramaticidade à arquitetura (Figura 60).

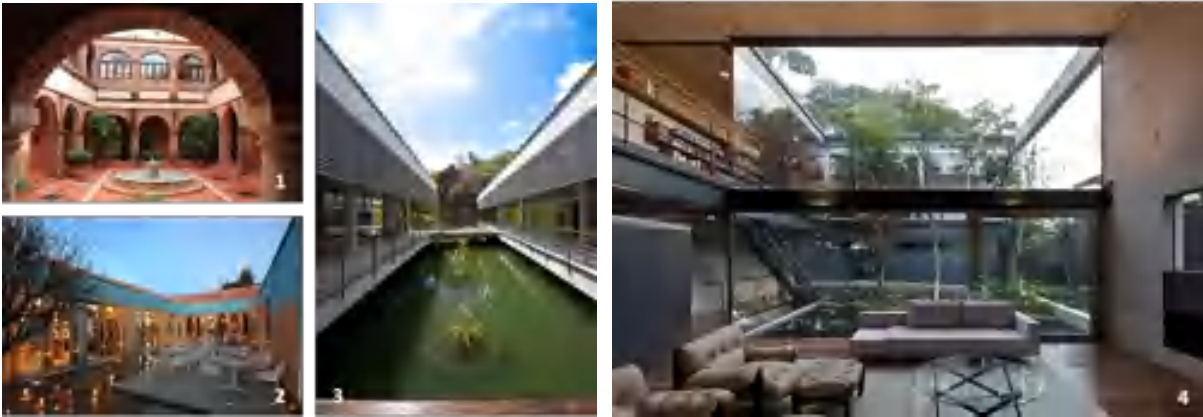
Figura 60 - Exemplos de abertura zenital na arquitetura:
House of eight gardens - Goko (1), Casa Iporanga - Isay Weinfeld (2), Skylight Kitchen (3).



Fontes: http://goko.mx/Goko/Projects/Pages/House_of_Eight_Gardens.html
<http://www.almocodesexta.com.br/casa-iporanga-projeto-de-isay-weinfeld/>
<http://www.amazinginteriordesign.com/10-attic-remodels-youll-totally-love-never-want-leave/>

Temos, também, o pátio, que por ser um espaço aberto na construção, proporciona ao aproveitamento dos ventos pelos ambientes localizados na parte posterior do mesmo, mediante a distância entre os blocos. Podem estar associados a fontes de água, em climas quentes e secos. O vazio central integra os espaços internos e externos, trazendo contraste ao ambiente, compondo assim uma linguagem mais intimista ao projeto (Figura 61).

Figura 61 - Exemplos de pátio na arquitetura:
Hotel Nicolás de Ovando (1), Hotel B''O - Muro Rojo Arquitectura (2), Centro Educativo Burle Marx - Alexandre Brasil e Paula Zasnicoff (3), Casa bacopari - Una arquitetura (4).



Fontes: <http://luciliadiniz.com/descanso-historico/>
<https://www.journeymexico.com/hotel/hotel-bo>
<https://mdc.arq.br/2009/10/02/centro-educativo-burle-marx-inhotim-brumadinho-mg/>
<http://anatomiarquitetonica.blogspot.com.br/2013/07/casa-bacopari-una-arquitetura-sao-paulo.html>

Por fim, há o deslocamento do volume, que nesse trabalho se deu pela variação do pátio, onde os blocos ainda terão um espaçamento entre eles, mas com formas escalonadas que podem ter o objetivo de alterar os fluxos de ar em seu entorno. Como mostra a Figura 62, os volumes são paralelos e longilíneos, dando uma sensação de rigidez. Contudo, o deslocamento da volumetria e a concepção das fachadas quebram essa rigidez, por meio do dinamismo entre os planos verticais e de novas perspectivas.

Dessa maneira, ao observar esses projetos correlatos, é perceptível o potencial das soluções volumétricas escolhidas nesta etapa e a importância de ter referencial dos seus elementos para a concepção de um projeto que possibilite a captação de vento e se adeque as condicionantes locais, sem ser meramente uma reprodução das recomendações, mas sim uma arquitetura pensada para o melhor conforto do usuário.

Figura 62 - Exemplos de deslocamento do volume na arquitetura:
Moradia estudantil UNIFESP - Luciano Margotto e Apoena Amaral e Almeida (1), Casa BLM - ATRIA
Arquitetos (2), Edifício comercial Une - Gui Mattos (3), Edifício Corujas - FGMF Arquitetos(4).



Fontes: <http://republica.arq.br/moradia-estudantil-unifesp/>
<http://www.archdaily.com.br/br/773557/villa-blm-atrria-arquitetos>
<http://guimattos.com/projeto/edificio-comercial-une/>
<http://www.archdaily.com.br/br/787289/edificio-corujas-fgmf-arquitetos>

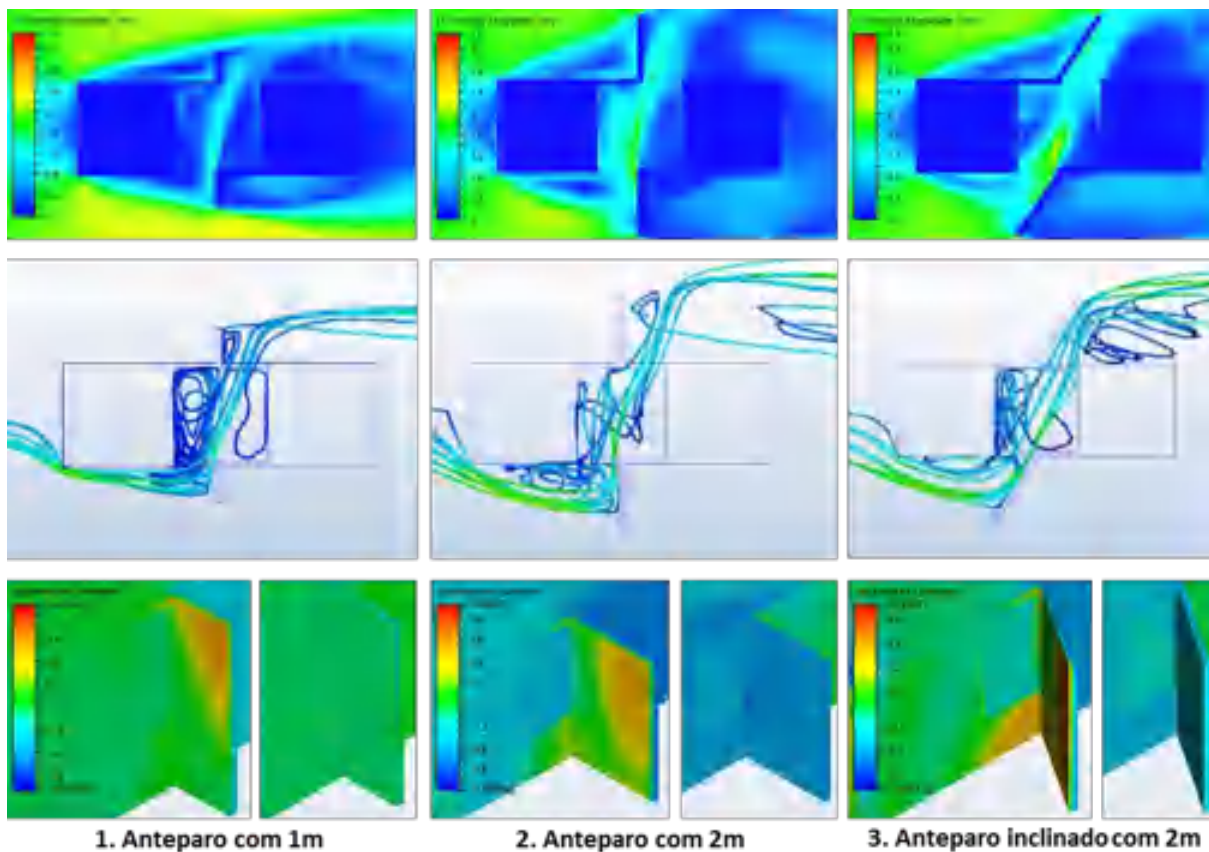
Portanto, justificadas as escolhas dos modelos descritos, buscou-se, em seguida, na primeira etapa das simulações internas, formular e simular hipóteses que permitam o aproveitamento da ventilação em situações originalmente desfavoráveis. Portanto, partindo dos resultados gerados pelas simulações das vinte e quatro hipóteses internas⁵, foi avaliado, através das diversas saídas gráficas do programa se as soluções arquitetônicas apresentaram um bom desempenho, com velocidades aceitáveis entre 0,5 e 2,5m/s (BITTENCOURT *et al.*, 2010); ao forçar diferenças de pressão entre aberturas, proporcionando, assim, espaços fluidos com um melhor desempenho da ventilação. Estas análises se deram de maneira contínua, para aprimoramento do volume ao longo do processo, como será apresentado a seguir.

⁵ Os resultados gerados pelas simulações das vinte e quatro hipóteses internas estão no arquivo digital presentes no CD em anexo no apêndice.

É possível observar pelos vetores de vento, que, nos modelos de faces opostas horizontais, o desvio de fluxo é bem sucedido pela adição da barreira vertical, forçando uma diferença de pressão. A distribuição da velocidade no interior do ambiente pode ser melhor observada pela planta de velocidade, com escala variando de 0 a 3,5 m/s, que há a 1,3m de altura (Figura 63).

Dentre as três hipóteses testadas, o anteparo com 2m apresentou um melhor desempenho, uma vez que tem velocidade predominantemente por volta de 1,4m/s (ciano); e melhor distribuição; muito embora, o caso inclinado apresente a maior diferença de pressão entre os anteparos e uma velocidade maior próximo à janela de entrada de vento (cerca de 1,8m/s), o direcionamento do fluxo atrapalha a uniformidade no ambiente, o que não é desejado, dependendo da atividade desenvolvida, pois apresenta zonas com velocidades abaixo de 0,4m/s e fluxos mais turbulentos, semelhante ao que ocorre no de 1m.

Figura 63 - Hipóteses de face opostas horizontais – M6:
Velocidade do vento em planta (Acima), Vetores de vento em planta (Centro) e Coeficiente de pressão de entrada e saída nos anteparos (Abaixo).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

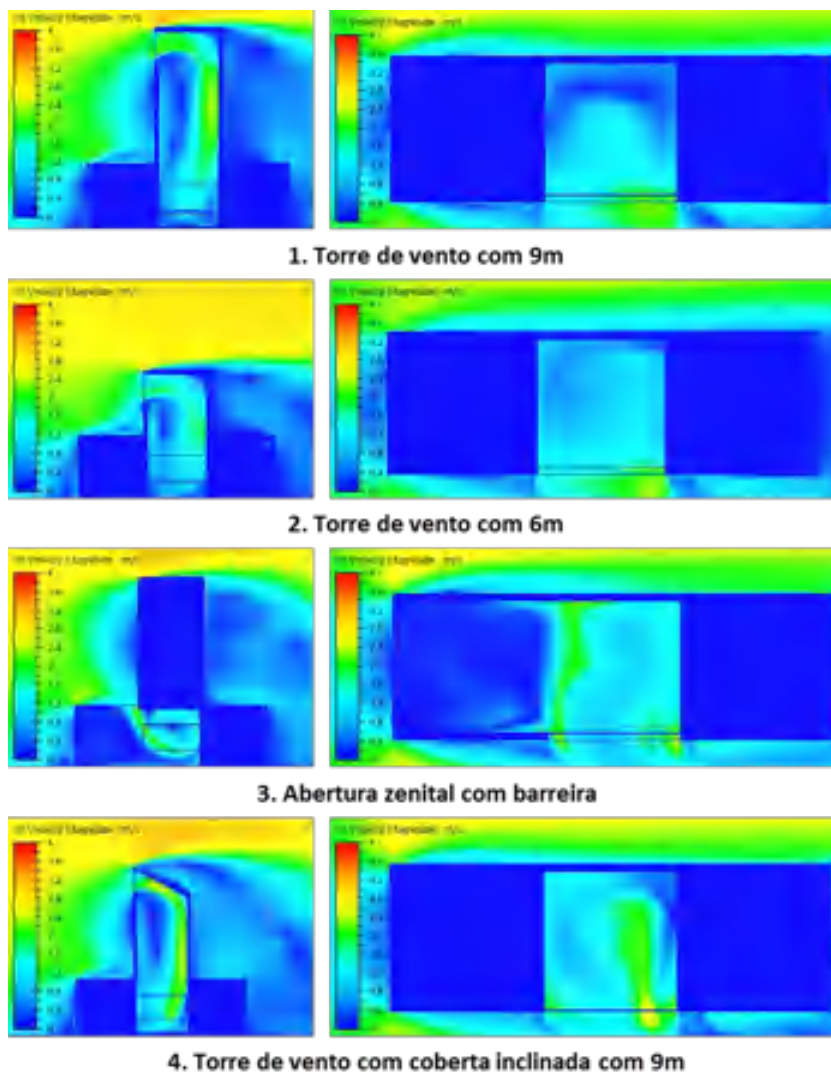
Quanto aos casos de faces opostas verticais, tanto o corte vertical no modelo como em planta, são representações chave para poder avaliar a eficiência da hipótese. Sendo assim, observa-se que, seja a altura utilizada como captador ou barreira de vento, os exemplares apresentam uma boa velocidade interna, apesar de suas variações (Figura 64).

Nas três torres de vento avaliadas, que têm a mesma área de abertura, há captação de ar com velocidades acima de 1,5m/s (ciano), porém as que atingem mais de 2,4m/s (verde amarelado) são as que têm 9m de altura, o que reafirma que maiores alturas implicam maiores velocidades internas. Contudo, apesar da primeira hipótese apresentar um fluxo descendente considerável, o aperfeiçoamento da cobertura, deixando-a inclinada, faz com que maiores

velocidades (por volta de 2,2m/s) atinjam o nível do usuário (1,3m) por meio do seu direcionamento. Por causa de sua inclinação, a superfície interna da cobertura tem coeficiente positivo, o que força sua saída pela abertura de coeficiente negativo.

No mais, no que diz respeito à abertura zenital com barreira, esta apresenta velocidades mais uniformes no módulo central, contrastando com a captação superior frontal com cobertura plana, que apresenta áreas de menor velocidade, inferior a 0,4m/s (azul escuro).

**Figura 64 - Hipóteses de face opostas verticais – M12:
Velocidade do vento em corte (Esquerda) e em planta (Direita)**

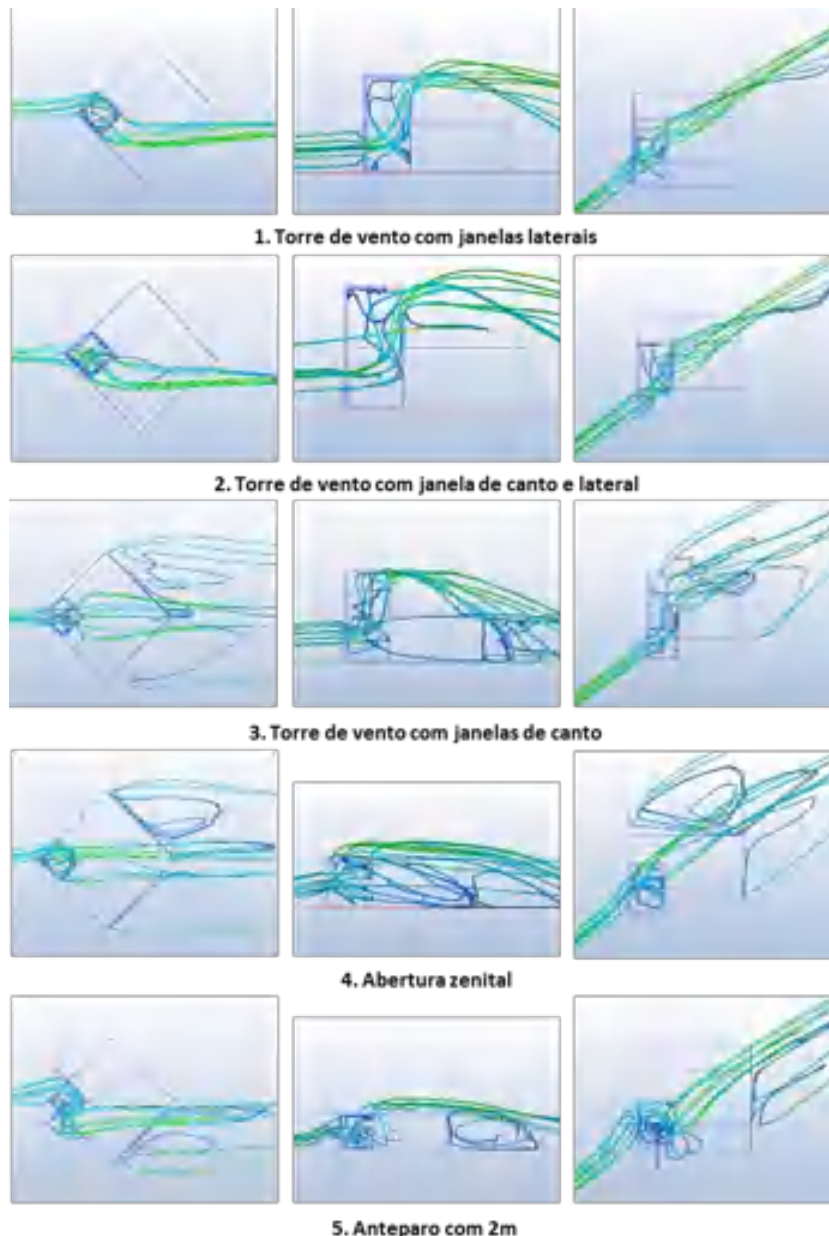


Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

No tocante aos resultados das simulações com faces a 90° positivas, podemos destacar as hipóteses com torres de vento, pois obtiveram um melhor desempenho quanto à velocidade interna de vento em relação às demais. Essas apresentaram um melhor fluxo de ar ascendente, pela diferença de nível entre as aberturas (Figura 65). Contudo, os modelos com aberturas laterais (hipótese 1) e com janela de canto, a barlavento e lateral, a sota-vento (hipótese 2), foram os que apresentaram maior velocidade e uniformidade no ambiente, abrangendo grande área entre 1 e 2,4 m/s.

Em contraponto, os casos de abertura zenital e anteparos verticais nos lados das janelas mostraram velocidades mais baixas (0,5 a 1,2m/s) e fluxos aparentemente turbulentos, embora dentro do aceitável na maior parte do ambiente. Como se poderia esperar, o modelo com anteparos apresenta desempenho mais baixo do que o caso com abertura zenital, o que aponta que a hipótese de forçar uma pressão mais negativa pela adição de anteparos nestas configurações não é bem sucedida, por criar uma zona central com velocidades muito baixas, embora esta seja uma recomendação projetual de Bittencourt *et al.* (2010) (Figura 27).

Figura 65 - Hipóteses de face a 90° positiva - M25:
Vetor de velocidade em planta (Esquerda), corte (Centro) e em perspectiva a barlavento (Direita)

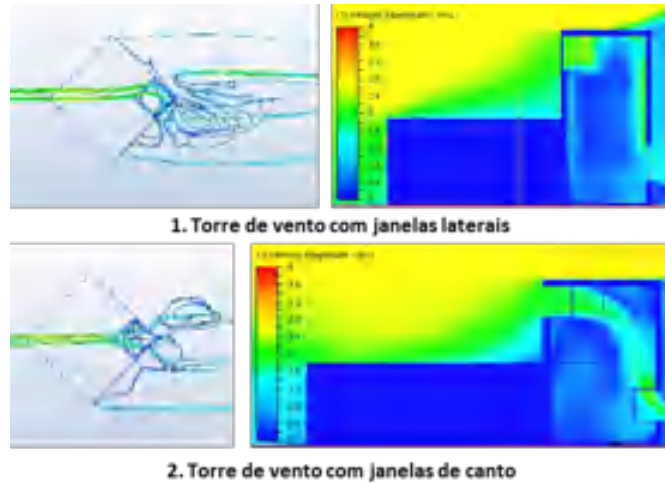


Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

De forma semelhante, os casos com faces a 90° negativas se valem, também, da diferença de altura, agora para captação de vento. De fato, pela posição da sala, trata-se da única alternativa viável para entrada da ventilação no módulo em análise. Portanto, como se observa na Figura 66, os vetores de vento atingem diretamente a abertura com velocidade em

torno de 2m/s (verde), seja ela lateral ou de canto, proporcionando um fluxo descendente. Entretanto, ao chegar ao nível do usuário, esta velocidade cai consideravelmente, atingindo valores inferiores a 0,5 m/s, na parte central do espaço, enquanto que os valores aceitáveis se encontram apenas nos extremos do ambiente, próximos às aberturas.

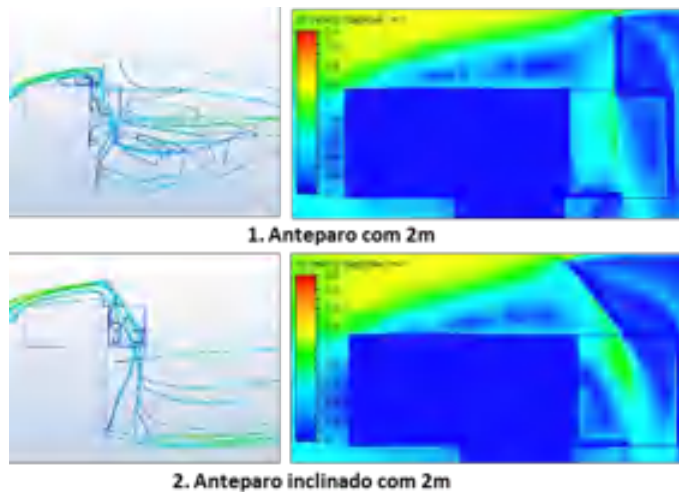
Figura 66 - Hipóteses de face a 90° negativa - M25:
Vetor de velocidade em planta (Esquerda) e Velocidade do vento em corte (Direita)



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Partindo para outra classe, três faces negativas, a forma em ‘T’ do modelo, que dispõe pressões negativas em sua parte posterior, contrapôs com a pressão positiva gerada pelos anteparos nas hipóteses levantadas, atingindo a diferença necessária entre as aberturas para que houvesse desvio do vento (Figura 67). Desta forma, as barreiras cumprem seu papel ao fazer com que as velocidades internas cheguem a 1,5m/s. Muito embora, em sua totalidade, ainda apresente áreas com o comportamento inferior a 0,5m/s, levando, basicamente, a um fluxo de ar direto entre as janelas.

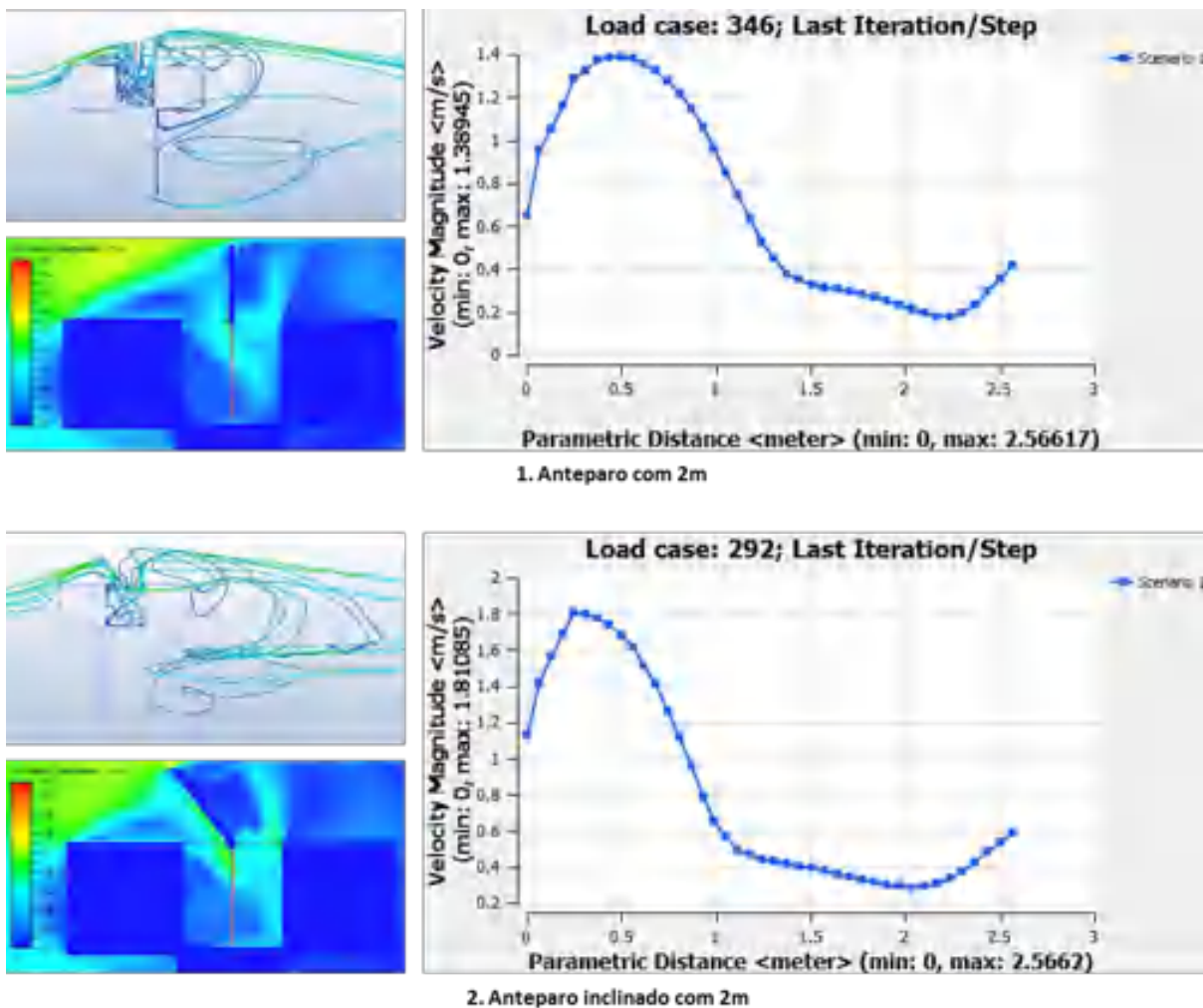
Figura 67 - Hipóteses três faces negativas – M19:
Vetores de vento em planta (Esquerda) e Velocidade do vento em planta (Direita)



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Embora esses casos se mostrem com um desempenho regular, o caso com uma face externa, que se utiliza do mesmo modelo base (M19), obteve desempenho mais baixo. Por ter apenas uma fachada externa para entrada e saída da ventilação, o posicionamento das aberturas divididas por um anteparo não proporciona um bom resultado. Apesar de haver velocidade considerável próximo as janelas, no restante do ambiente ocorre uma diminuição brusca, passando de 1,4 a 0,2m/s, na hipótese de anteparo ortogonal; e de 1,8 a 0,3m/s, com anteparo inclinado; como representam os gráficos da Figura 68 relativos a linha de marcação presente no plano de velocidade da mesma.

Figura 68 - Hipóteses face única – M19: Vetores de vento em planta (Acima), Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta (Abaixo), Gráfico de velocidade (Direita)

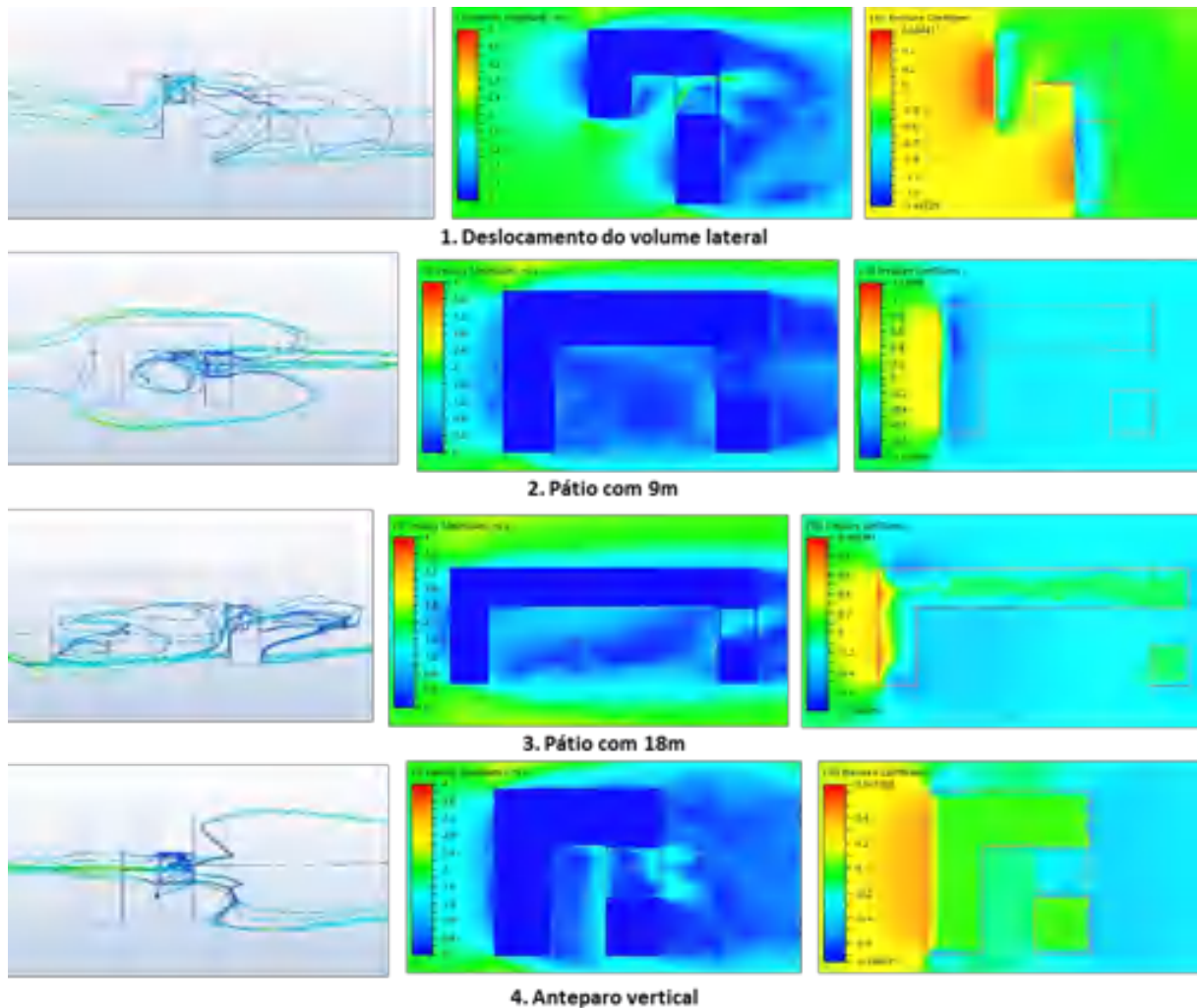


Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Já a última classe, com faces frontais com obstáculo, derivadas do modelo 20, foi obtido bom desempenho em apenas duas das quatro hipóteses. A primeira se deu pelo deslocamento do volume lateral, que forçou uma maior diferença de pressão, fazendo com que o fluxo se desviasse para o interior do pátio, com velocidade predominante de 0,5 a 1,5m/s. A segunda foi o aumento do pátio para 18 metros, que mostrou valores médios de velocidade em torno de 1m/s (Figura 69). Em ambos os casos, entretanto, foram detectadas áreas com baixa velocidade. Esperava-se também que, no pátio com 18 metros de profundidade o fluxo de vento poderia retomar seu estado inicial, forçando pressões mais positivas na abertura de entrada.

Nos casos de pior desempenho, observou-se que o anteparo vertical possibilitou o aumento da diferença de pressão, fazendo com que o fluxo pudesse retornar e entrar pelo local proposto, mesmo que não tenha obtido velocidades acima de 0,5m/s no centro do ambiente, mas apenas nas proximidades das janelas. Na hipótese 2, com pátio de 9 metros, um comportamento inusitado foi detectado. Esperava-se que o vento entrasse pela abertura frontal voltada para o pátio de 9m, mas as simulações indicam que ocorreria o inverso: a entrada ocorre pela janela posterior, ou seja, como o coeficiente de pressão ainda é menor na abertura que seria de entrada, um fluxo inverso, de baixas velocidades ocorre contra o sentido do vento. As velocidades registradas são inferiores a 0,5m/s em toda área interna. O fenômeno ocorre porque o pátio é menor e, dessa forma, a sua fachada frontal sofre os efeitos do obstáculo logo à frente. Assim, embora as duas faces tenham pressões negativas, há ligeira diferença que motiva o pequeno fluxo contrário, possibilitando uma brisa quase imperceptível ao usuário.

Figura 69 - Hipóteses de face frontal com obstáculo - M20: Vetor de velocidade em planta (Esquerda), Velocidade do vento em planta (Centro) e Coeficiente de pressão em planta (Direita).

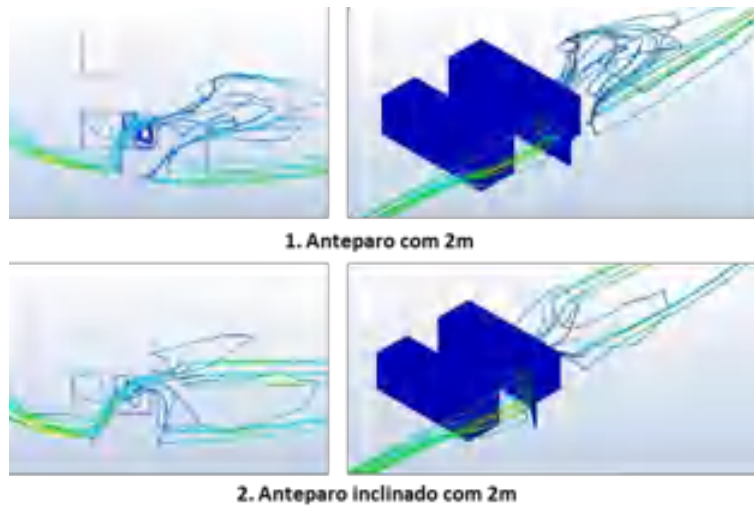


Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Por último, os casos do modelo 21, ainda dentro da mesma categoria, mostraram, mais uma vez, que o anteparo cumpre sua função ao desviar o fluxo do vento, ao forçar uma diferença de pressão. Como observado em casos similares, os anteparos inclinados exibem

melhor desempenho do que os ortogonais (Figura 70). Todavia, ao avaliar os resultados atentamente, apesar de ambos alcançarem 1,5m/s em parte das áreas dos ambientes, essa não é a velocidade que predomina no restante dos espaços (menos de 0,5m/s), fazendo com que o comportamento do vento, nas duas propostas, seja abaixo do ideal.

**Figura 70 - Hipóteses de face frontal com obstáculo - M21:
Vetor de velocidade em planta (Esquerda) e em perspectiva a barlavento (Direita)**



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Portanto, diante dos resultados e análises das hipóteses, pode-se notar que algumas soluções projetuais simuladas foram mais bem sucedidas do que outras. Os casos de menor desempenho apresentam áreas menores entre 0,5 e 2,5m/s. Contudo, ainda existem muitas outras possibilidades que poderiam ser testadas para aprimorar os resultados já obtidos, porém, estas não serão abarcadas neste trabalho pelas limitações de tempo apresentadas, mas serão aplicadas às configurações volumétricas, que obtiveram bons desempenhos no ambiente interno. Nessas novas hipóteses, se deseja identificar se os casos bem sucedidos funcionariam em situações mais restritivas, com salas mais profundas e, naturalmente, maior distância entre as aberturas.

6.1.3 Simulação interna – Comparativo e abrangência (3ª Etapa)

De maneira semelhante ao fim da etapa externa, a terceira etapa se inicia pela análise comparativa e seleção das hipóteses internas, porém agora com o critério de bom desempenho quanto à velocidade. Todos os modelos foram formatados para terem uma variação padrão, entre 0 e 2m/s, medidas a 1,3m de altura (nível do usuário), para possibilitar uma comparação mais direta entre as mesmas.

Desta forma, foram estabelecidas escalas para qualificar os resultados gerados pela simulação interna da etapa anterior. Quanto à velocidade, dois intervalos foram estabelecidos pela sua predominância de desempenho no ambiente: inaceitável (vermelho), de 0 a 0,5m/s; e aceitável (azul), entre 0,5 e 2m/s⁶. Estas estão expressas nas Tabelas 6 a 13, onde as áreas com velocidade aceitável e suas respectivas porcentagem, em relação a área interna total do módulo (7,29m²), são expostas. Contudo, por apresentar um intervalo extenso, também serão

⁶ Este parâmetro se encontra entre 0,5 a 2,5 m/s (BITTENCOURT *et al.*, 2010), como já foi explicado anteriormente no capítulo de Revisão Bibliográfica. Contudo, para facilitar a leitura da velocidade nas imagens, optou-se por uma escala limite de 2m/s, uma velocidade já considerável para ambientes internos. A escala será subdividida em 20 níveis para facilitar a legibilidade dos resultados. A quantificação de áreas foi realizada através de desenhos de contorno sobre as imagens em programa CAD.

quantificadas as áreas com velocidades maiores, entre 1,2 e 2m/s, para caracterizar melhor cada modelo. A adoção dos dois parâmetros combinados descreve bem se há velocidades aceitáveis (acima de 0.5m/s) e áreas com maiores velocidades (acima de 1.2m/s). Desta forma, então, serão apresentados separadamente os resultados de cada grupo de simulações internas.

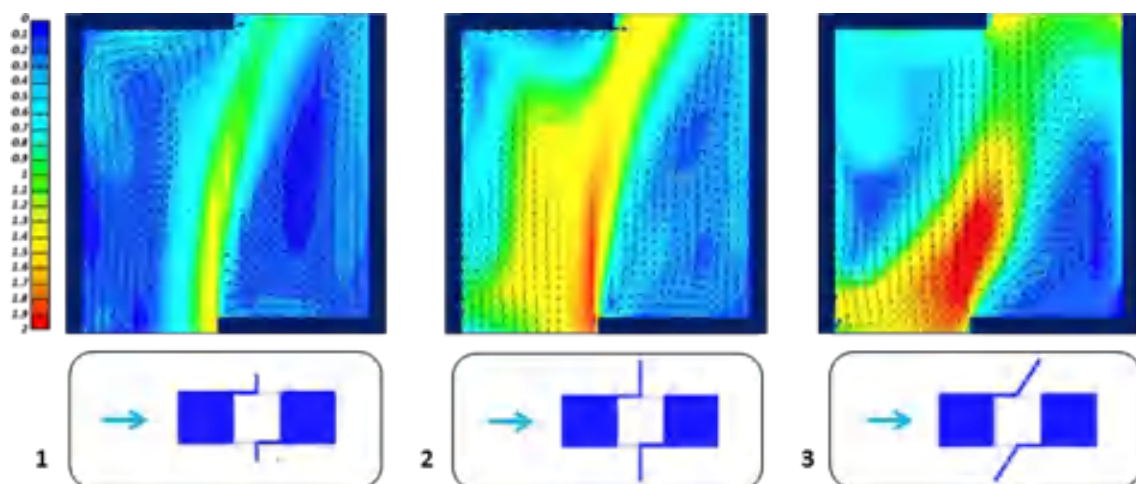
O primeiro grupo, de anteparos verticais, teve duas das três hipóteses com velocidade aceitável (Tabela 6). O anteparo com 1m tem apenas 22,51% de área acima dos 0,5m/s; enquanto que os demais casos estão em torno dos 60%. Apesar da similaridade de áreas aceitáveis, estas apresentam uma maior distinção quando se comparam as porcentagens de 1,2 até 2m/s, tendo o anteparo com 2m melhor distribuição que o anteparo inclinado, este com 29,84% e aquele 41,51%, apresentando assim maior uniformidade (Figura 71).

Tabela 6 - Comparativo das simulações internas - Faces opostas - horizontais M6: velocidades aceitáveis e áreas relativas.

Nº	HIPÓTESES SIMULADAS	Classificação Velocidade	De 0,5 a 2 m/s		De 1,2 a 2 m/s	
			Área (m ²)	Total (%)	Área (m ²)	Aceitável (%)
FACES OPOSTAS - HORIZONTAIS - F: P: M6						
1	Anteparo com 1m	Inaceitável	1,6409	22,51	0,1251	7,62
2	Anteparo com 2m	Aceitável	4,5463	62,36	1,8871	41,51
3	Anteparo inclinado com 2m	Aceitável	4,3345	59,46	1,2934	29,84

Fonte: Acervo pessoal

Figura 71 - Comparação - Face opostas horizontais - M6: Anteparo com 1m (1), Anteparo com 2m (2) e Anteparo inclinado com 2m (3).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Na Tabela 7 e figura 72, pode-se notar que todas as hipóteses com captação por elementos verticais foram avaliadas com áreas predominantemente aceitáveis. Contudo, a que mostrou maior valor (abertura zenital com barreira), não pode ser pontuada com um bom desempenho, uma vez que, como apresentado na etapa anterior, o módulo em análise, onde se localiza a saída de vento, apresenta melhores velocidades em detrimento ao de entrada (Figura 64). Desta forma, têm-se então, acima dos 90% de área aceitável, dois casos promissores para aplicação em áreas maiores, a torre de vento com 6m e a torre de vento com coberta inclinada

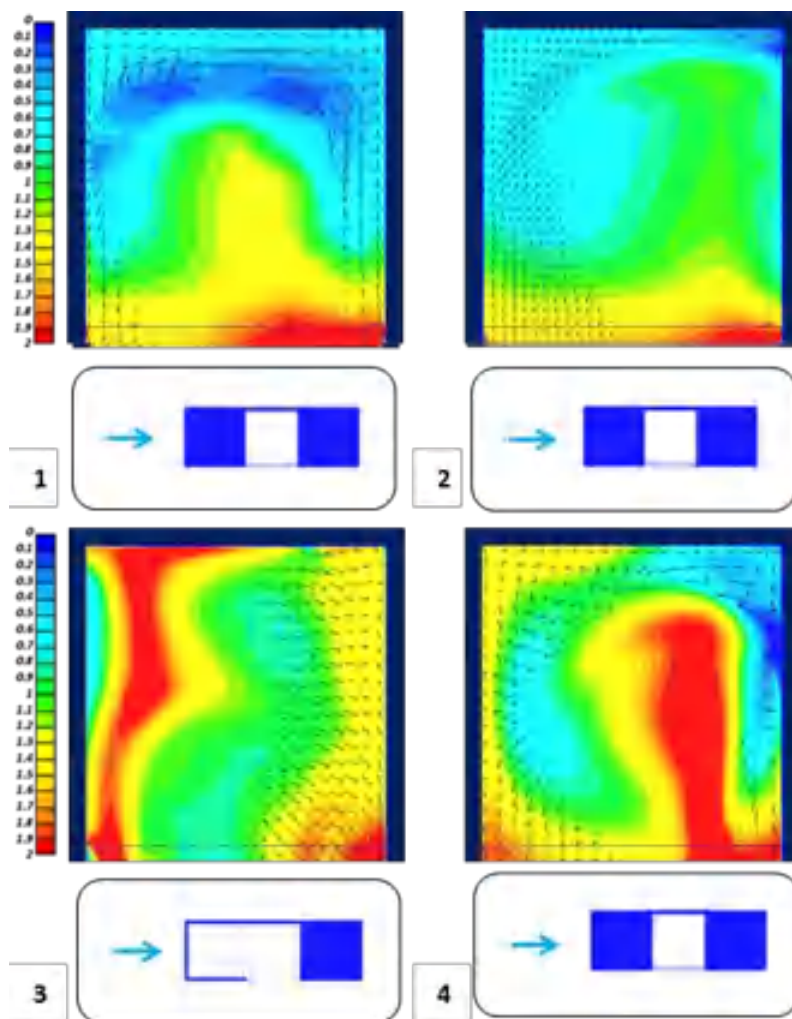
com 9m. Porém, quando se olha para a coluna de área acima de 1,2m/s, observa-se que esta tem 52,94%, enquanto, a outra tem apenas 13,73%.

Tabela 7 - Comparativo das simulações internas - Faces opostas - verticais M12: velocidades aceitáveis e áreas relativas.

Nº	HIPÓTESES SIMULADAS	Classificação Velocidade	De 0,5 a 2 m/s		De 1,2 a 2 m/s	
			Área (m ²)	Total (%)	Área (m ²)	Aceitável (%)
FACES OPOSTAS - VERTICAIS - F: P: M12						
1	Torre de vento com 9m	Aceitável	4,8296	66,25	1,7778	36,81
2	Torre de vento com 6m	Aceitável	6,7260	92,26	0,9235	13,73
3	Abertura zenital com barreira	Aceitável	7,2420	99,34	3,7515	51,80
4	Torre de vento com cobertura inclinada com 9m	Aceitável	6,6324	90,98	3,5114	52,94

Fonte: Acervo pessoal

Figura 72 - Comparação - Face opostas vertical - M12: Torre de vento com 9m (1), Torre de vento com 6m (2), Abertura zenital com barreira (3) e Torre de vento com janelas de canto (4).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

No que diz respeito à categoria faces a 90° positivas, todas as cinco simulações foram aceitas com uma grande área acima dos 0,5m/s, destoando apenas uma delas com área inferior

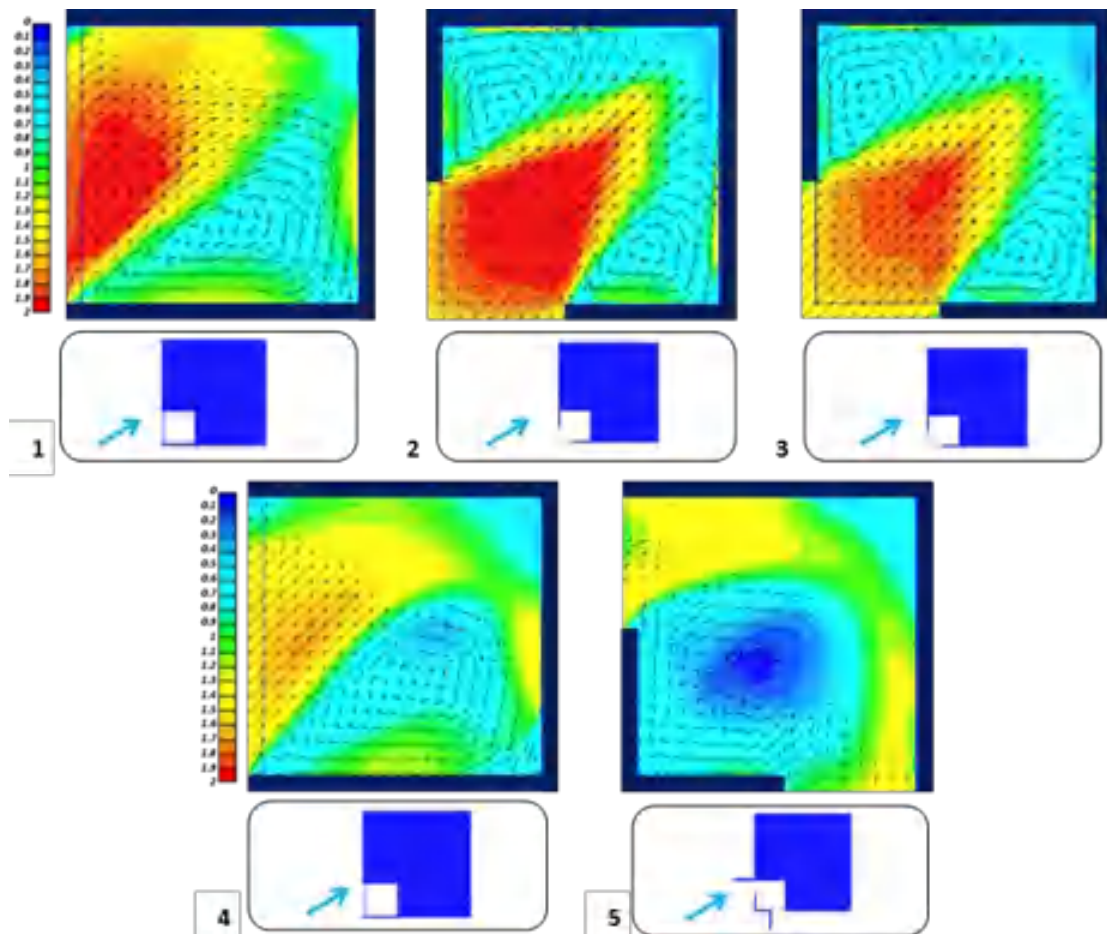
a 90%, a opção com anteparo de 2 metros, que obteve 73,21% (Tabela 8). Todavia, as três hipóteses das torres de vento se mantiveram bem semelhantes, quando se olha para as áreas com velocidade entre 1,2 e 2m/s, estas mostram proporções em torno dos 40% e uma boa distribuição de fluxo de vento no ambiente (Figura 73).

Tabela 8 - Comparativo das simulações internas - Faces a 90° - positiva M25: velocidades aceitáveis e áreas relativas.

Nº	HIPÓTESES SIMULADAS	Classificação Velocidade	De 0,5 a 2 m/s		De 1,2 a 2 m/s	
			Área (m²)	Total (%)	Área (m²)	Aceitável (%)
FACES A 90° - POSITIVA - I: P: M25						
1	Torre de vento com janelas laterais	Aceitável	7,2428	99,35	3,2382	44,71
2	Torre de vento com janela de canto e lateral	Aceitável	6,8975	94,62	2,9175	42,30
3	Torre de vento com janelas de canto	Aceitável	6,7137	92,09	2,7361	40,75
4	Abertura zenital	Aceitável	6,7582	92,71	2,1046	31,14
5	Anteparo com 2m	Aceitável	5,3371	73,21	1,4125	26,47

Fonte: Acervo pessoal

Figura 73 - Comparação - Faces a 90°- positiva - M25: Torre de vento com janelas laterais (1), Torre de vento com janela de canto e lateral (2), Torre de vento com janelas de canto (3), Abertura zenital (4) e Anteparo com 2m (5).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

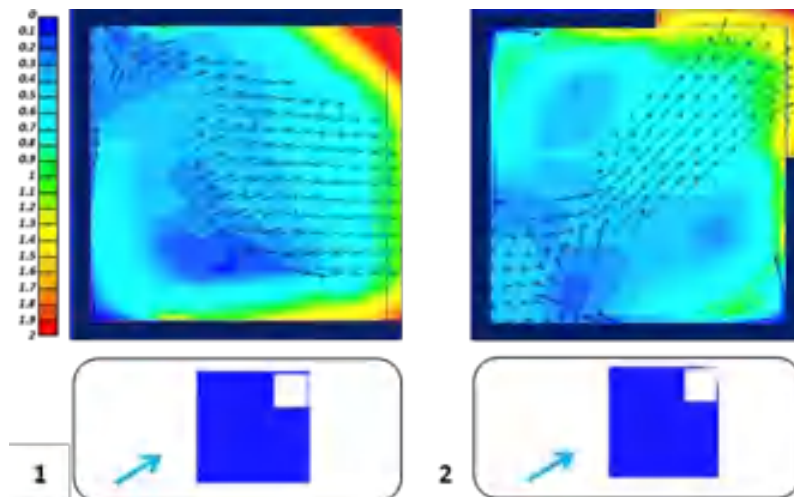
Porém, quando se passa para o grupo faces a 90° negativas, observa-se que nenhum dos casos obteve um bom desempenho, com áreas predominantes inferiores a 0,5m/s, sendo assim, classificados com inaceitáveis. Além disso, foram registradas áreas pequenas com velocidades acima de 1,2m/s, na região aceitável (Tabela 9 e Figura 74).

Tabela 9 - Comparativo das simulações internas - Faces a 90° - negativa M25: velocidades aceitáveis e áreas relativas.

Nº	HIPÓTESES SIMULADAS	Classificação Velocidade	De 0,5 a 2 m/s		De 1,2 a 2 m/s	
			Área (m²)	Total (%)	Área (m²)	Aceitável (%)
FACES A 90° - NEGATIVA - I: P: M25						
1	Torre de vento com janelas laterais	Inaceitável	2,6206	35,95	0,3925	14,98
2	Torre de vento com janelas de canto	Inaceitável	3,3282	45,65	0,2322	6,98

Fonte: Acervo pessoal

Figura 74 - Comparação - Faces a 90°- negativa- M25: Torre de vento com janelas laterais (1) e Torre de vento com janelas de canto (2).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

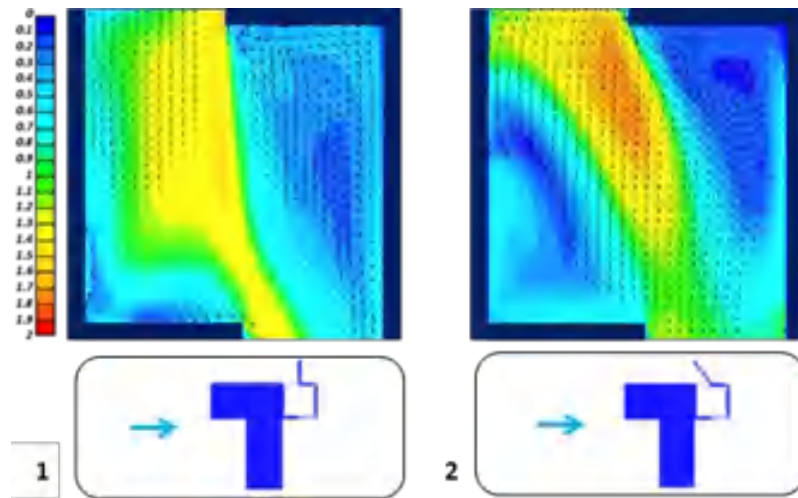
Os casos com três faces negativas obtiveram velocidades acima de 0,5m/s em área pouco maior do que a metade do ambiente. As áreas com velocidades entre 1,2 e 2m/s no ambiente se dá de maneira concentrada, ao longo de uma faixa entre as aberturas (Tabela 10 e Figura 75).

Tabela 10 - Comparativo das simulações internas - Três faces negativas - M19: velocidades aceitáveis e áreas relativas.

Nº	HIPÓTESES SIMULADAS	Classificação Velocidade	De 0,5 a 2 m/s		De 1,2 a 2 m/s	
			Área (m²)	Total (%)	Área (m²)	Aceitável (%)
TRÊS FACES NEGATIVAS - H: P: M19						
1	Anteparo com 2m	Aceitável	4,0965	56,19	1,5611	38,11
2	Anteparo inclinado com 2m	Aceitável	3,6882	50,59	1,3584	36,83

Fonte: Acervo pessoal

**Figura 75 - Comparação - Três faces negativas - M19:
Anteparo com 2m (1) e Anteparo inclinado com 2m (2).**



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

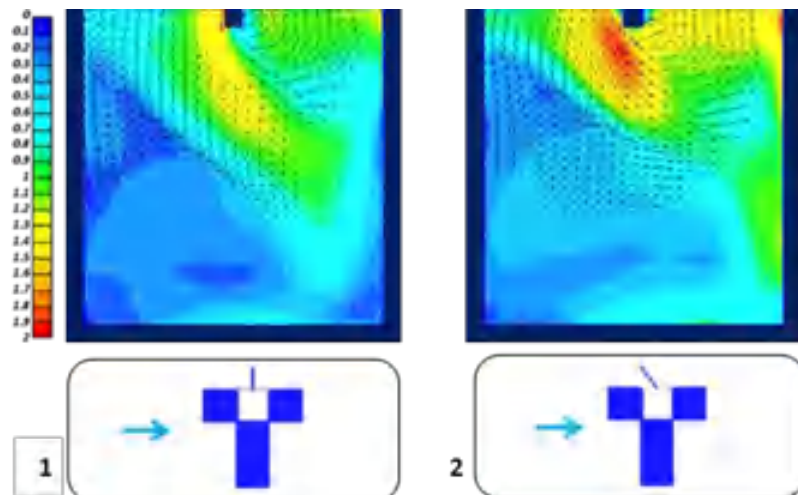
Já os casos de face única, além de terem baixas velocidades na maior parte do ambiente, as áreas com maior velocidade são irrelevantes, tanto na solução com anteparo de 2 metros ($0,3109\text{m}^2$), quanto com anteparo inclinado ($0,8276\text{m}^2$) (Tabela 11 e Figura 76).

Tabela 11 - Comparativo das simulações internas - Face única - M19: velocidades aceitáveis e áreas relativas.

Nº	HIPÓTESES SIMULADAS	Classificação Velocidade	De 0,5 a 2 m/s		De 1,2 a 2 m/s	
			Área (m ²)	Total (%)	Área (m ²)	Aceitável (%)
FACE ÚNICA - H: P: M19						
1	Anteparo com 2m	Inaceitável	3,2168	44,13	0,3109	9,66
2	Anteparo inclinado com 2m	Inaceitável	3,6274	49,76	0,8279	22,82

Fonte: Acervo pessoal

**Figura 76 - Comparação - Face única - M19:
Anteparo com 2m (1) e Anteparo inclinado com 2m (2).**



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD

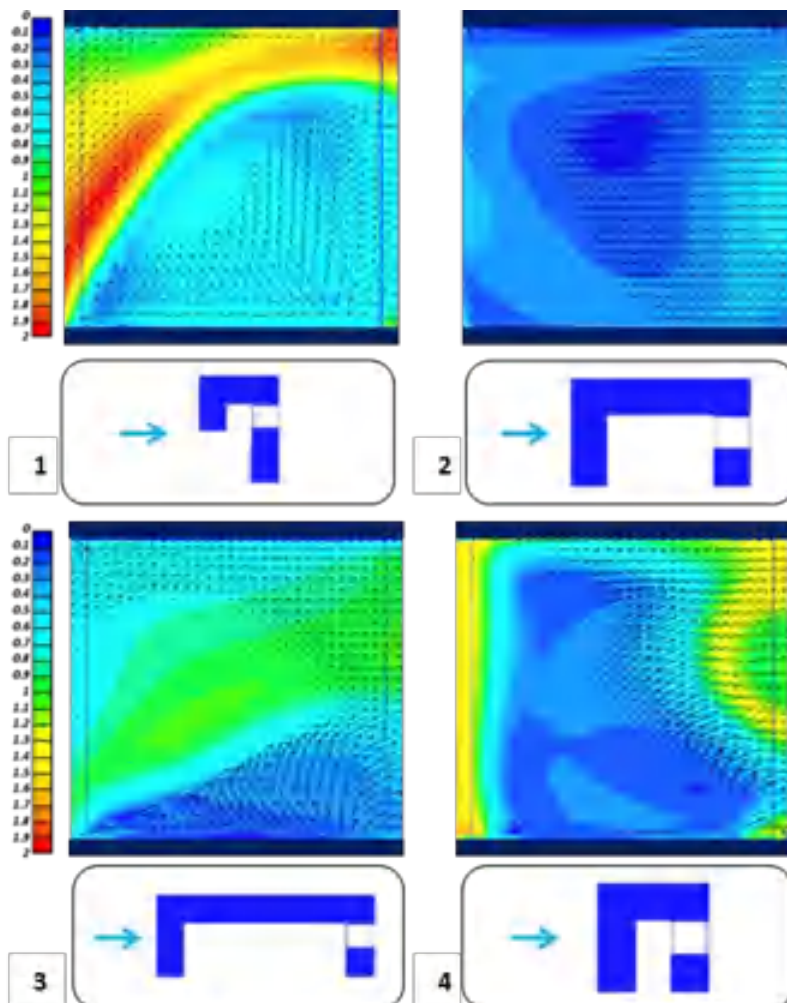
Na última categoria, de face frontal à incidência dos ventos com obstáculo, o modelo 20 tem dois casos inaceitáveis, um com porcentagem de 2,10% (pátio de 9 metros) e o outro de 34,91% (com anteparo vertical). Dois casos tiveram resultados aceitáveis, com 62,11% (deslocamento de volume lateral) e 74,48% (pátio com 18 metros) (Tabela 12). Contudo, este último, não apresenta área com velocidade superior a 1,2m/s, mesmo tendo uma maior distribuição no espaço (Figura 77).

Tabela 12 - Comparativo das simulações internas - Face frontal com obstáculo - M20: velocidades aceitáveis e áreas relativas.

Nº	HIPÓTESES SIMULADAS	Classificação Velocidade	De 0,5 a 2 m/s		De 1,2 a 2 m/s	
			Área (m ²)	Total (%)	Área (m ²)	Aceitável (%)
FACE FRONTAL COM OBSTÁCULO - H: P: M20						
1	Deslocamento do volume lateral	Aceitável	4,5278	62,11	1,9202	42,41
2	Pátio com 9m	Inaceitável	0,1533	2,10	0,0000	0,00
3	Pátio com 18m	Aceitável	5,4295	74,48	0,0000	0,00
4	Anteparo vertical	Inaceitável	2,5453	34,91	0,4869	19,13

Fonte: Acervo pessoal

Figura 77 - Comparação - Face frontal com obstáculo - M20: Deslocamento do volume lateral (1), Pátio com 9m (2), Pátio com 18m (3) e Anteparo vertical (4).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

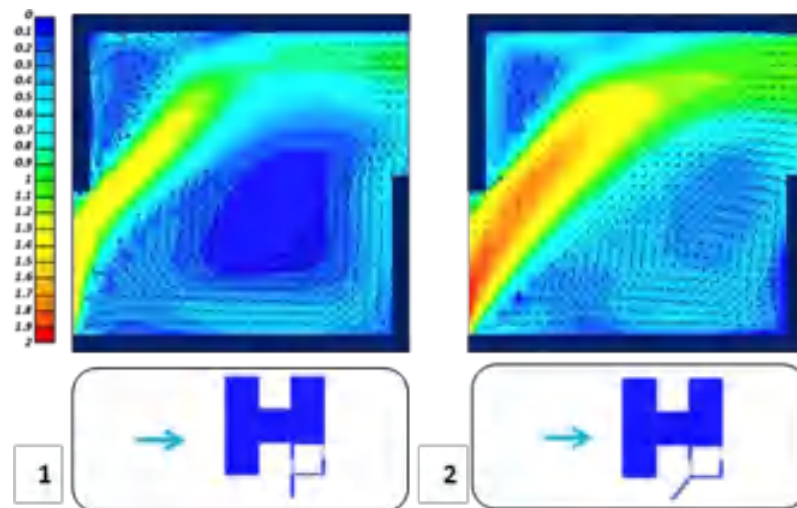
Por fim, ainda na categoria ‘face frontal com obstáculo’, as variantes do modelo 21 não obtiveram bons resultados. No caso do anteparo inclinado, quase metade da área do ambiente apresenta velocidades acima de 0.5 m/s (Tabela 13), sendo que em 30% da área com velocidades acima de 1.2m/s (Figura 78).

Tabela 13 - Comparativo das simulações internas - Face frontal com obstáculo - M21: velocidades aceitáveis e áreas relativas.

Nº	HIPÓTESES SIMULADAS	Classificação Velocidade	De 0,5 a 2 m/s		De 1,2 a 2 m/s	
			Área (m²)	Total (%)	Área (m²)	Aceitável (%)
FACE FRONTAL COM OBSTÁCULO - H: P: M21						
1	Anteparo com 2m	Inaceitável	2,0748	28,46	0,2819	13,59
2	Anteparo inclinado com 2m	Inaceitável	3,4647	47,53	1,0691	30,86

Fonte: Acervo pessoal

Figura 78 - Comparação - Face frontal com obstáculo - M21: Anteparo com 2m (1) e Anteparo inclinado com 2m (2).



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD

Diante da comparação entre as vinte e quatro soluções internas, foram selecionados os casos de melhor desempenho. O objetivo da fase posterior é verificar se esses casos continuam a ter bom desempenho em situação mais restritiva, como é o caso de ambientes mais profundos (com maior distância entre aberturas). Caso não tenham bom desempenho, para possibilitar uma conclusão mais precisa, os módulos que compõem os ambientes foram elevados para o terceiro pavimento. Oito hipóteses, composta pelos casos de melhor desempenho em cada conjunto, foram simuladas nessas condições (Tabela14).

Vale ressaltar que, dentre os três bons exemplares das torres de ventos, nas faces a 90° positiva, escolheu-se o modelo com janela de canto e lateral pelo fato da mesma apresentar uma distribuição mais central da velocidade do que aquele que tem apenas janelas laterais, mesmo este alcançando valores levemente superiores ao mesmo. Nos casos inaceitáveis (com mais de 50% de área com velocidades internas abaixo de 0.5m/s), o critério da área relativa à velocidade acima dos 1,2m/s foi o diferencial para escolha do modelo.

Tabela 14 – Síntese das simulações internas: hipóteses com melhor desempenho para ampliação.

MODELO		HIPÓTESES SELECIONADAS	CLASSIFICAÇÃO VELOCIDADE	QUANT.
FACES OPOSTAS				
HORIZONTAL	F:P:M6	Anteparo com 2m	Aceitável	1
VERTICAL	V:P:M12	Torre de vento com cobertura inclinada com 9m	Aceitável	1
FACES A 90°				
POSITIVA	I:P:M25	Torre de vento com janela de canto e lateral	Aceitável	1
NEGATIVA	I:P:M25	Torre de vento com janelas laterais	Inaceitável	1
TRÊS FACES NEGATIVAS				
H:P:M19		Anteparo com 2m	Aceitável	1
FACE ÚNICA				
H:P:M19		Anteparo inclinado com 2m	Inaceitável	1
FACE FRONTAL COM OBSTÁCULO				
H:P:M20		Deslocamento do volume lateral	Aceitável	1
H:P:M21		Anteparo inclinado com 2m	Inaceitável	1
TOTAL DE HIPÓTESES SELECIONADAS				8

Fonte: Acervo pessoal

Para tanto, nos modelos escolhidos foram alterados uma dimensão do ambiente passando de 3m para 9m de profundidade, para verificar sua aplicabilidade em espaços com aberturas mais afastadas. As demais variáveis e dimensões das hipóteses se mantiveram, incluindo as características do modelo e o tamanho das janelas, sendo modificado apenas o afastamento entre as mesmas, decorrente do aumento da sala. Desse modo, as novas hipóteses foram modeladas, como mostra a Figura 79.

Figura 79 - Abrangência da aplicação da volumetria: Hipóteses com maior profundidade.



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

De forma semelhante, após a simulação, os resultados foram padronizados com escalas de velocidade de 0 a 2m/s (Figura 80). Os modelos foram avaliados pela predominância da velocidade aceitável em relação à área interna total do módulo (23,49m²), e

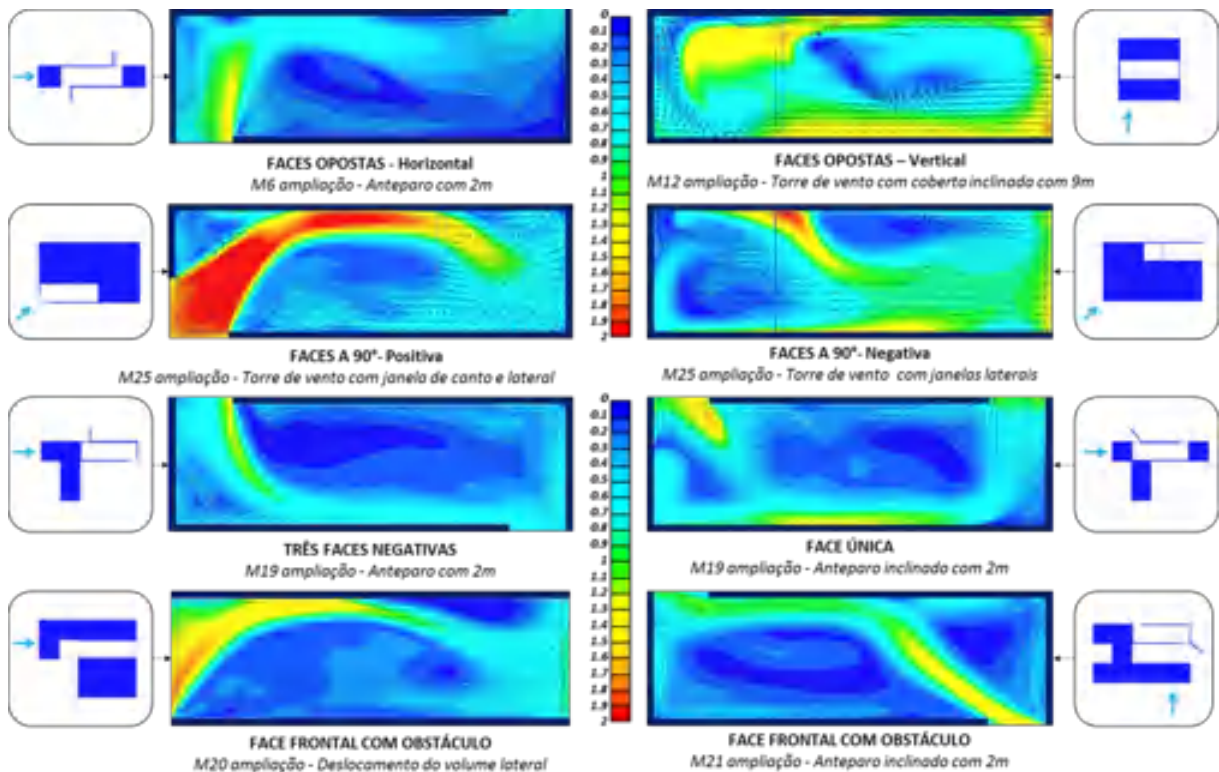
pela área entre 1,2 e 2m/s. A análise, porém, não é comparativa entre os oito casos simulados, pois tem o objetivo de verificar até que ponto o desempenho se mantém após a modificação da proporção do ambiente.

De acordo com a Tabela 15, ao comparar as colunas de classificação da velocidade, fica claro que houve algumas mudanças. A mudança mais frequente foi a alteração de aceitável para inaceitável, nas hipóteses de faces opostas horizontal, faces a 90° positiva, três faces negativas e face frontal com obstáculo modelo 20. Nesses casos, as áreas com velocidades acima de 0,5 m/s foram reduzidas à metade.

Outro caso que ocorreu mudança de classificação foi de inaceitável para aceitável, que foi o caso das faces a 90° negativas. Sua área de abrangência com uma boa velocidade passou de 35,95% para 56,47%, porém ainda não mostram valores significativos com velocidades acima de 1,2m/s.

Os demais casos permaneceram com a mesma classificação, apresentando percentuais inferiores após a ampliação, o que quer dizer que maiores áreas, relativamente, estão abaixo do aceitável.

Figura 80 - Abrangência da aplicação da volumetria - Ampliação: Planta de velocidade.



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

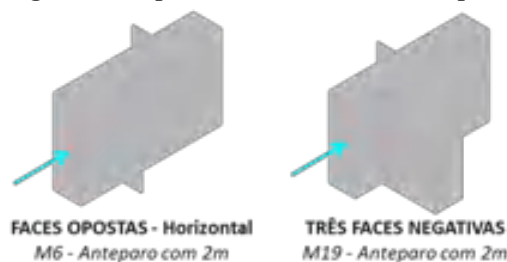
Tabela 15 - Abrangência das simulações internas - Hipóteses com maior profundidade: velocidades aceitáveis e áreas relativas.

HIPÓTESES SIMULADAS			Classificação Prévia	Classificação Velocidade	De 0,5 a 2 m/s		De 1,2 a 2 m/s	
					Área (m ²)	Total (%)	Área (m ²)	Aceitável (%)
FACES OPOSTAS								
HORIZ.	F:P:M6	Anteparo com 2m	Aceitável	Inaceitável	5,9746	25,43	0,3188	5,34
VERT.	V:P:M12	Torre de vento com cobertura inclinada c/ 9m	Aceitável	Aceitável	17,3983	74,07	3,9545	22,73
FACES A 90°								
POSIT.	I:P:M25	Torre de vento com janela de canto e lateral	Aceitável	Inaceitável	11,5273	49,07	5,7410	49,80
NEG.	I:P:M25	Torre de vento com janelas laterais	Inaceitável	Aceitável	13,2659	56,47	1,1601	8,74
TRÊS FACES NEGATIVAS								
H:P:M19		Anteparo com 2m	Aceitável	Inaceitável	4,7838	20,37	0,0646	1,35
FACE ÚNICA								
H:P:M19		Anteparo inclinado c/ 2m	Inaceitável	Inaceitável	6,7705	28,82	0,6306	9,31
FACE FRONTAL COM OBSTÁCULO								
H:P:M20		Deslocamento do volume lateral	Aceitável	Inaceitável	7,7637	33,05	2,3299	30,01
H:P:M21		Anteparo inclinado c/ 2m	Inaceitável	Inaceitável	5,9578	25,36	0,7729	12,97

Fonte: Acervo pessoal

Diante do que foi exposto, verificou-se a necessidade de propor a elevação em algumas dessas hipóteses ampliadas que passaram predominar velocidades inaceitáveis, para avaliar se os mesmos ambientes teriam melhores resultados se estivessem mais elevados e, conseqüentemente, com uma maior pressão e velocidade incidente. Assim, dois modelos, com as menores áreas acima de 1,2m/s, foram propostos e simulados (Figura 81), tendo seus espaços de análise dois níveis acima do inicial.

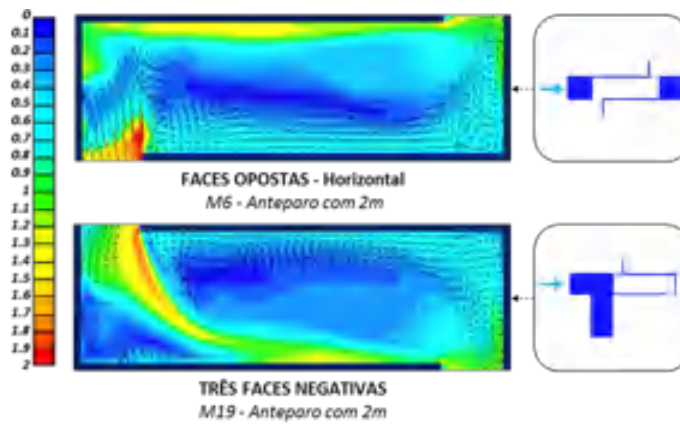
Figura 81 - Abrangência de aplicação da volumetria: Hipóteses com elevação.



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Seus resultados, como esperado, foram melhores do que quando tinham apenas um pavimento, por captar velocidades do ar mais altas (Figura 82). Porém, ao observar a Tabela 16, vê-se que ainda continuam sendo inaceitáveis, mas agora com quase metade da área acima de 0,5m/s, o que é um resultado bastante razoável, dadas as limitações.

Figura 82 - Abrangência da aplicação da volumetria - Verticalização: Planta de velocidade.



Fonte: Acervo pessoal - Adaptado do Autodesk CFD.

Tabela 16 - Abrangência das simulações internas - Hipóteses com maior profundidade: velocidades aceitáveis e áreas relativas.

HIPÓTESES SIMULADAS			Classificação Prévia	Classificação Velocidade	De 0,5 a 2 m/s		De 1,2 a 2 m/s	
					Área (m ²)	Total (%)	Área (m ²)	Aceitável (%)
FACES OPOSTAS								
HORIZ.	F:P:M6	Anteparo com 2m	Inaceitável	Inaceitável	9,9400	42,32	1,2026	12,10
TRÊS FACES NEGATIVAS								
	H:P:M19	Anteparo com 2m	Inaceitável	Inaceitável	8,8927	37,86	1,2517	14,08

Fonte: Acervo pessoal

Portanto, pode-se dizer que nem todos os casos ampliados e/ou verticalizados vão apresentar um desempenho padrão, independente do tamanho do ambiente. Este deve ter sua configuração e orientação de aberturas adequada à necessidade do espaço, e não, apenas, reproduzir o que deu certo em determinada situação específica.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscar fornecer um espaço confortável no interior da edificação deve estar relacionado com a adequação da arquitetura aos condicionantes ambientais. Para isso, é preciso compreender os recursos que o próprio ambiente dispõe, incluindo a ventilação natural, uma das estratégias bioclimáticas mais eficazes para dissipar ganhos térmicos, reduzir o consumo energético e melhorar o conforto, principalmente em uma região com o clima quente, como no semiárido paraibano.

Sendo assim, é preciso compreender as relações das variáveis arquitetônicas com os condicionantes externos. Pensando assim, foi analisado o potencial da volumetria da edificação na captação dos ventos em termos de diferença de coeficiente de pressão externos e velocidade do ar com o uso de simulação computacional. Isso permitiu avaliar quantitativamente o impacto de cada estratégia adotada de acordo com cada modelo produzido, baseado nas recomendações projetuais, que adotaram volumes e superfícies para forçar diferenças de pressão e maximizar a ventilação cruzada.

Uma grande quantidade de dados foi fornecida pelo programa *Autodesk CFD*, possibilitando a comparação e análise das soluções propostas de acordo com esses resultados. *A priori*, na primeira etapa, simulação externa, vinte e cinco modelos foram simulados com a finalidade de selecionar os que apresentassem menor desempenho, ou seja, menor diferença de pressão entre fachadas. Para que isso fosse possível, uma categorização dos mesmos foi necessária para agrupá-los por suas similaridades de resultados. Após isso, oito casos foram escolhidos das cinco categorias pré-estabelecidas, sendo estes classificados para a segunda etapa.

Nessa fase, algumas hipóteses, a partir dos modelos selecionados, foram formuladas baseadas nas recomendações e analisadas continuamente para o aprimoramento da volumetria, buscando forçar diferenças de pressão entre as aberturas que proporcionassem uma boa ventilação. Durante esse processo, vinte e quatro hipóteses foram produzidas, dentre as quais catorze apresentaram uma boa velocidade interna e diferença de pressão, como as torres de vento da face a 90° positiva; enquanto que as demais não o tiveram, como os anteparos entre aberturas na mesma face.

Após isso, iniciou-se a terceira e última etapa, também, interna, onde todos estes casos foram padronizados, adotando a mesma escala de velocidade e comparados entre si, dentro do seu grupo, a fim de observar quais obtiveram um desempenho aceitável de velocidade (entre 0,5 e 2m/s). Oito destas soluções, que tiveram a predominância de área de velocidade aceitável, além de maior área entre 1,2 e 2m/s foram testadas em configurações de ambientes mais profundos. Desta forma, foi possível analisar que nem todos os casos testados, nesta etapa, tiveram uma abrangência maior ao terem suas aberturas afastadas, apontando, mais uma vez, que cada projeto tem sua especificidade e que as recomendações servem de referência e não como um padrão a ser seguido sem adaptações.

Portanto, ao todo foram modelados, simulados e analisados cinquenta e nove modelos, sendo vinte e cinco na fase externa e trinta e quatro nas internas, o que representa, uma amostra do potencial que se tem, ao utilizar as recomendações projetuais para aumentar o desempenho da volumetria quanto à ventilação, ao forçar diferenças de pressão e velocidades internas do ar.

Apesar da quantidade de simulações realizadas, ainda existem inúmeras outras que poderiam ser feitas. Porém pelas limitações de tempo e capacidade de processamento de dados do computador, acredita-se que as interpolações propostas representam uma amostra significativa quanto às recomendações levantadas neste trabalho, se mostrando, desta forma,

relevantes para pesquisa. No entanto, deve-se atentar que tais as simulações foram feitas para casos sem obstáculos, não havendo garantia que essas soluções funcionariam no contexto urbano.

Contudo, para saber aplicar essas estratégias na prática, é preciso analisar e abstrair os resultados fornecidos pelo programa, para que não haja uma repetição literal do princípio. Por isso, foram apresentadas algumas aplicações projetuais, por meio da exposição de correlatos, que podem servir de inspiração para a definição da linguagem arquitetônica do projeto ligada ao conforto ambiental.

Pode-se, então, concluir que é necessário compreender que a questão ambiental e econômica pode ser amenizada pela arquitetura, e, para isso, é preciso saber lidar com os recursos que a natureza dispõe, aplicando de forma prática as volumetrias para captação de ventos, que obtiveram um desempenho aceitável, tendo, assim, consciência e respaldo quantitativo na tomada de decisões arquitetônicas, para contribuir com uma arquitetura mais eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS - NBR 15220. **Norma de desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT, ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS - NBR 15575. **Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE.** 2013
- AUTODESK. **SST K-Omega Turbulence Models.** Learning guide, Turbulent flow. Dec, 28, 2015. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/cfd/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/SimCFD/files/GUID-0F5C4828-9F91-46B6-A16A-2578D72DCFCC-htm.html#mtc-english>.
- Beguín, François. **As maquinarias inglesas do conforto.** 1ª Ed. 1977.
- Bay, J.-H. **Cognitive Biases in Design: The case of tropical architecture.** 2001. PhD TU Delft, Delft, Netherlands
- Bittencourt, L. ; Cândido, C. Ventilação Natural em edificações. **PROCEL EDIFICA - EFICIENCIA ENERGETICA EM EDIFICACOES.** Rio de Janeiro, agosto/2010.
- Cândido, Christina. **Ventilação natural e conforto térmico em climas quentes.** Tópicos avançados em conforto térmico. UFSC, 2006.
- Creswell, J. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativos, quantitativos e misto.** 3ª Ed. Porto Alegre. Artmed. 2010.
- Cunha, L. **Análise de métodos para aplicação de ventilação natural em projetos de edificações em Natal-RN** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2010.
- Franke, J.; Hellsten, A.; Schlünzen, H.; Carissimo, B. The best practise guideline for the cfd simulation of flows in the urban environment : an outcome of cost 732. **The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2010).** Chapel Hill, North Carolina, USA May, 2010.
- Franke, J.; Hirsch, C.; Jensen, A.; Krüs, H.; Schatzmann, M.; Westbury, P.; Miles, S.; Wisse, J.; Wright, N. Recommendations on the use of CFD in Wind engineering. In: **ResearchGate.** January 2004. At: <http://www.researchgate.net/publication/251814717>.
- Frota, A.B.; Schiffer,S.R. **Manual de conforto térmico : arquitetura, urbanismo.** 5. ed. São Paulo. Studio Nobel, 2001.
- LabEEE. **ProjeteEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes.** UFSC,Santa Catarina, 2014. Disponível em: <http://150.162.76.139/#>
- Lamberts, Roberto; Dutra, Luciano; Pereira, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3ª Ed. Rio de Janeiro. Editora ELETROBRAS/PROCEL. 2014.
- Lamberts, Roberto *et al.* **Desempenho Térmico de Edificações (apostila).** 7ª Ed. Florianópolis. Mar. 2016. Disponível em: www.labeee.ufsc.br

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 – Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura), FAUUSP. São Paulo, 2015

LIGGETT, R. e M. MILNE. **Climate Consultant 5**, 2010.

Lôbo, D.G.F.; Bittencourt, L.S. A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, Vol. 3, n. 2, p. 57-67, abr./jun. 2003.

Macedo, P. Venâncio, R. Avaliação de desempenho de proteções solares em edificações administrativas da UFCG: sombreamento x iluminação natural. **XII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande**. PIBIC/CNPq-UFCG, 2015.

Matheus, C.; Caetano, F. D. N.; Morelli, D. D. de O.; Labaki, L. C. Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, Vol. 16, n. 1, p. 71-81, jan./mar. 2016.

Matos, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural.** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2007.

Padre, P.; Venâncio, R. Formulando e resolvendo dilemas de projeto: aplicação didática de modos projetuais de simulação em projetos de estudantes de arquitetura. **XIII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande**. PIBIC/CNPq-UFCG, 2016.

Rupp, R. F.; Ghisi, E. Potencial de economia de energia elétrica através do uso da luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, Vol. 13, n. 4, p. 75-86, out./dez. 2013.

Souza, H. A. de; Amparo, L. R.; Gomes, A. P. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, Vol. 11, n. 4, p. 113-128, out./dez. 2011.

Tominaga, Y.; Mochida, A.; Yoshie, R.; Kataoka, H.; Nozu, T.; Yoshikawa, M.; Shirasawa, T. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. In: **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Vol. 96, p. 1749–1761, April 2008.

Venâncio, R. **A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do Campus/UFRN - vol.1.** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2007.

Venâncio, Raoni; Pedrini, Aldomar. **Recomendações Projetuais-A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do Campus/UFRN - vol.2.** Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2007.

Venâncio, R. **Modos projetuais de simulação: Uso de ferramentas de simulação térmica no processo projetual de arquitetura.** (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2012.

Versteeg, H. K.; Malalasekera, W. **An introduction to computational fluid dynamics – The finite volume method.** 1ª Ed. England. Longman Scientific & Technical. 1995.

**APÊNDICE A - RESULTADOS GERADOS PELAS SIMULAÇÕES
EXTERNAS E INTERNAS (ARQUIVO DIGITAL - CD)**

RESULTADOS GERADOS PELAS SIMULAÇÕES - CFD

25 MODELOS EXTERNOS

M1:F:A



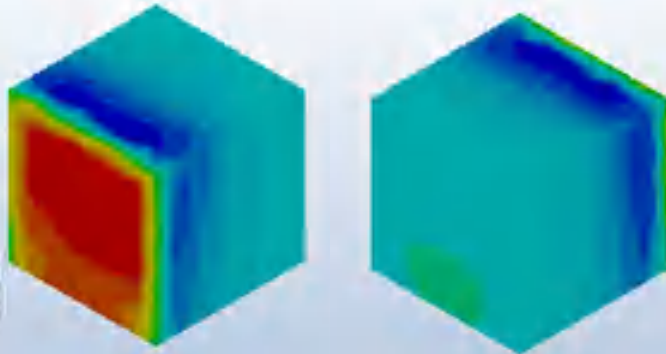
Coefficiente de pressão: 0.50 / -0.59

Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

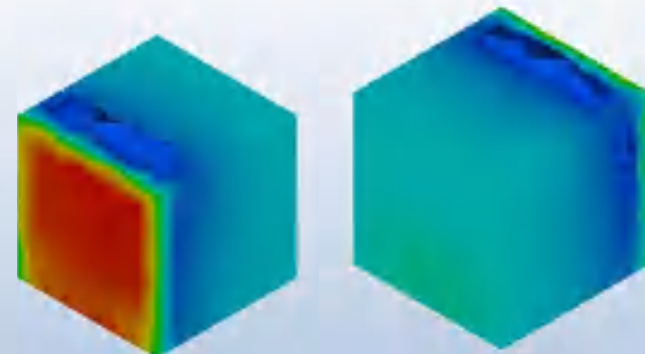
Classificação: Três faces negativas

[10] Pressure Coefficients -

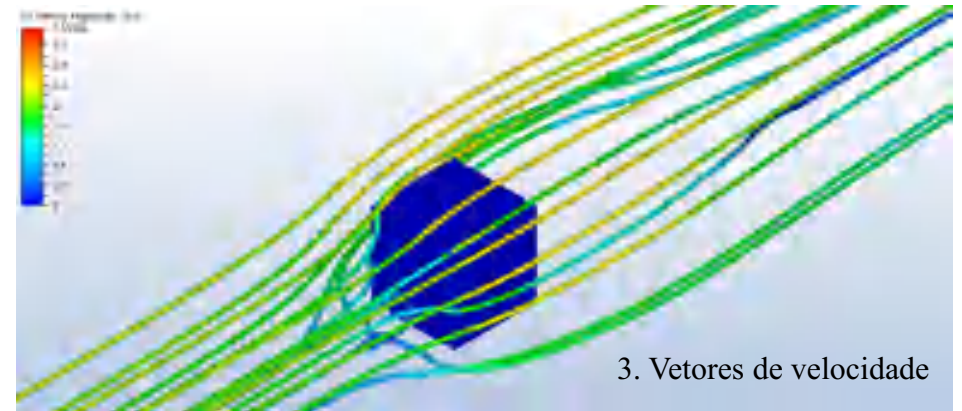


1. Coeficiente de pressão

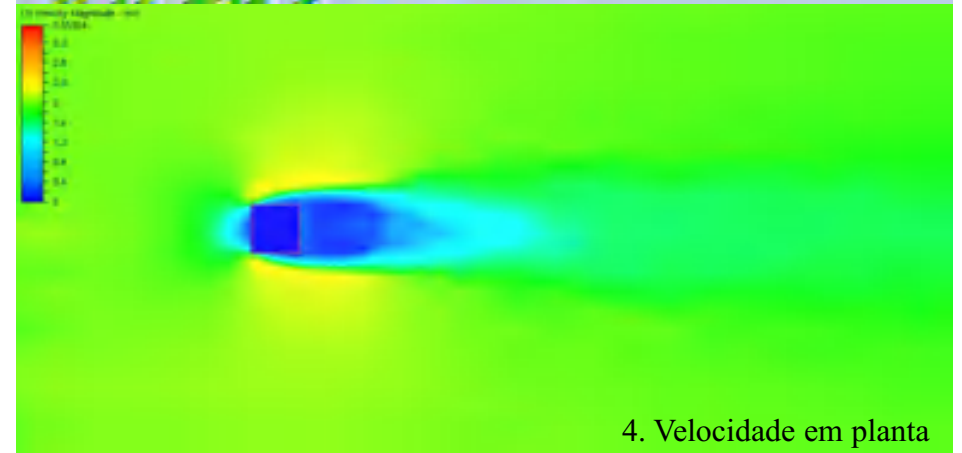
[11] Pressure Coefficients -



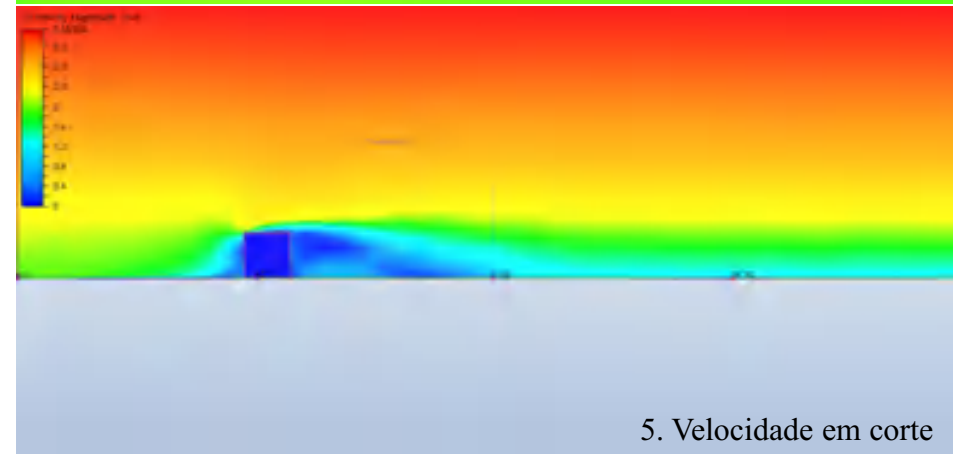
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



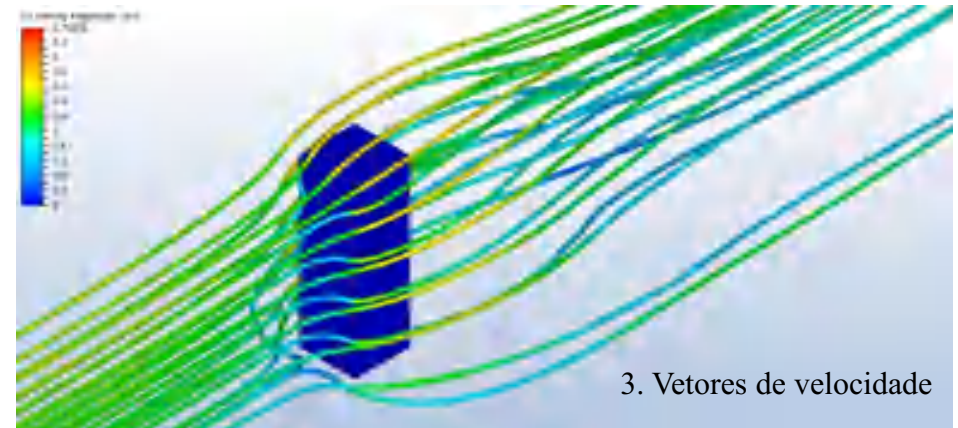
M2:F:A

Coefficiente de pressão: 0.68 / -0.93

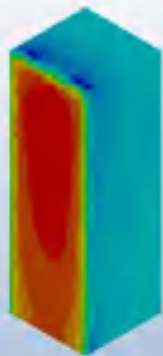
Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

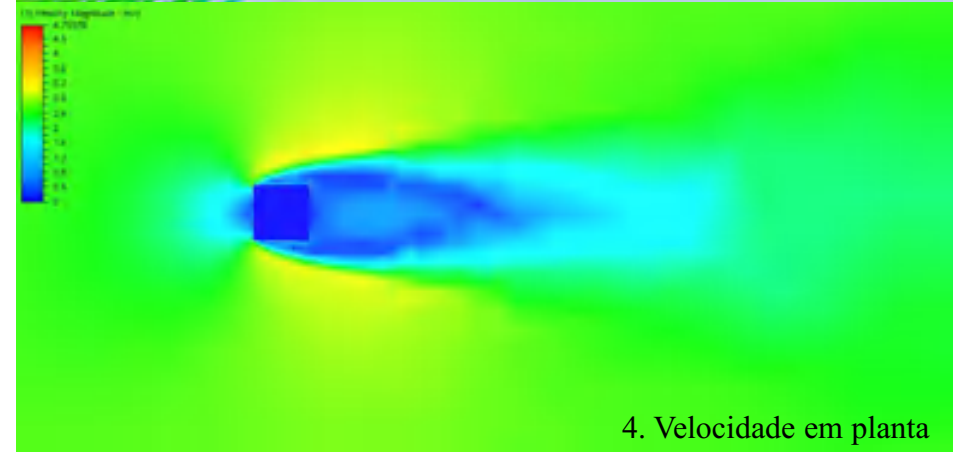
Classificação: Três faces negativas



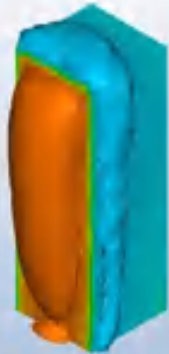
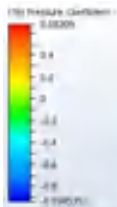
3. Vetores de velocidade



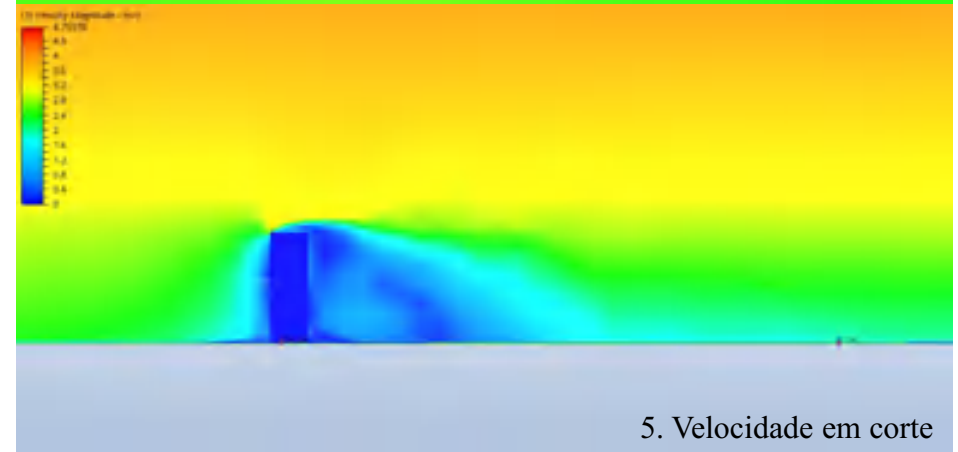
1. Coeficiente de pressão



4. Velocidade em planta



2. Superfícies de pressão



5. Velocidade em corte



M3:F:A

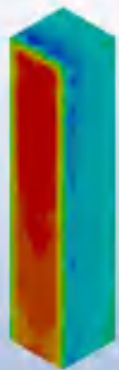
Coefficiente de pressão: 0.64 / -0.95

Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

Classificação: Três faces negativas

1) Pressure Coefficient



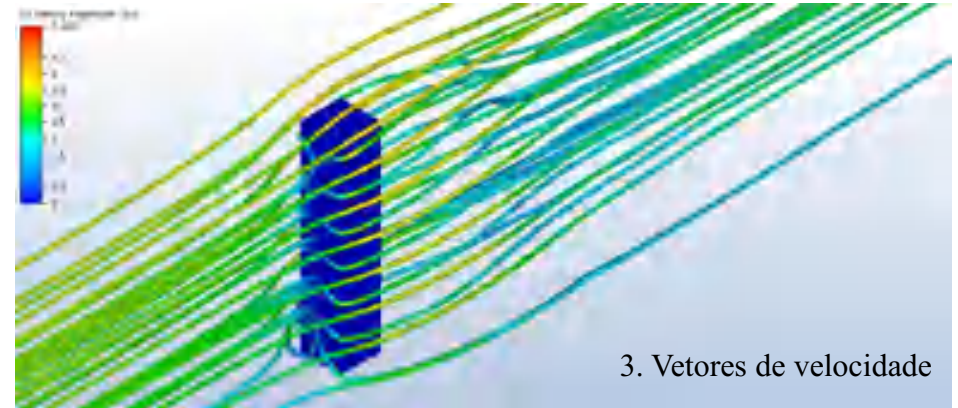
1. Coeficiente de pressão



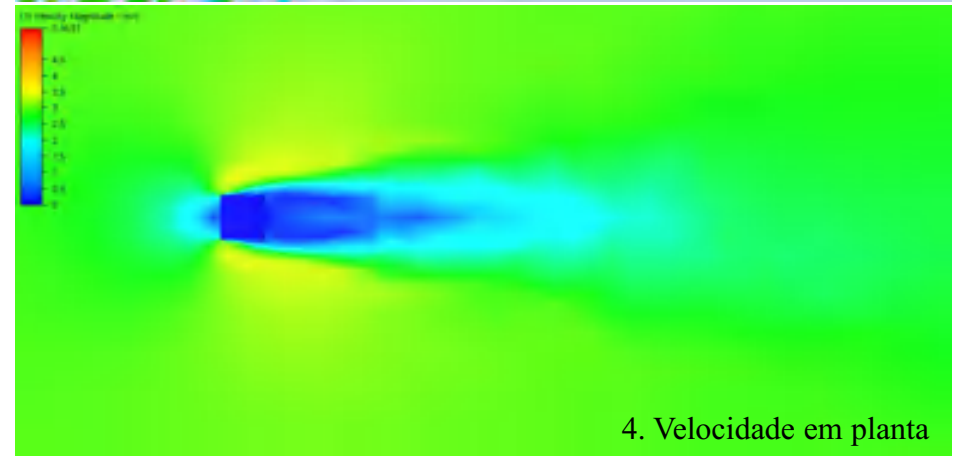
2) Pressure Coefficient



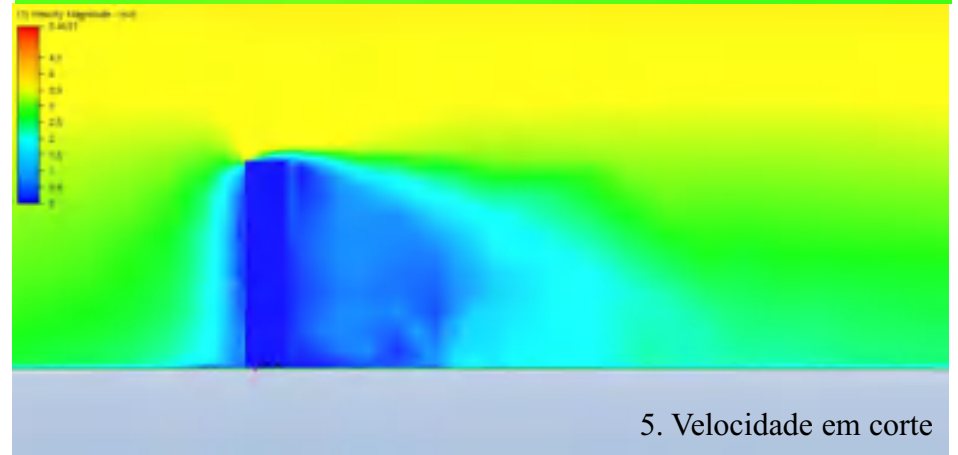
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



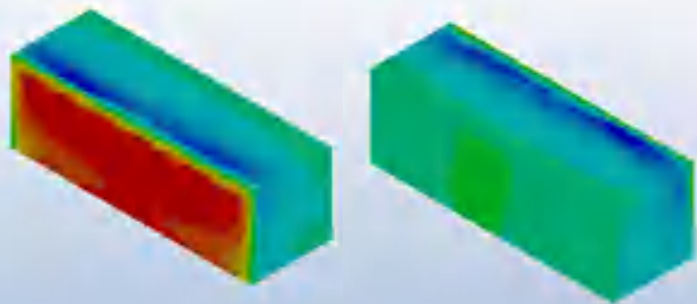
M4:F:L

Coefficiente de pressão: 0.47 / -0.94

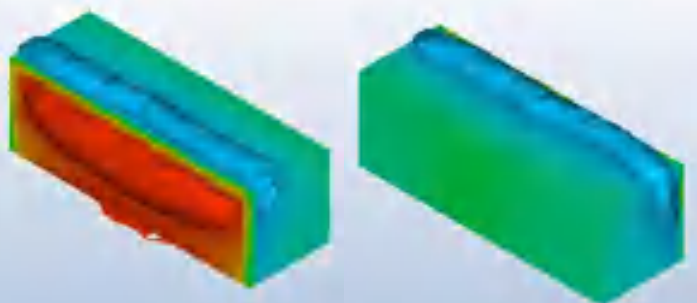
Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

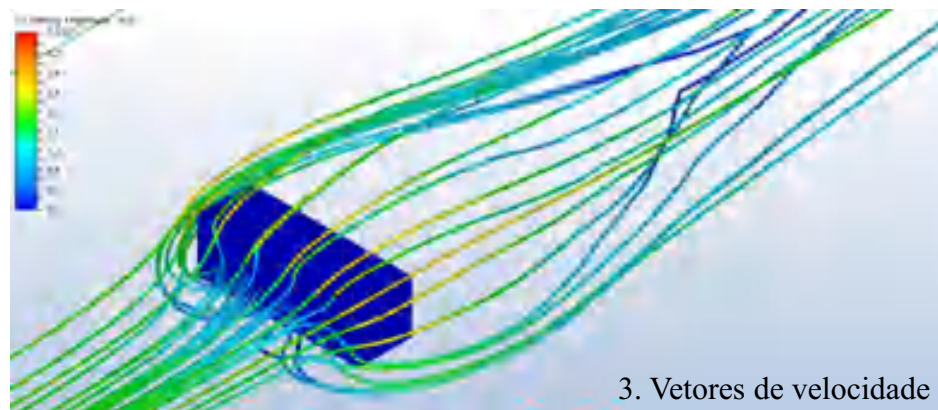
Classificação: Faces a 90° negativas



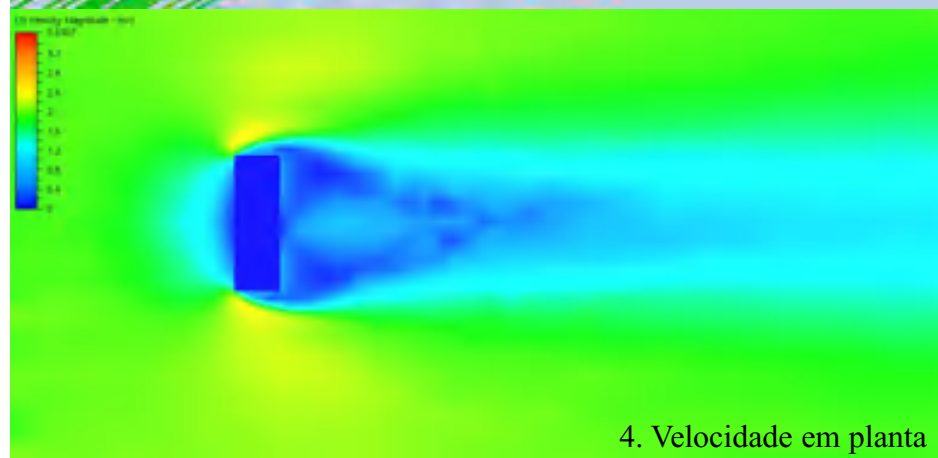
1. Coeficiente de pressão



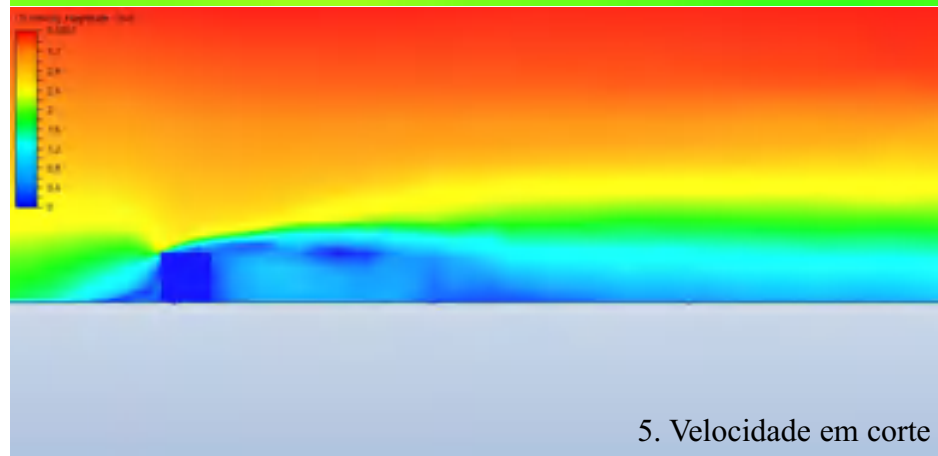
2. Superfícies de pressão



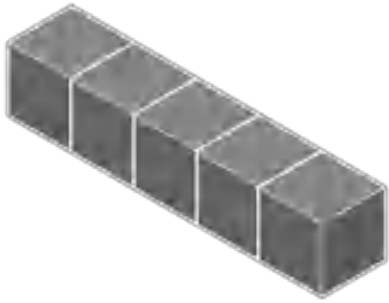
3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta

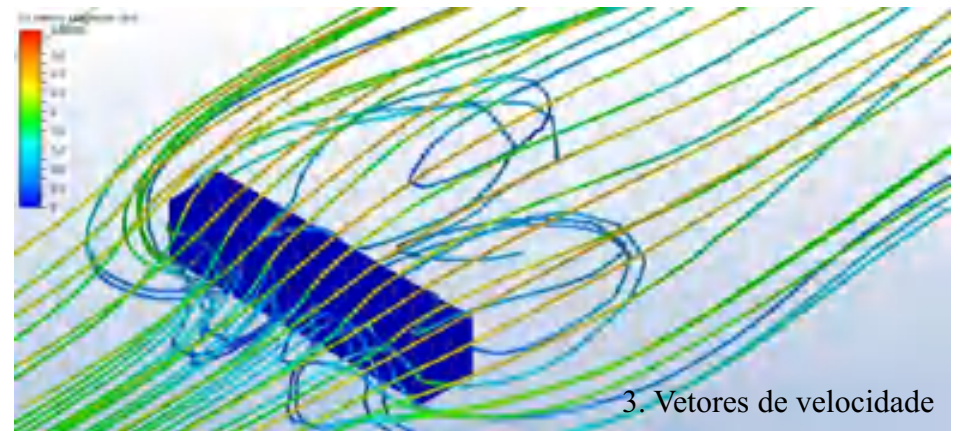
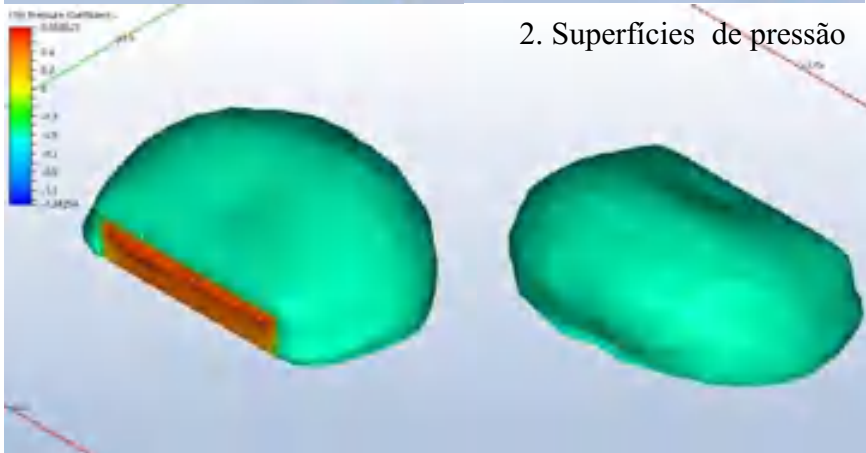
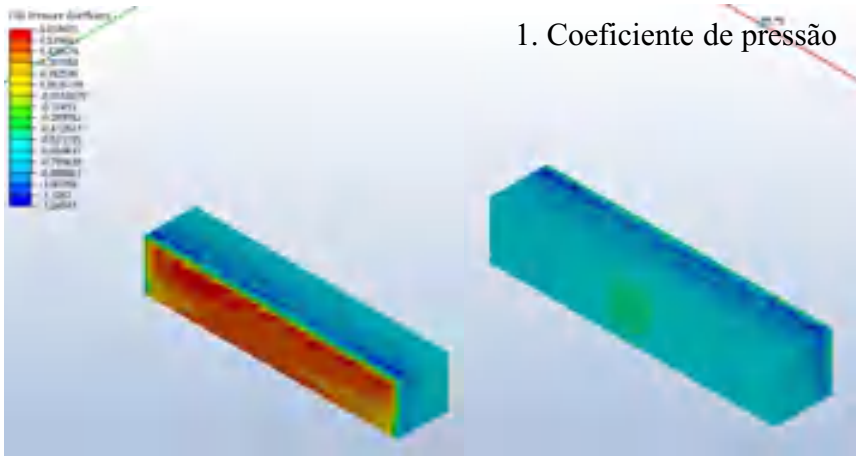


5. Velocidade em corte

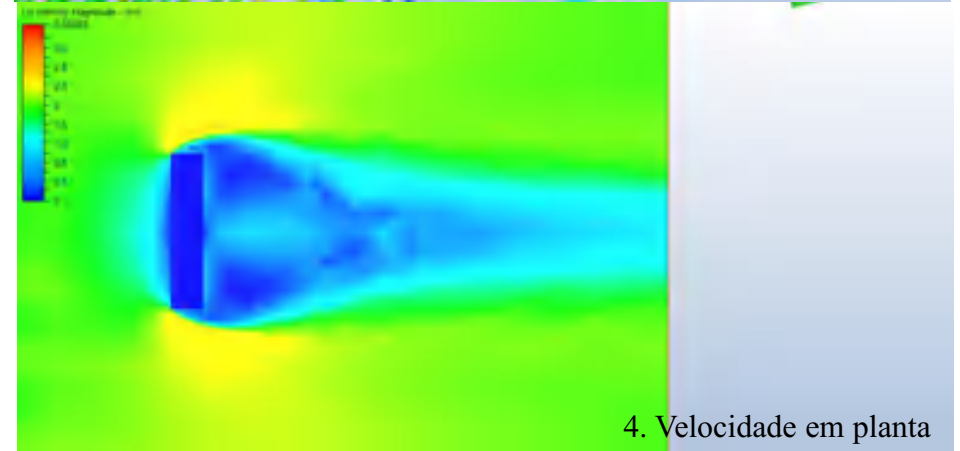


M5:F:L

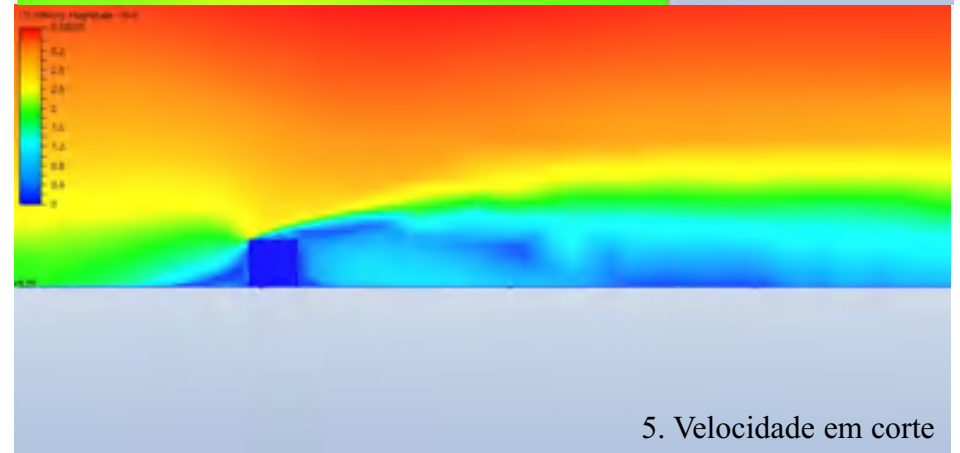
Coefficiente de pressão: 0.65 / -1.24
Fachadas laterais: negativas
Fachadas frontais: positiva / negativa
Classificação: Faces a 90° negativas



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



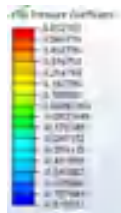
M6:F:P

Coefficiente de pressão: 0.65 / -0.81

Fachadas laterais: neutras

Fachadas frontais: positiva / negativa

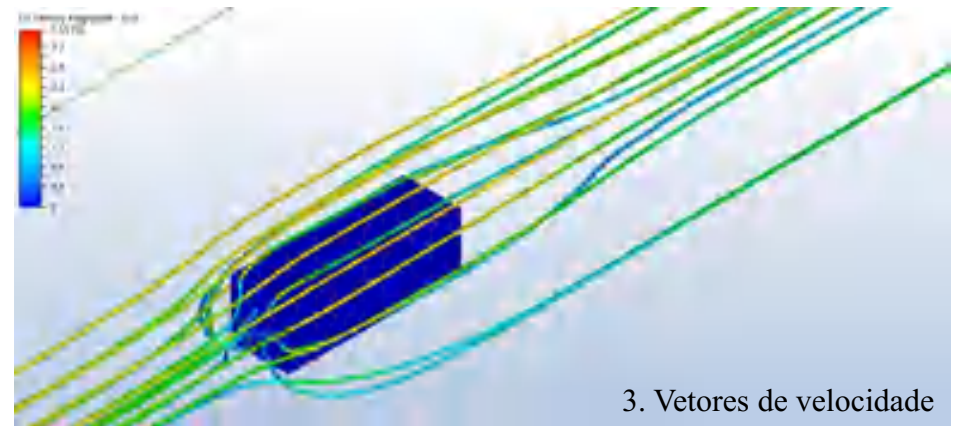
Classificação: Faces opostas horizontal / três faces negativas



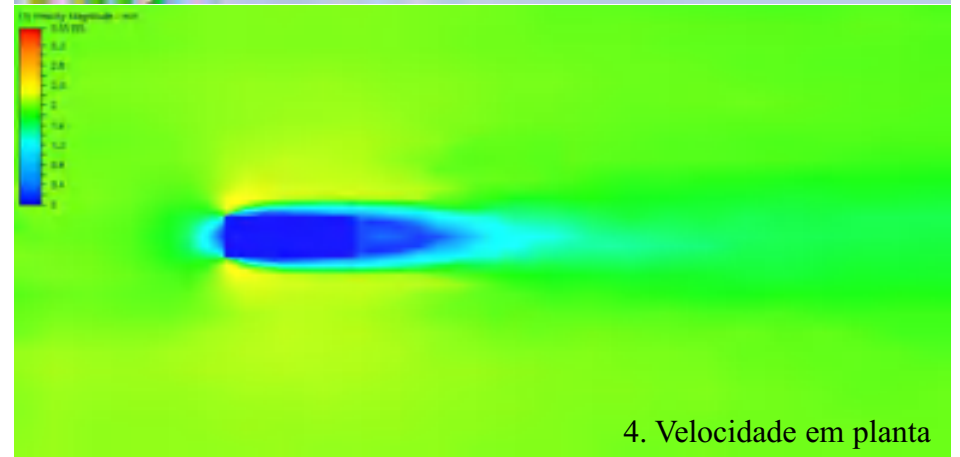
1. Coeficiente de pressão



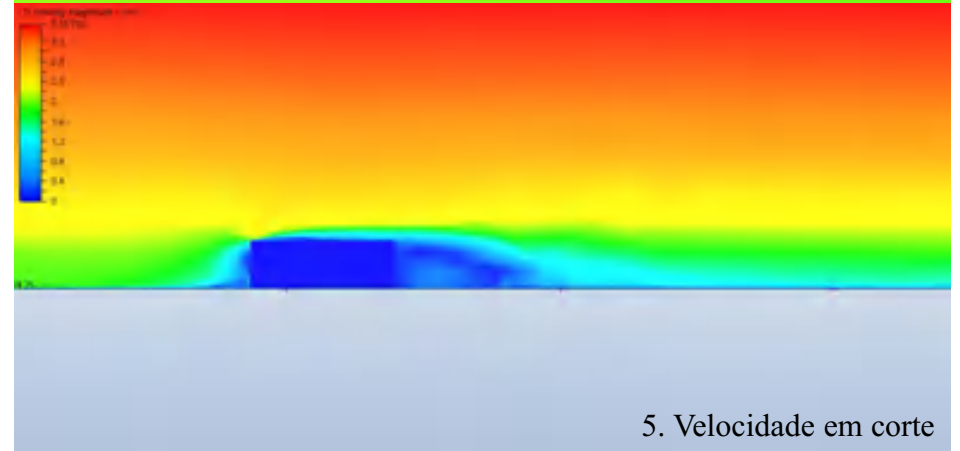
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M7:F:P

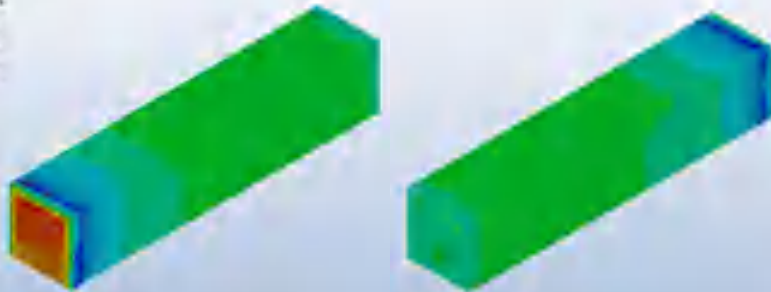
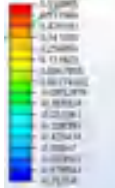
Coefficiente de pressão: 0.59 / -0.76

Fachadas laterais: neutras

Fachadas frontais: positiva / negativa

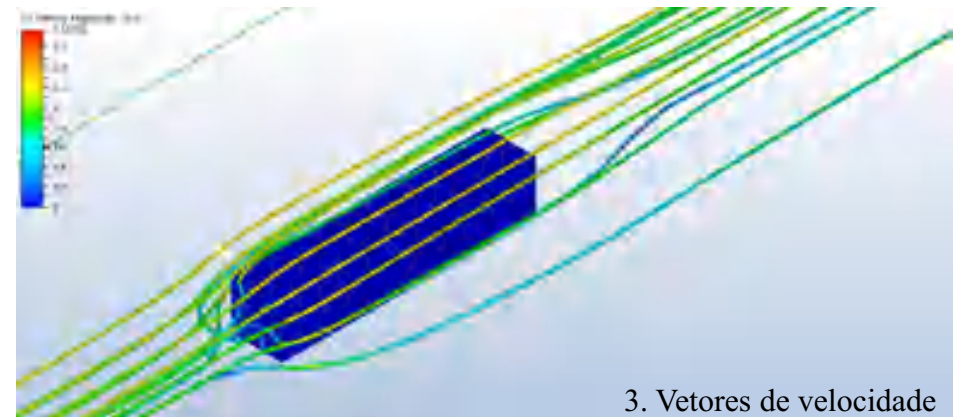
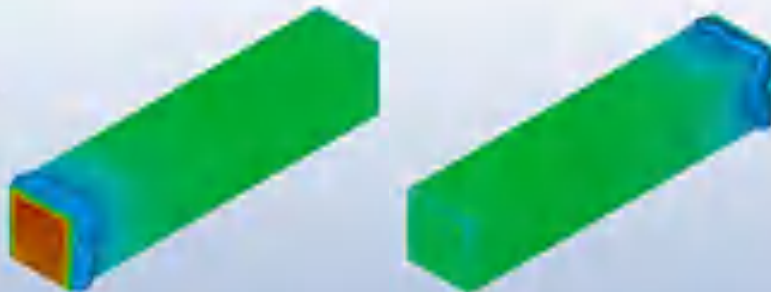
Classificação: Faces opostas horizontal / três faces negativas

1. Coeficiente de pressão

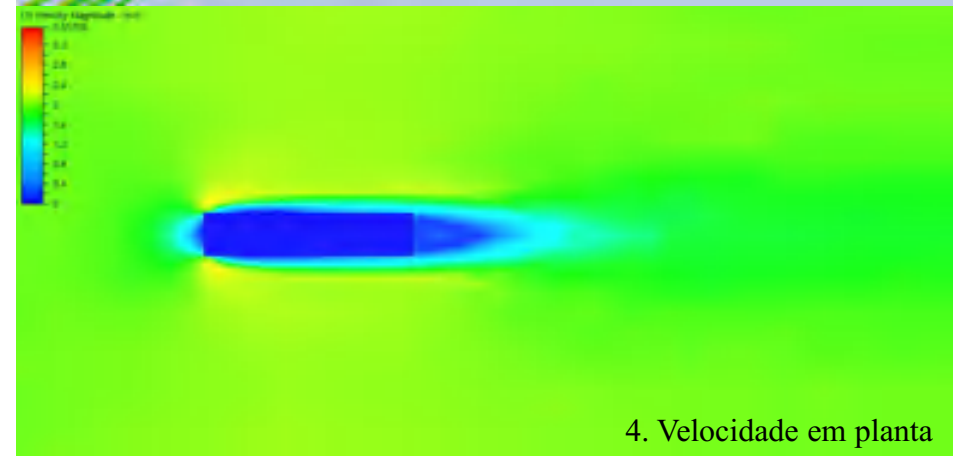


1. Coeficiente de pressão

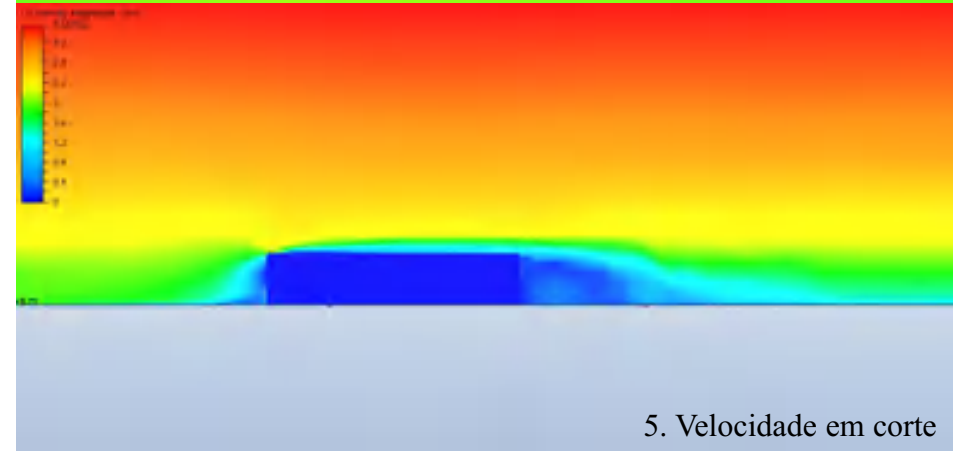
2. Coeficiente de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



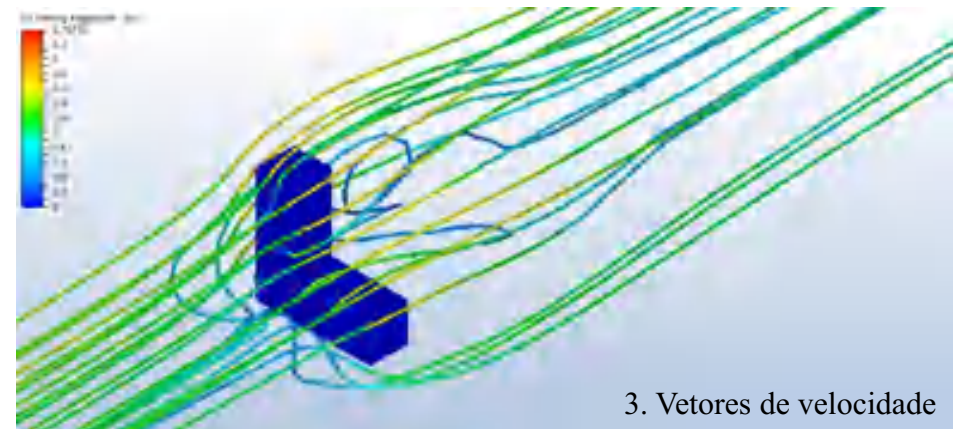
M8:V:L

Coefficiente de pressão: 0.65 / -0.86

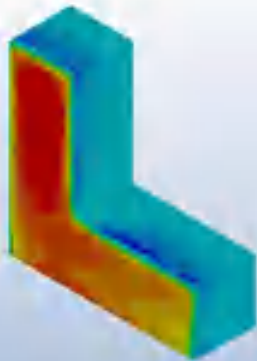
Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

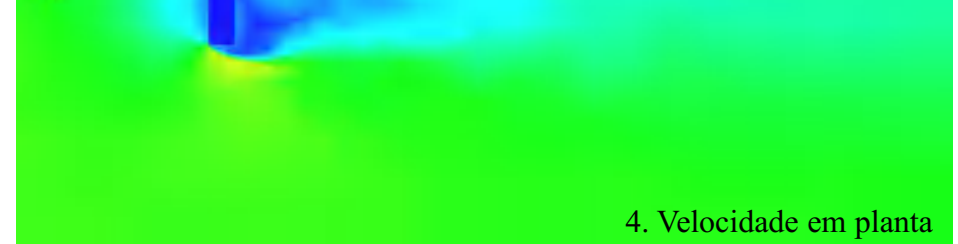
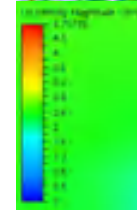
Classificação: Faces a 90° negativas / três faces negativas



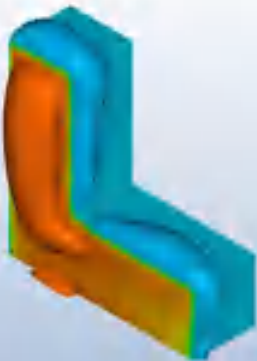
3. Vetores de velocidade



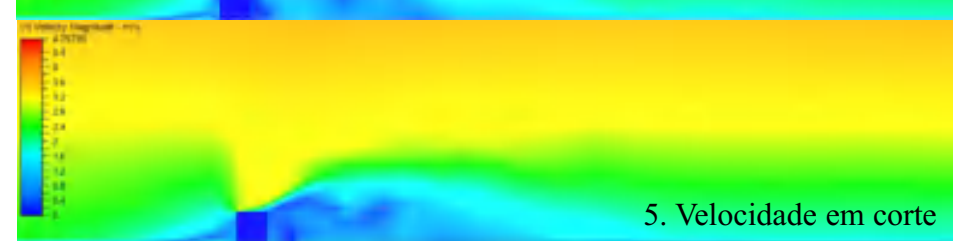
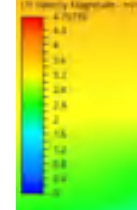
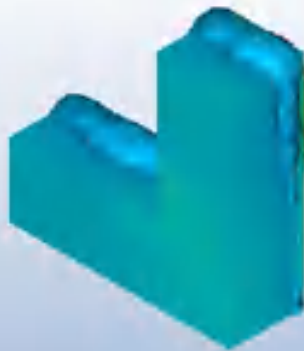
1. Coeficiente de pressão



4. Velocidade em planta



2. Superfícies de pressão



5. Velocidade em corte



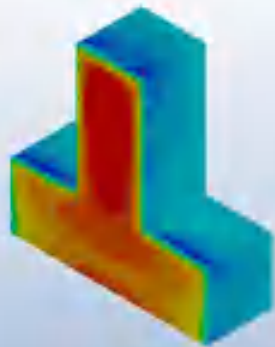
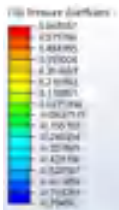
M9:V:L

Coefficiente de pressão: 0.66 / -0.79

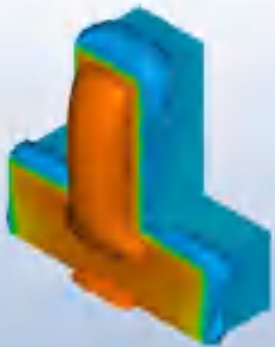
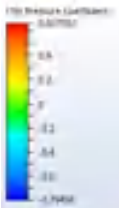
Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

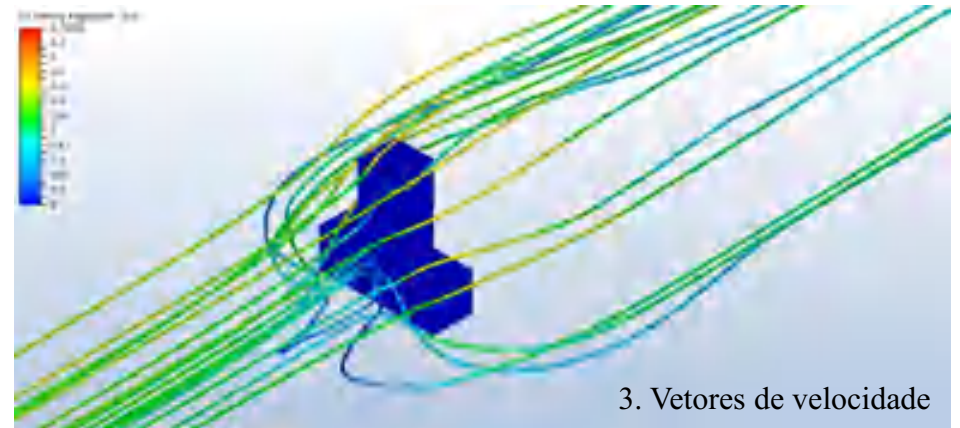
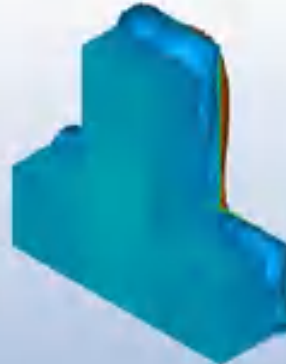
Classificação: faces a 90° negativas / três faces negativas



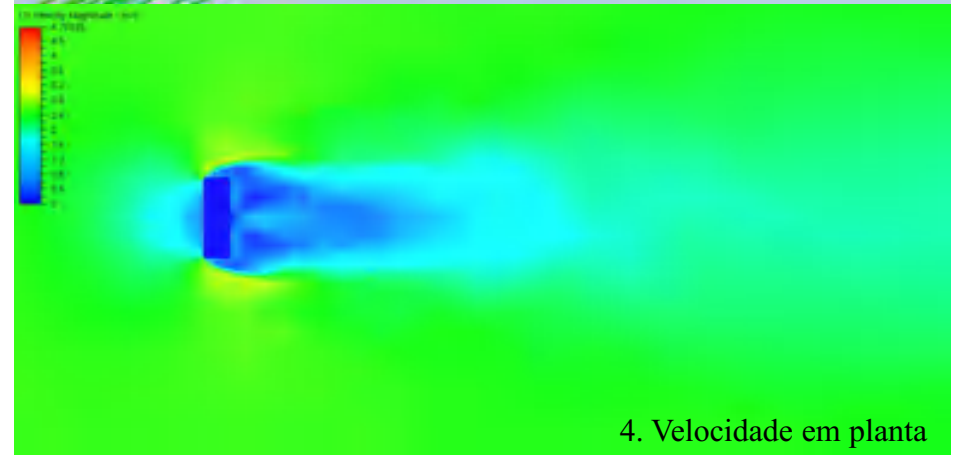
1. Coeficiente de pressão



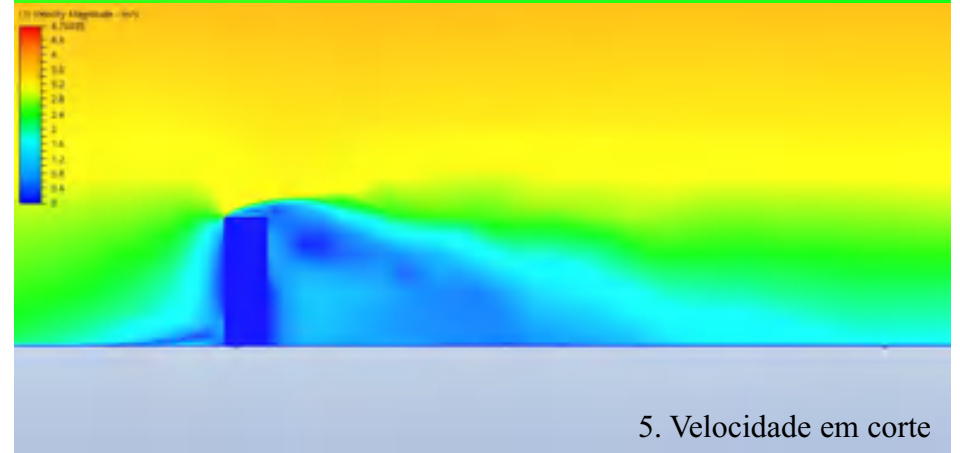
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M10:V:L

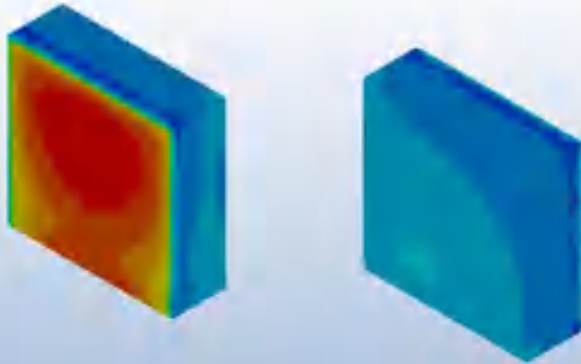
Coefficiente de pressão: 0.69 / -0.73

Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

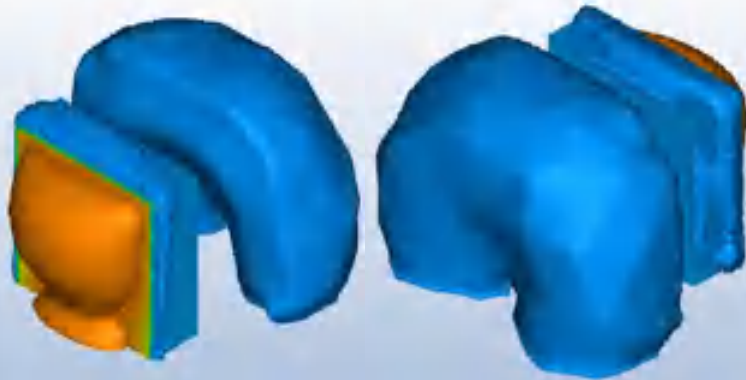
Classificação: Faces a 90° negativas

1. Coeficiente de pressão

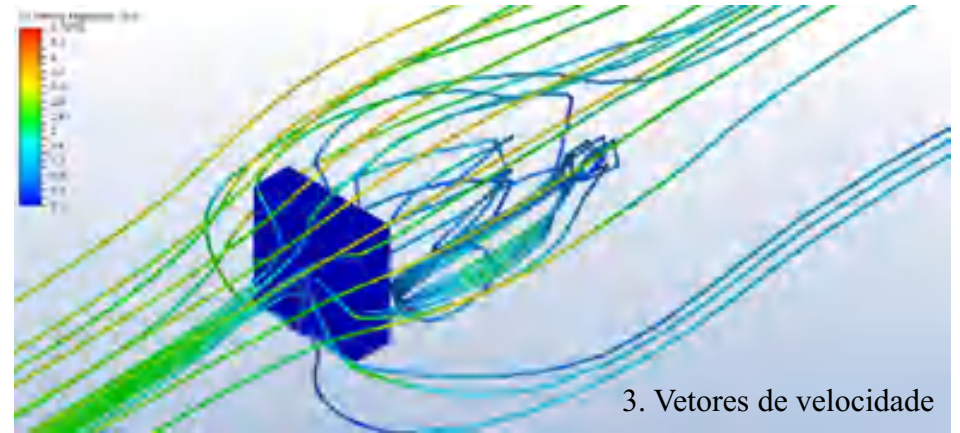


1. Coeficiente de pressão

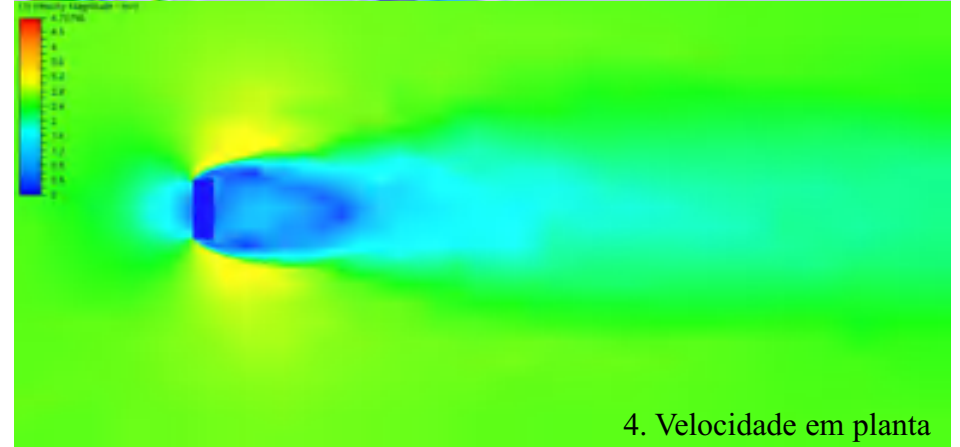
2. Superfícies de pressão



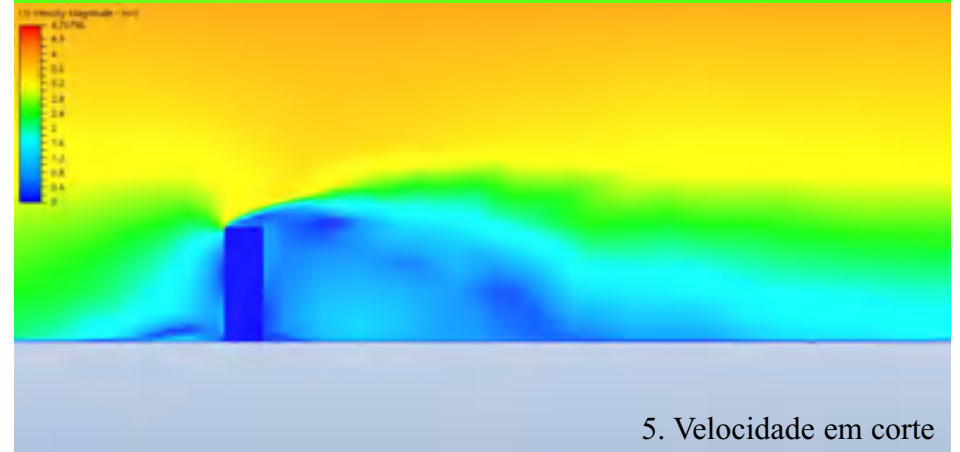
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M11:V:P

Coefficiente de pressão: 0.63 / -0.74

Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

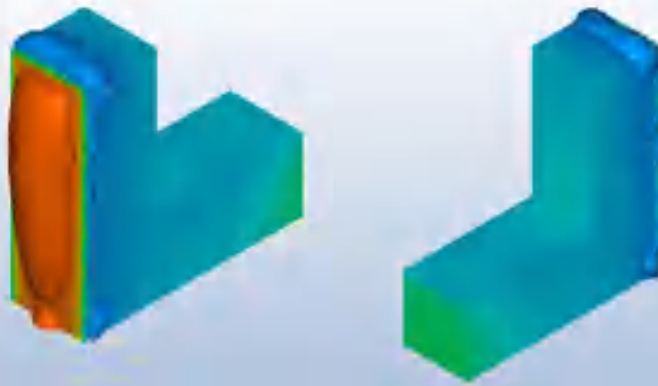
Classificação: Faces opostas vertical / três faces negativas

CFD Pressure Coefficient

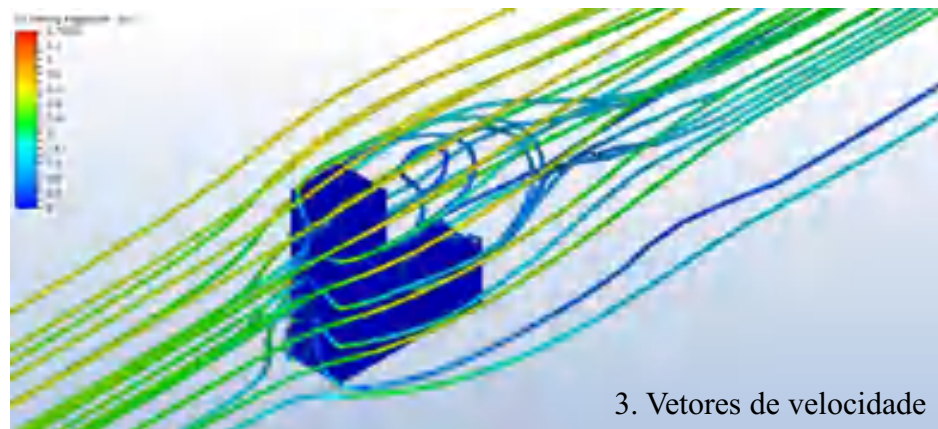


1. Coeficiente de pressão

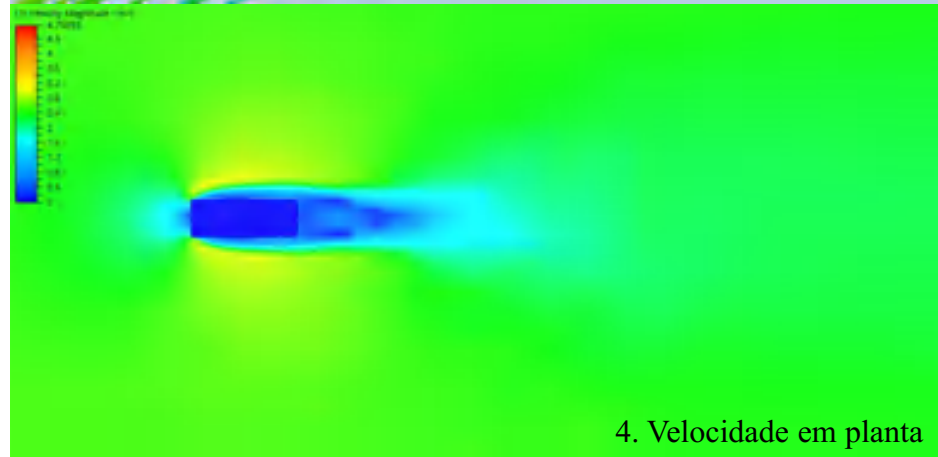
CFD Pressure Coefficient



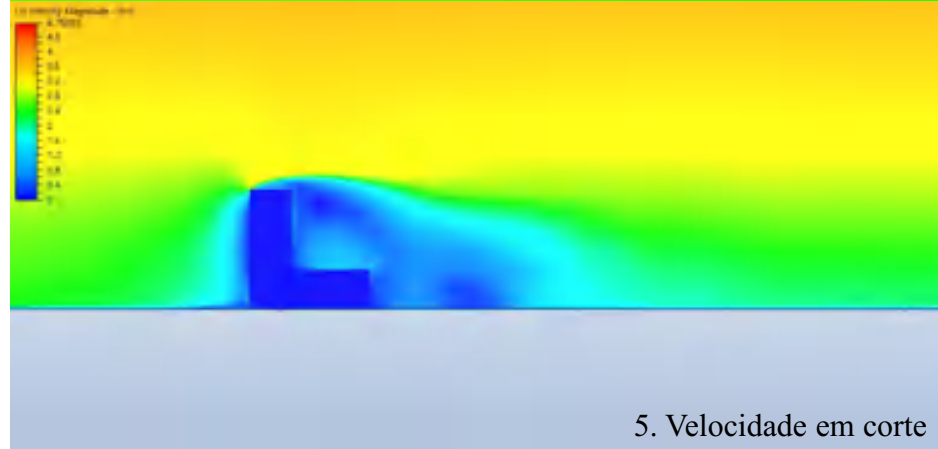
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M12:V:P

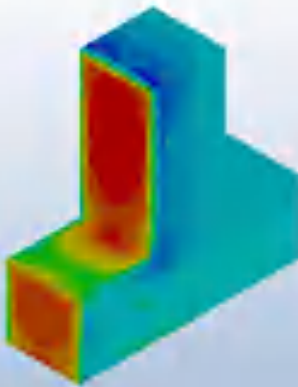
Coefficiente de pressão: : 0.61 / -0.70

Fachadas laterais: negativas

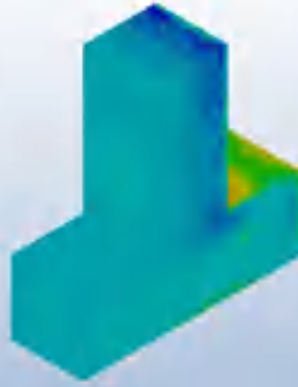
Fachadas frontais: positiva / negativa

Classificação: Faces opostas vertical / três faces negativas

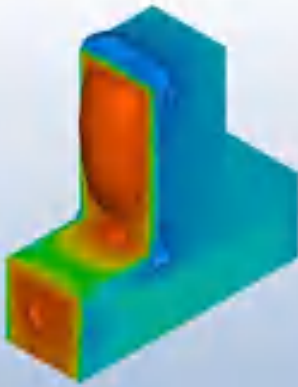
1) Coefficiente de pressão



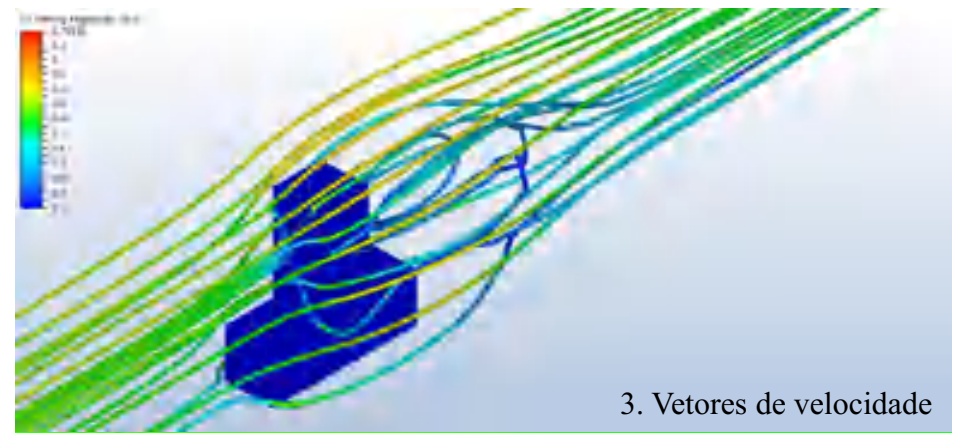
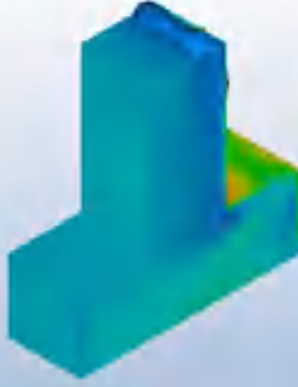
1. Coefficiente de pressão



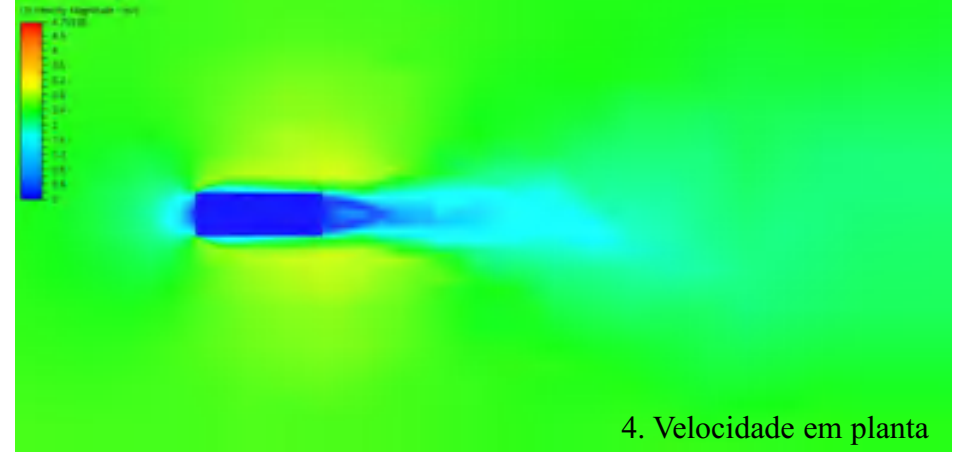
2) Superfícies de pressão



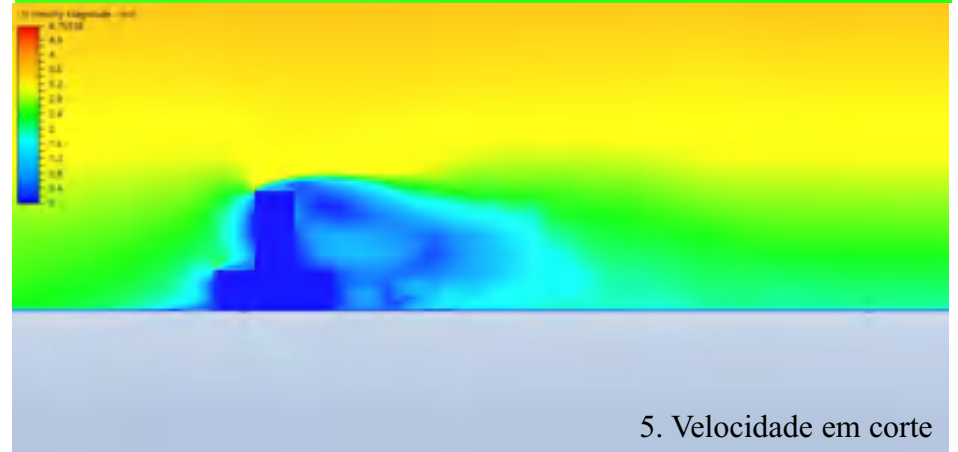
2. Superfícies de pressão



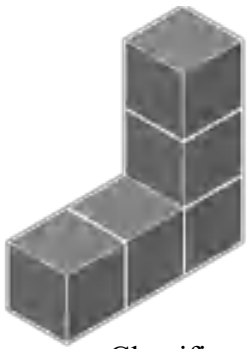
3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



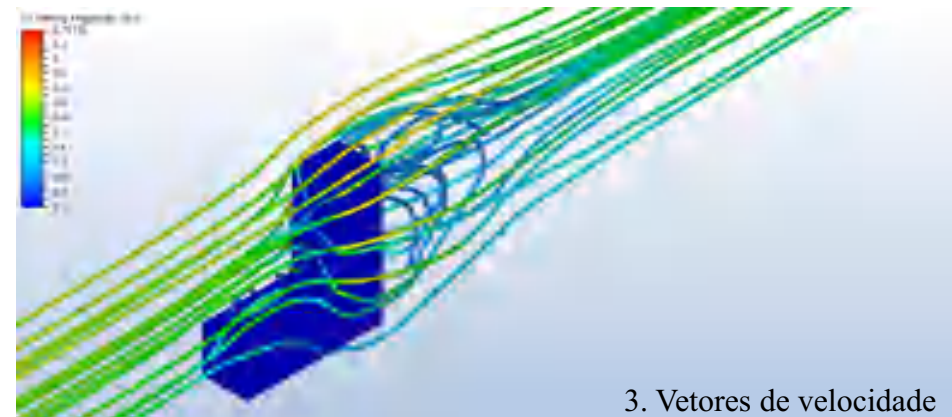
M13:V:P

Coefficiente de pressão: 0.60 / -0.71

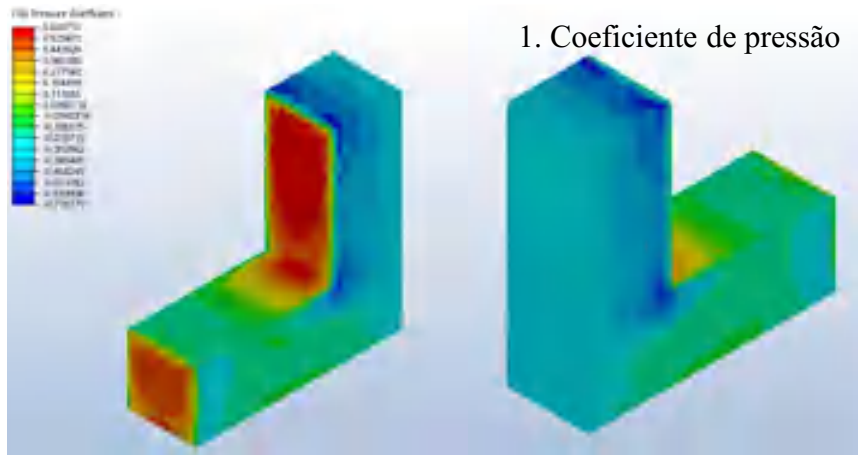
Fachadas laterais: neutras/negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

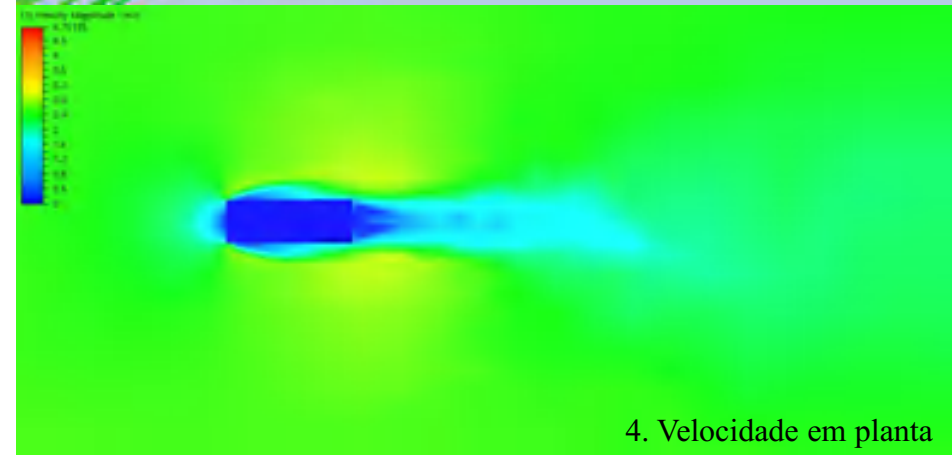
Classificação: Faces opostas vertical / três faces negativas



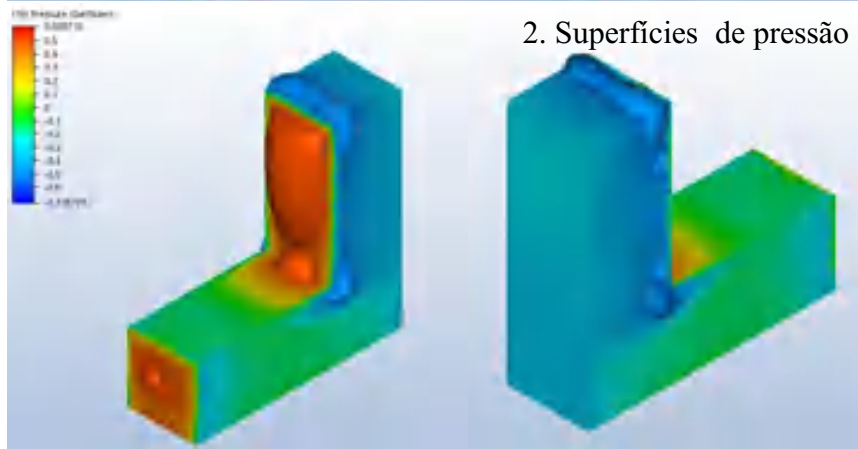
3. Vetores de velocidade



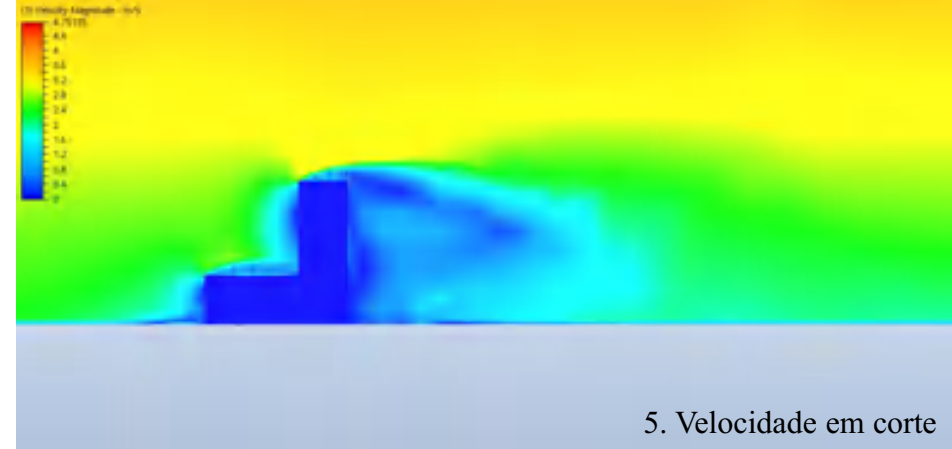
1. Coeficiente de pressão



4. Velocidade em planta



2. Superfícies de pressão



5. Velocidade em corte



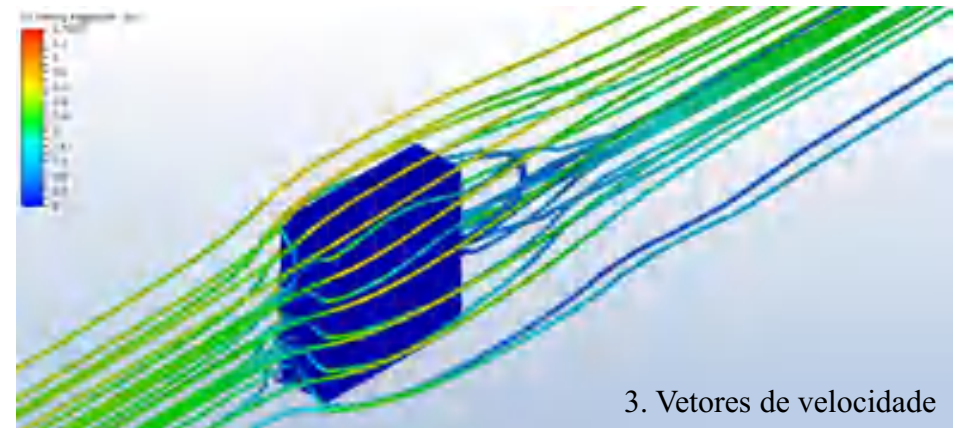
M14:V:P

Coefficiente de pressão: 0.63 / -0.89

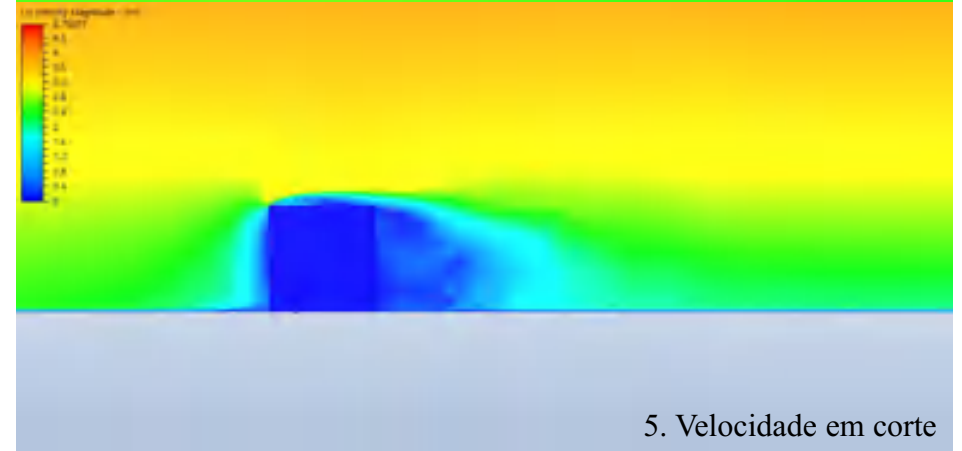
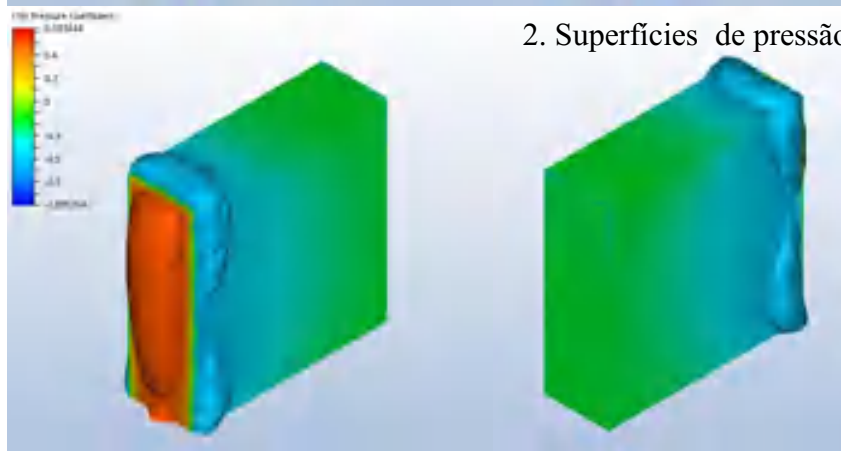
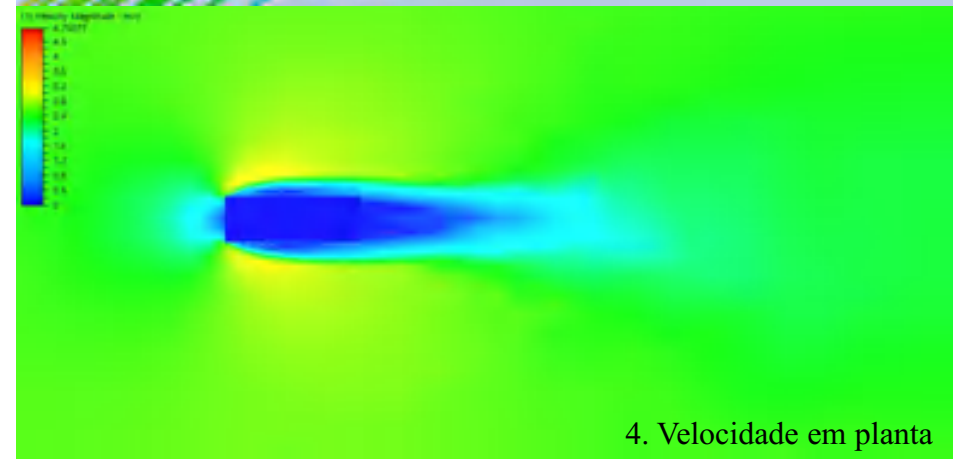
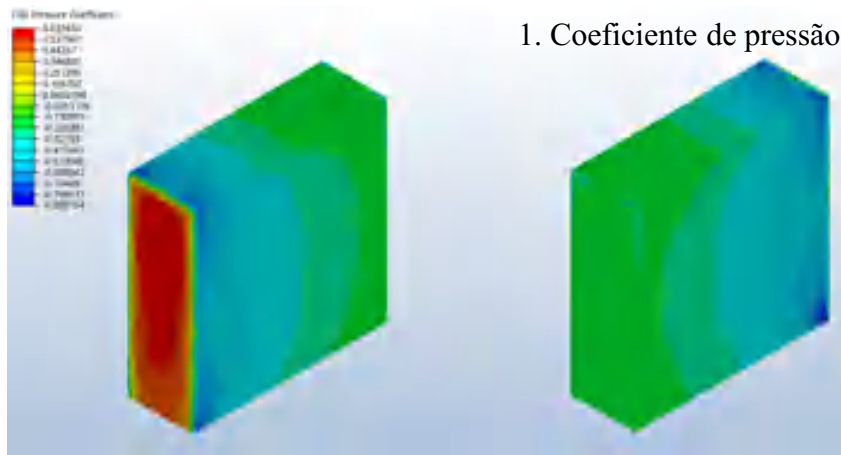
Fachadas laterais: neutras/negativas

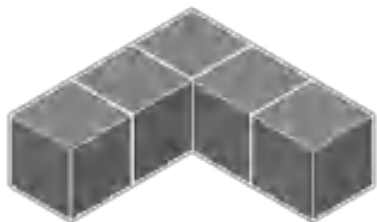
Fachadas frontais: positiva / neutra

Classificação: Faces opostas vertical / três faces negativas



3. Vetores de velocidade

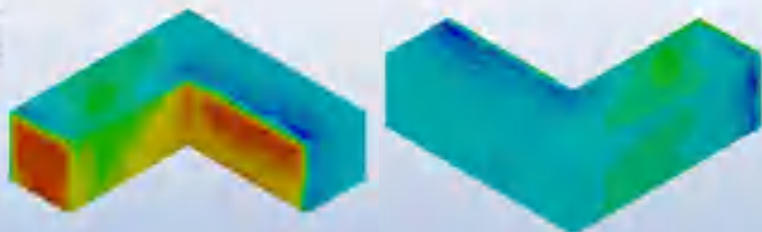




M15:H:L

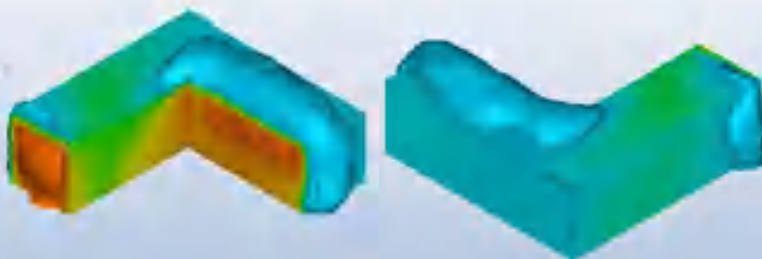
Coefficiente de pressão: 0.68 / -0.97
Fachadas laterais: positiva / negativa
Fachadas frontais: positiva / negativa
Classificação: Faces a 90° negativas

(1) Pressão (dinâmica)

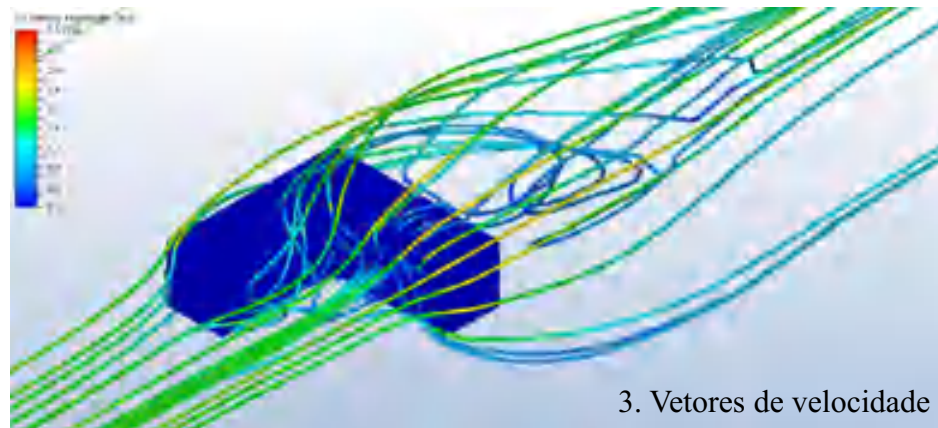


1. Coeficiente de pressão

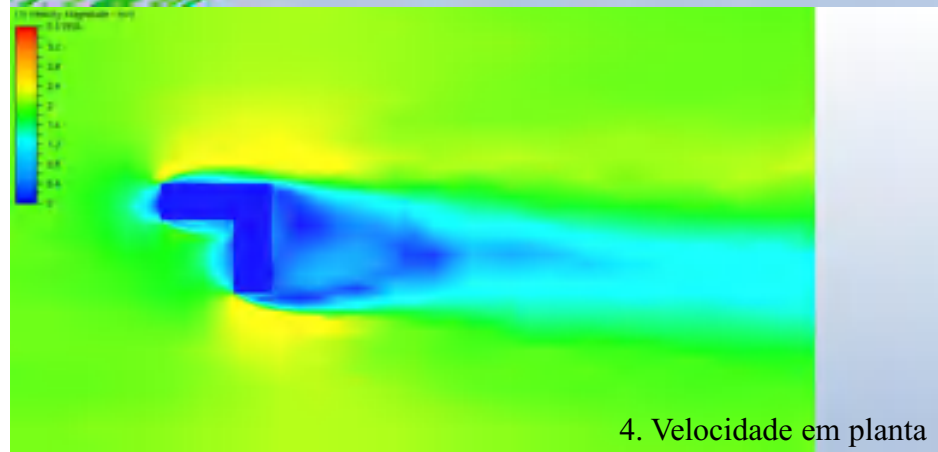
(2) Pressão (estática)



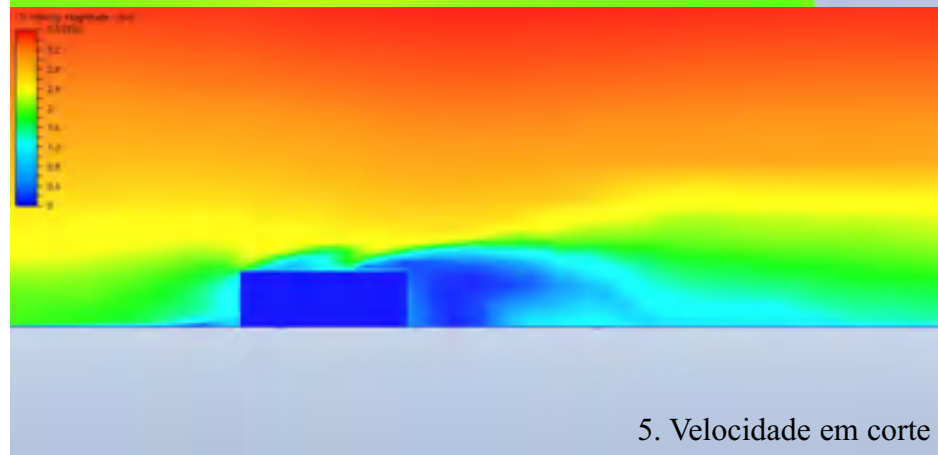
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



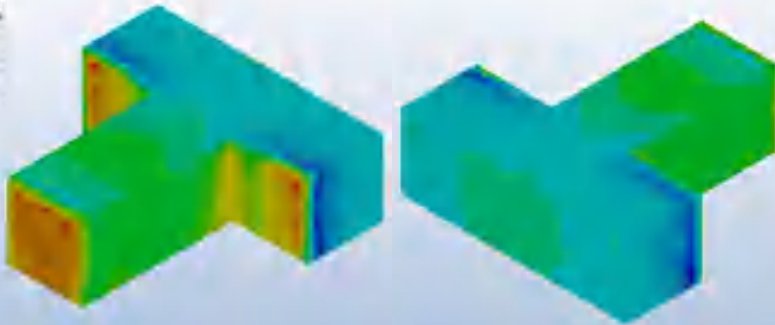
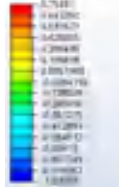
5. Velocidade em corte



M16:H:L

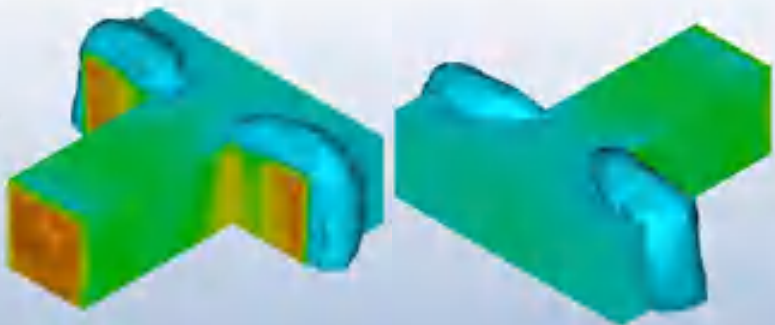
Coefficiente de pressão: 0.75 / -1.03
Fachadas laterais: neutras / negativas
Fachadas frontais: positiva / negativa
Classificação: Face única

CFD Pressure Coefficient

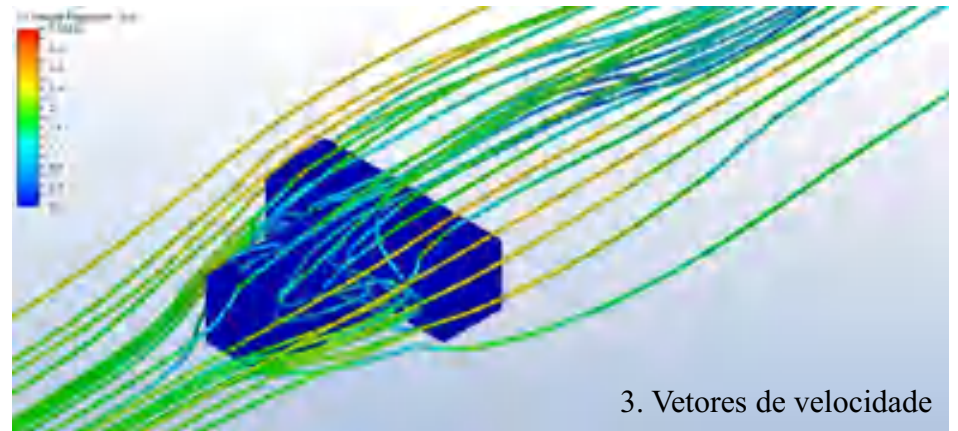


1. Coeficiente de pressão

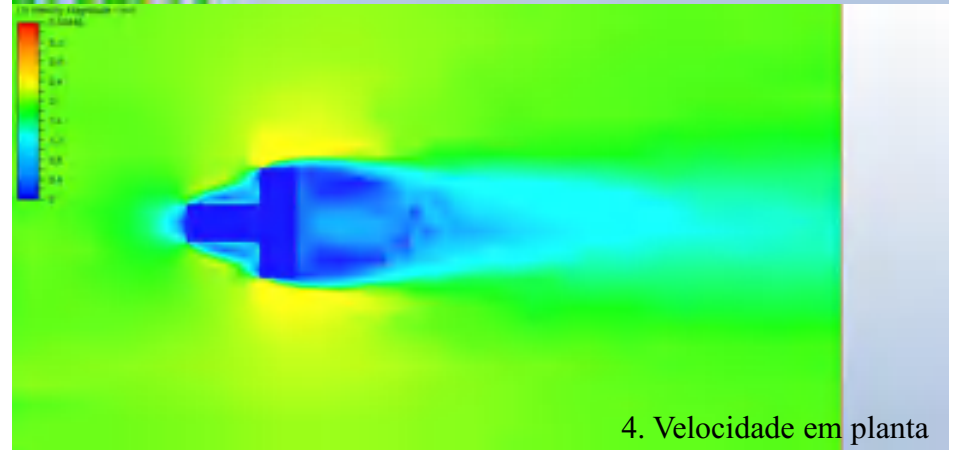
CFD Velocity Magnitude



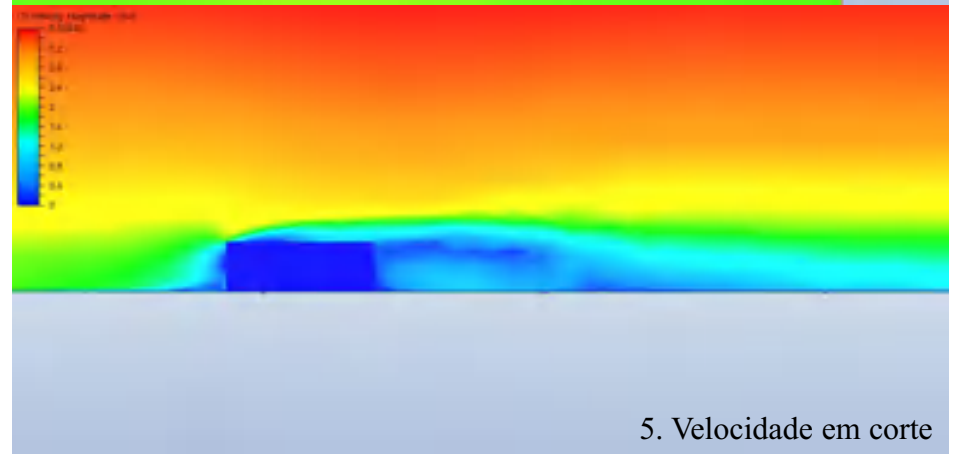
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M17:H:L

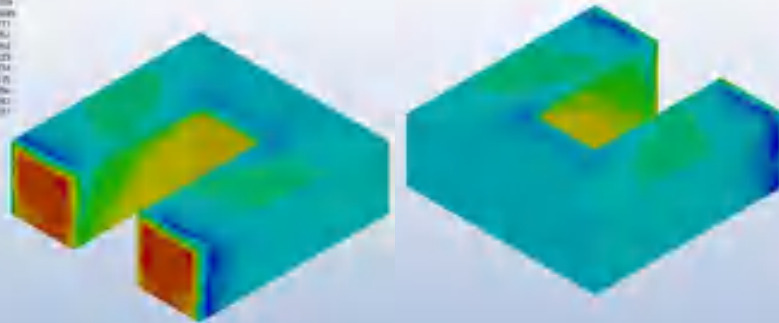
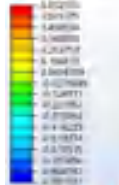
Pressão: 0.65 / -0.90

Fachadas laterais: neutras / negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

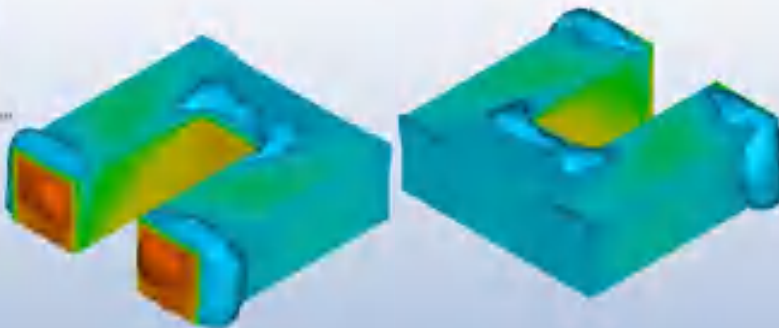
Classificação: Faces a 90° negativas

CFD Pressure Coefficient

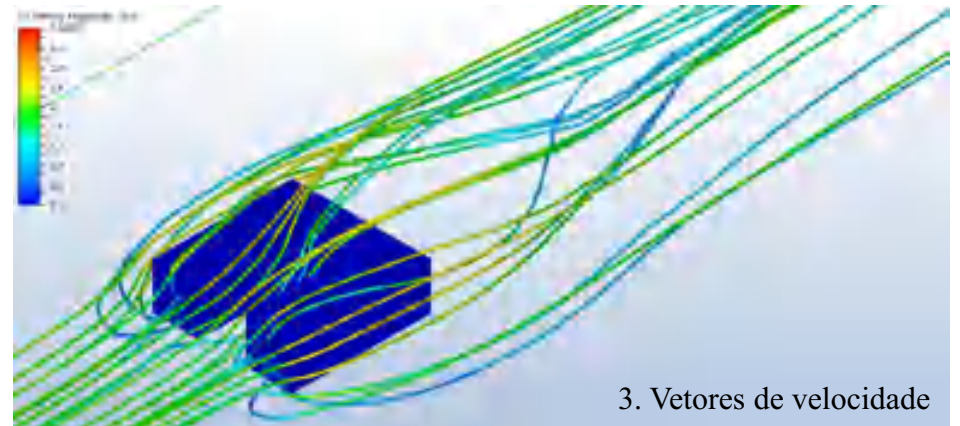


1. Coeficiente de pressão

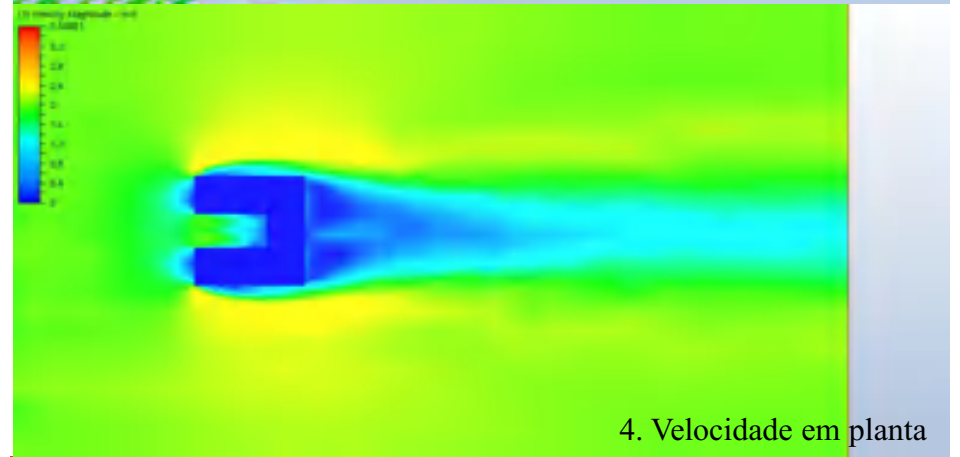
CFD Velocity Magnitude



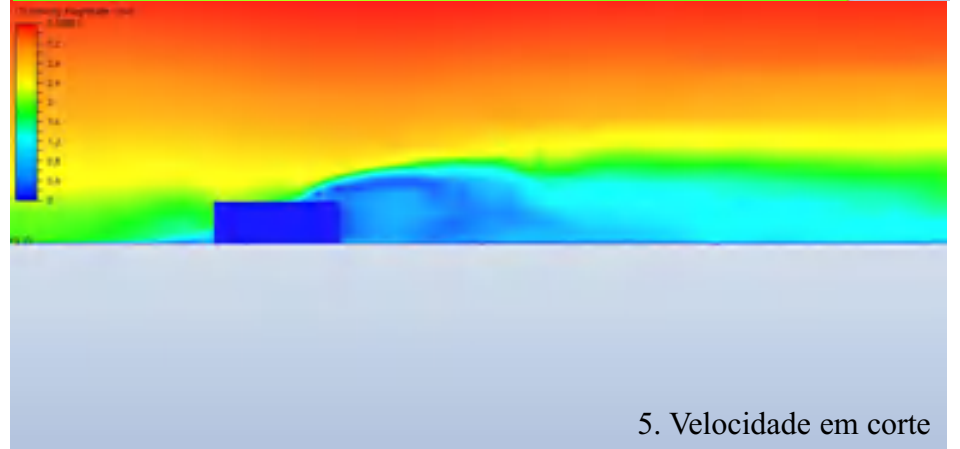
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta

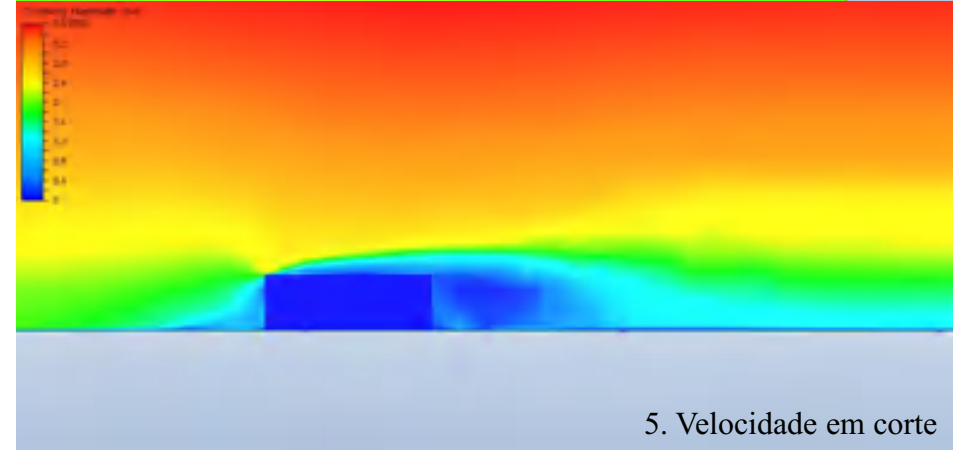
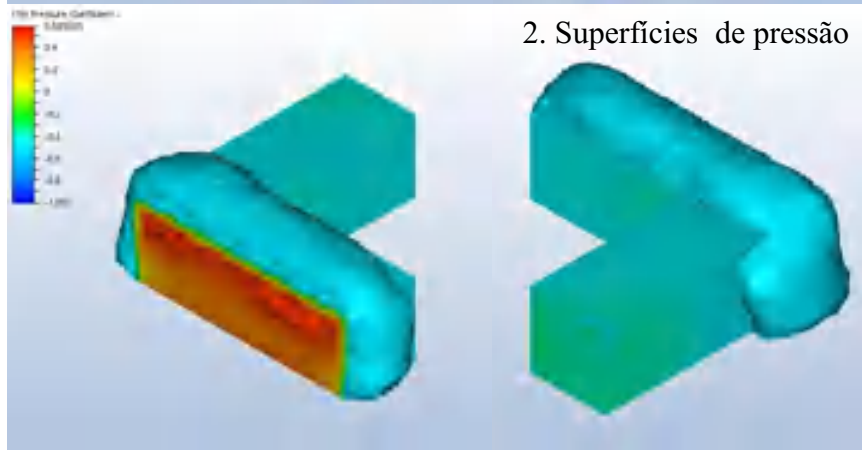
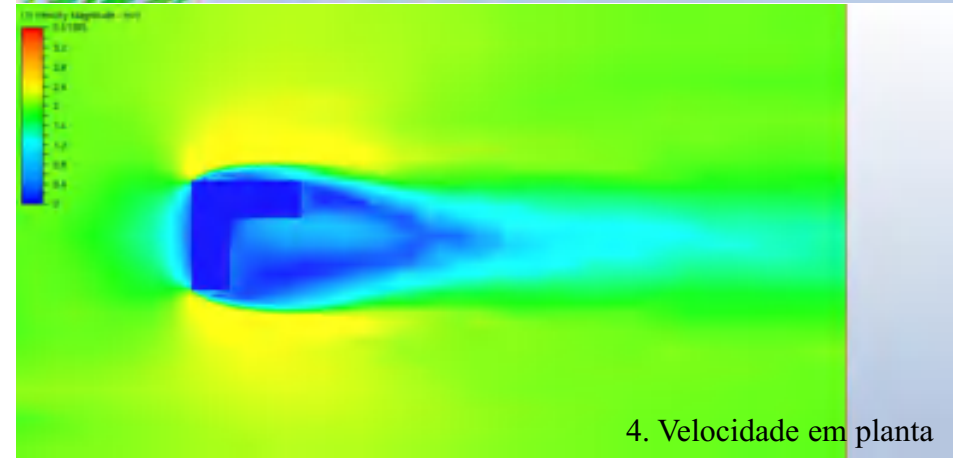
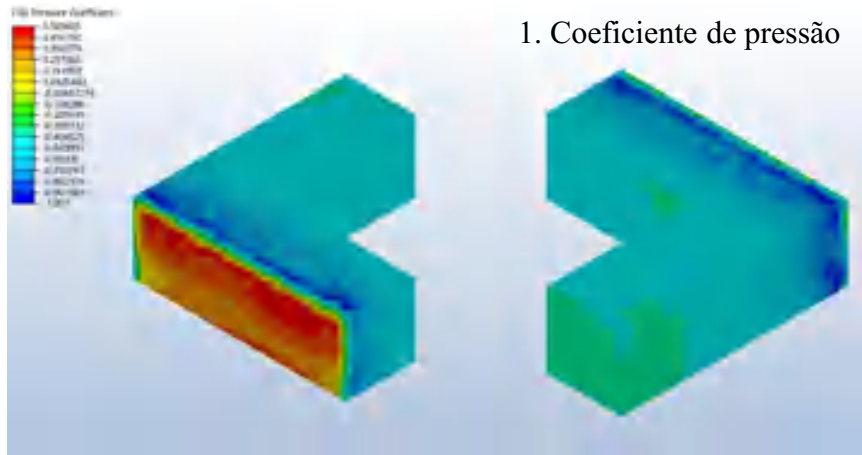
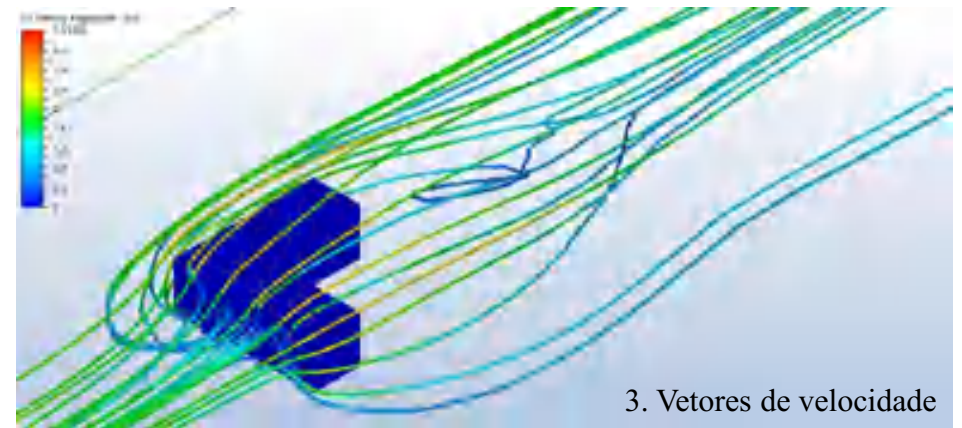


5. Velocidade em corte



M18:H:P

Coefficiente de pressão: 0.58 / -1.00
Fachadas laterais: negativas
Fachadas frontais: positiva / negativa
Classificação: Três faces negativas





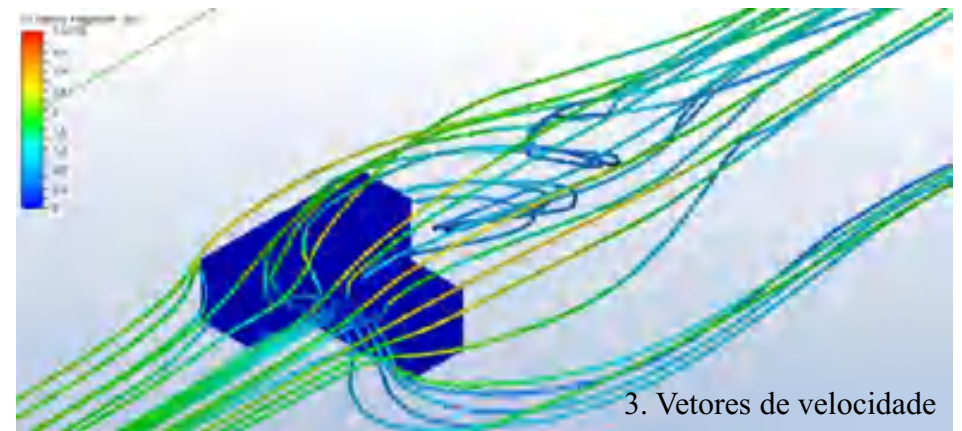
M19:H:P

Coefficiente de pressão: 0.61 / -0.99

Fachadas laterais: positiva / negativa

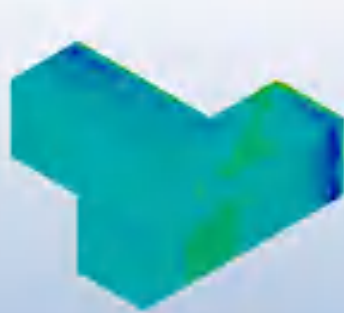
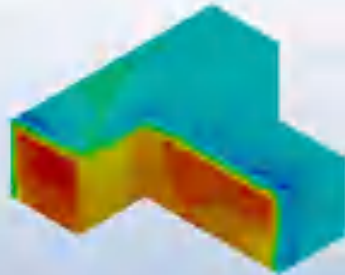
Fachadas frontais: positiva / negativa

Classificação: Três faces negativas / Face única



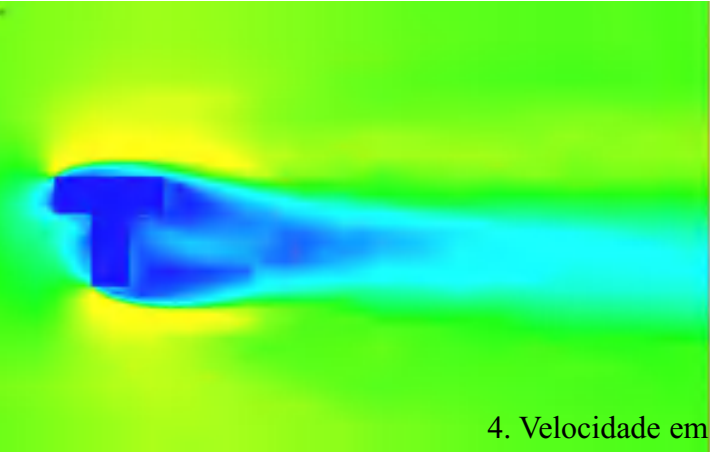
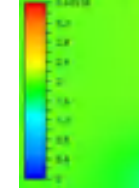
3. Vetores de velocidade

Pressure Coefficient



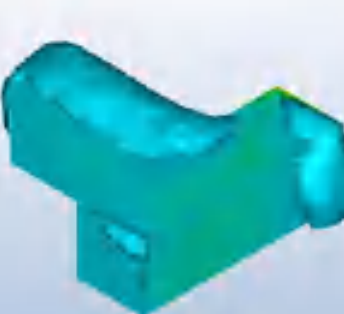
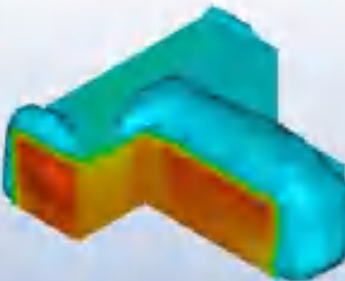
1. Coeficiente de pressão

Velocity Magnitude



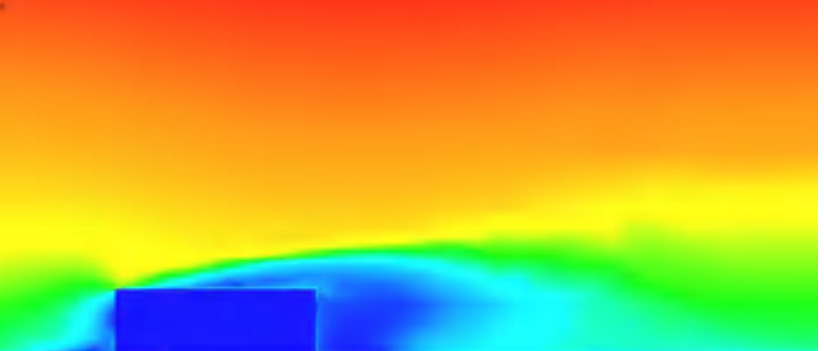
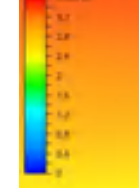
4. Velocidade em planta

Pressure Coefficient



2. Superfícies de pressão

Velocity Magnitude



5. Velocidade em corte



M20:H:P

Coefficiente de pressão: 0.59 / -1.04

Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

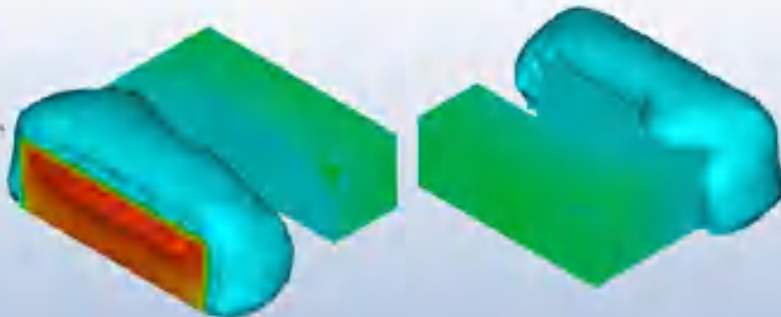
Classificação: Faces a 90° negativas / face frontal com obstáculo

1. Coeficiente de pressão

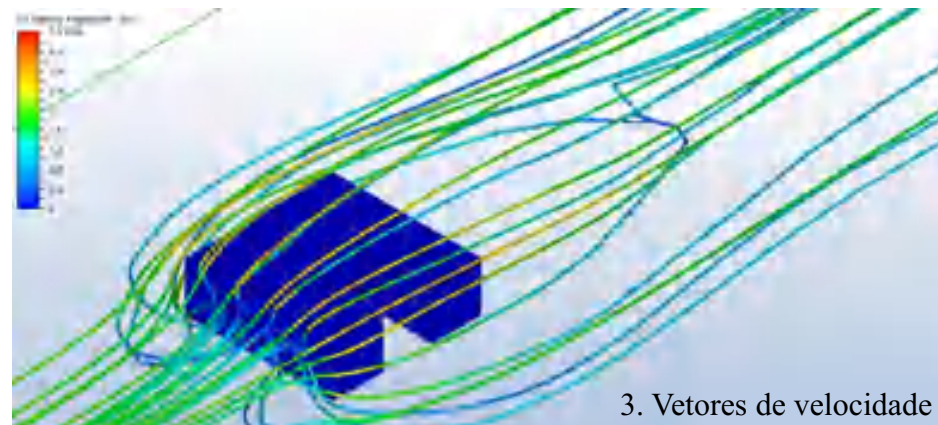


1. Coeficiente de pressão

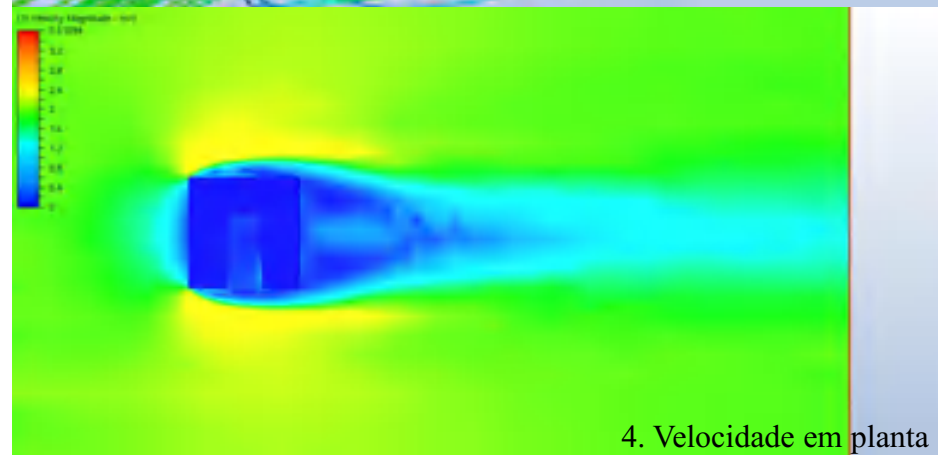
2. Superfícies de pressão



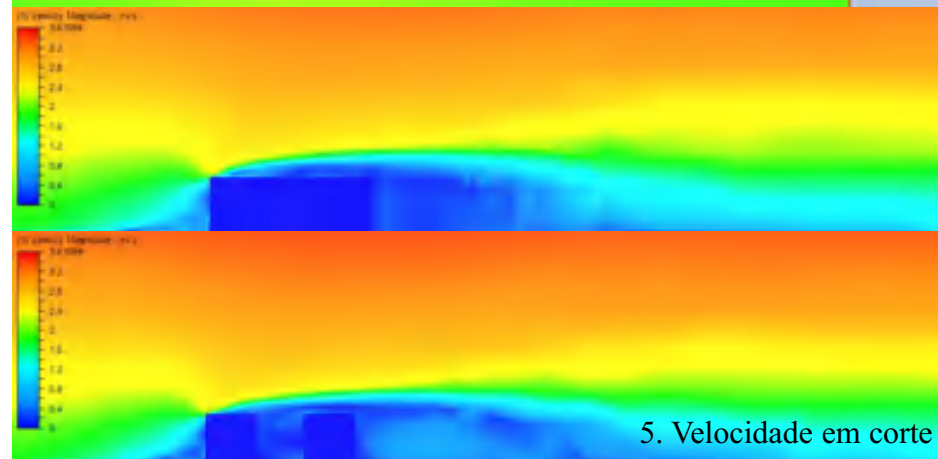
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



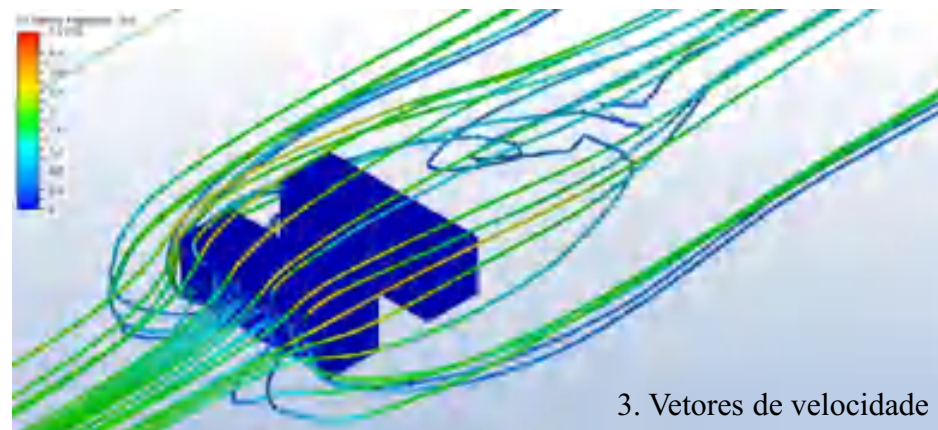
M21:H:P

Coefficiente de pressão: 0.57 / -1.17

Fachadas laterais: negativas

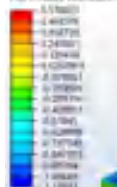
Fachadas frontais: positiva / negativa

Classificação: Face única / face frontal com obstáculo

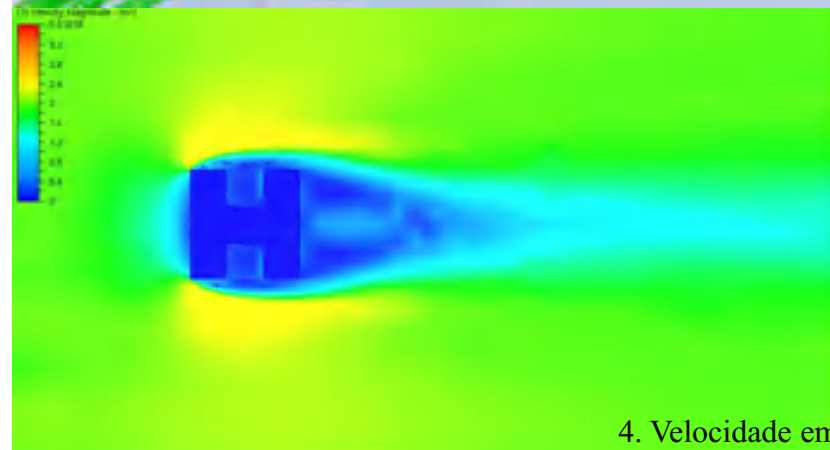


3. Vetores de velocidade

CFD Pressure Coefficient

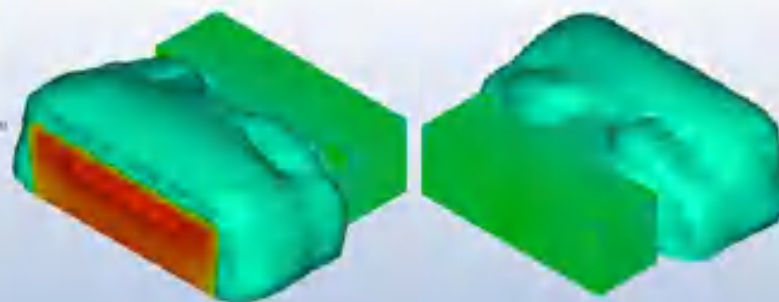


1. Coeficiente de pressão

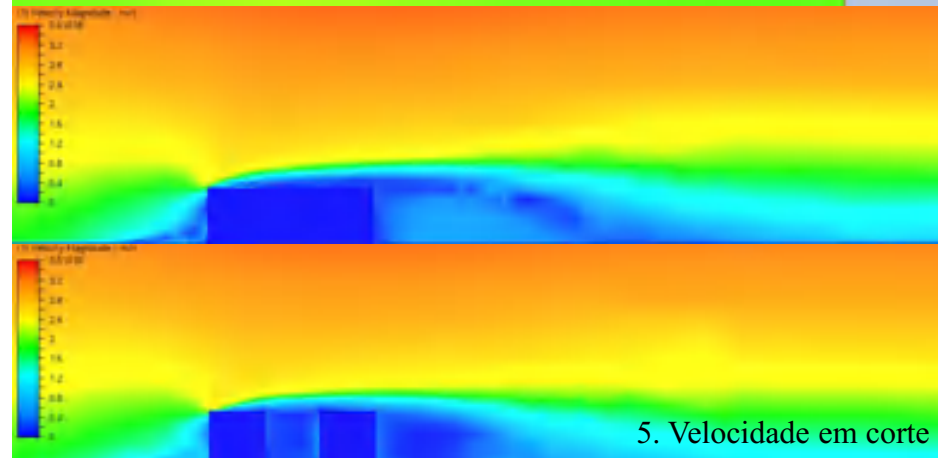


4. Velocidade em planta

CFD Pressure Coefficient



2. Superfícies de pressão



5. Velocidade em corte



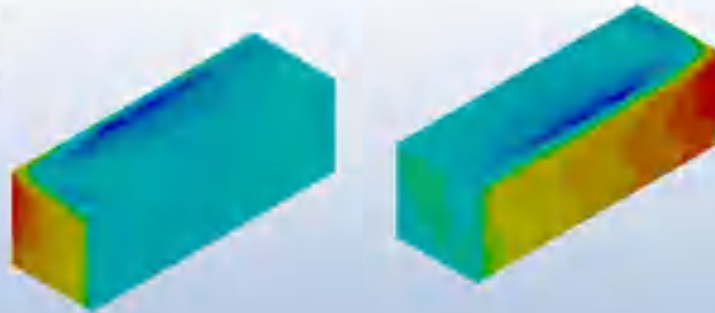
M22:I:P

Coefficiente de pressão: 0.53 / -0.94

Incidência a 45°: positiva / negativa

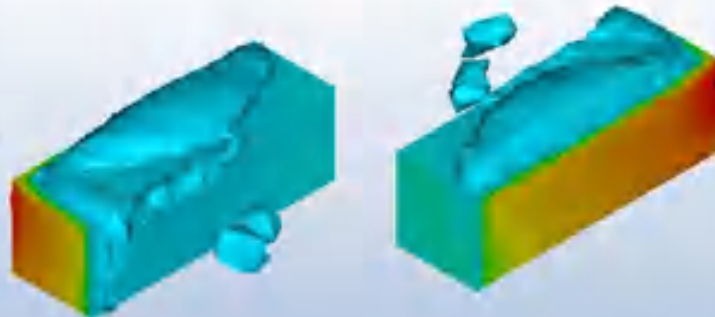
Classificação: Faces a 90° positivas /negativas

Pressure Coefficient

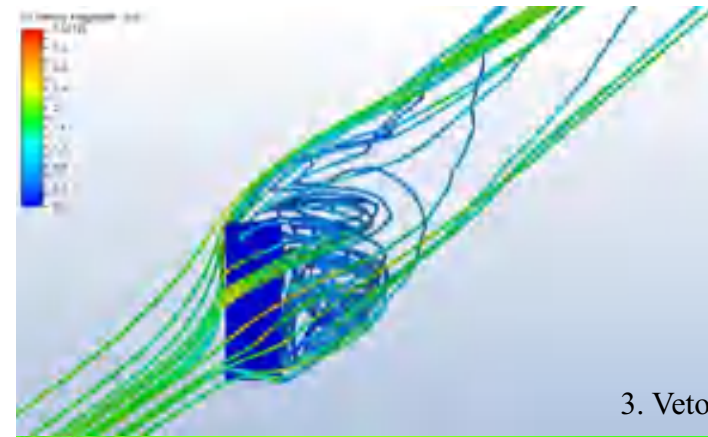


1. Coeficiente de pressão

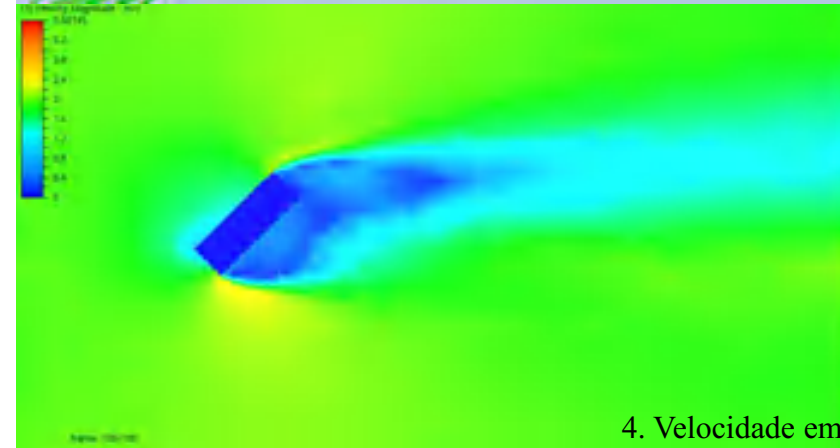
Pressure Coefficient



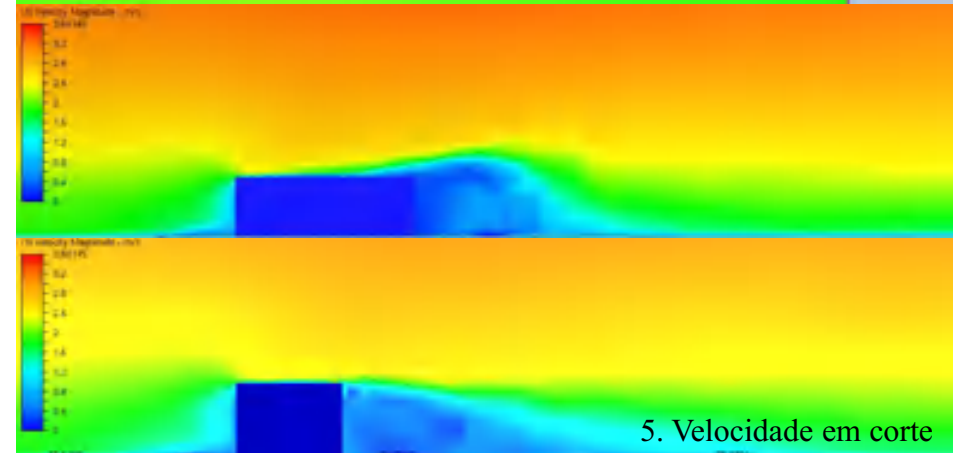
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte

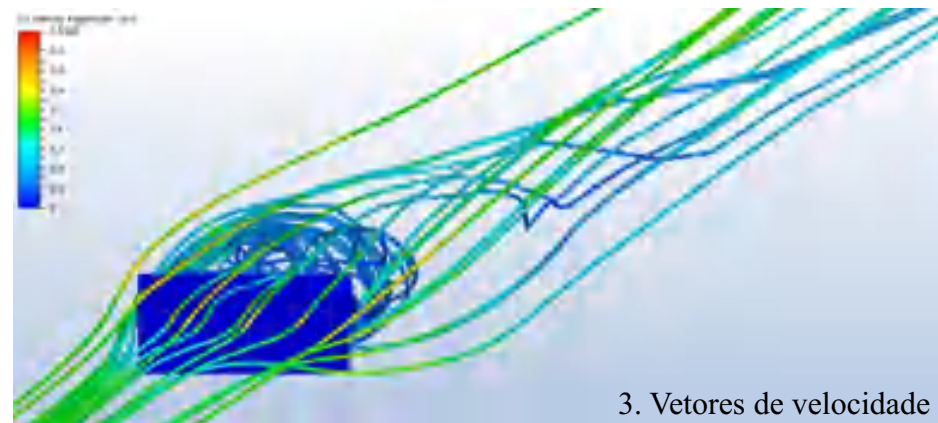
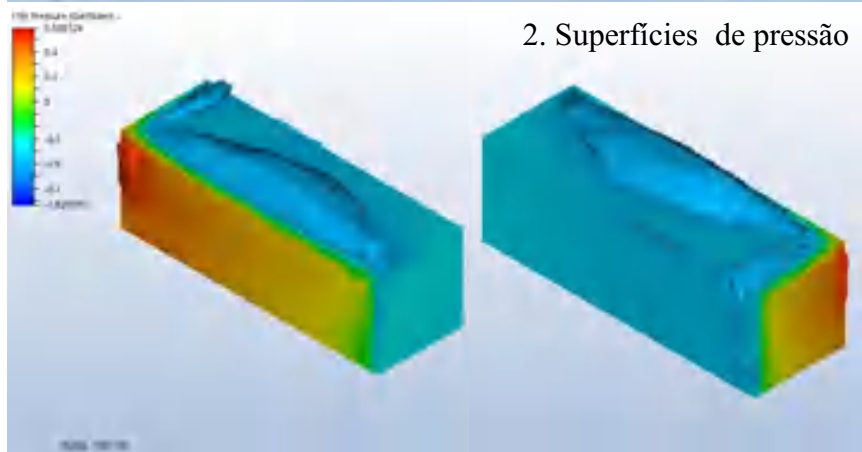
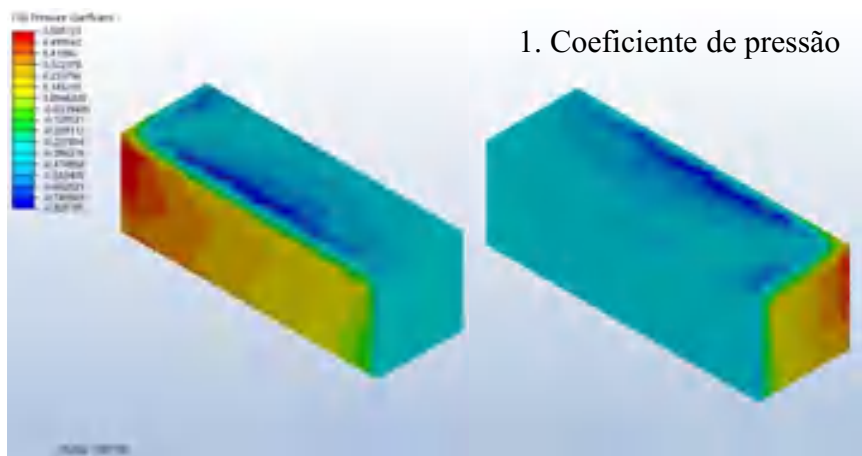


M23:I:L

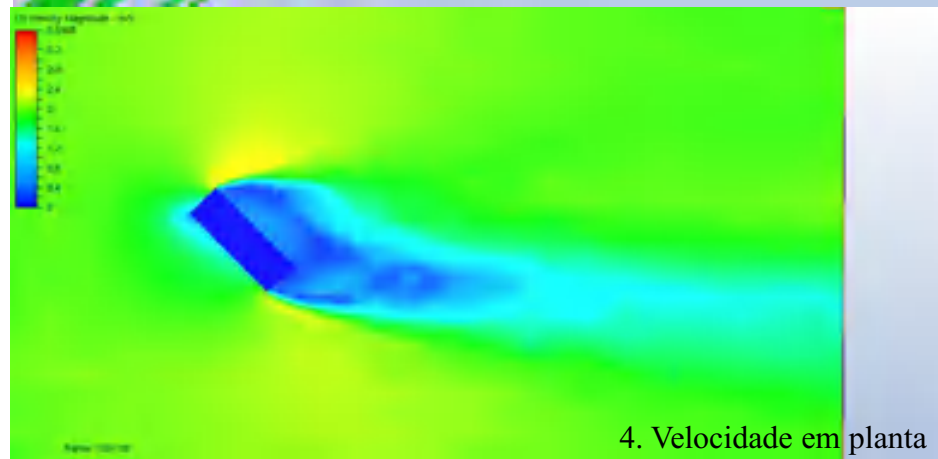
Coefficiente de pressão: 0.58 / -0.82

Incidência a 45°: positiva / negativa

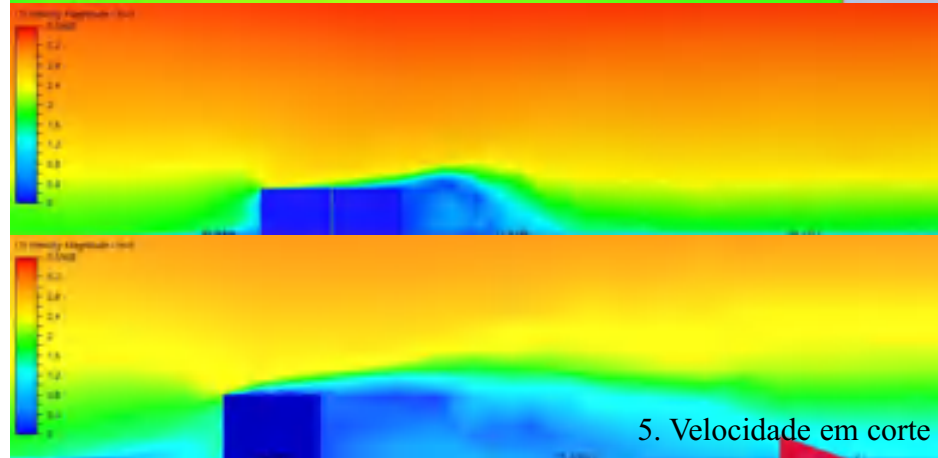
Classificação: Faces a 90° positivas /negativas



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte

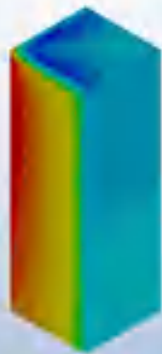
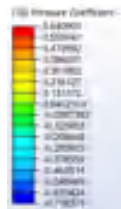


M24:I:A

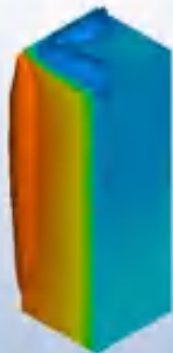
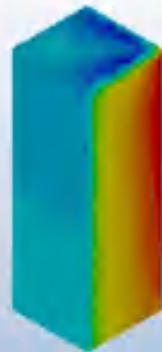
Coefficiente de pressão: 0.64 / -0.71

Incidência a 45°: positiva / negativa

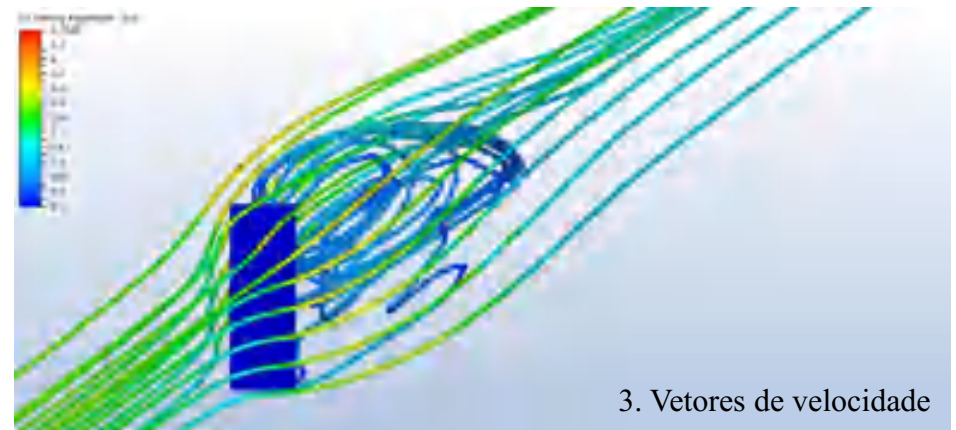
Classificação: Faces a 90° positivas /negativas



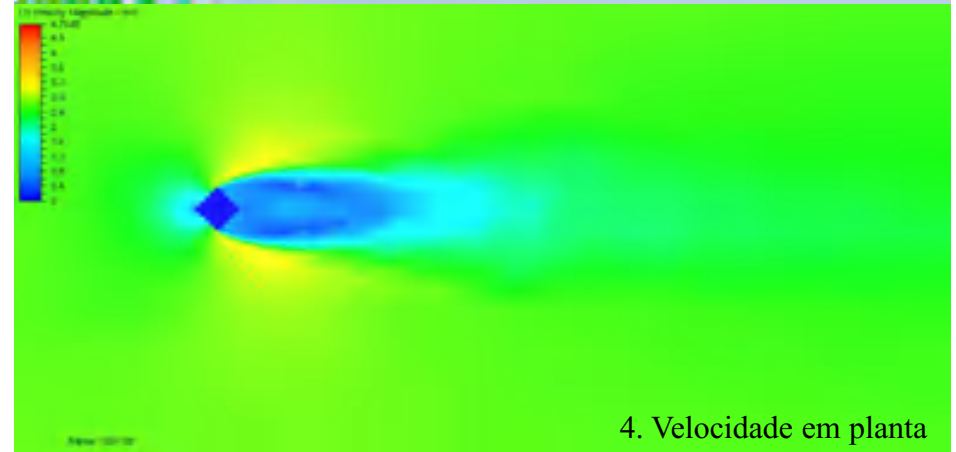
1. Coeficiente de pressão



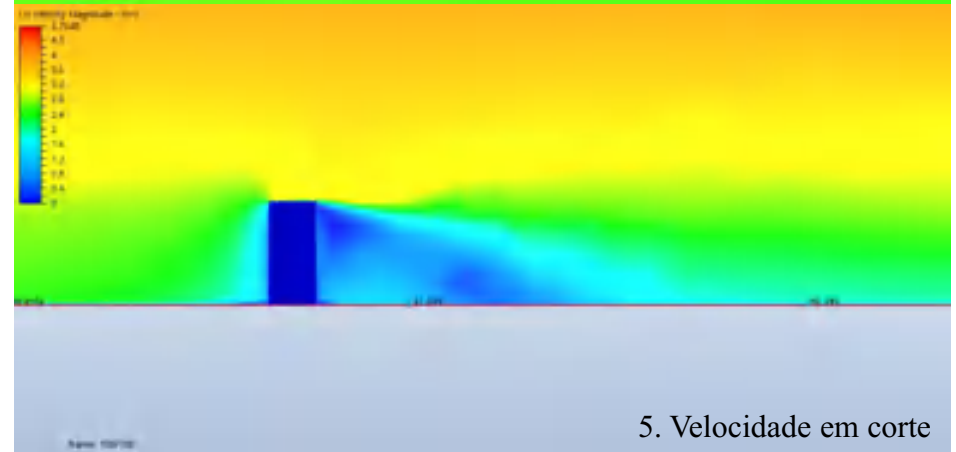
2. Superfícies de pressão



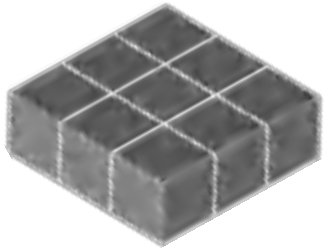
3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M25:I:PL

Pressão: 0.54 / -0.93

Incidência a 45°: positiva / negativa

Classificação: Faces a 90° positivas /negativas / face única

CFD Pressure Coefficient



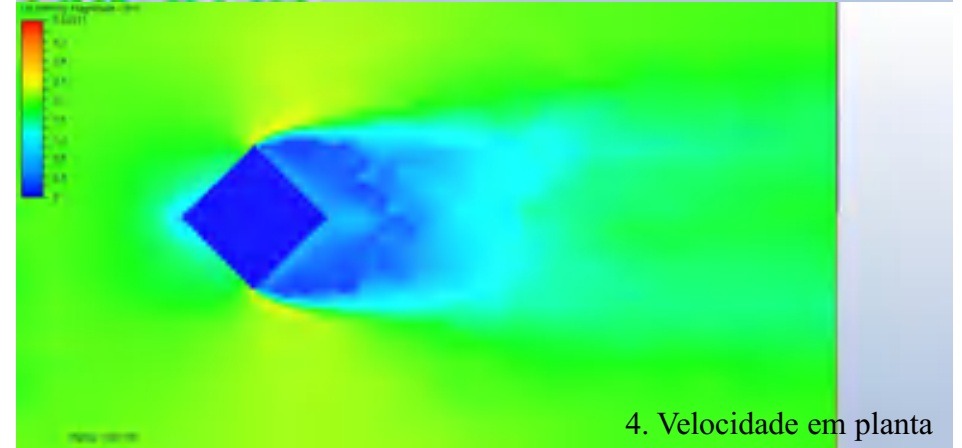
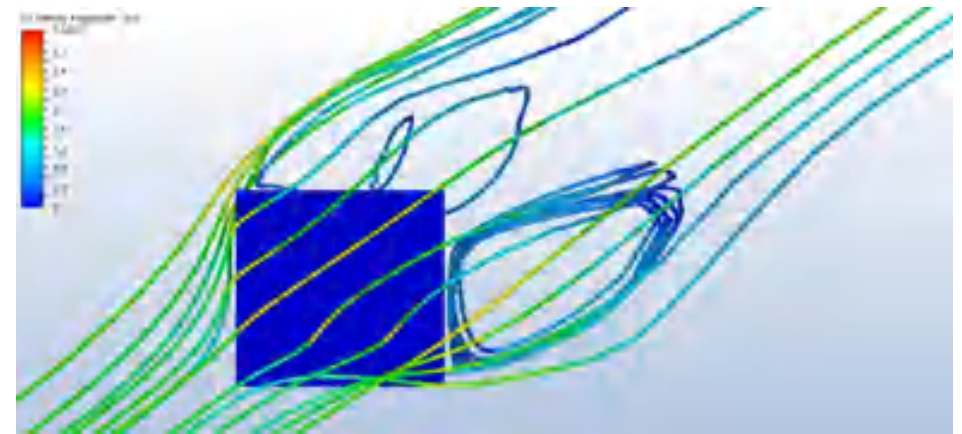
1. Coeficiente de pressão



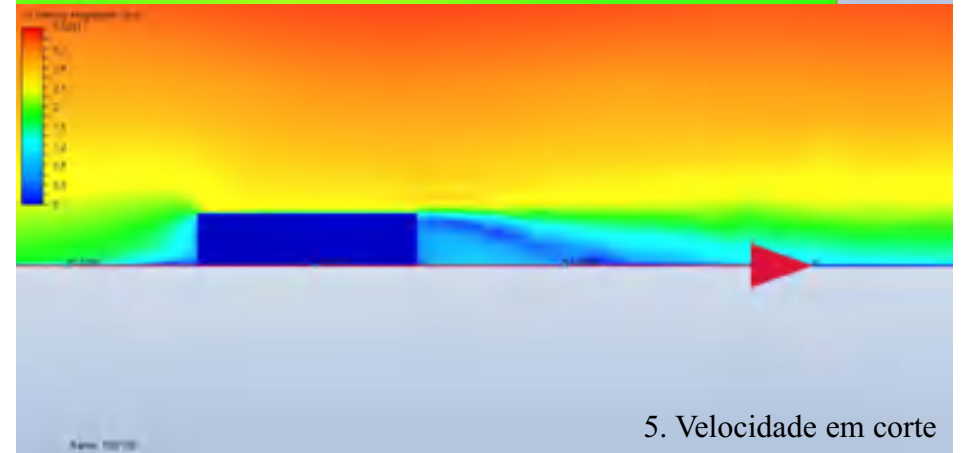
CFD Pressure Coefficient



2. Superfícies de pressão



4. Velocidade em planta



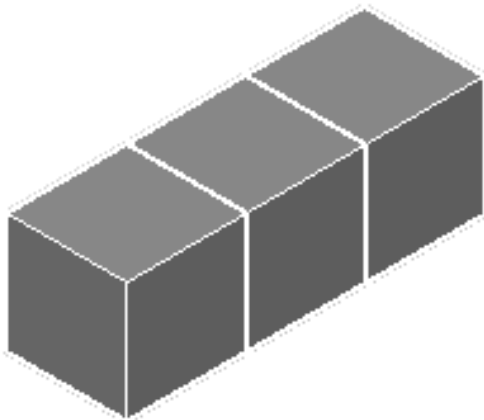
5. Velocidade em corte

RESULTADOS GERADOS PELAS SIMULAÇÕES - CFD

24 HIPÓTESES INTERNAS

FACES OPOSTAS - HORIZONTAL

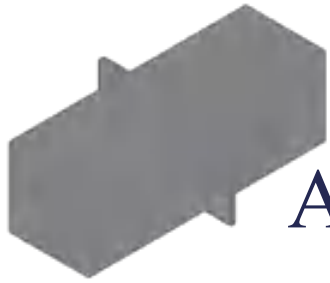
M6:F:P



Hipótese 1: Anteparo com 1m

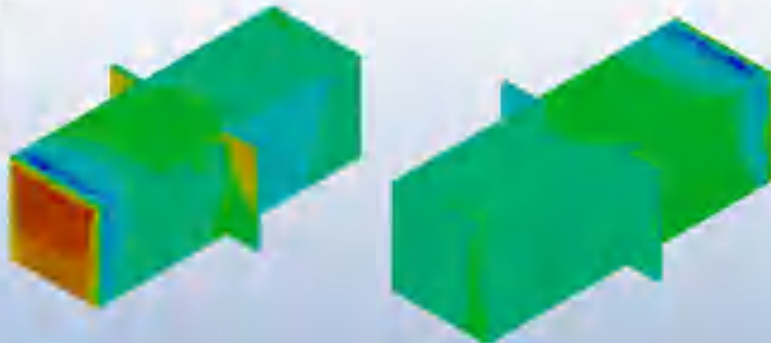
Hipótese 2: Anteparo com 2m

Hipótese 3: Anteparo inclinado com 2m



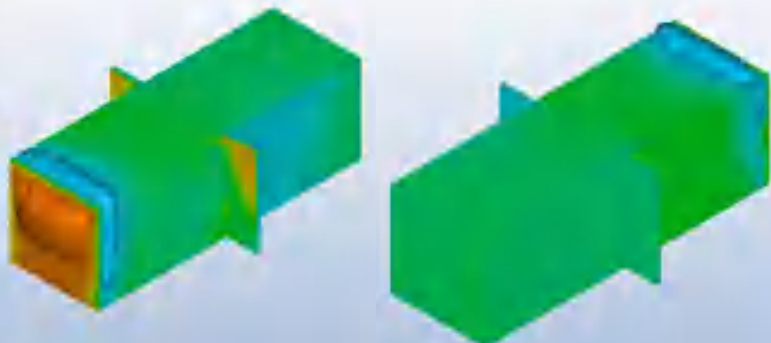
Hipótese 1: Anteparo com 1m

1. Coeficiente de pressão

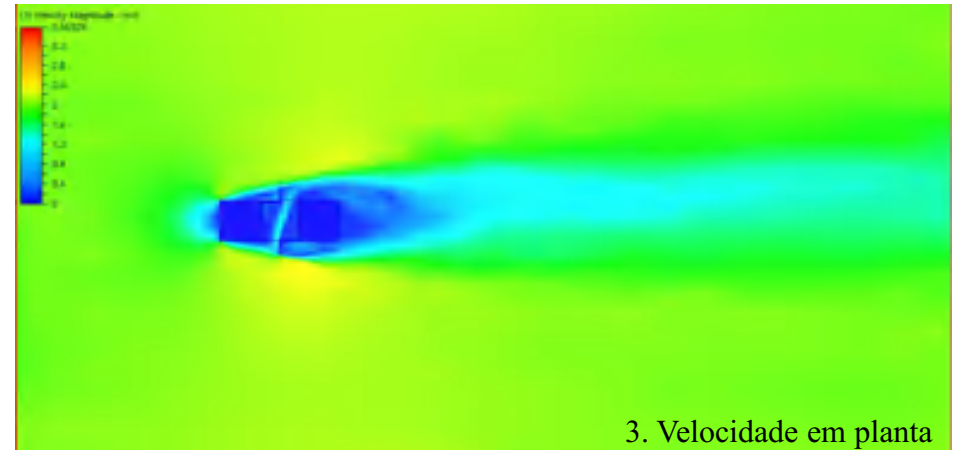


1. Coeficiente de pressão

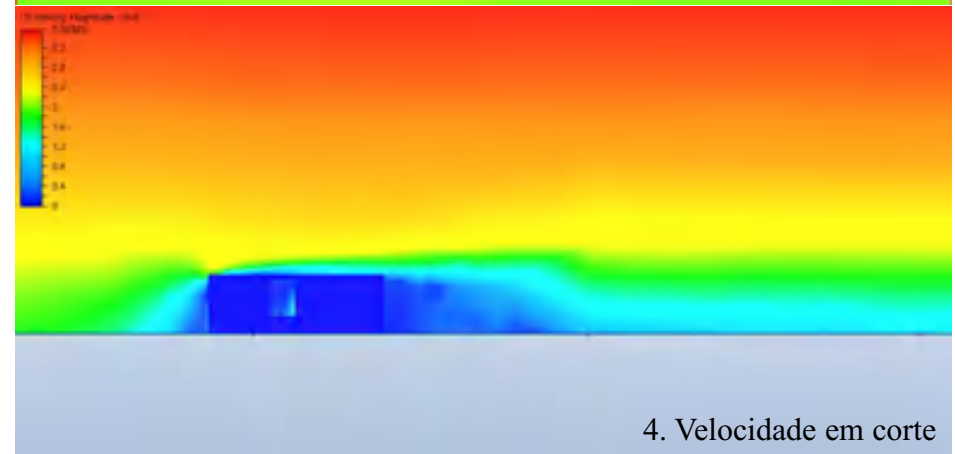
2. Superfícies de pressão



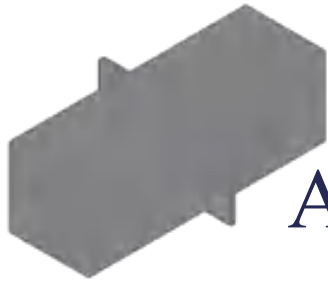
2. Superfícies de pressão



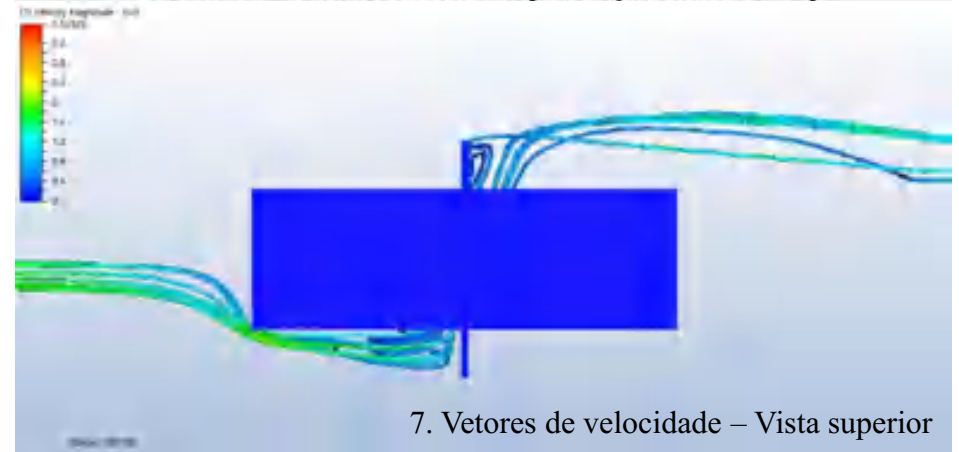
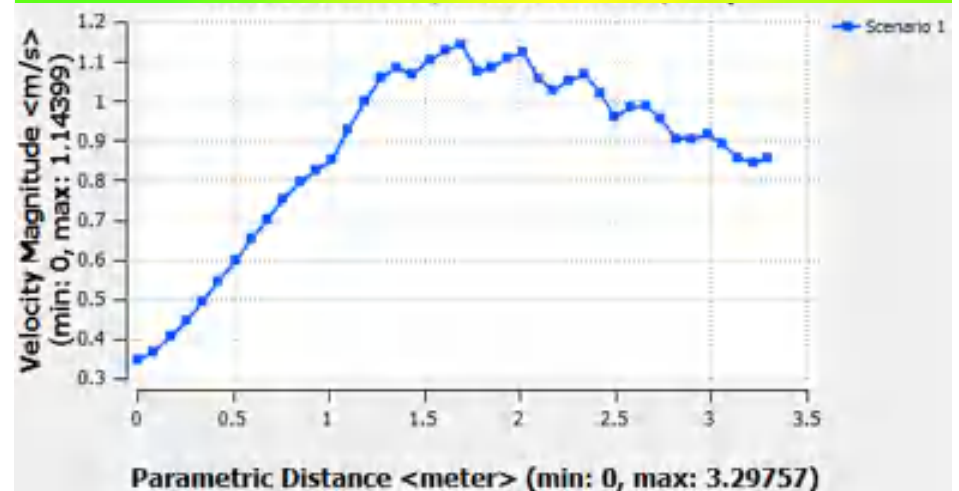
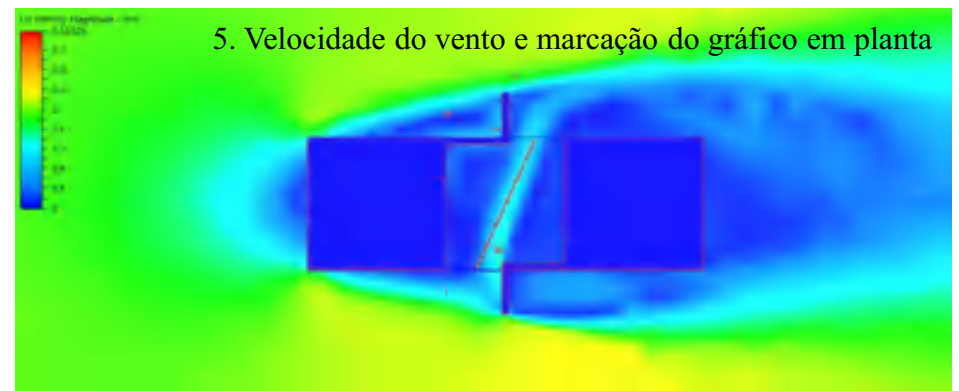
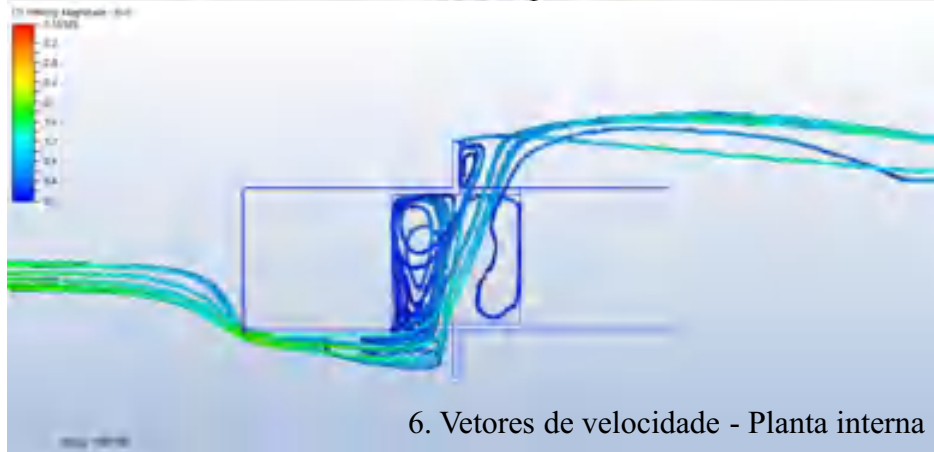
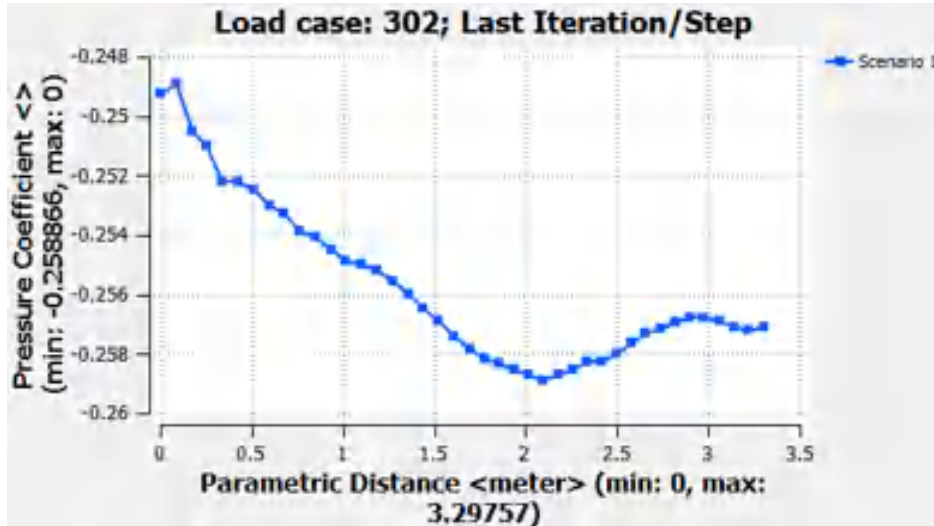
3. Velocidade em planta

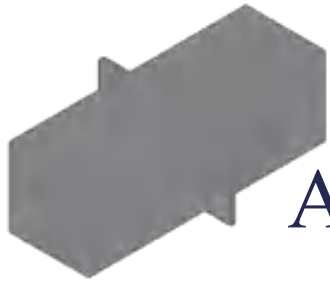


4. Velocidade em corte

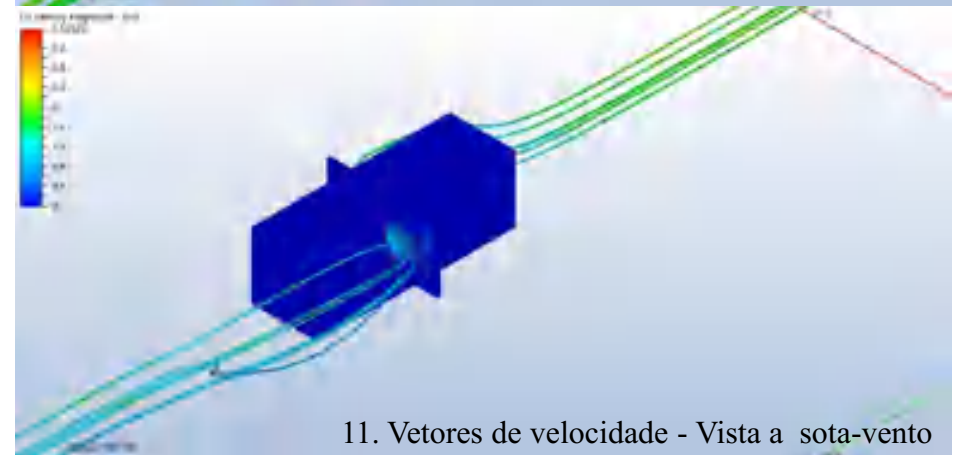
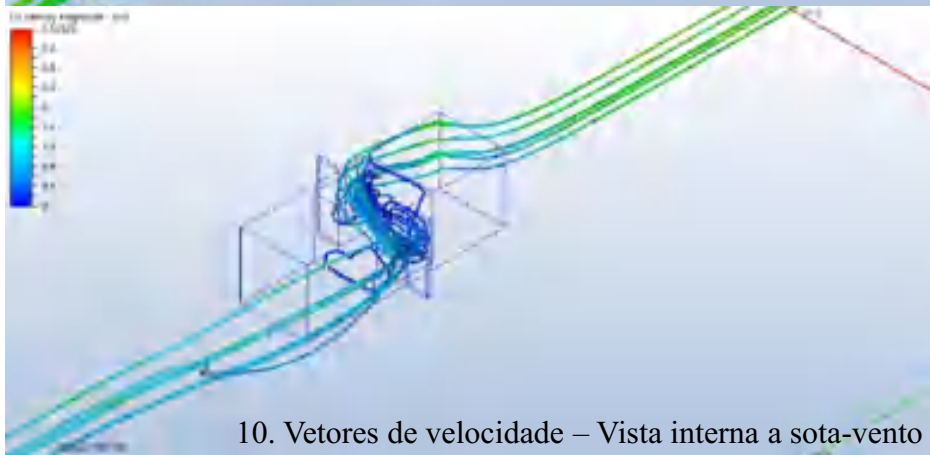
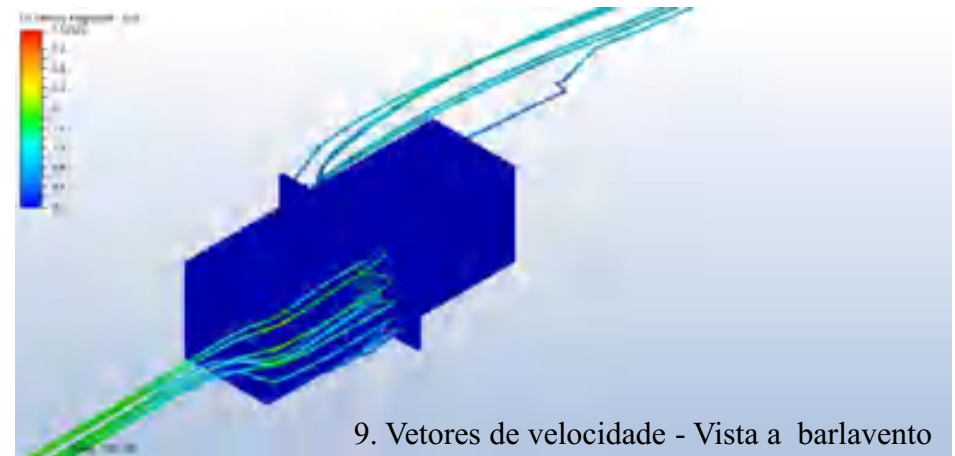
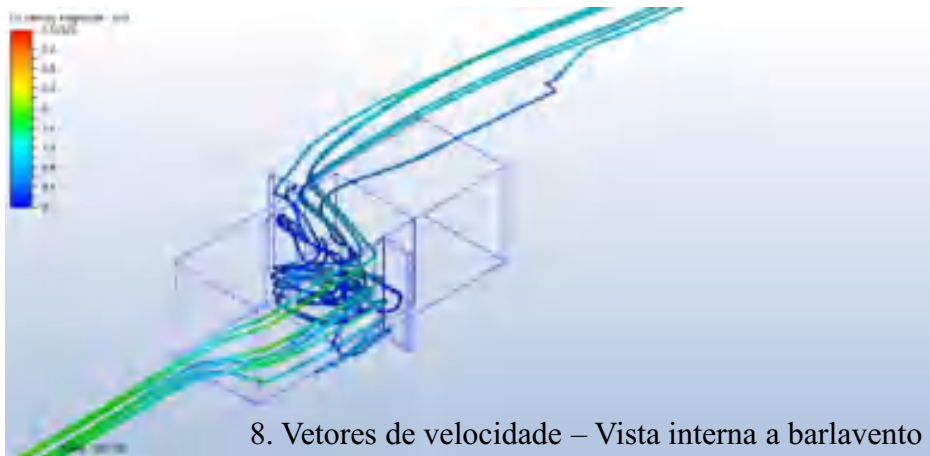


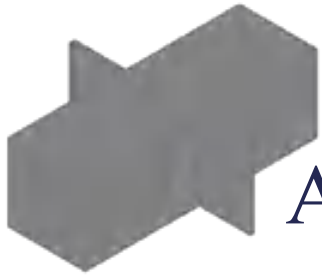
Hipótese 1: Anteparo com 1m



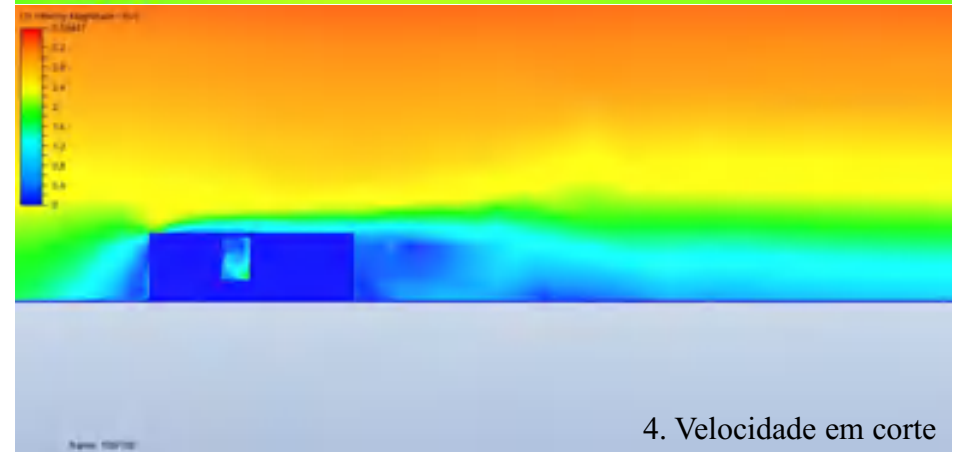
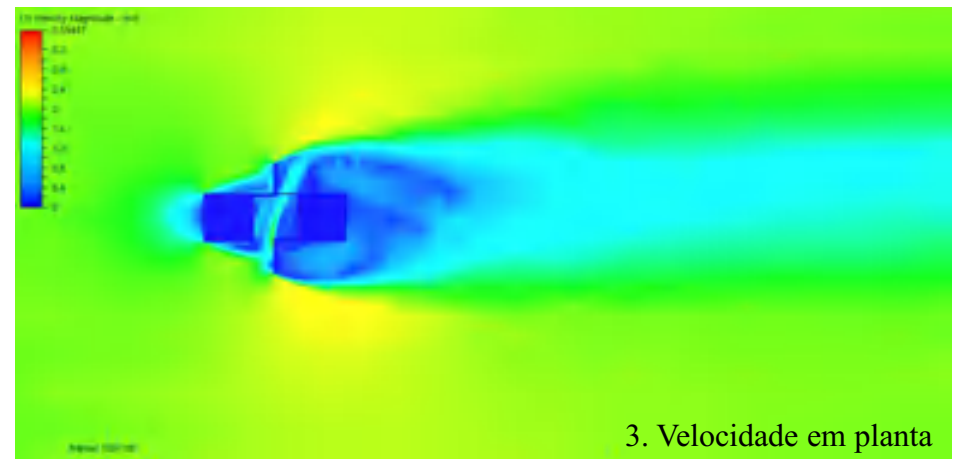
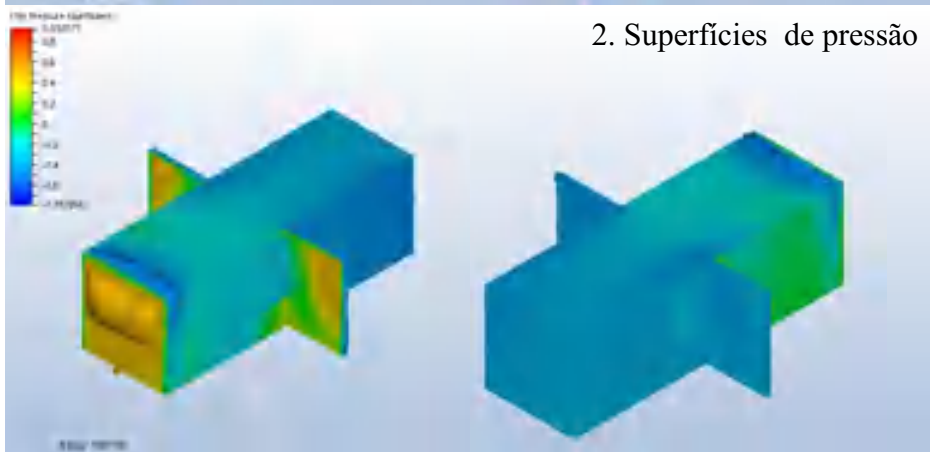
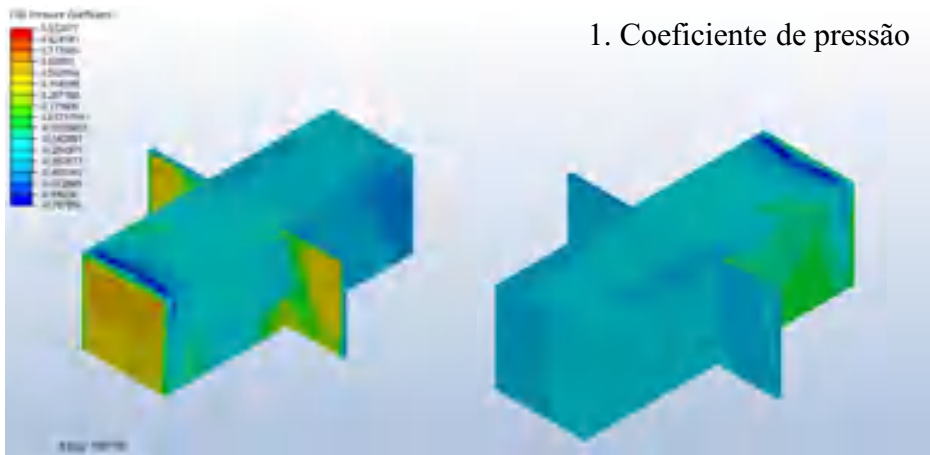


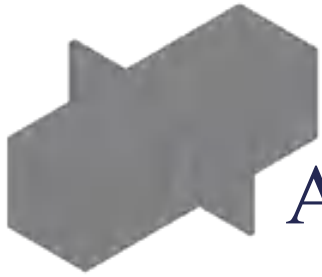
Hipótese 1: Anteparo com 1m



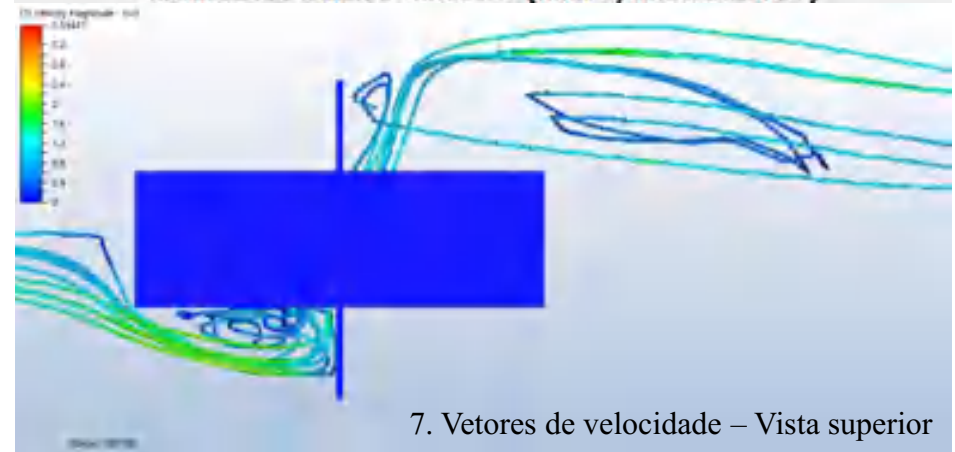
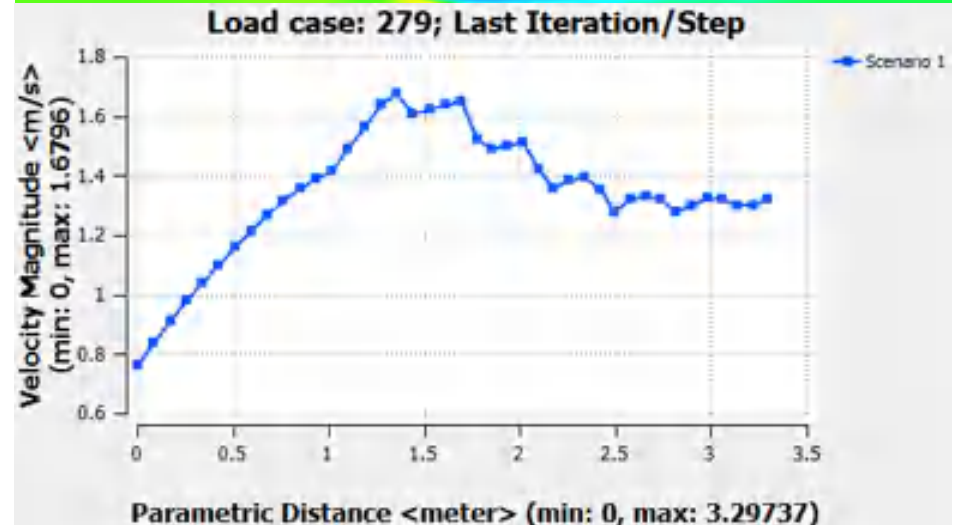
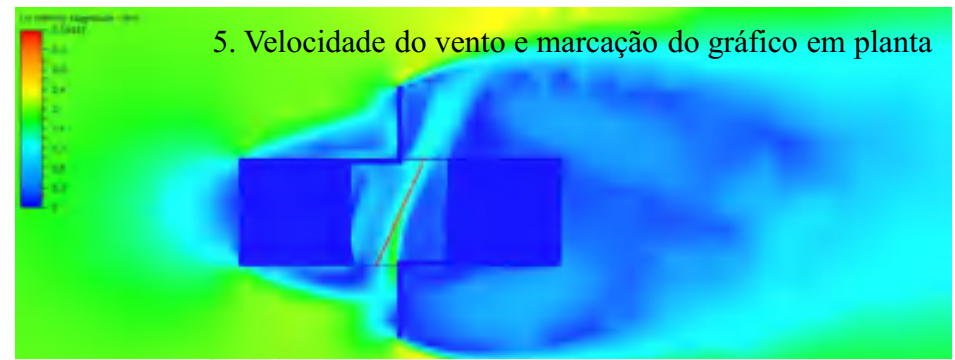
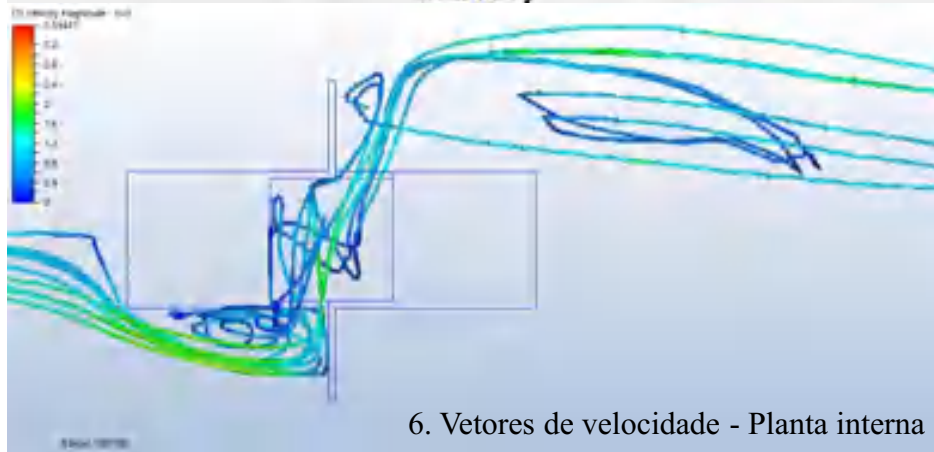
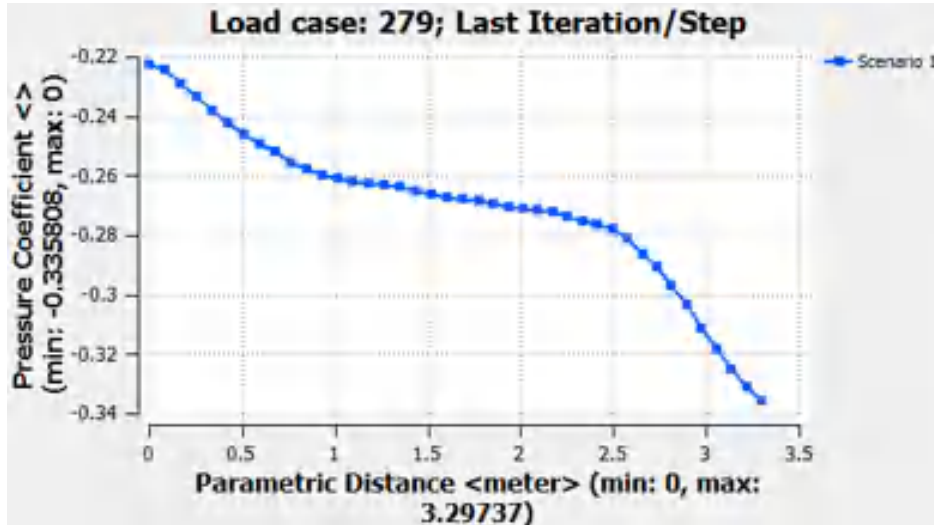


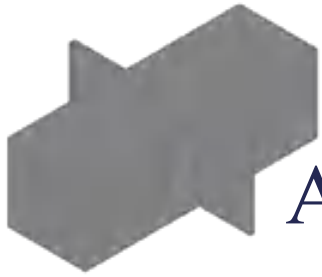
Hipótese 2: Anteparo com 2m



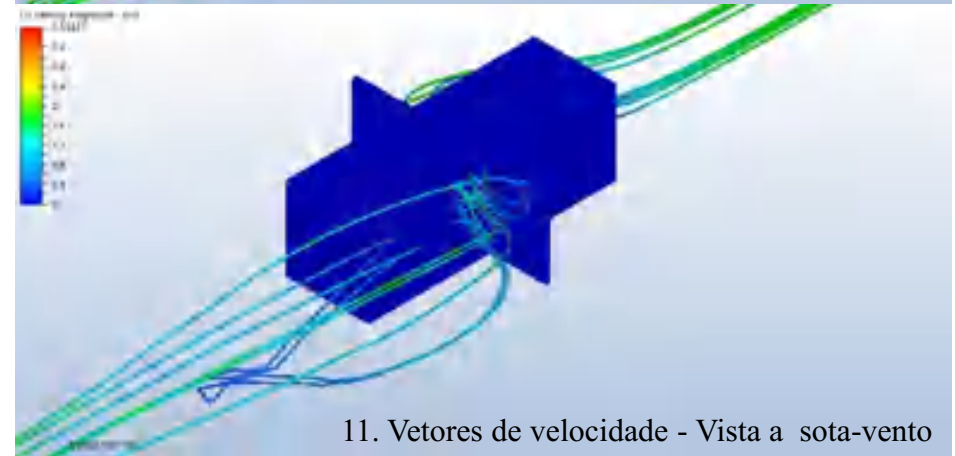
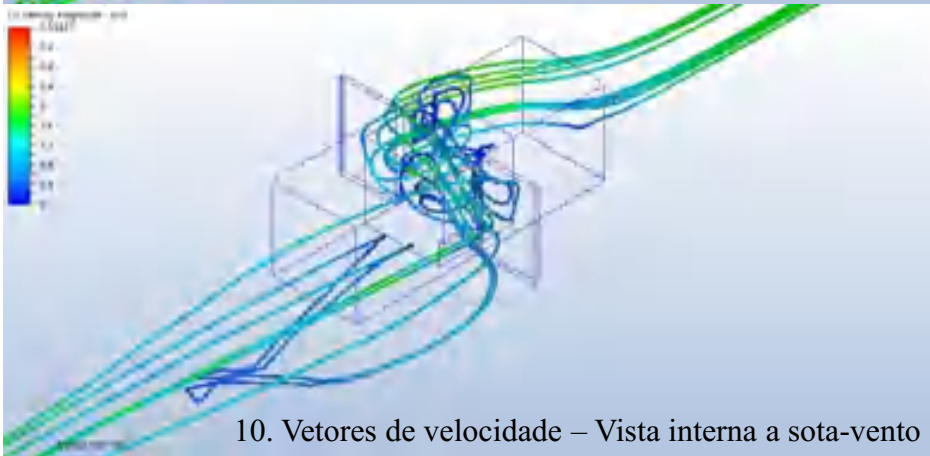
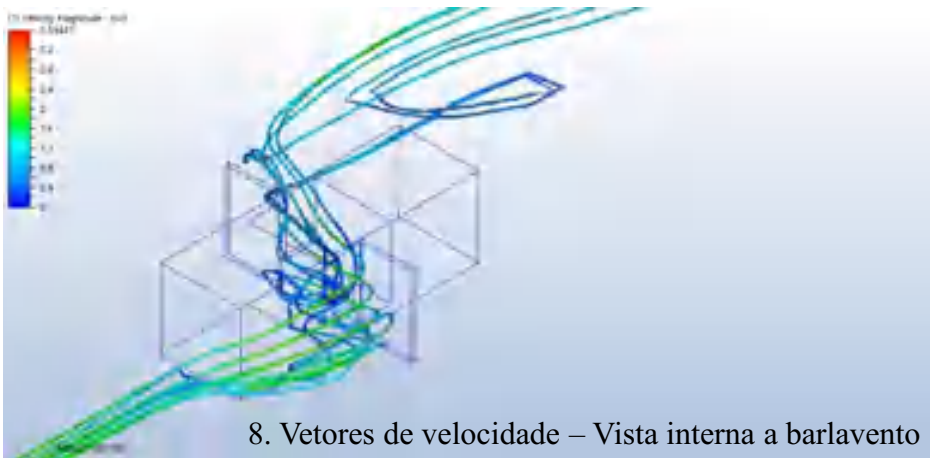


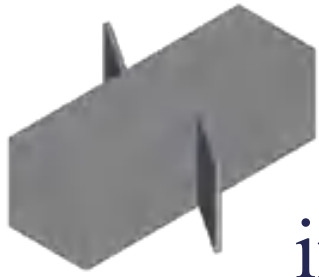
Hipótese 2: Anteparo com 2m





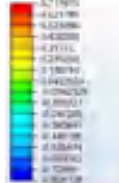
Hipótese 2: Anteparo com 2m





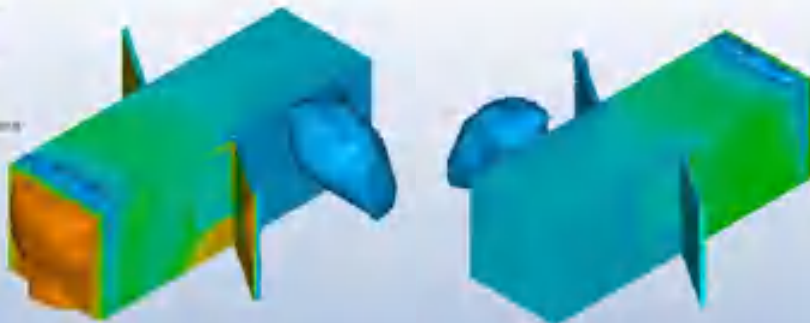
Hipótese 3: Anteparo inclinado com 2m

1. Coeficiente de pressão

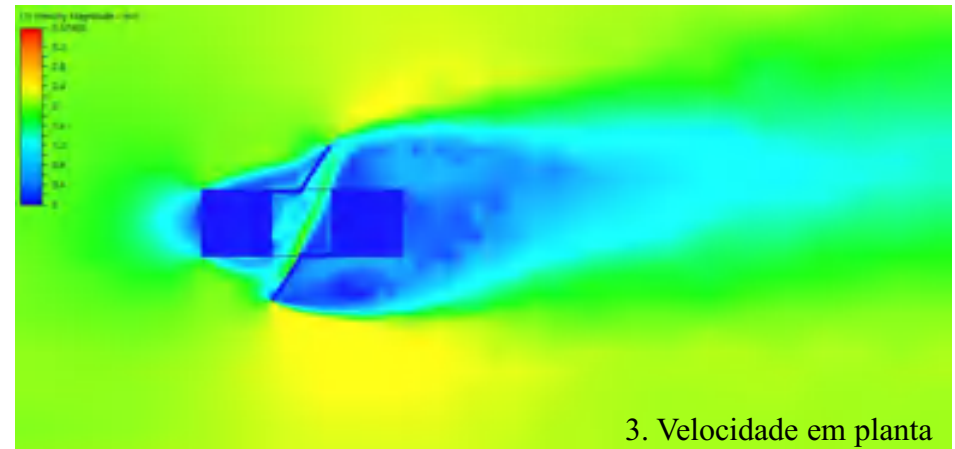


1. Coeficiente de pressão

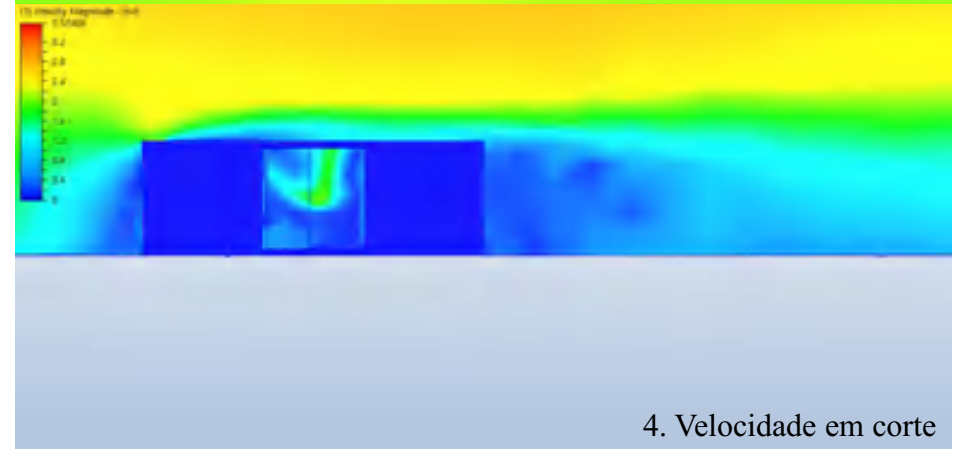
2. Superfícies de pressão



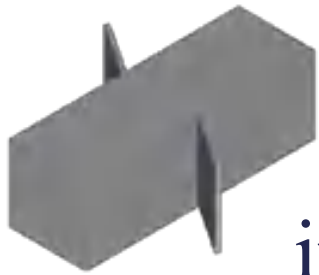
2. Superfícies de pressão



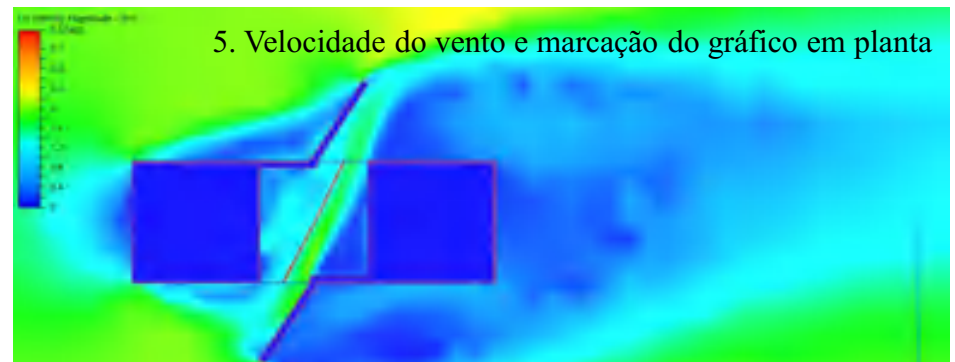
3. Velocidade em planta



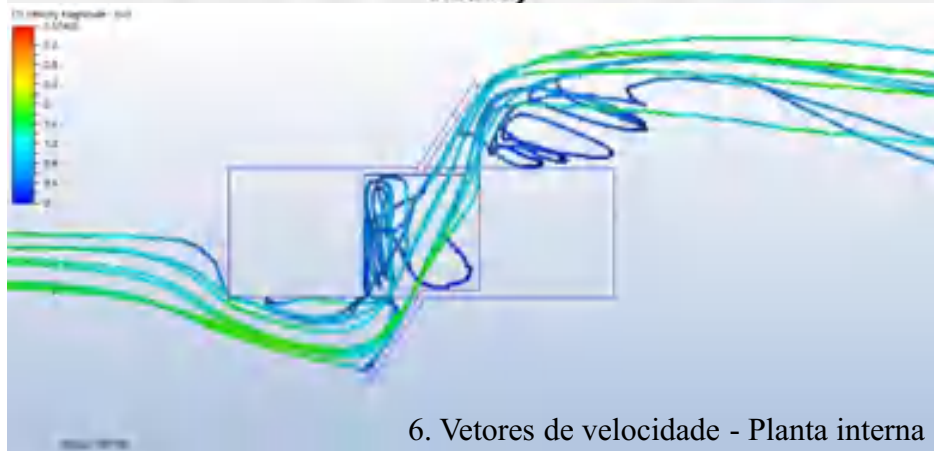
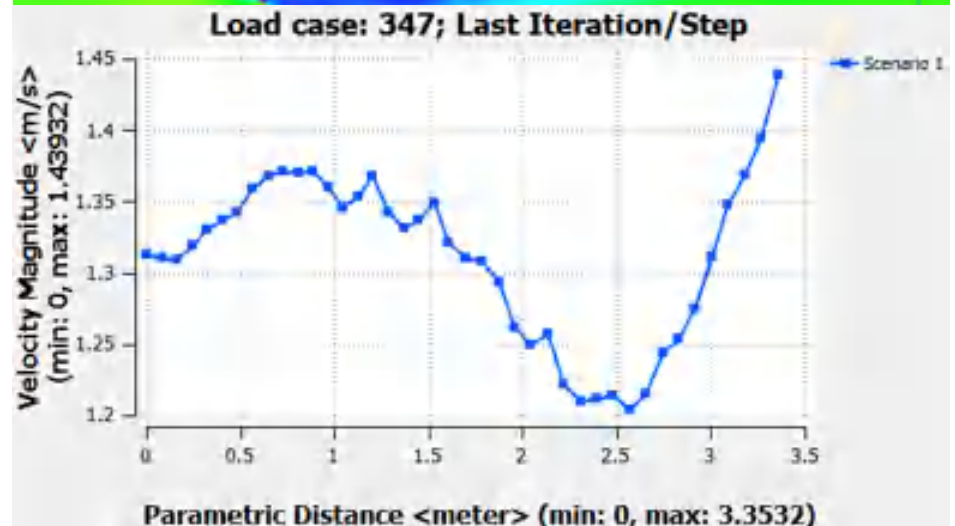
4. Velocidade em corte



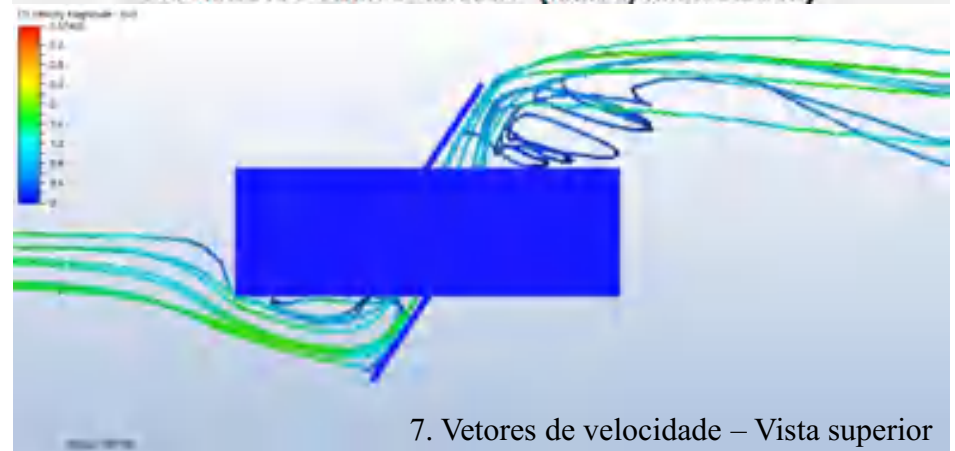
Hipótese 3: Anteparo inclinado com 2m



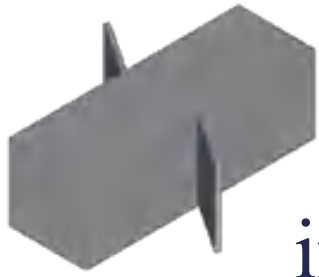
5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



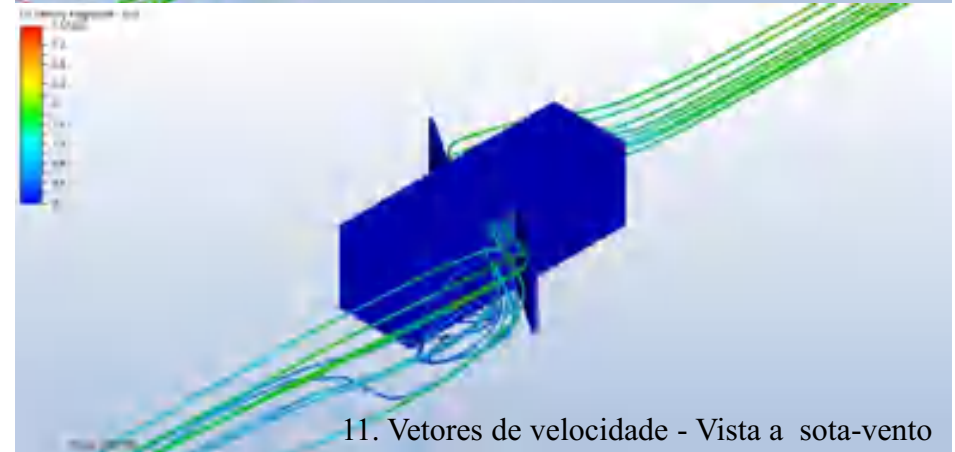
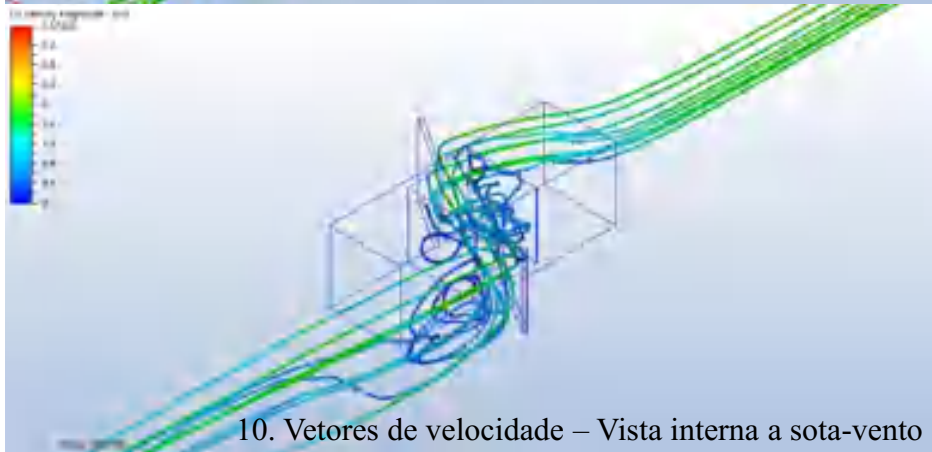
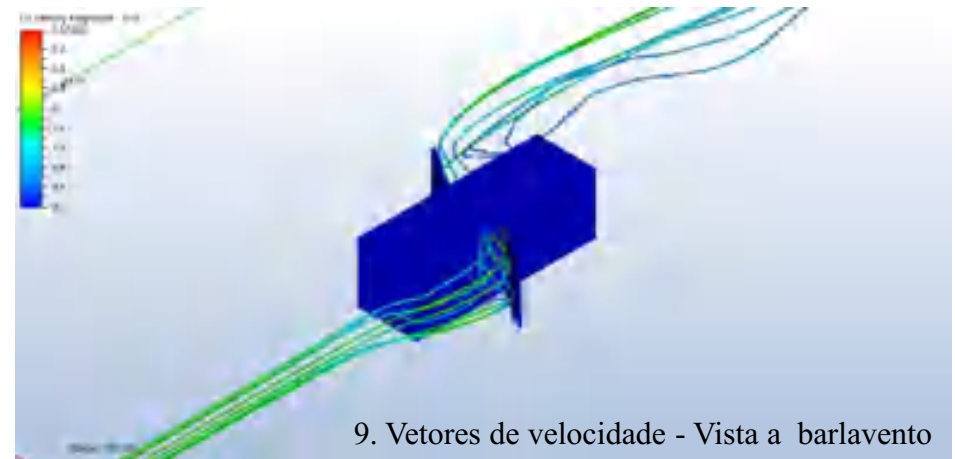
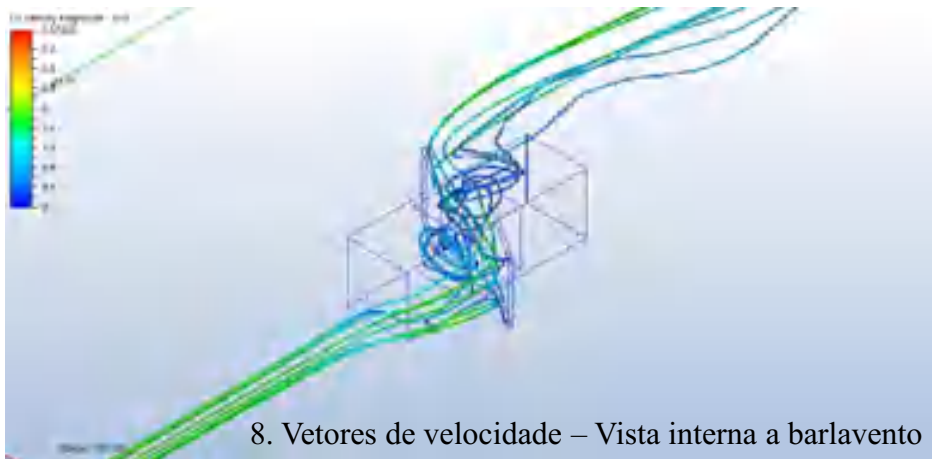
6. Vetores de velocidade - Planta interna



7. Vetores de velocidade – Vista superior

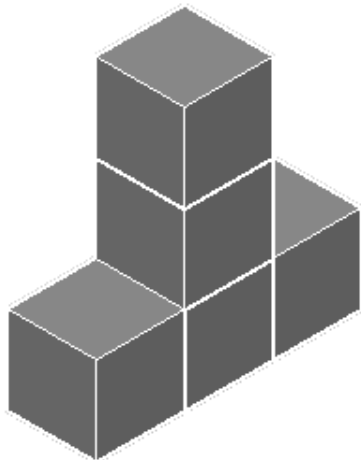


Hipótese 3: Anteparo inclinado com 2m



FACES OPOSTAS - VERTICAL

M12:V:P



Hipótese 1: Torre de vento com 9m

Hipótese 2: Torre de vento com 6m

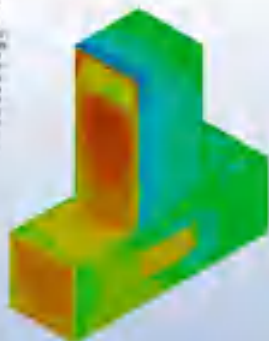
Hipótese 3: Abertura zenital com barreira

Hipótese 4: Torre de vento com coberta inclinada com 9m

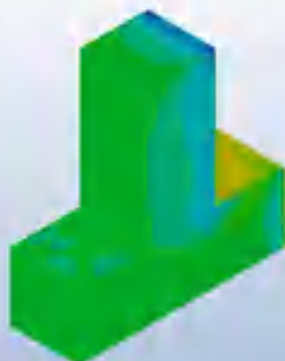


Hipótese 1: Torre de vento com 9m

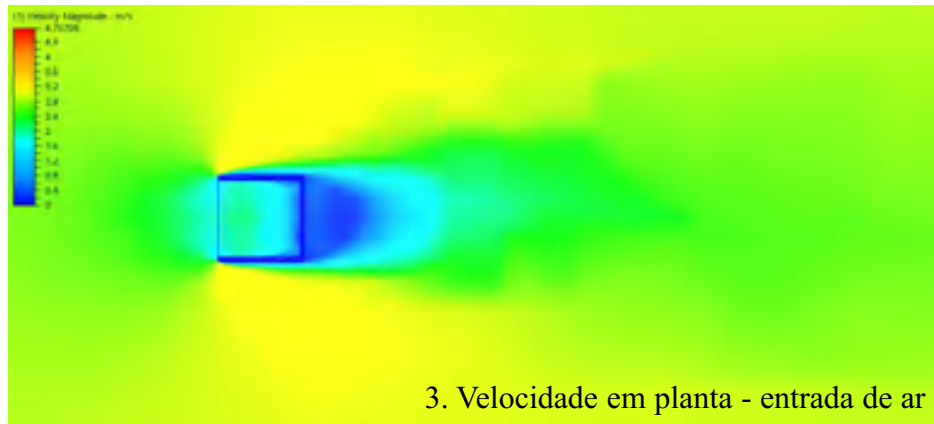
1. Coeficiente de pressão



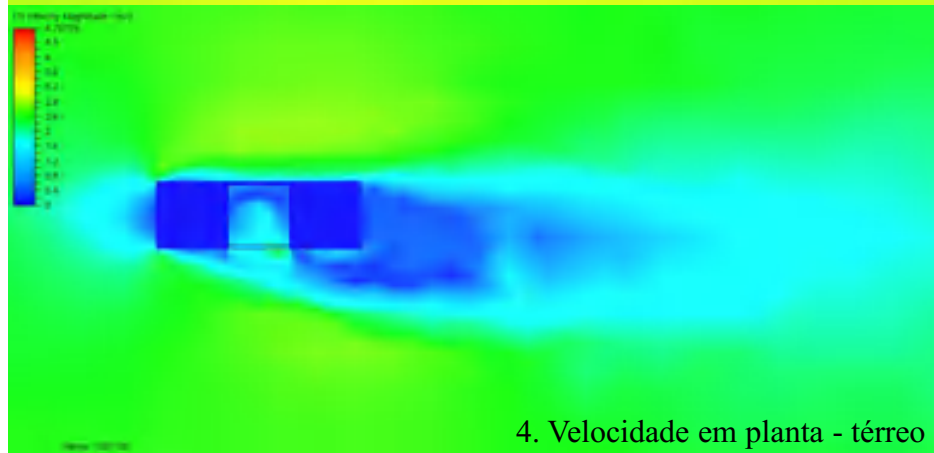
2. Superfícies de pressão



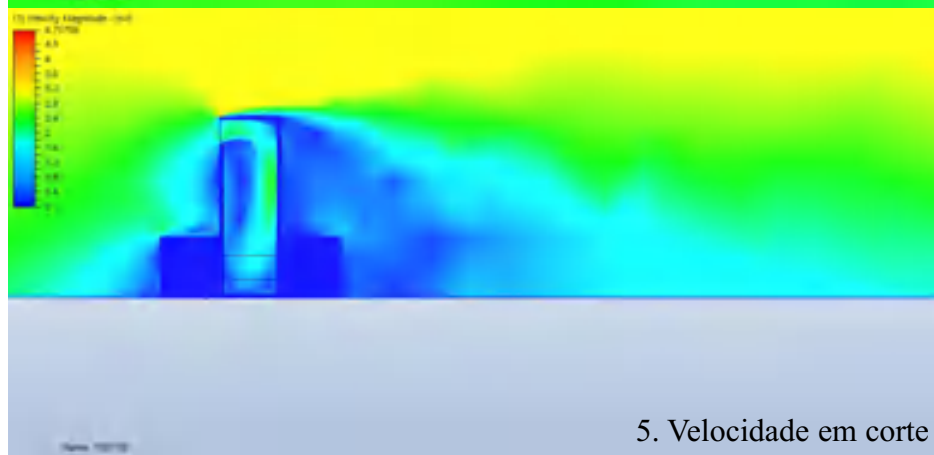
3. Velocidade em planta - entrada de ar



3. Velocidade em planta - entrada de ar



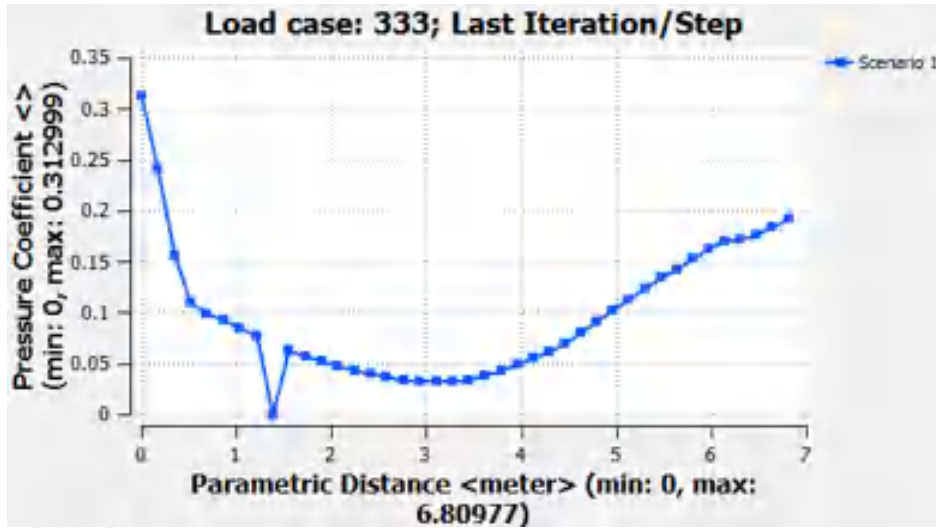
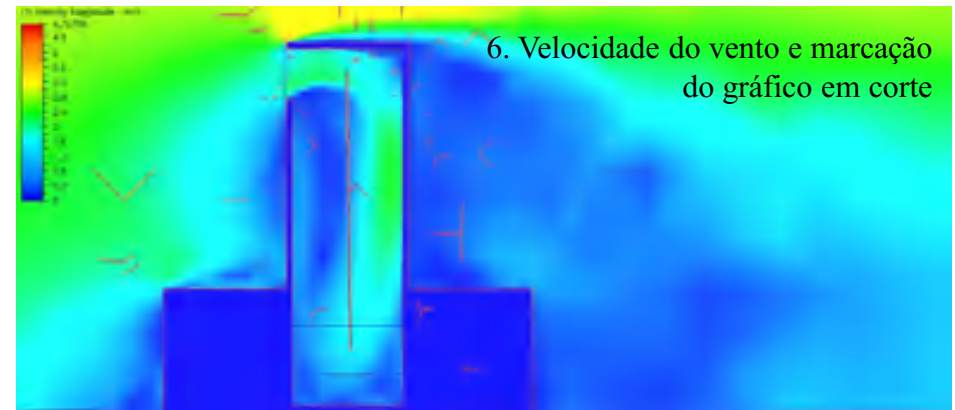
4. Velocidade em planta - térreo



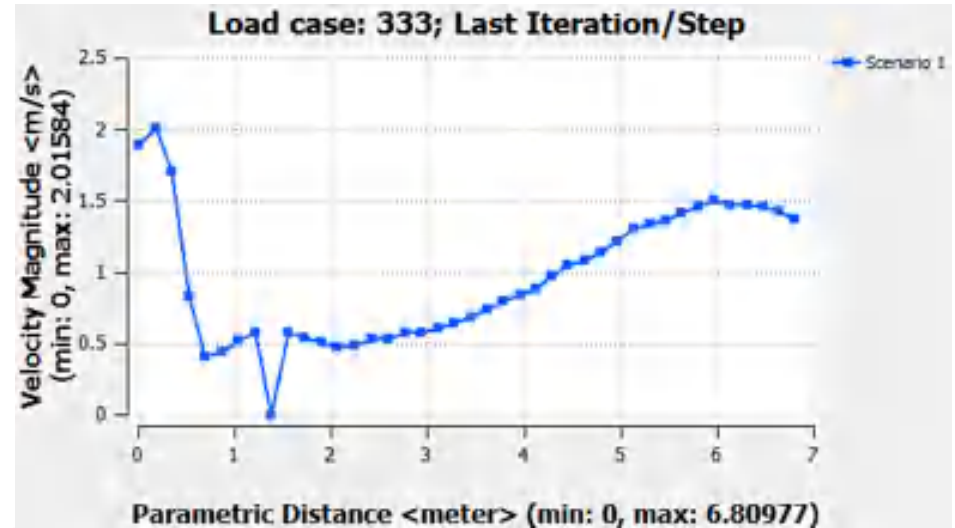
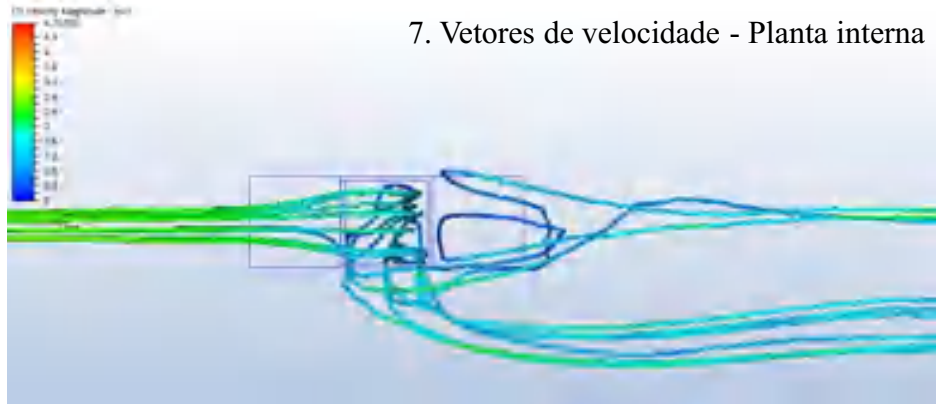
5. Velocidade em corte



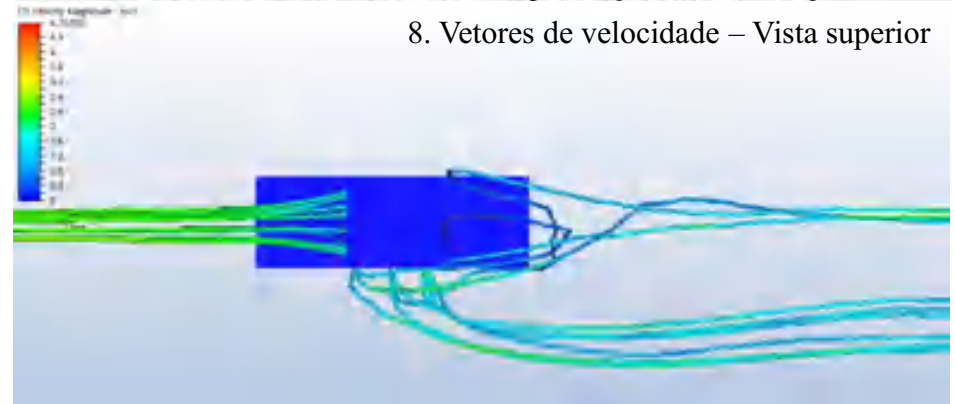
Hipótese 1: Torre de vento com 9m



7. Vetores de velocidade - Planta interna

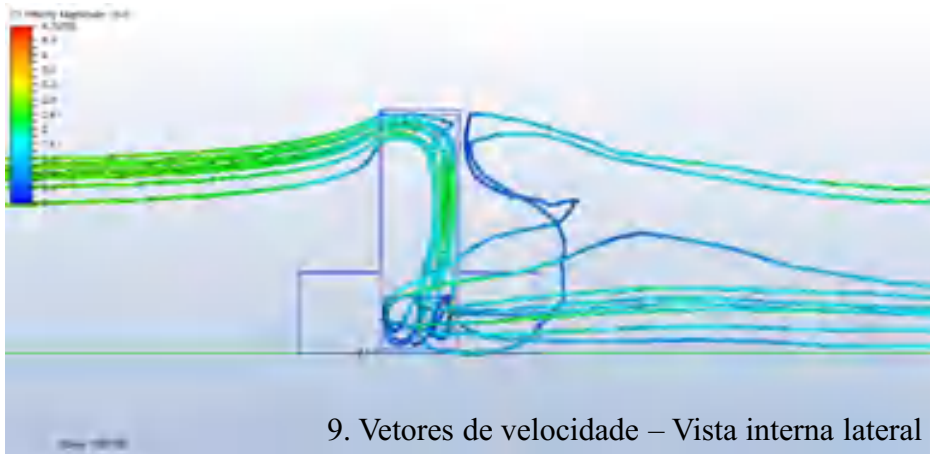


8. Vetores de velocidade – Vista superior

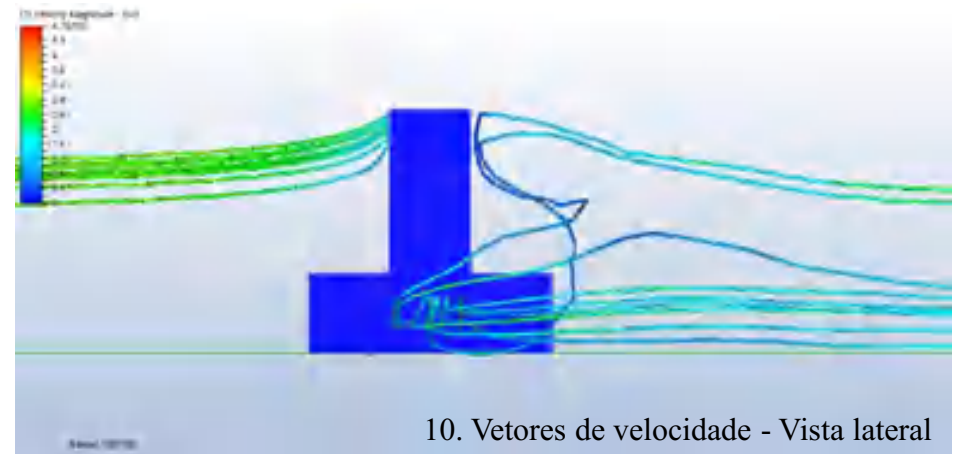




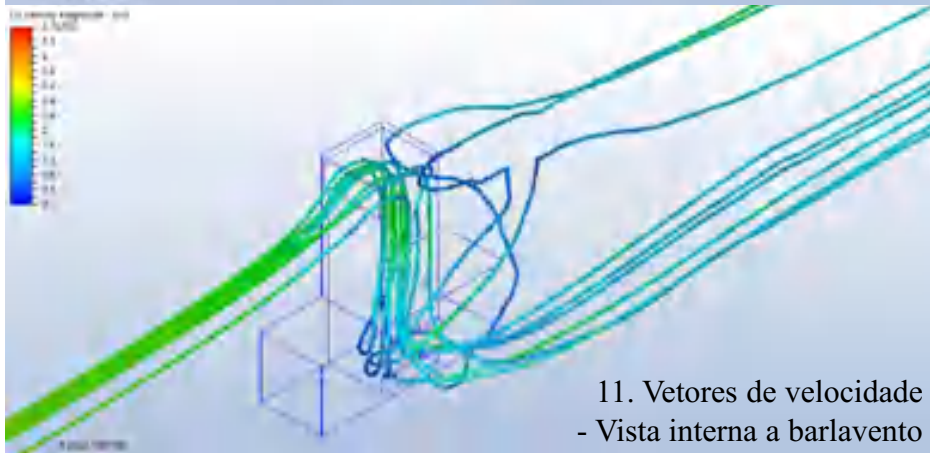
Hipótese 1: Torre de vento com 9m



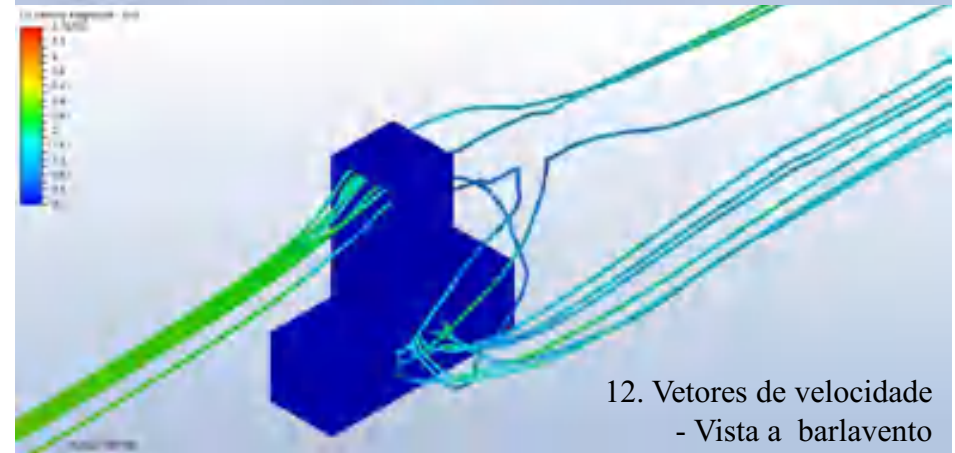
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



10. Vetores de velocidade - Vista lateral

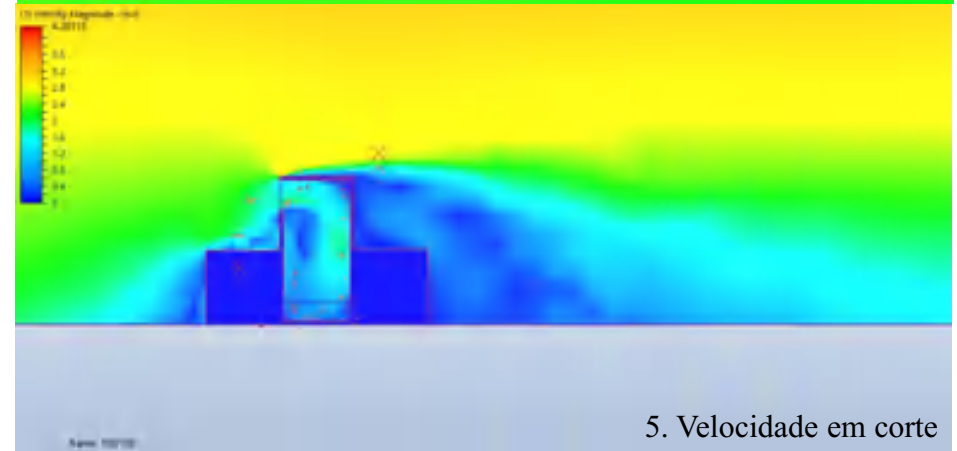
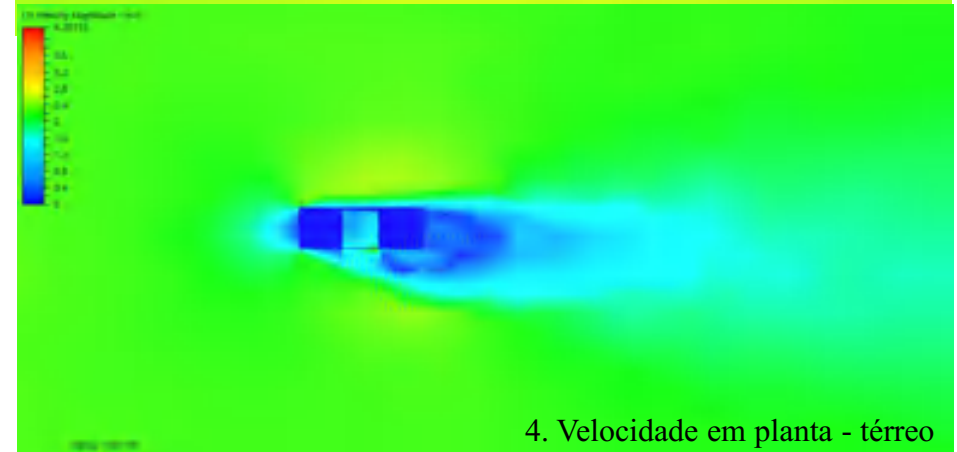
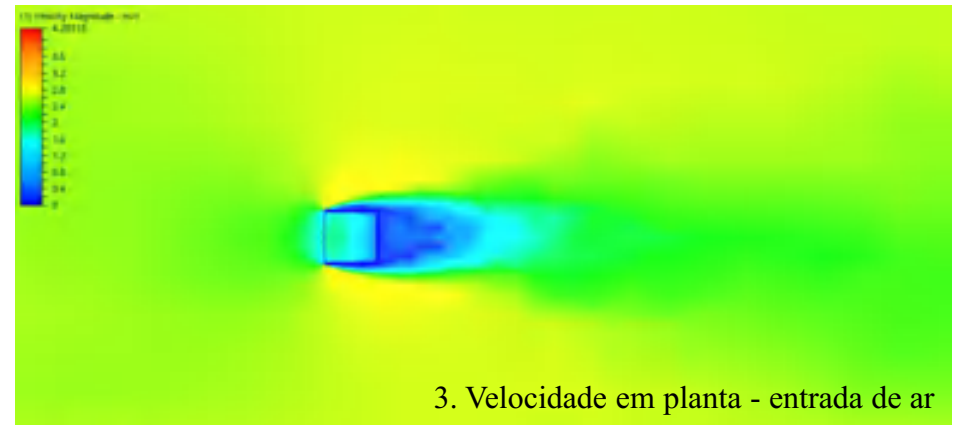
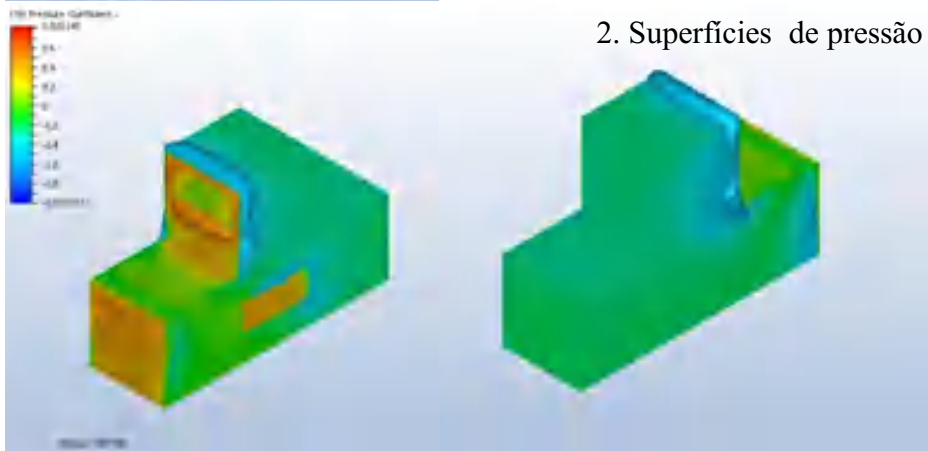
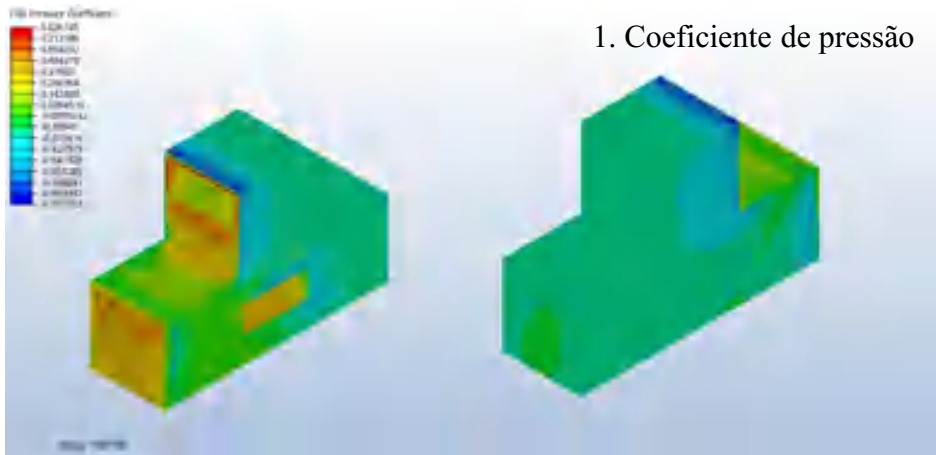


11. Vetores de velocidade
- Vista interna a barlavento



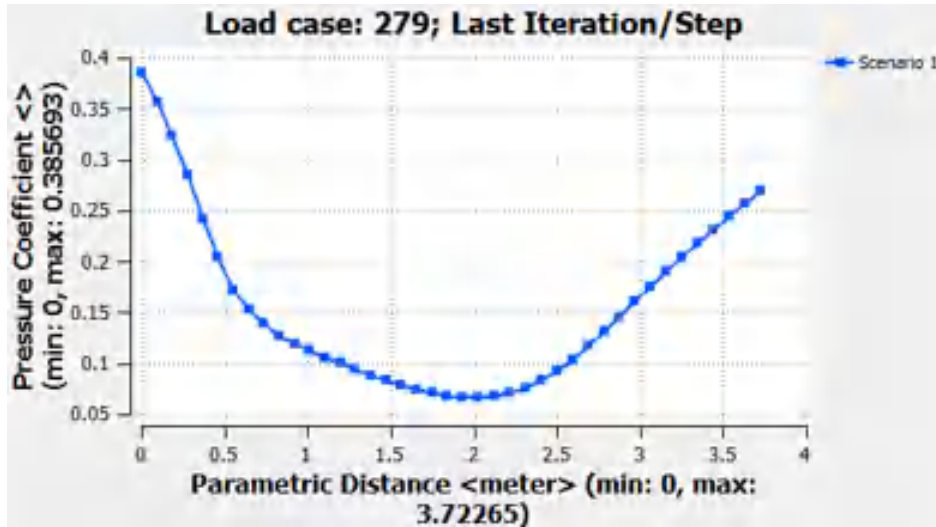
12. Vetores de velocidade
- Vista a barlavento

Hipótese 2: Torre de vento com 6m

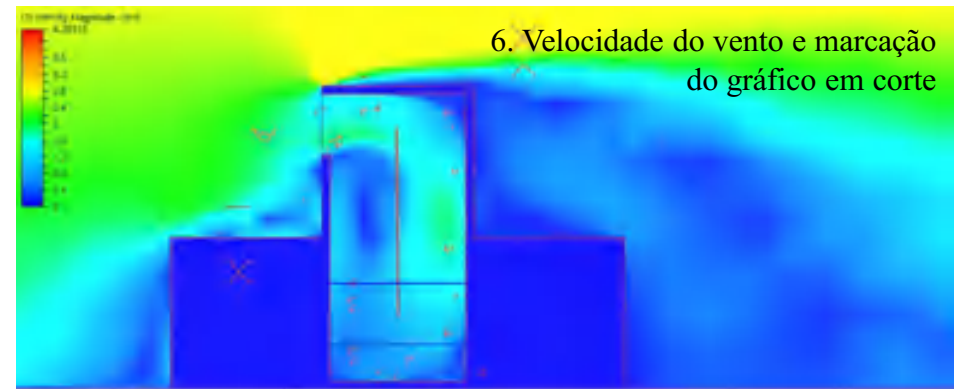
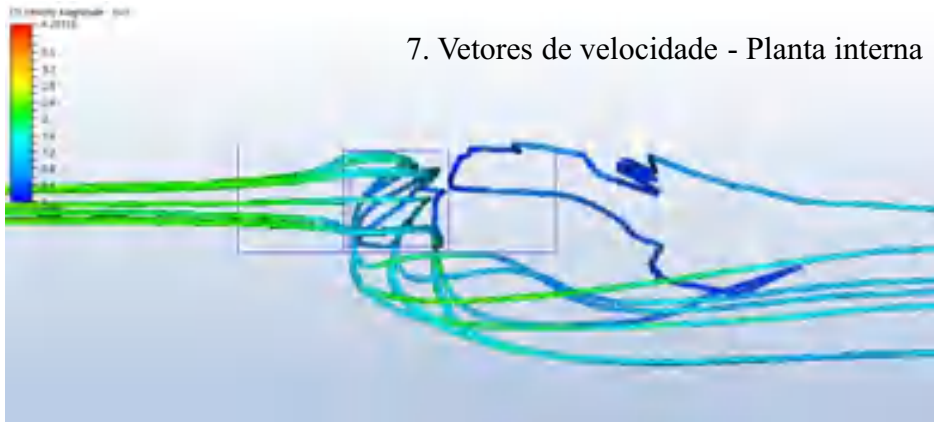




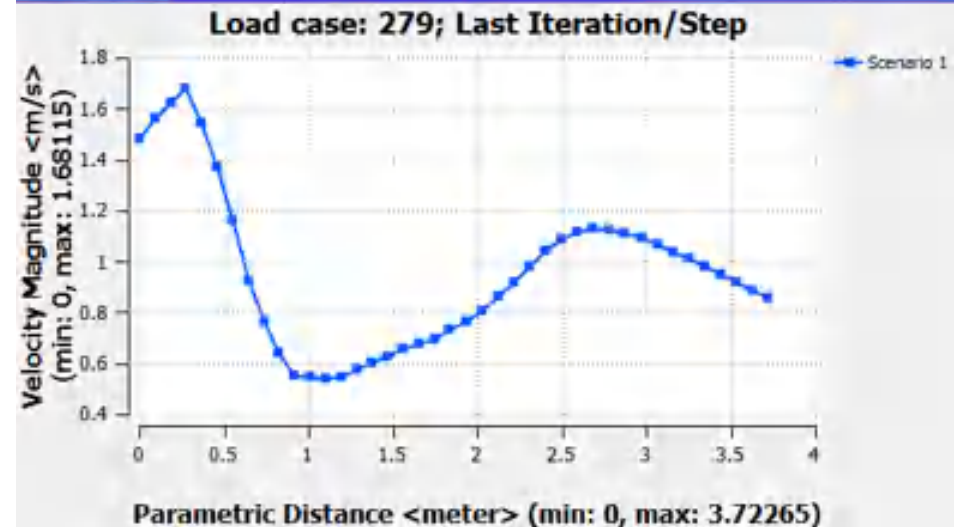
Hipótese 2: Torre de vento com 6m



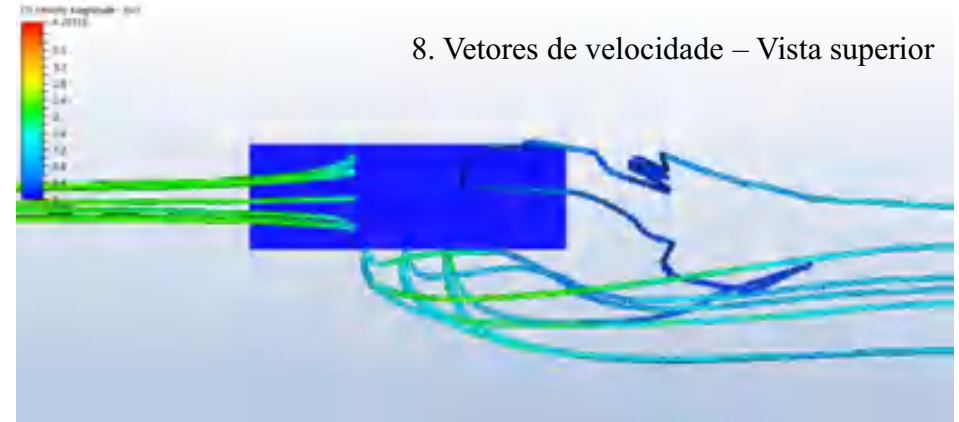
7. Vetores de velocidade - Planta interna



6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



8. Vetores de velocidade – Vista superior

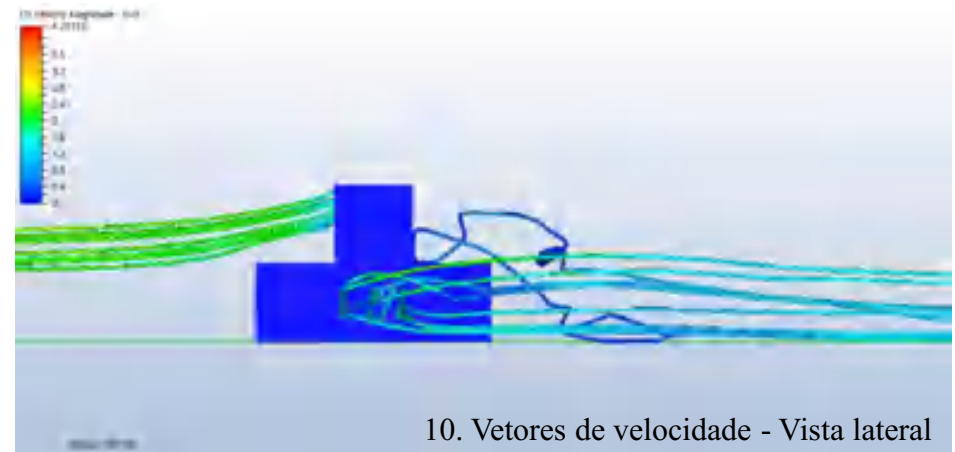




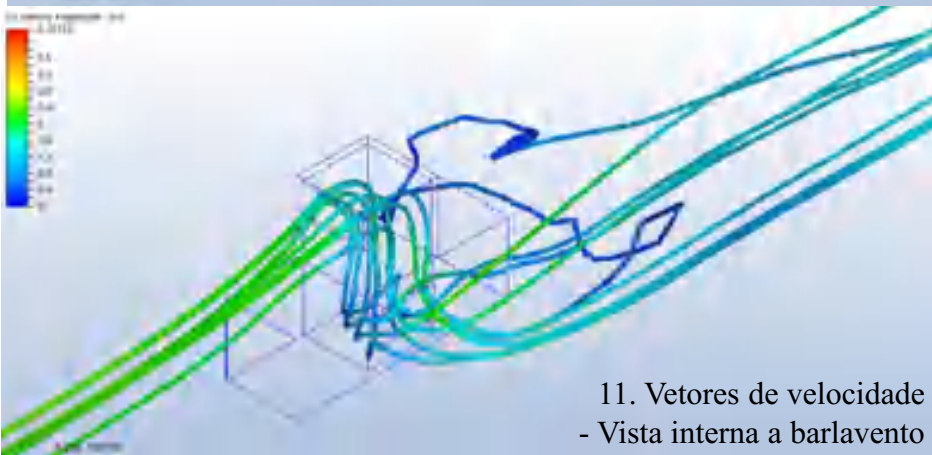
Hipótese 2: Torre de vento com 6m



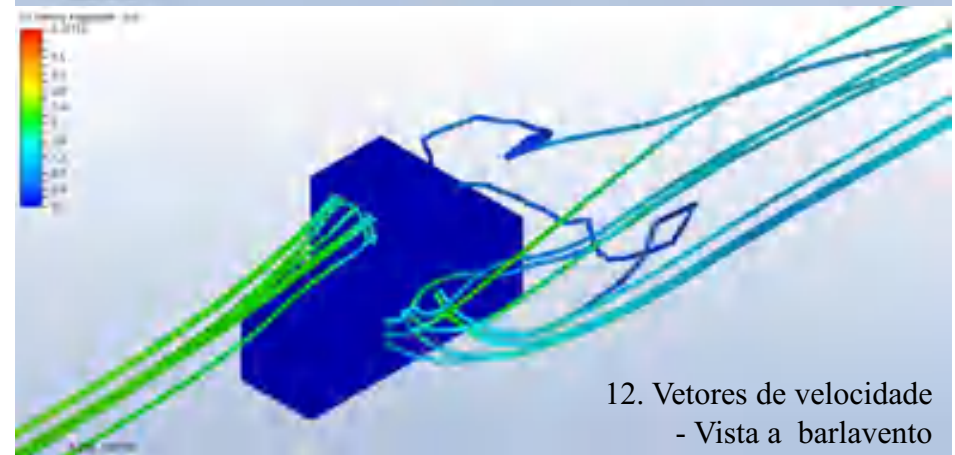
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



10. Vetores de velocidade - Vista lateral



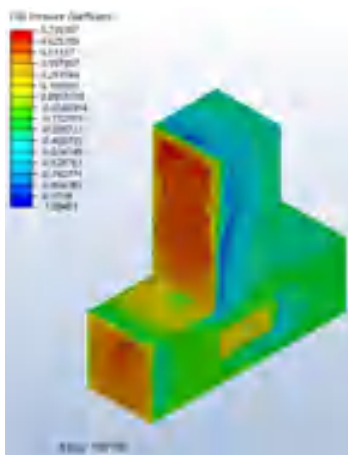
11. Vetores de velocidade
- Vista interna a barlavento



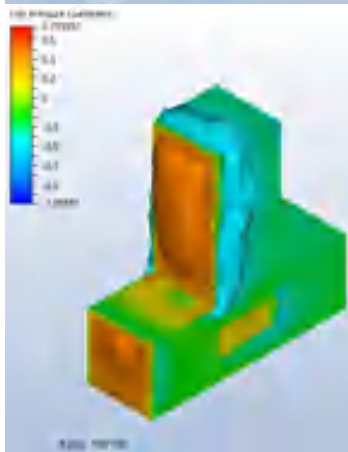
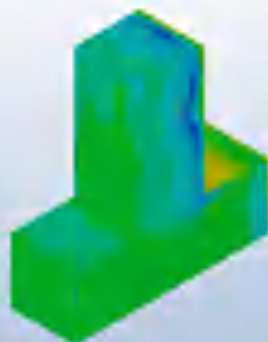
12. Vetores de velocidade
- Vista a barlavento



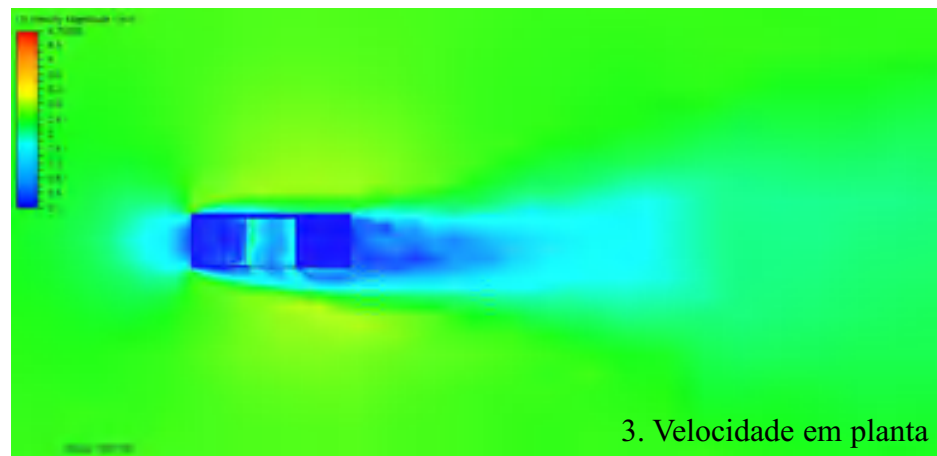
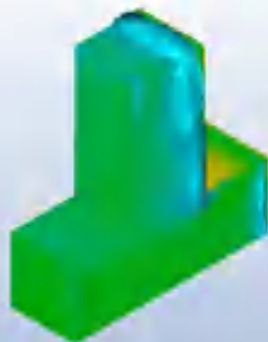
Hipótese 3: Abertura zenital com barreira



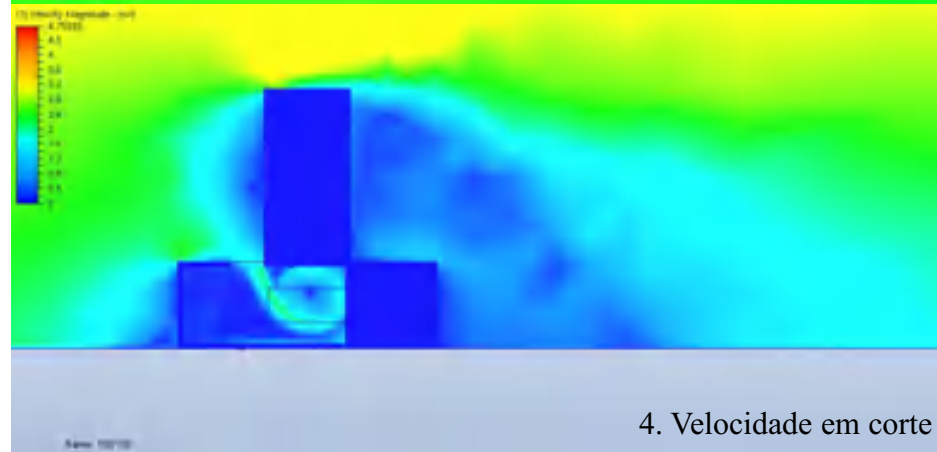
1. Coeficiente de pressão



2. Superfícies de pressão



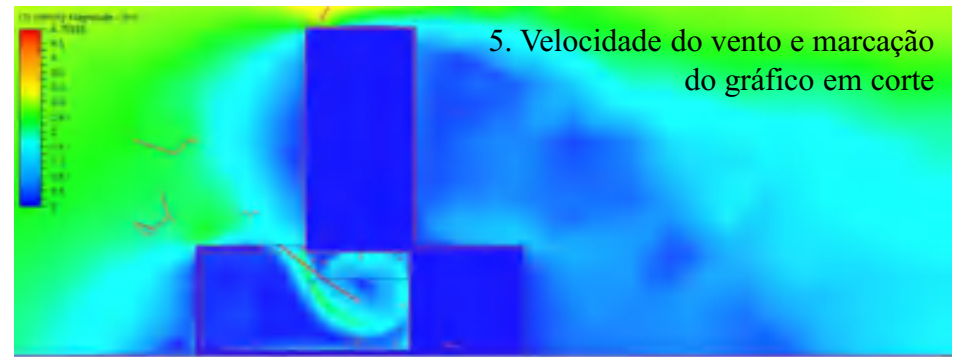
3. Velocidade em planta



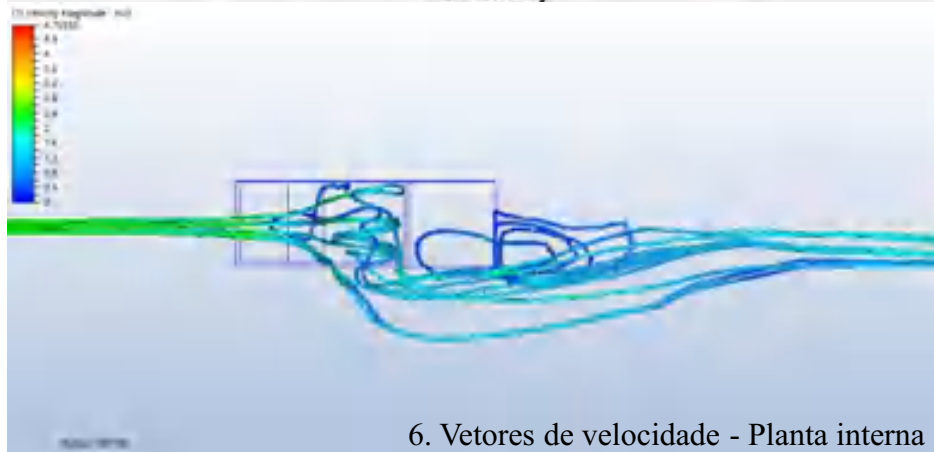
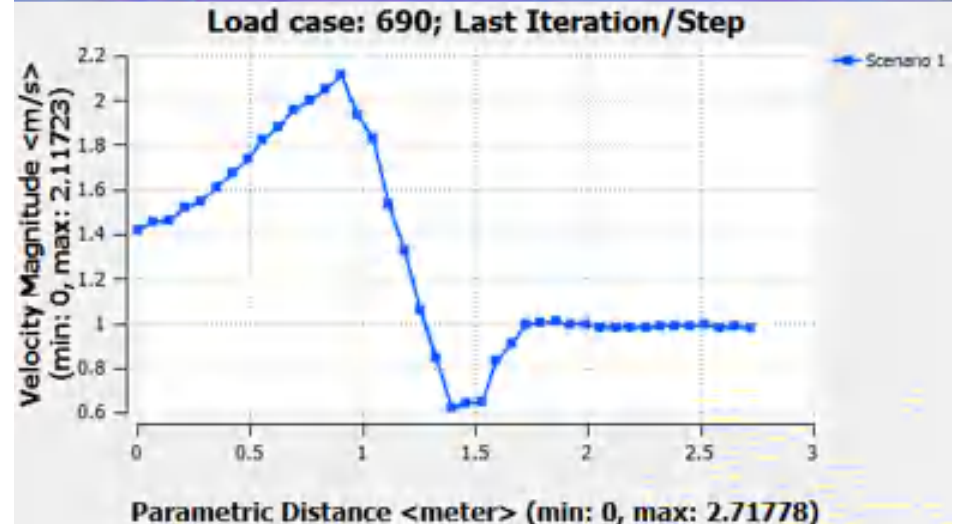
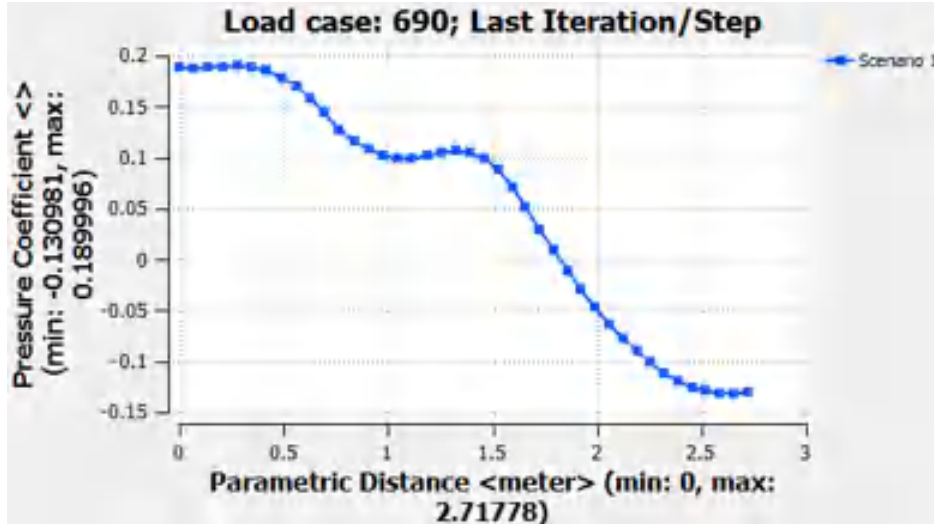
4. Velocidade em corte



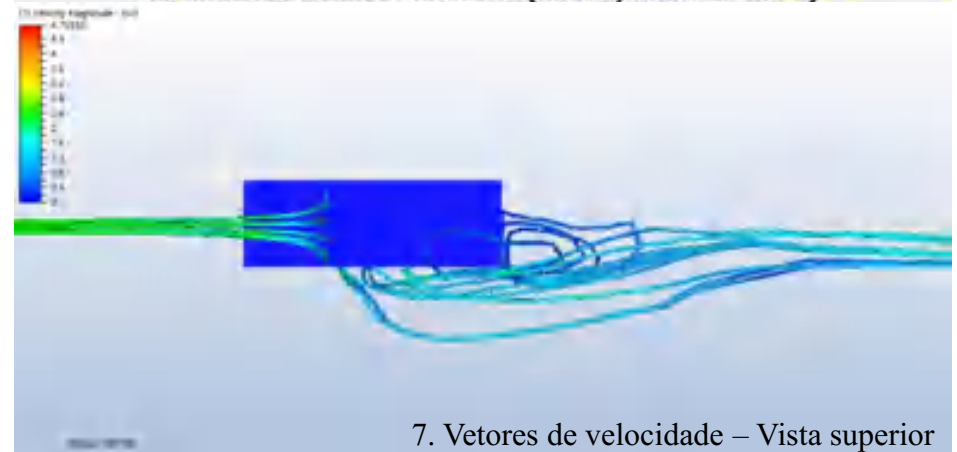
Hipótese 3: Abertura zenital com barreira



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



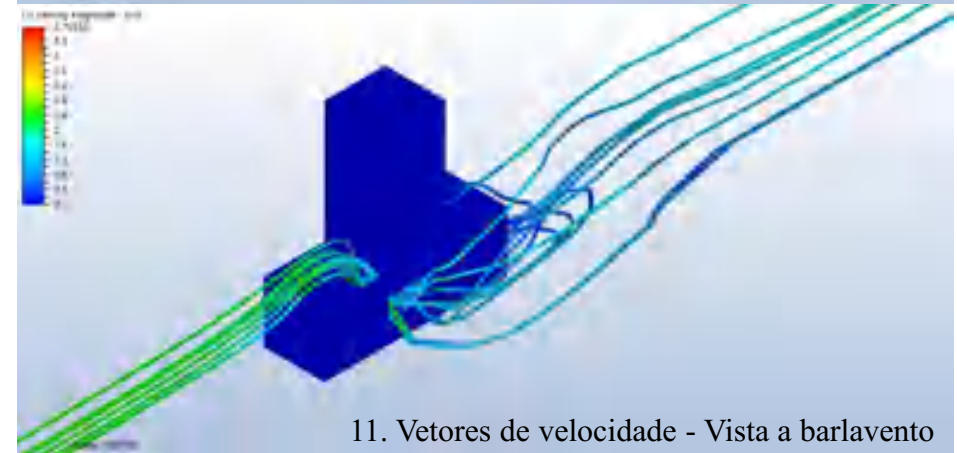
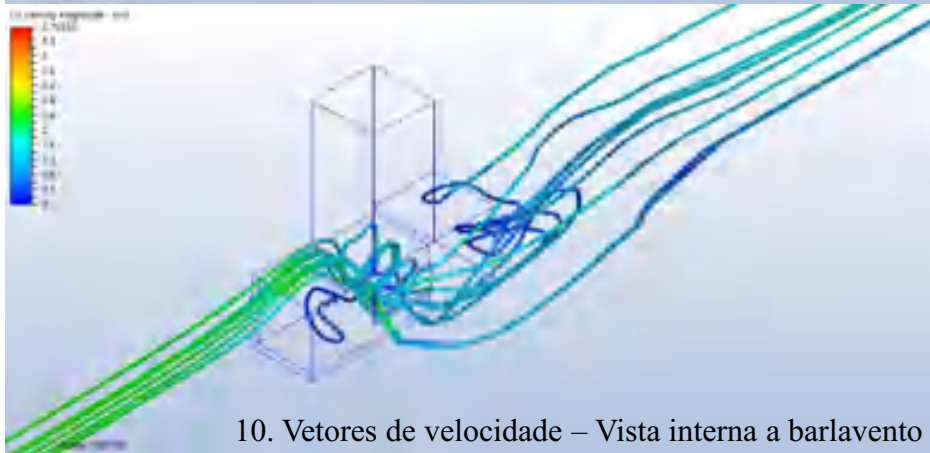
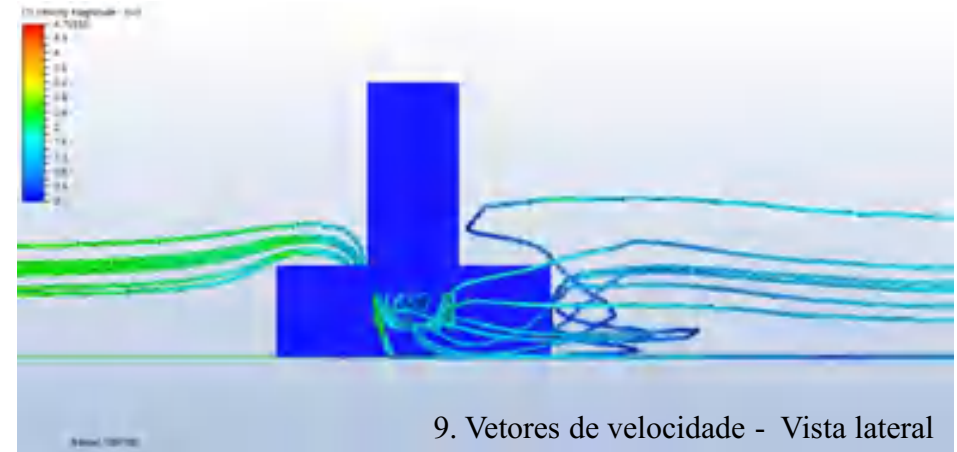
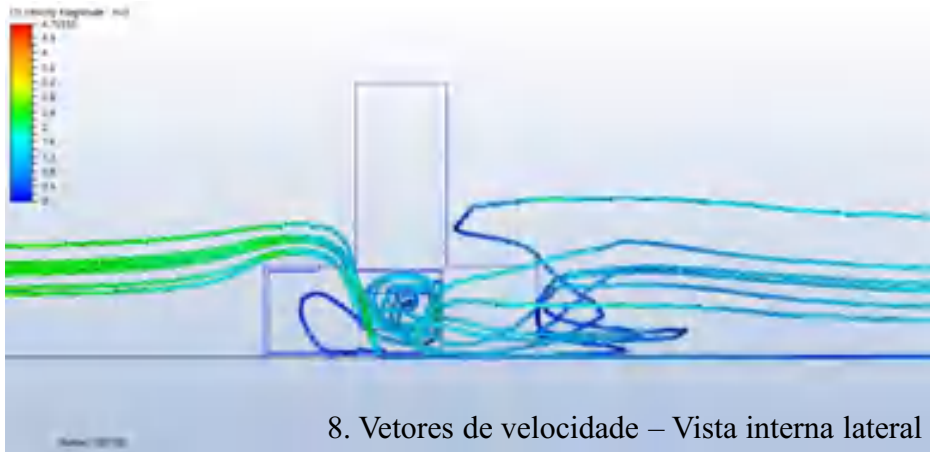
6. Vetores de velocidade - Planta interna



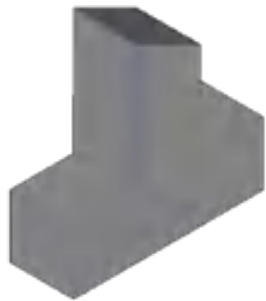
7. Vetores de velocidade – Vista superior



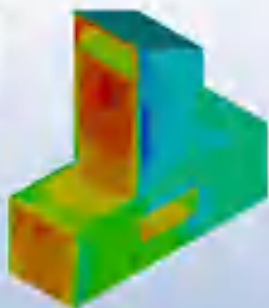
Hipótese 3: Abertura zenital com barreira



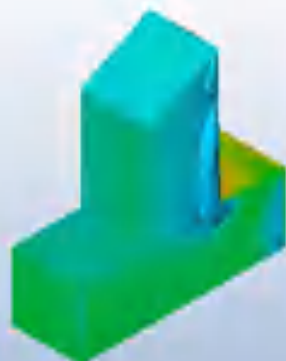
Hipótese 4: Torre de vento com coberta inclinada com 9m



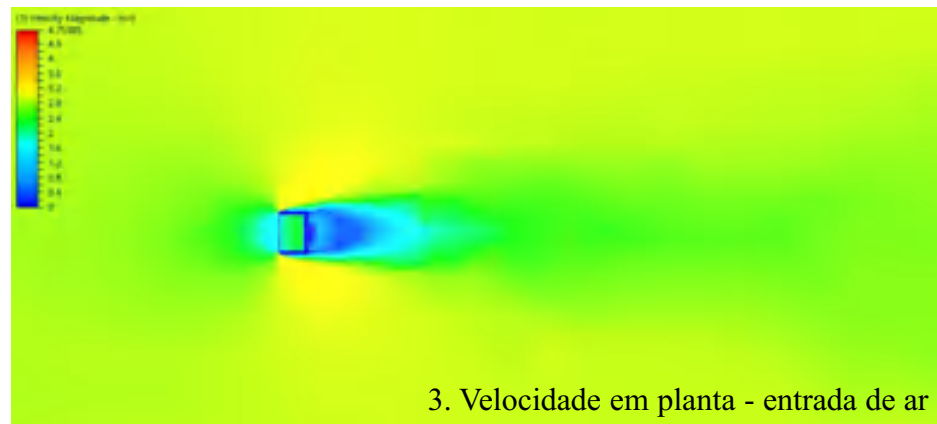
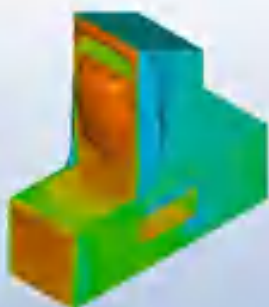
1. Coeficiente de pressão



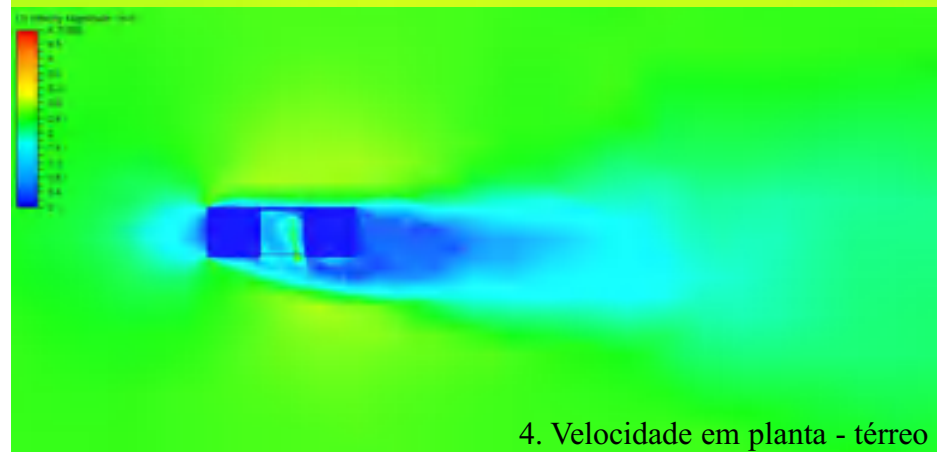
1. Coeficiente de pressão



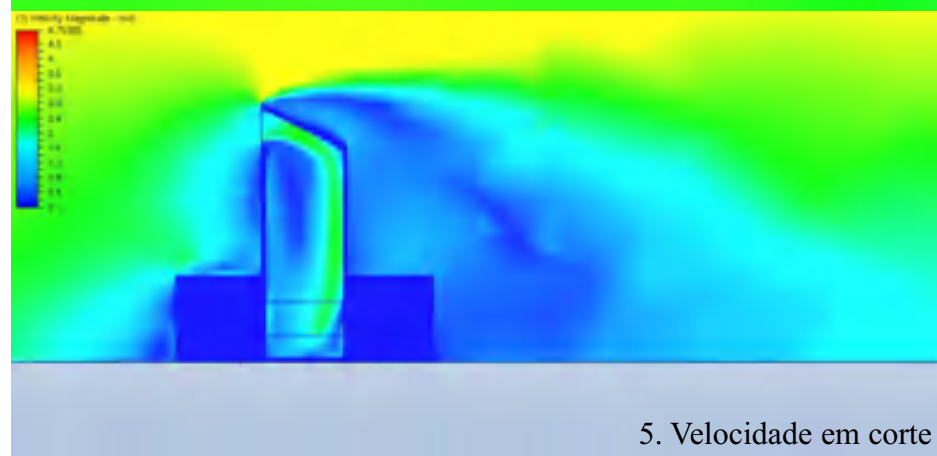
2. Superfícies de pressão



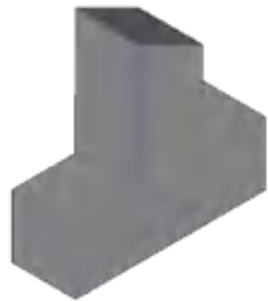
3. Velocidade em planta - entrada de ar



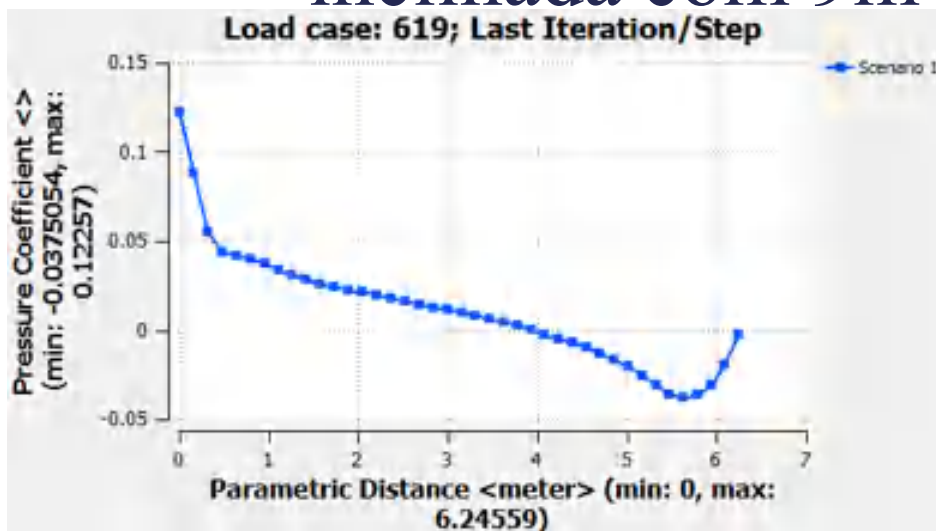
4. Velocidade em planta - térreo



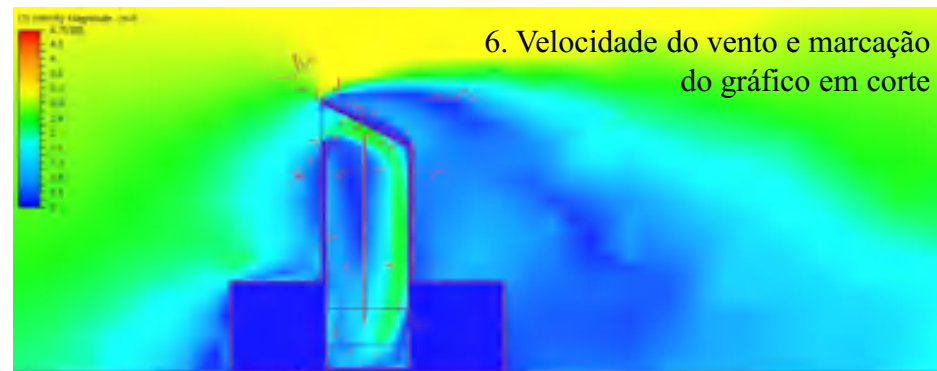
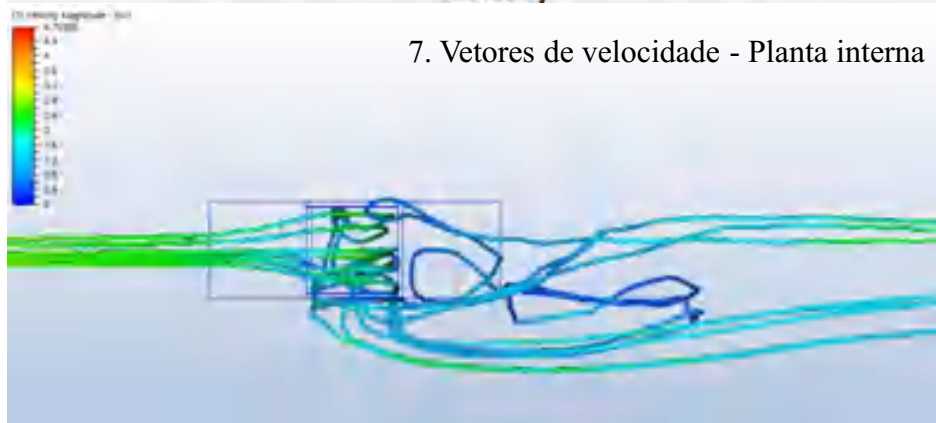
5. Velocidade em corte



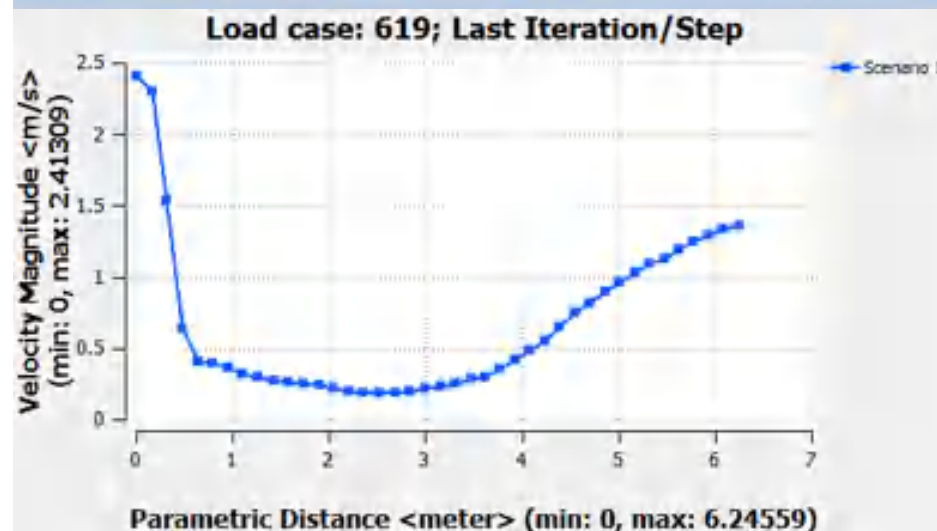
Hipótese 4: Torre de vento com cobertura inclinada com 9m



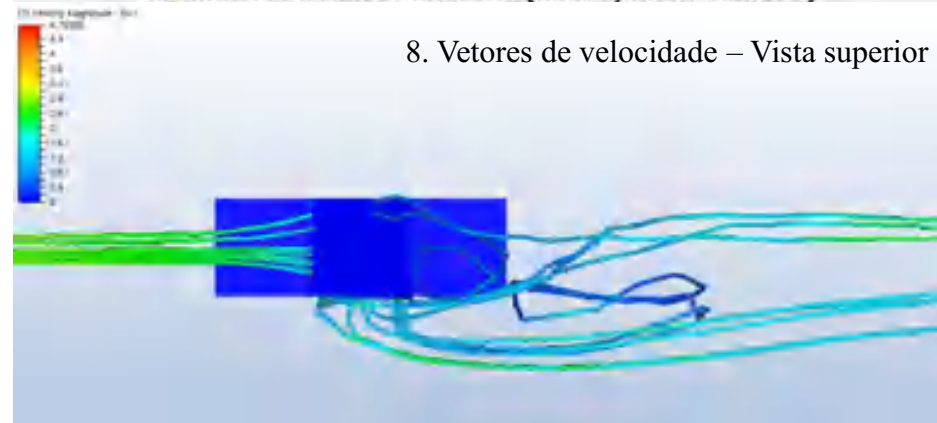
7. Vetores de velocidade - Planta interna



6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte

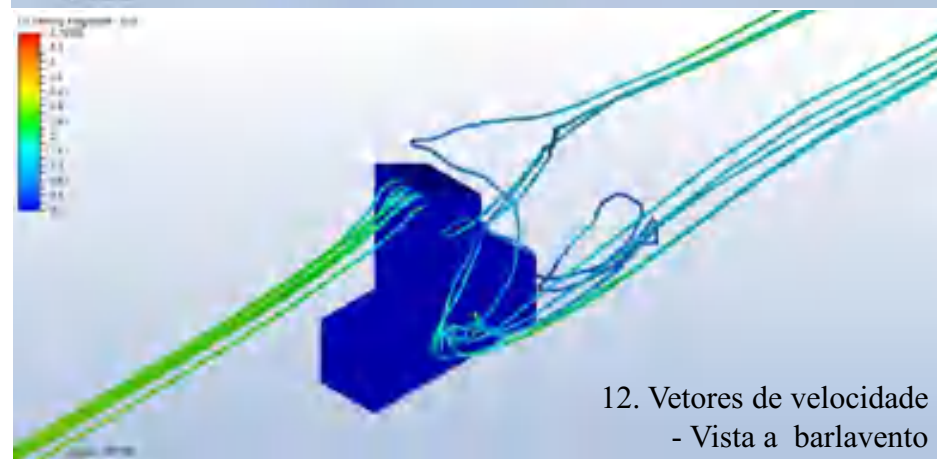
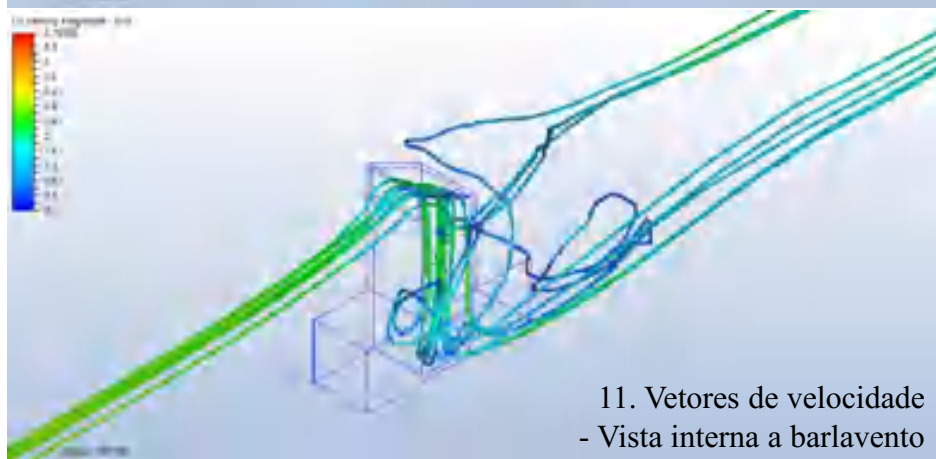
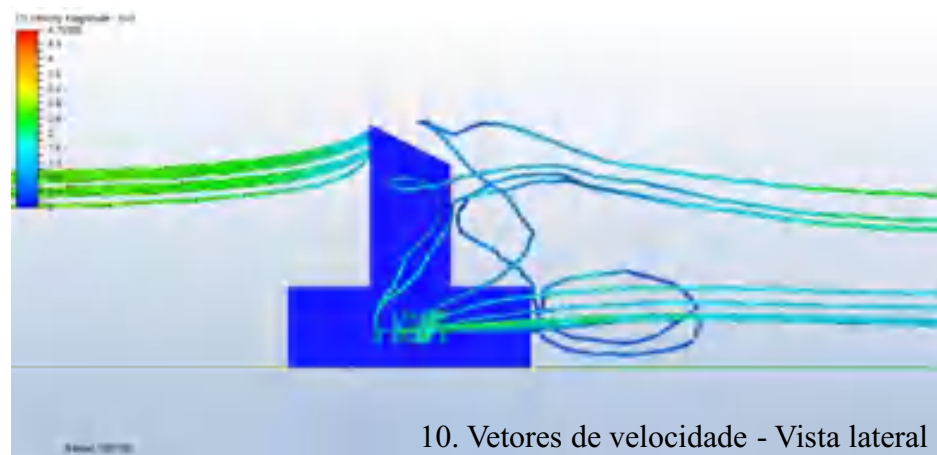
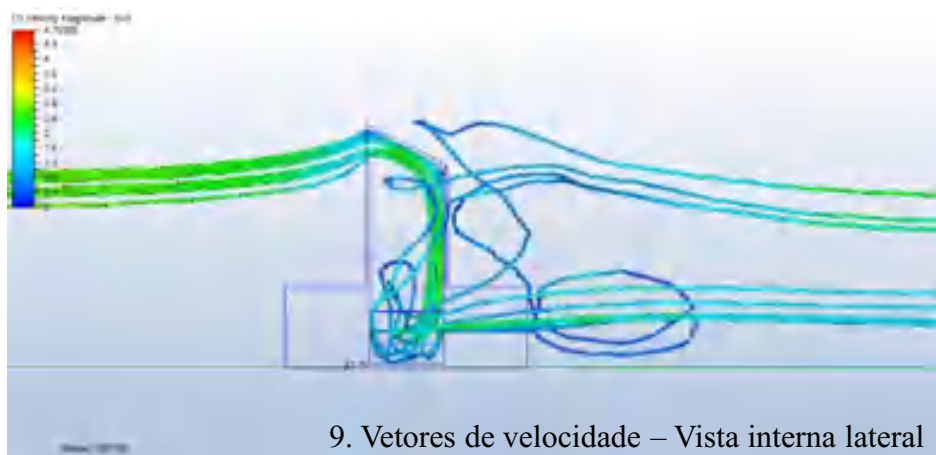


8. Vetores de velocidade - Vista superior



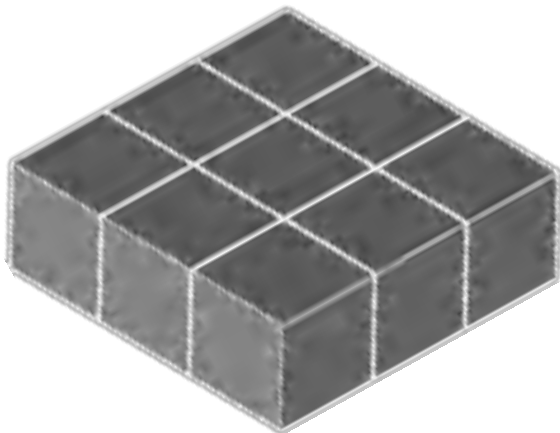


Hipótese 4: Torre de vento com coberta inclinada com 9m



FACES A 90° - POSITIVA

M25:l:PL



Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais

Hipótese 2: Torre de vento com janela de canto e lateral

Hipótese 3: Torre de vento com janelas de canto

Hipótese 4: Abertura zenital

Hipótese 5: Anteparo com 2m



Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais

1) Pressure Coefficient

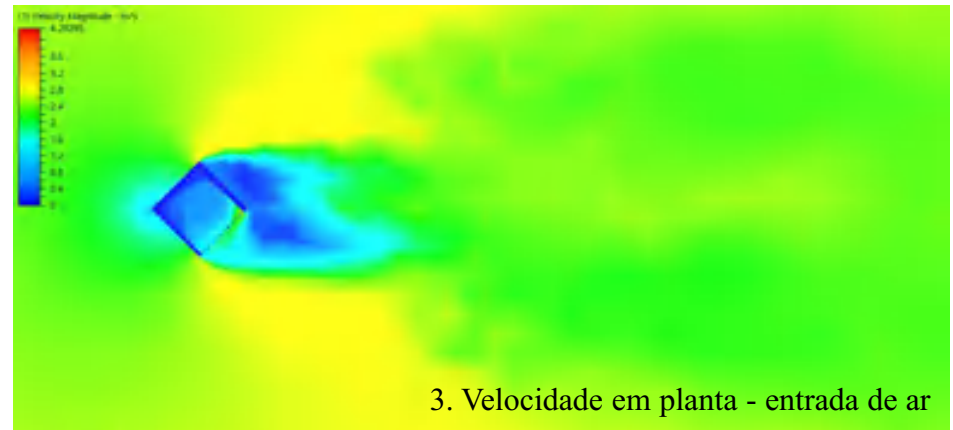


1. Coeficiente de pressão

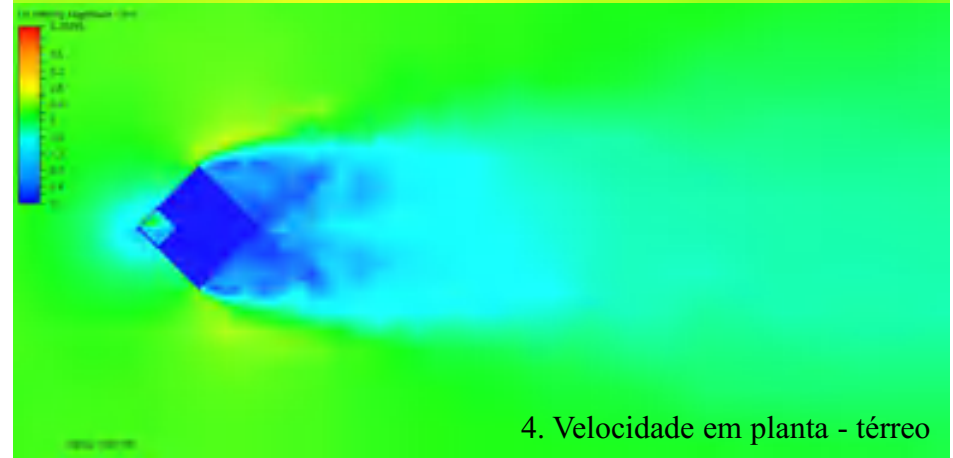
2) Pressure Surfaces



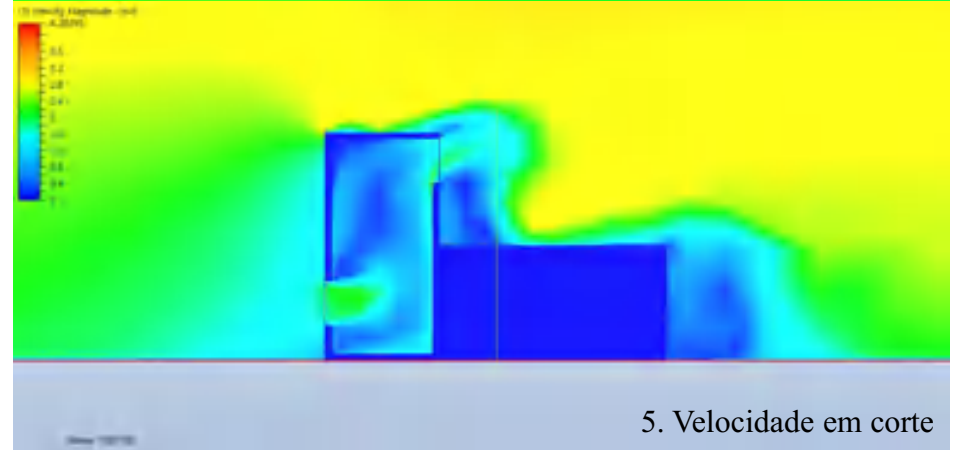
2. Superfícies de pressão



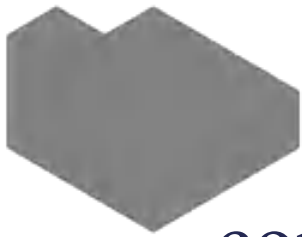
3. Velocidade em planta - entrada de ar



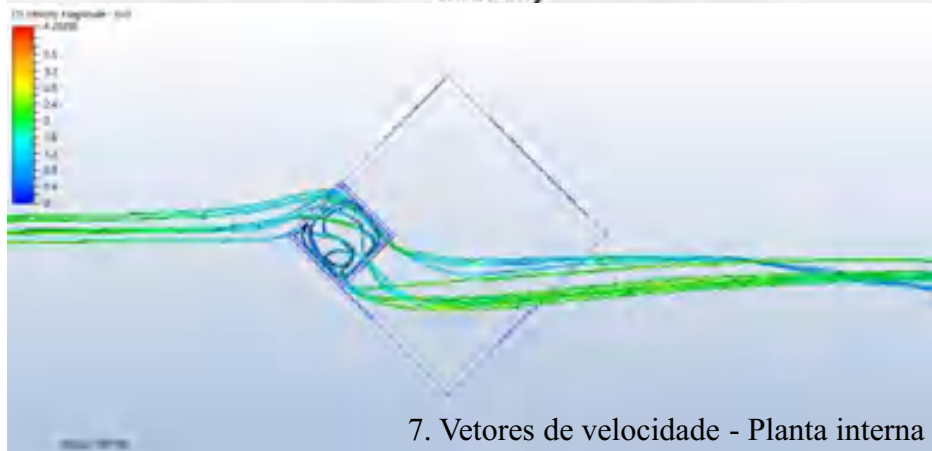
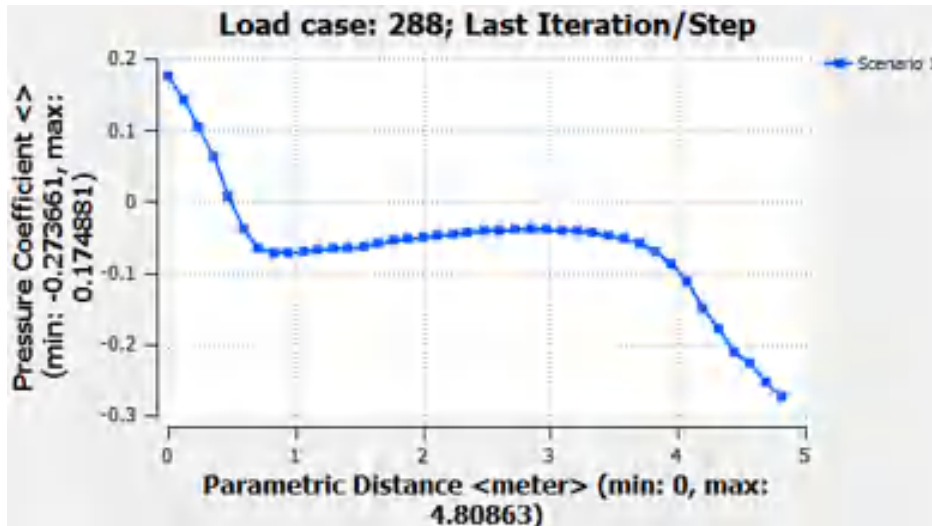
4. Velocidade em planta - térreo



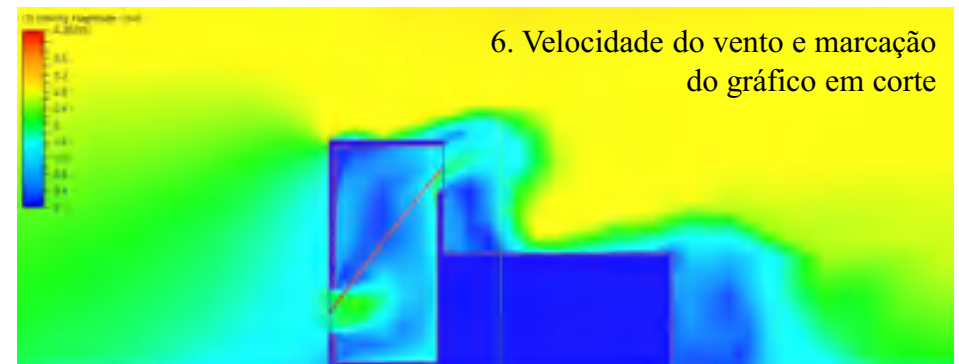
5. Velocidade em corte



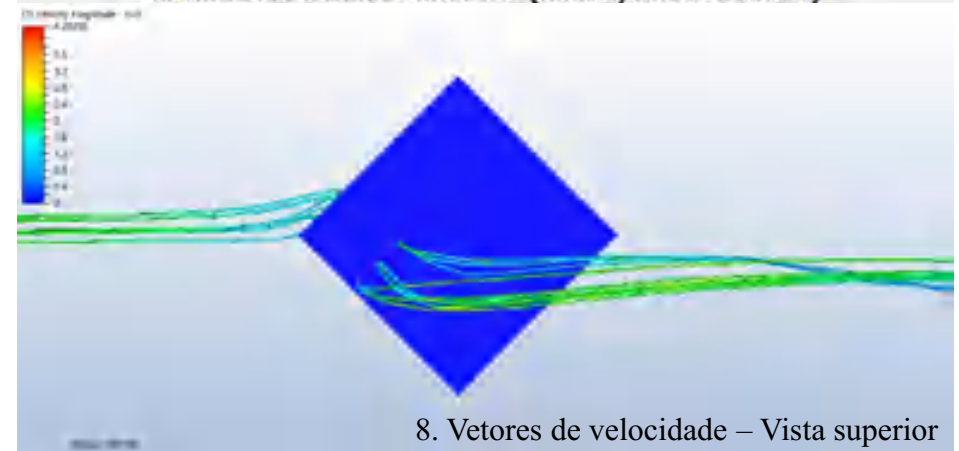
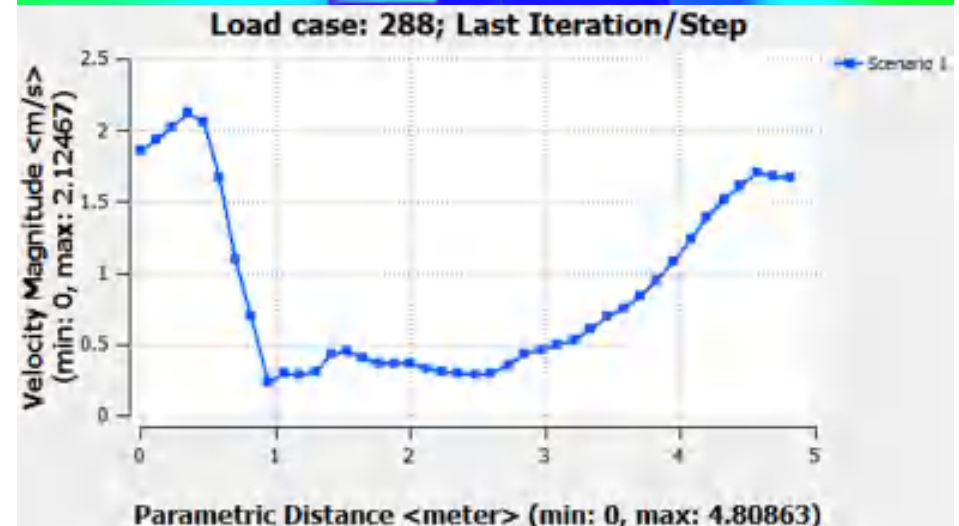
Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais



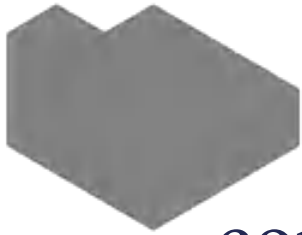
7. Vetores de velocidade - Planta interna



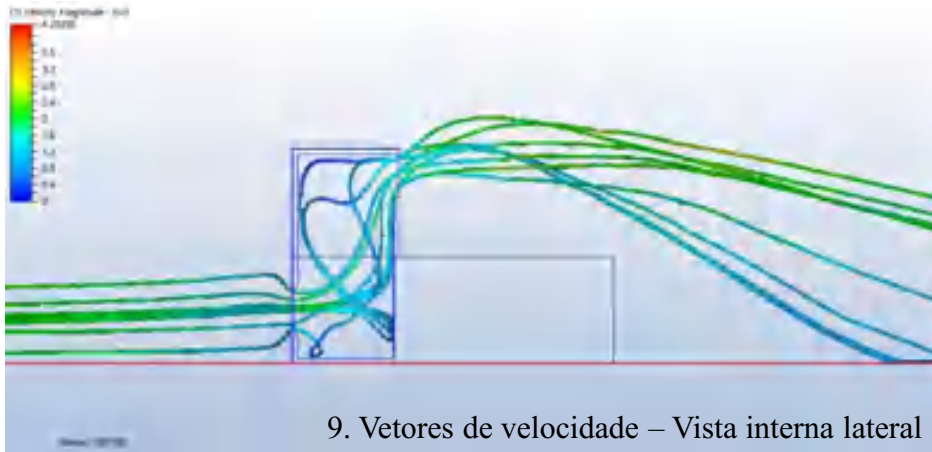
6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



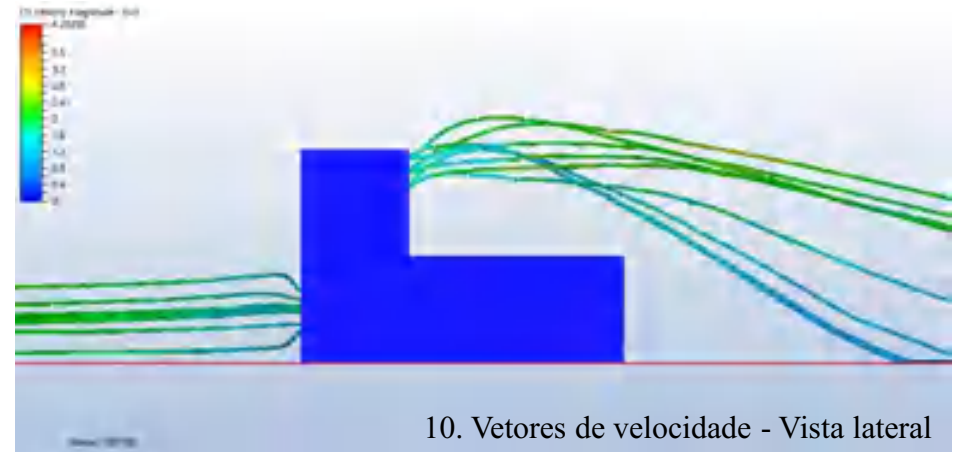
8. Vetores de velocidade – Vista superior



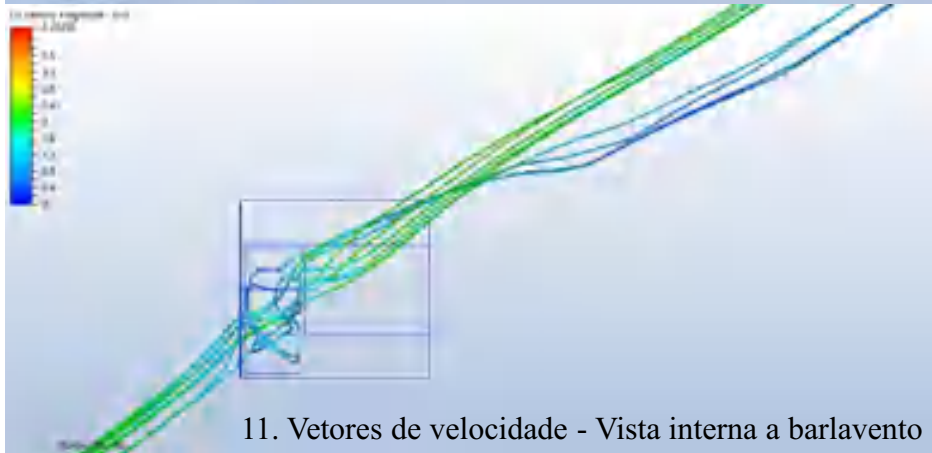
Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais



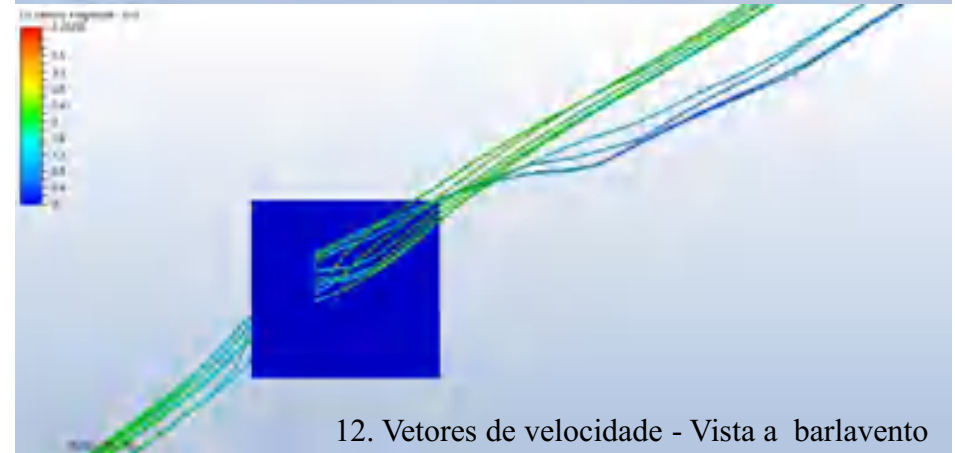
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



10. Vetores de velocidade - Vista lateral

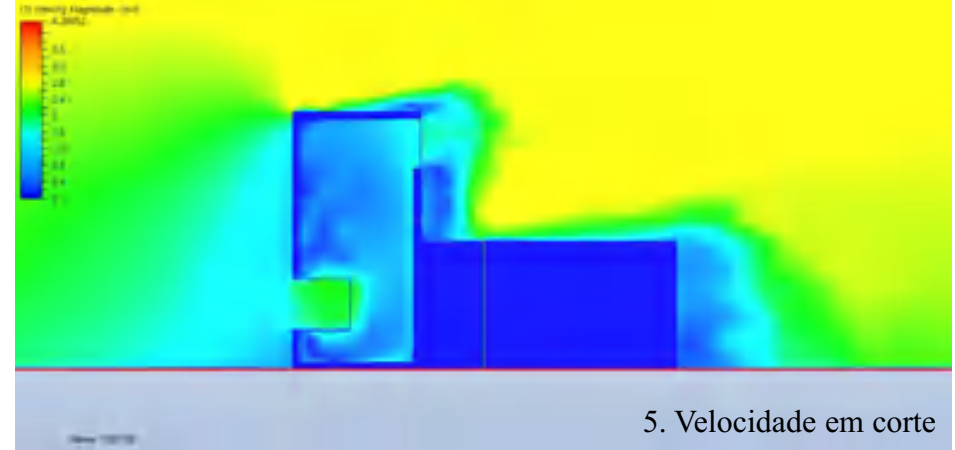
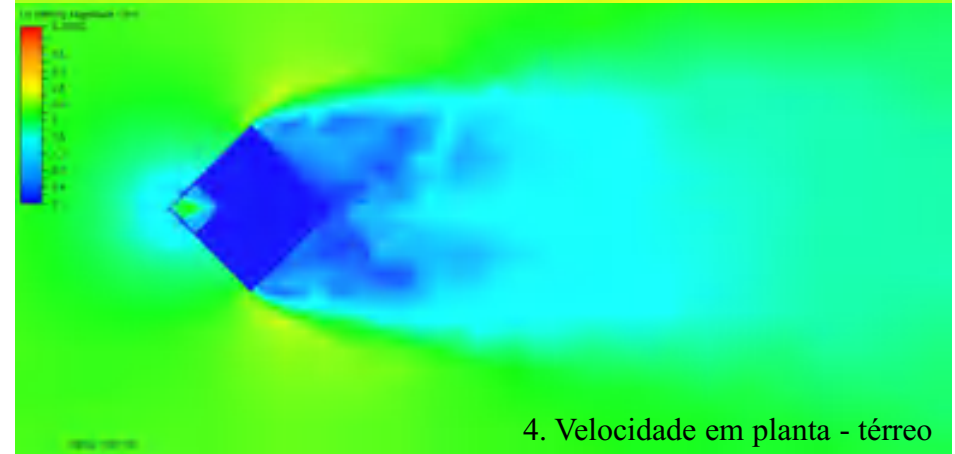
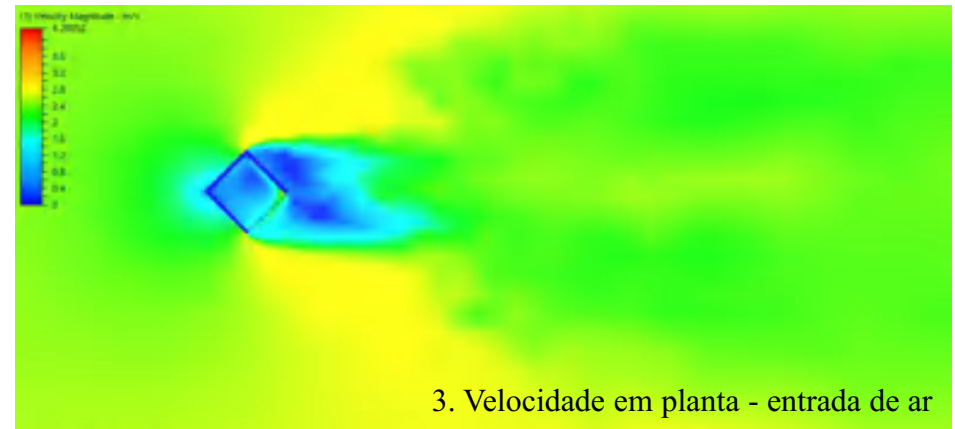
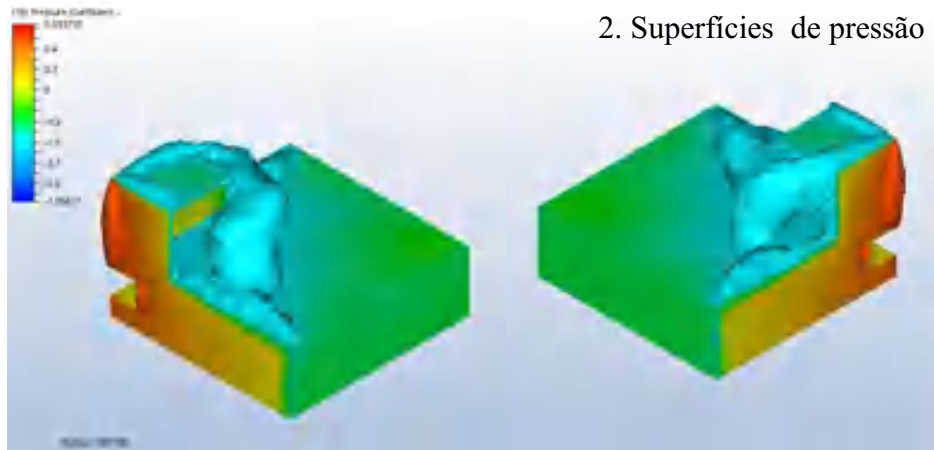
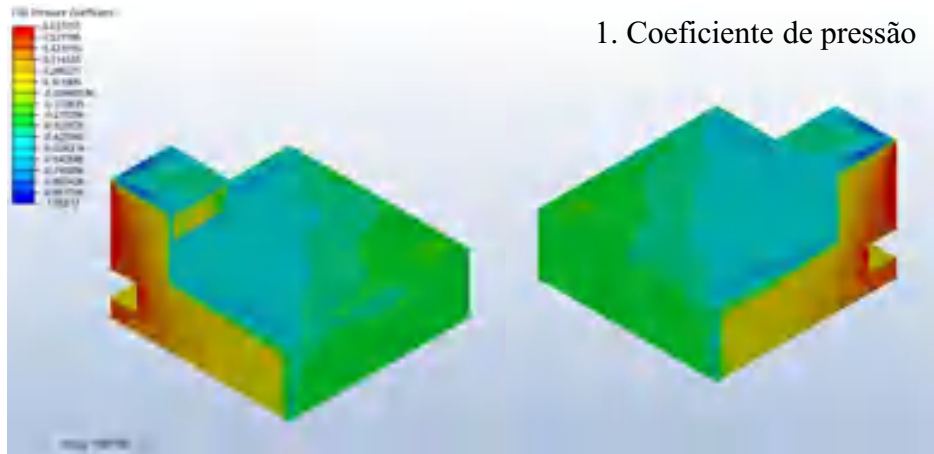
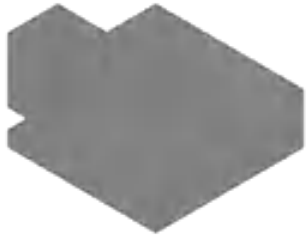


11. Vetores de velocidade - Vista interna a barlavento



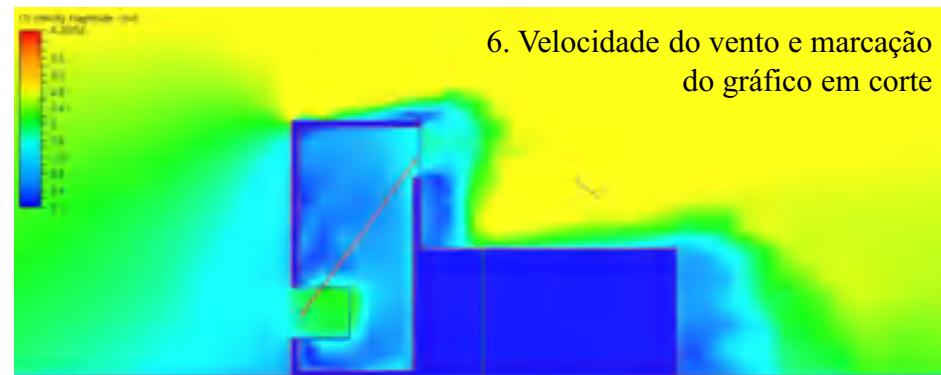
12. Vetores de velocidade - Vista a barlavento

Hipótese 2: Torre de vento com janela de canto e lateral

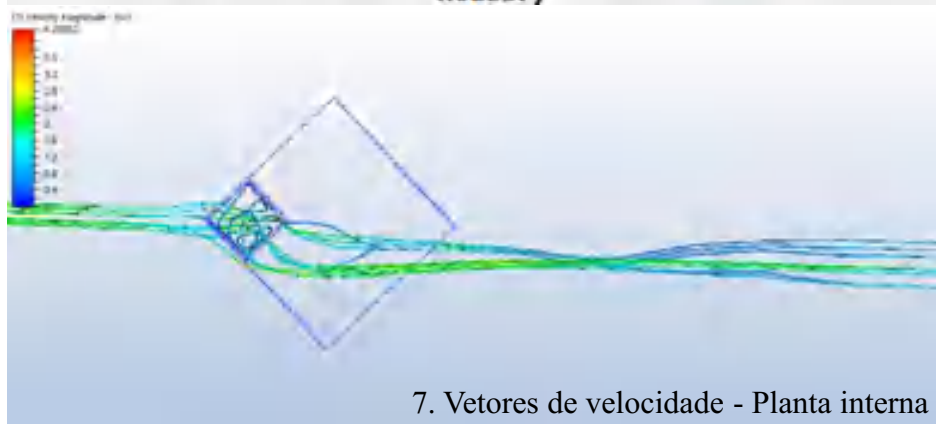
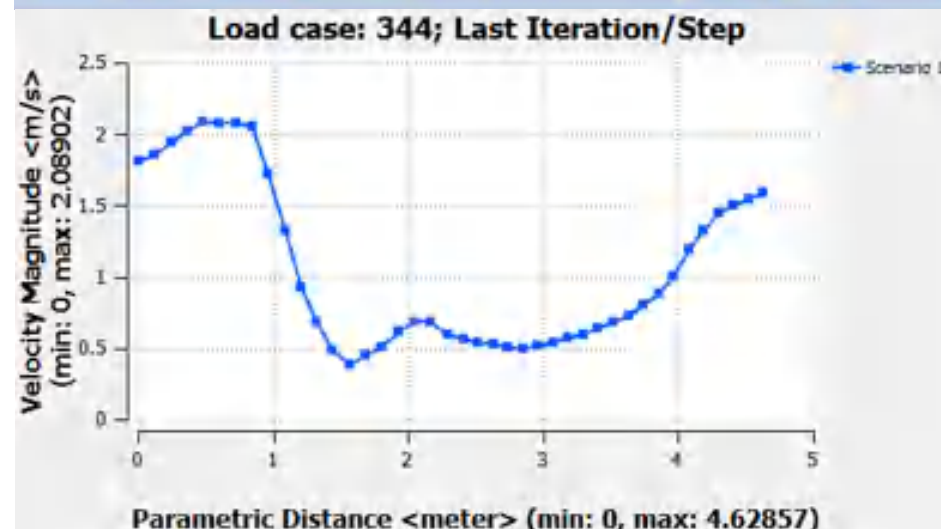
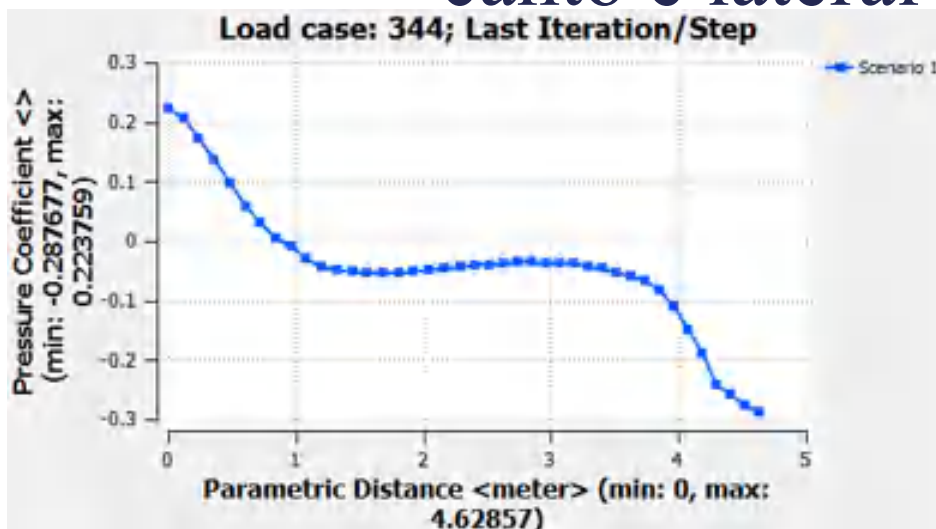




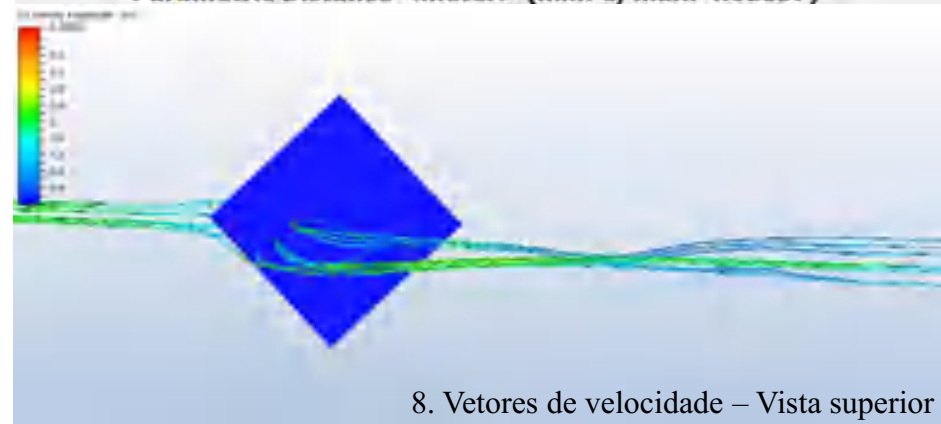
Hipótese 2: Torre de vento com janela de canto e lateral



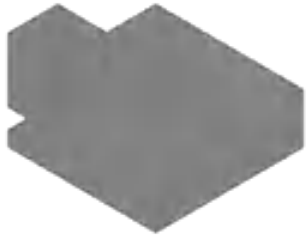
6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



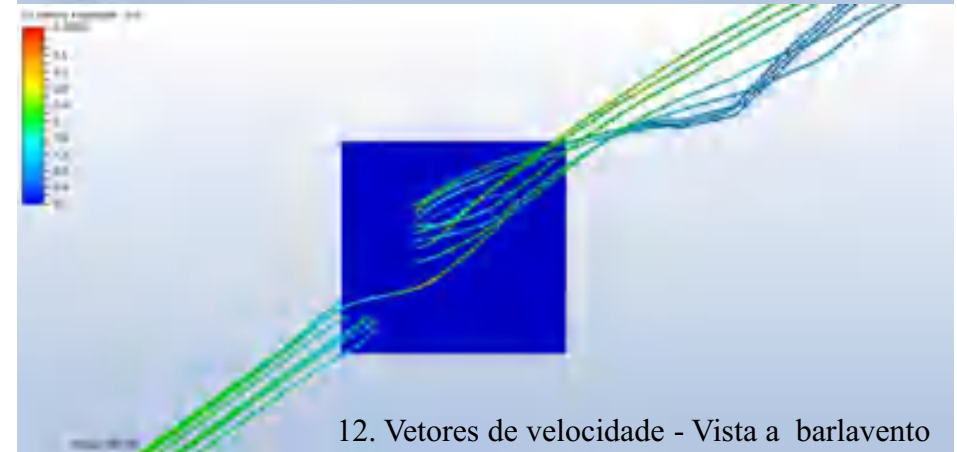
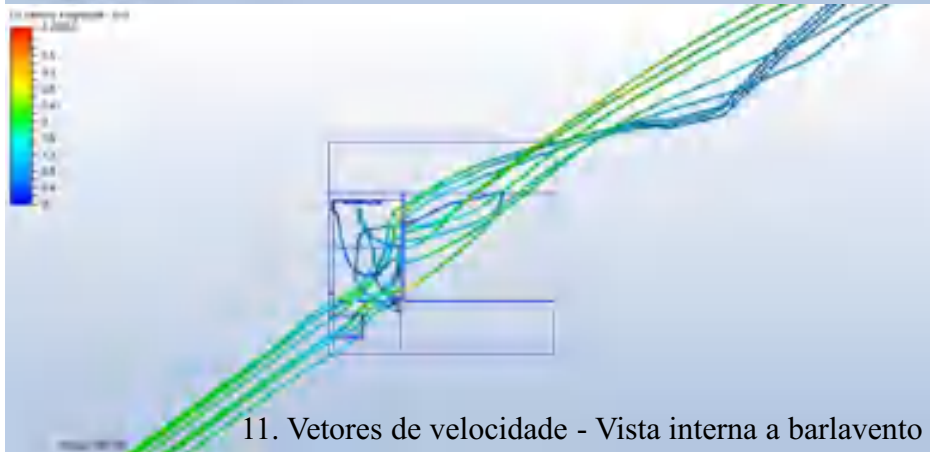
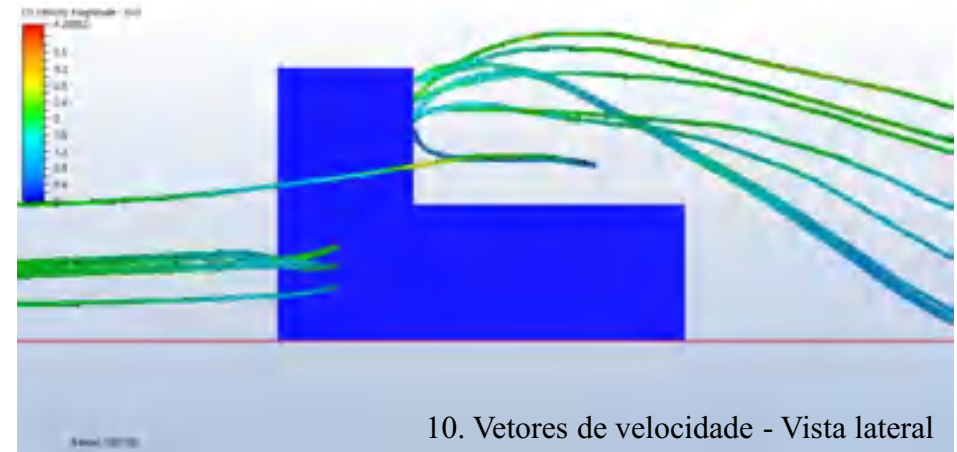
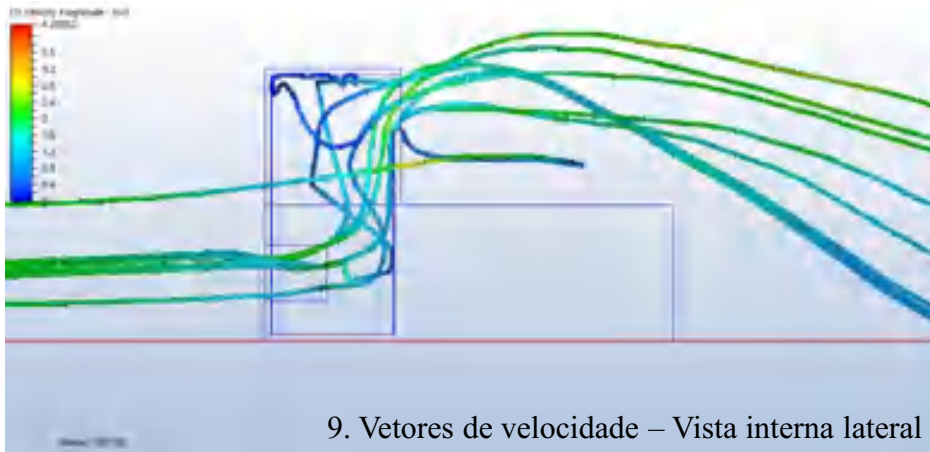
7. Vetores de velocidade - Planta interna

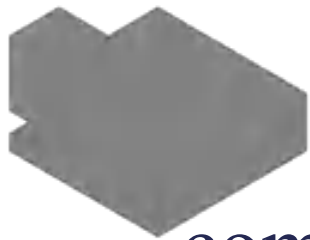


8. Vetores de velocidade – Vista superior

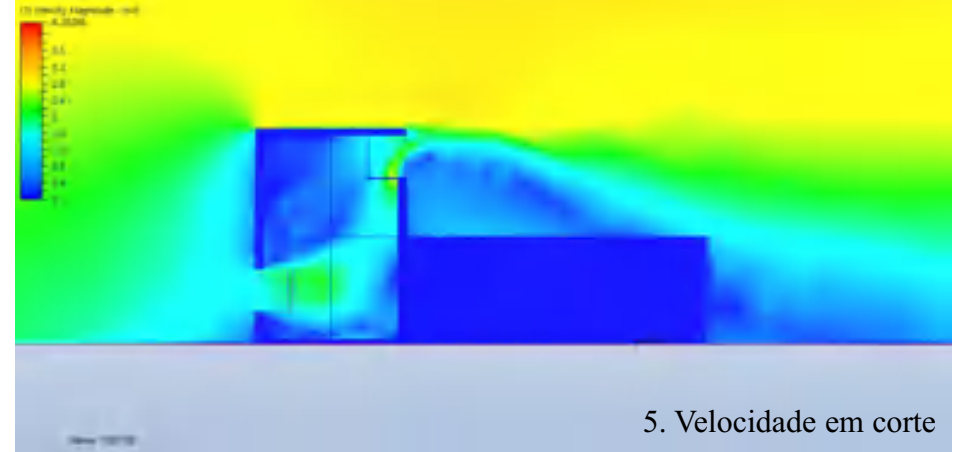
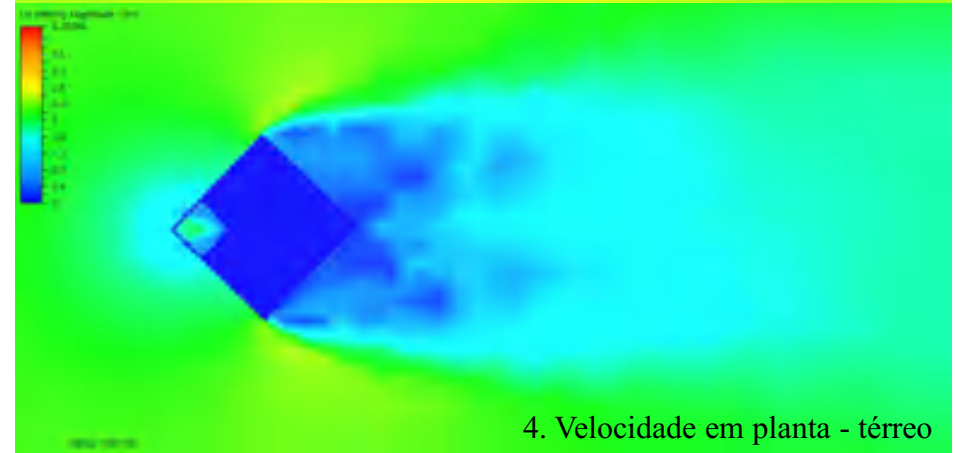
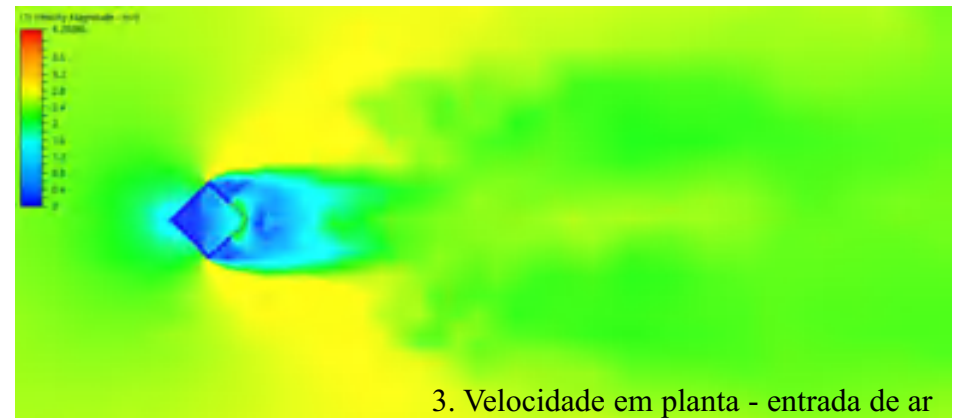
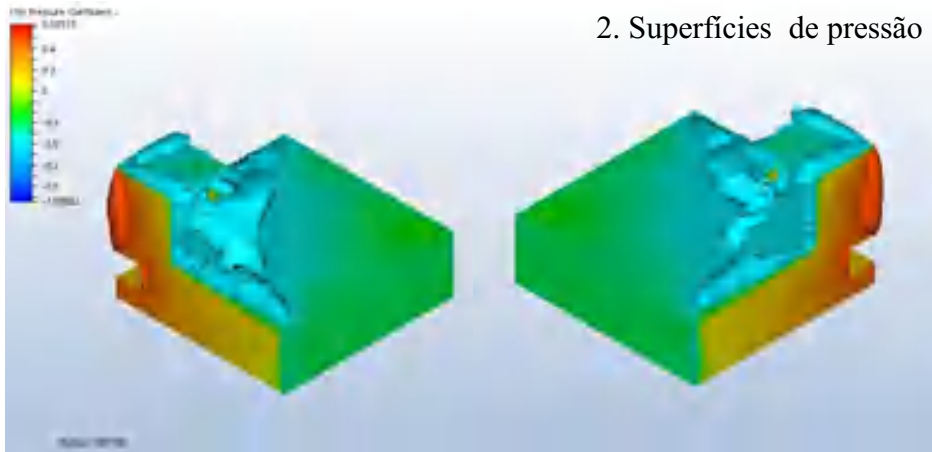
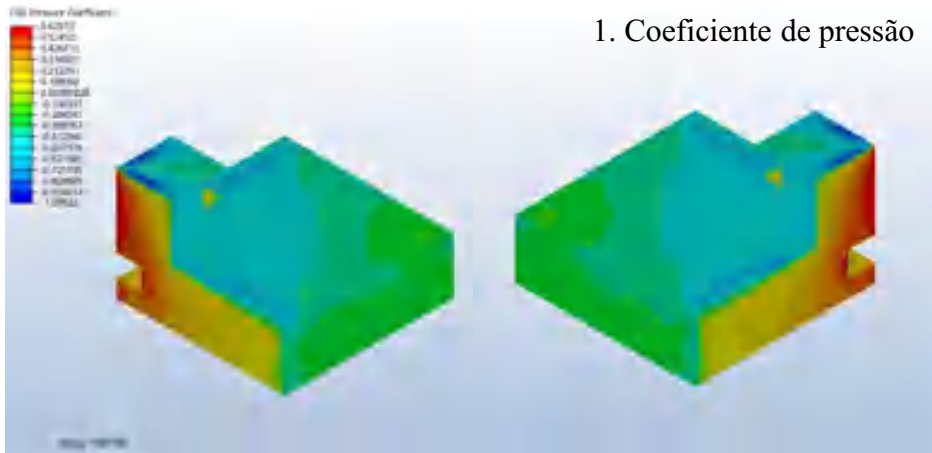


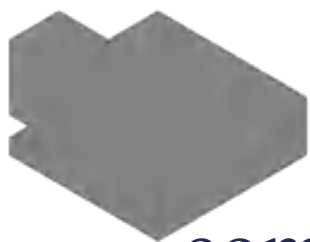
Hipótese 2: Torre de vento com janela de canto e lateral



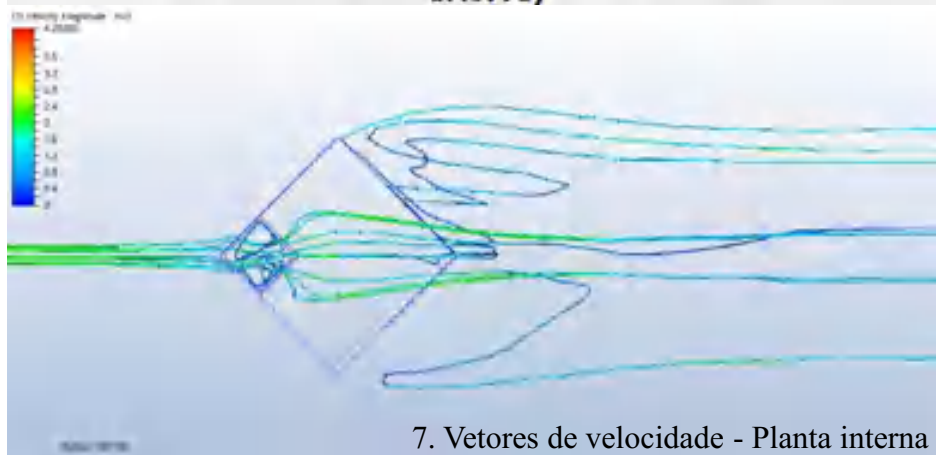
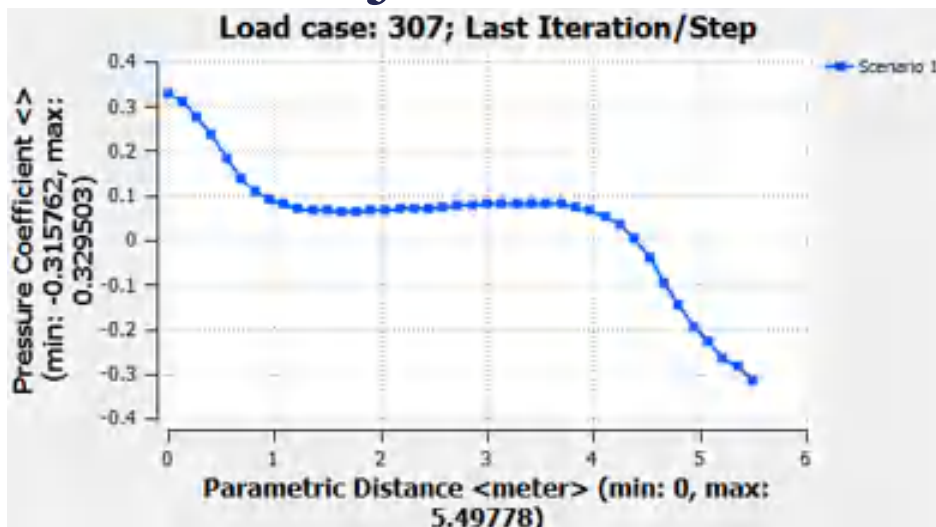


Hipótese 3: Torre de vento com janelas de canto

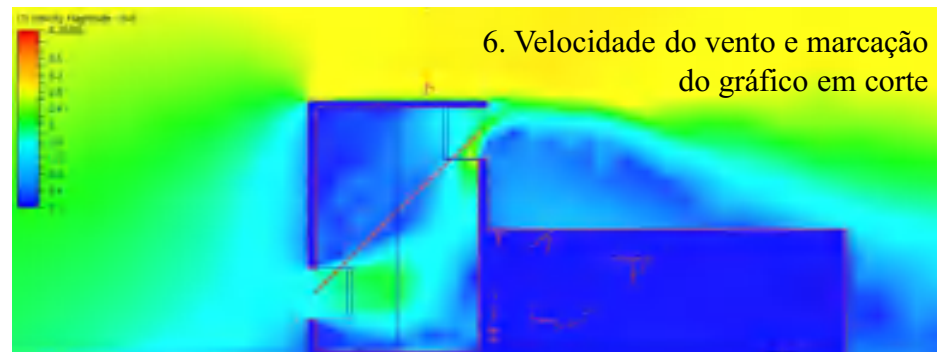




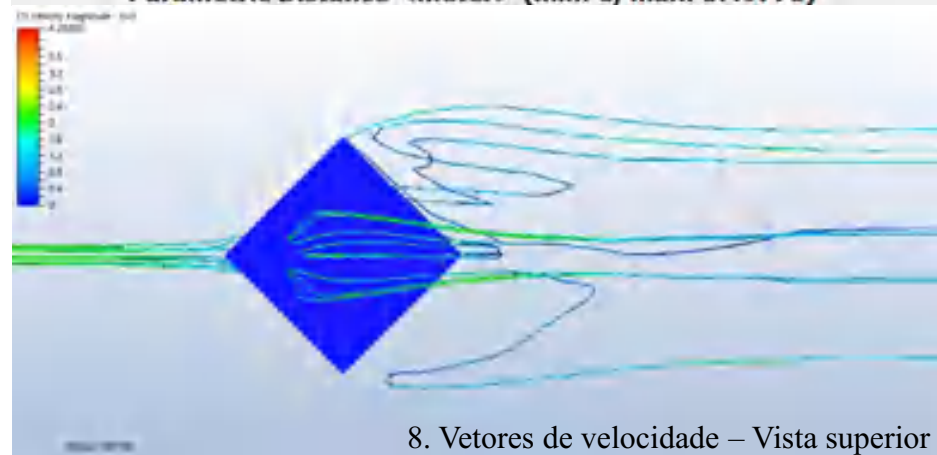
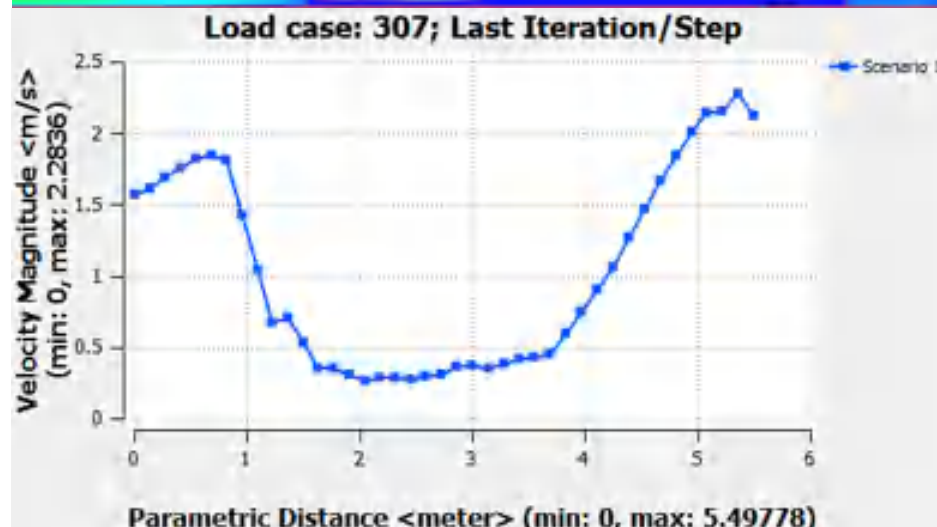
Hipótese 3: Torre de vento com janelas de canto



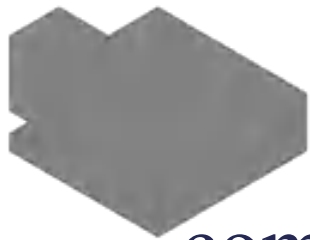
7. Vetores de velocidade - Planta interna



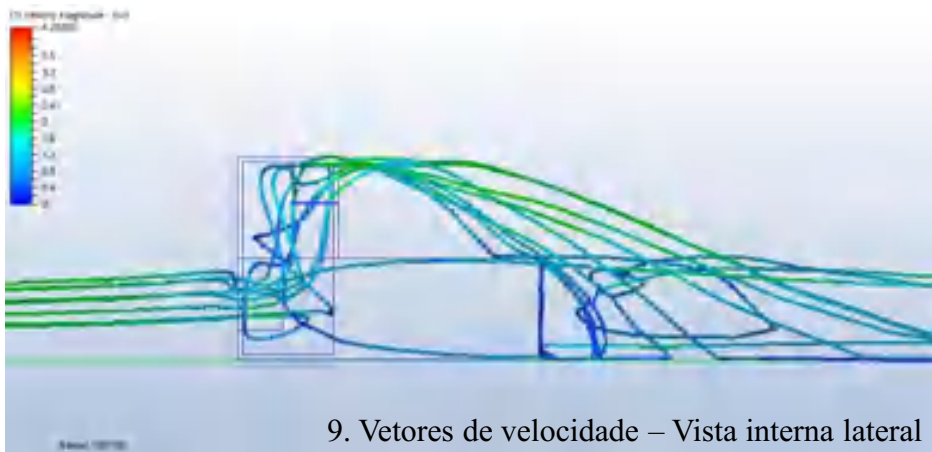
6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



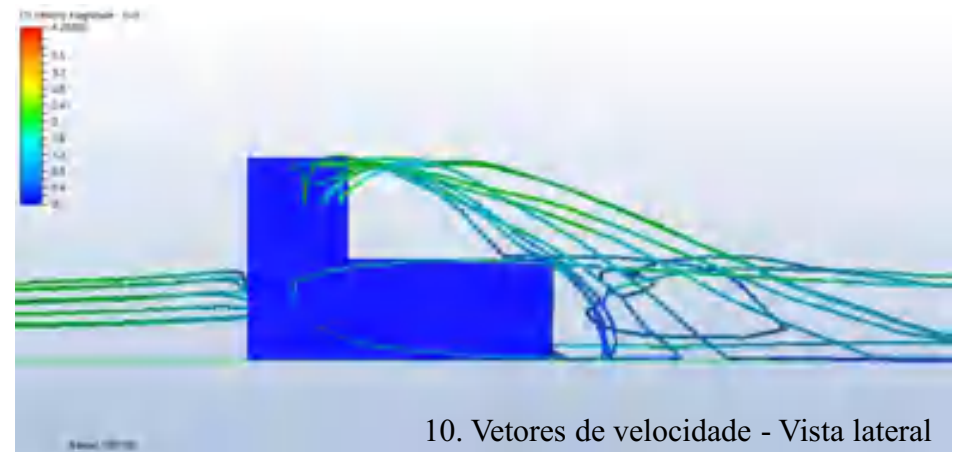
8. Vetores de velocidade – Vista superior



Hipótese 3: Torre de vento com janelas de canto



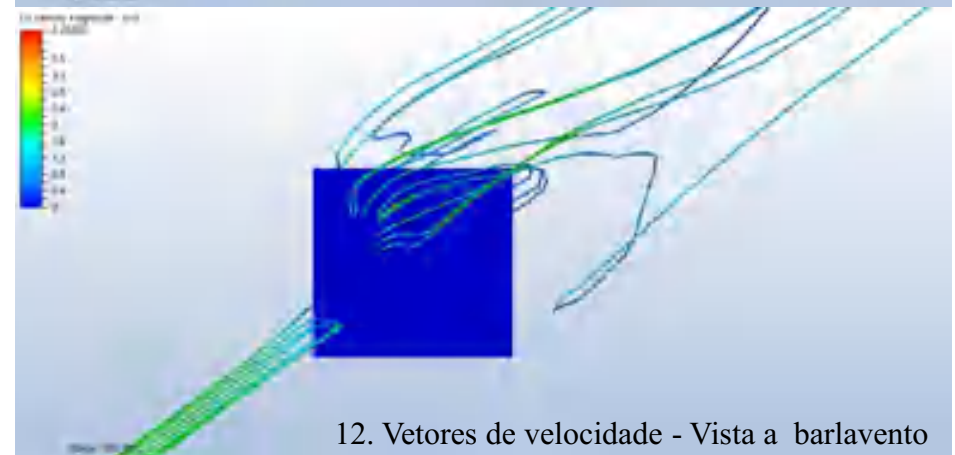
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



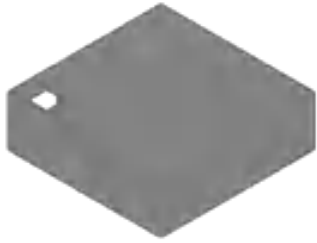
10. Vetores de velocidade - Vista lateral



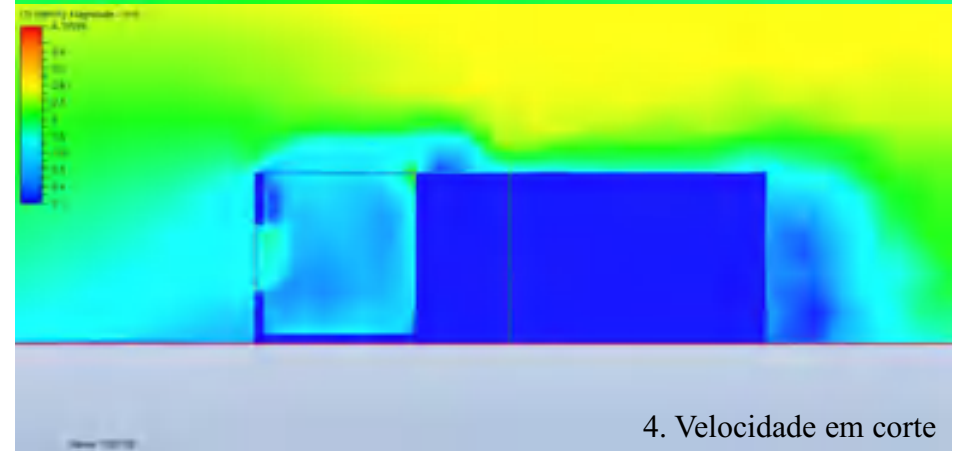
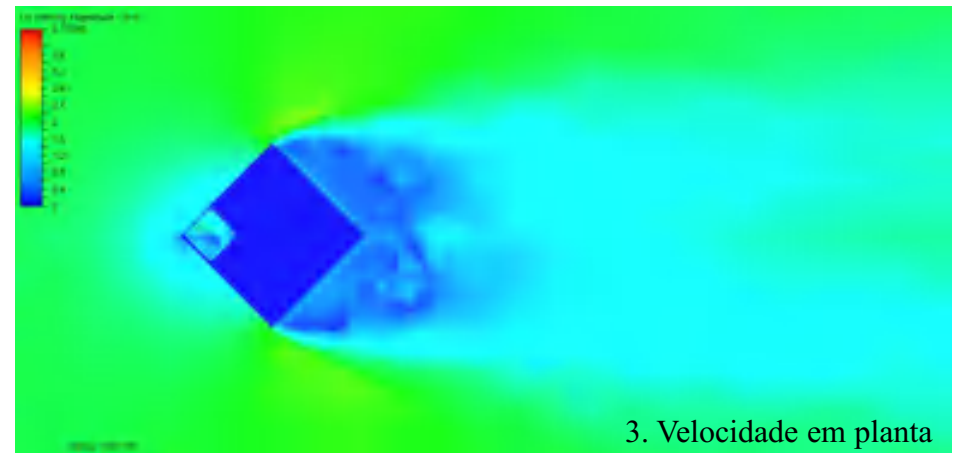
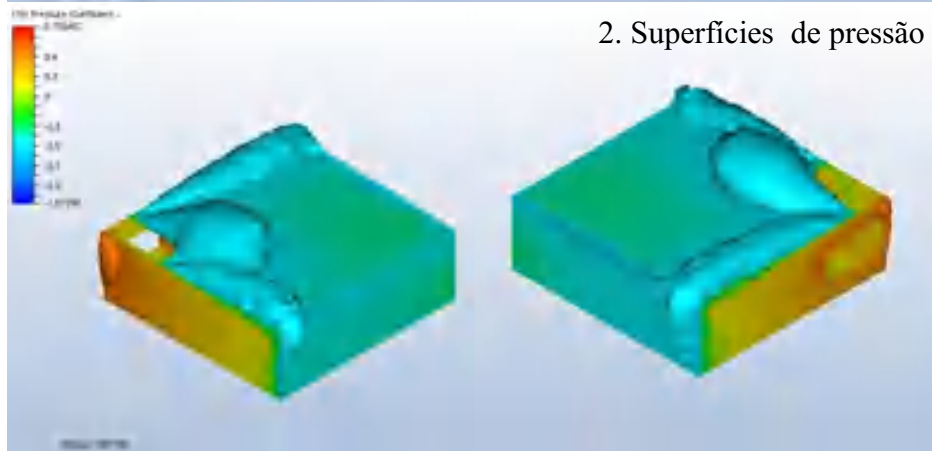
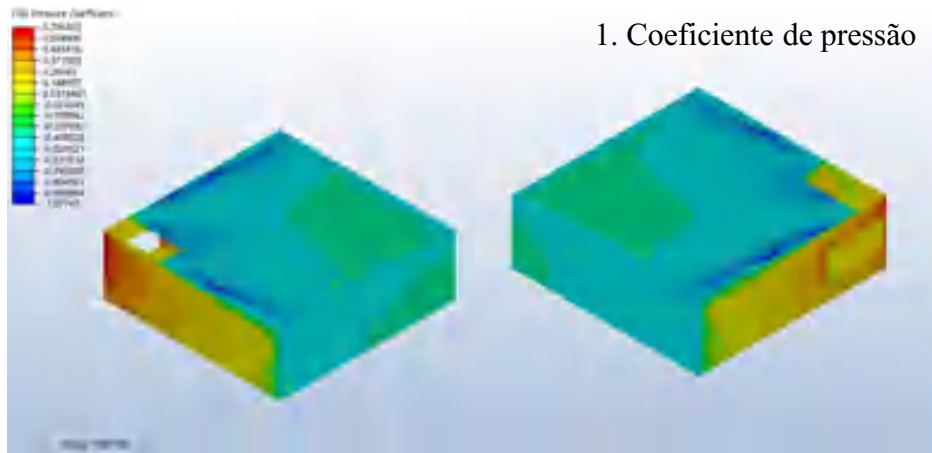
11. Vetores de velocidade - Vista interna a barlavento

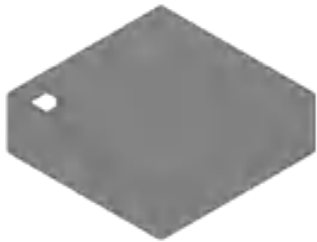


12. Vetores de velocidade - Vista a barlavento

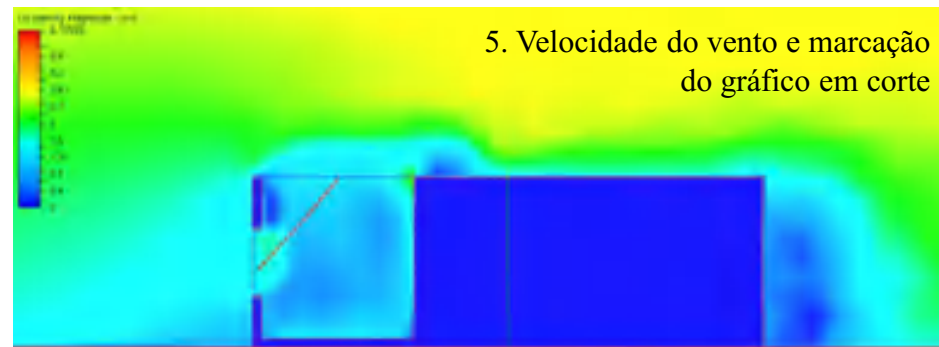


Hipótese 4: Abertura zenital

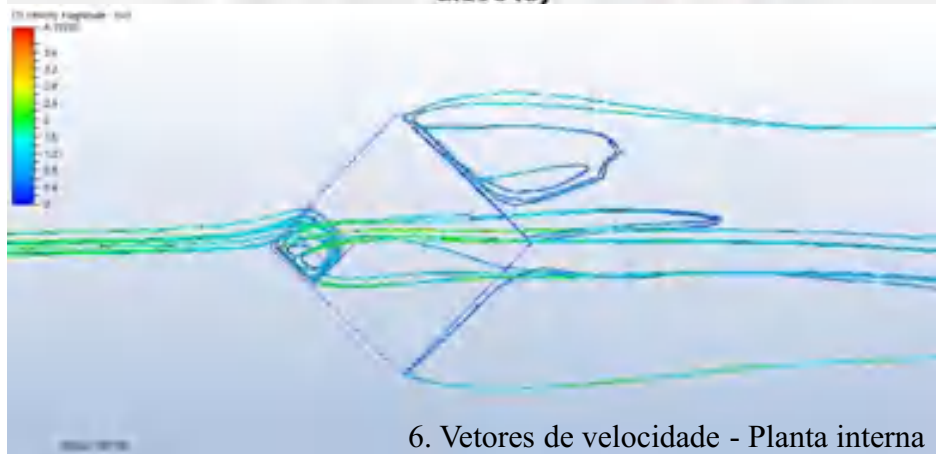
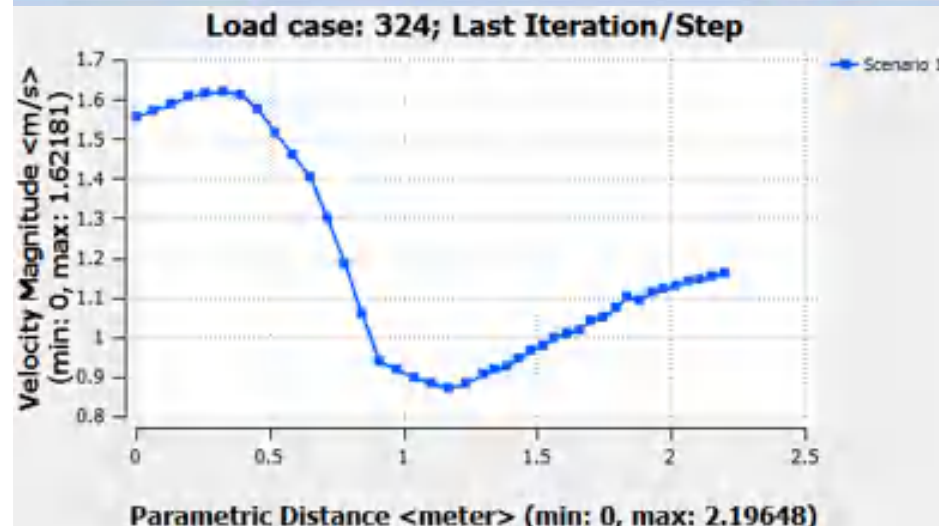
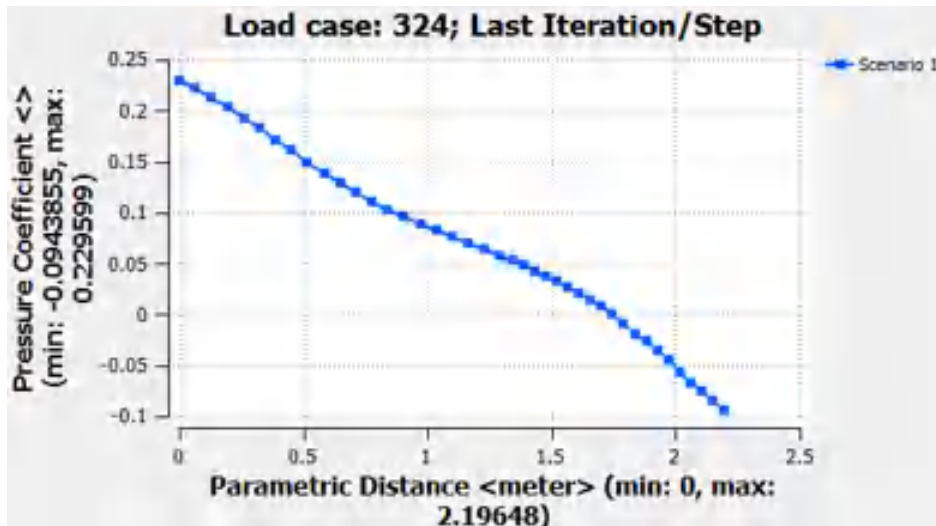




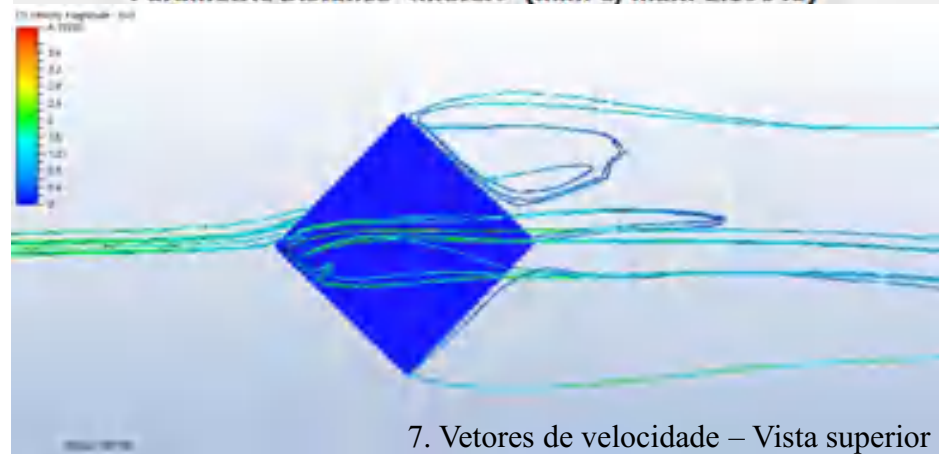
Hipótese 4: Abertura zenital



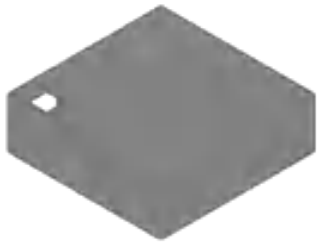
5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



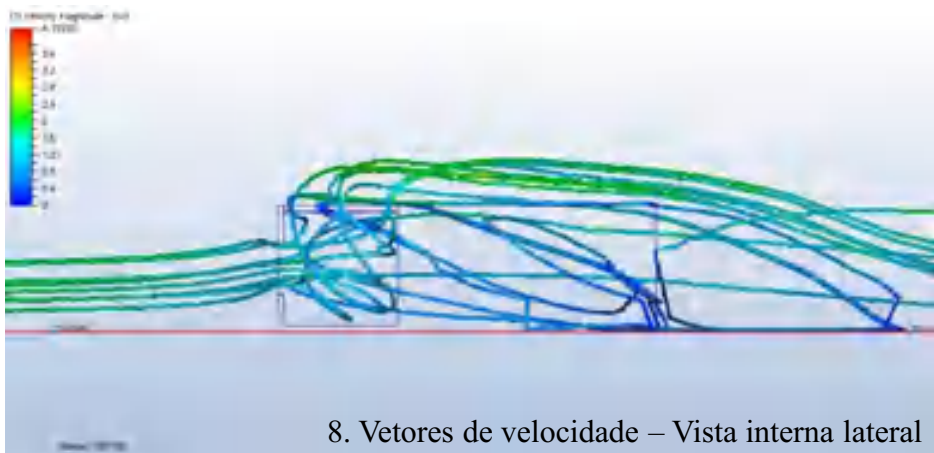
6. Vetores de velocidade - Planta interna



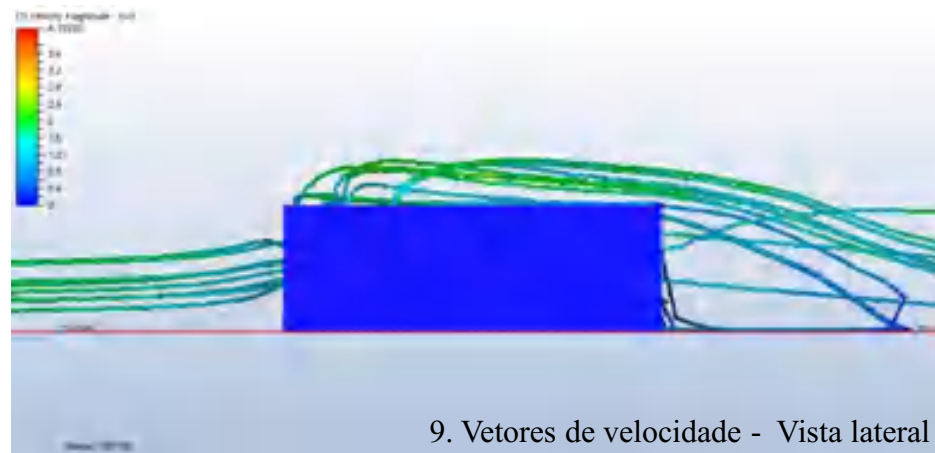
7. Vetores de velocidade – Vista superior



Hipótese 4: Abertura zenital



8. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



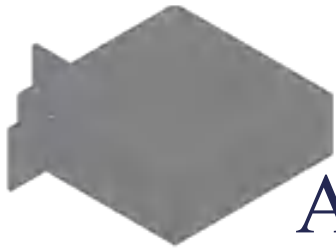
9. Vetores de velocidade - Vista lateral



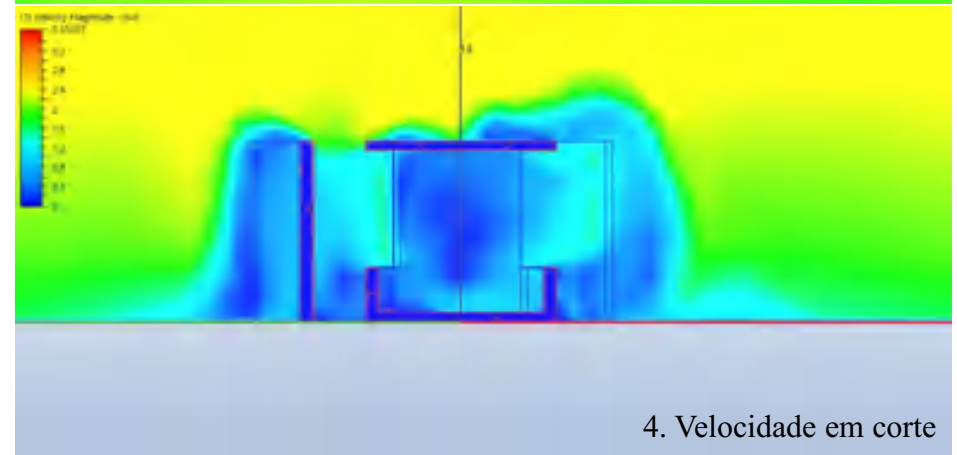
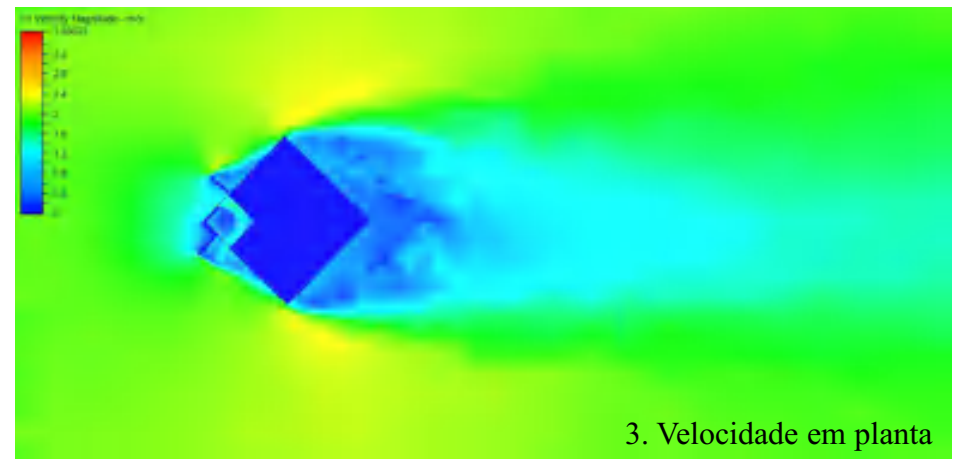
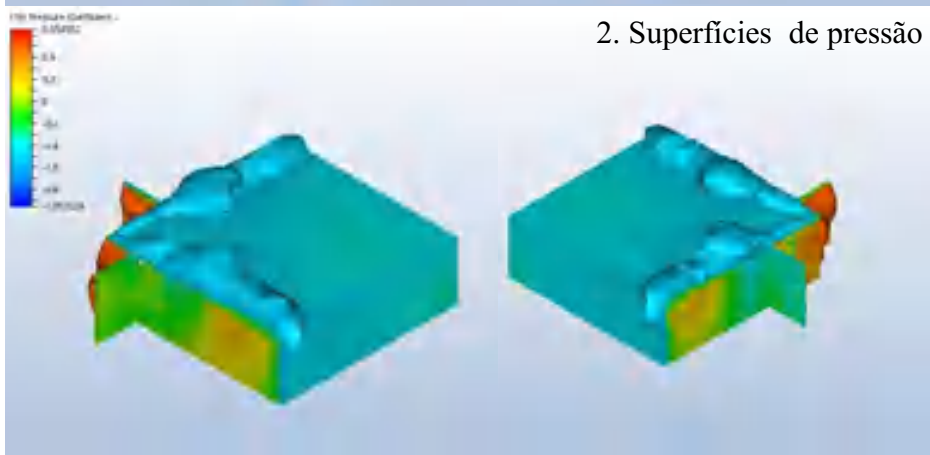
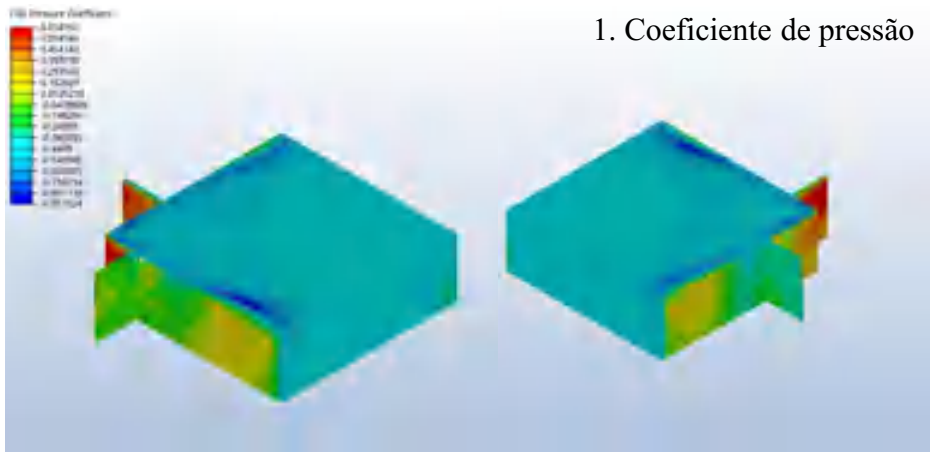
10. Vetores de velocidade – Vista interna a barlavento

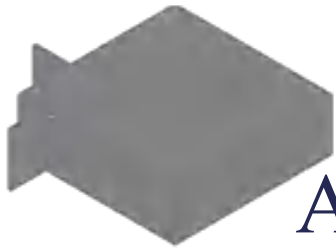


11. Vetores de velocidade - Vista a barlavento

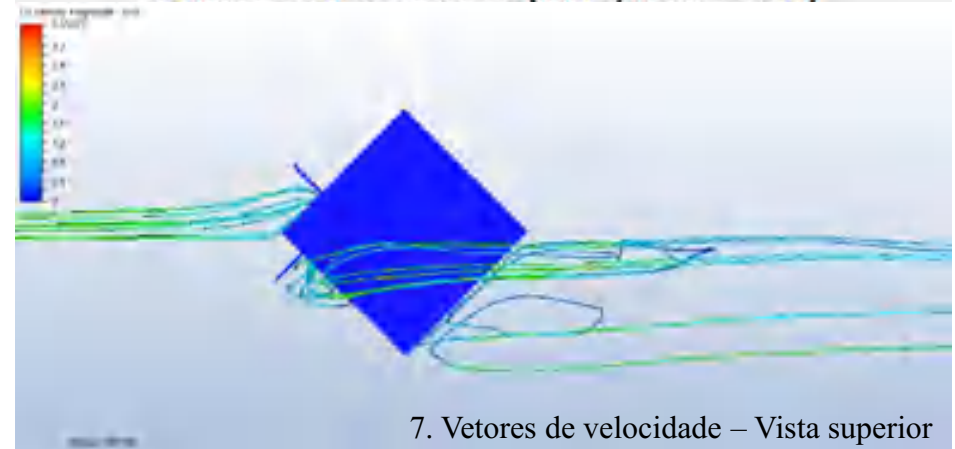
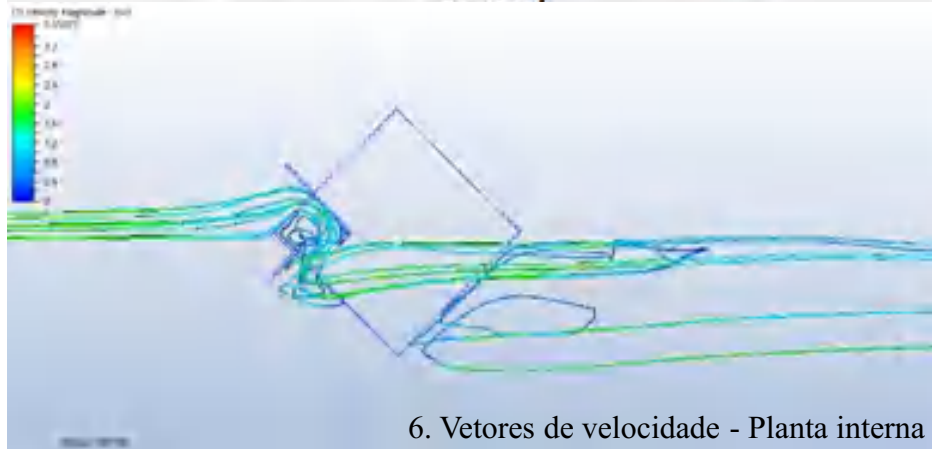
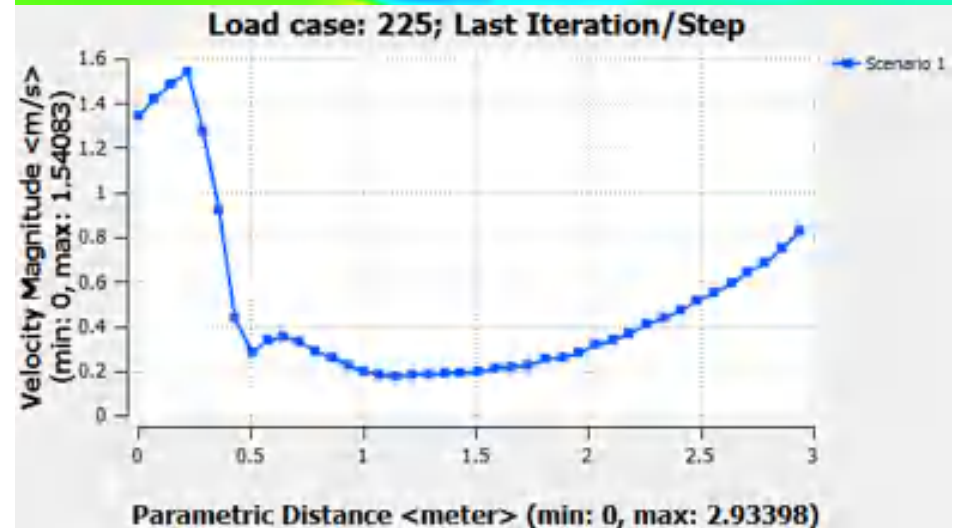
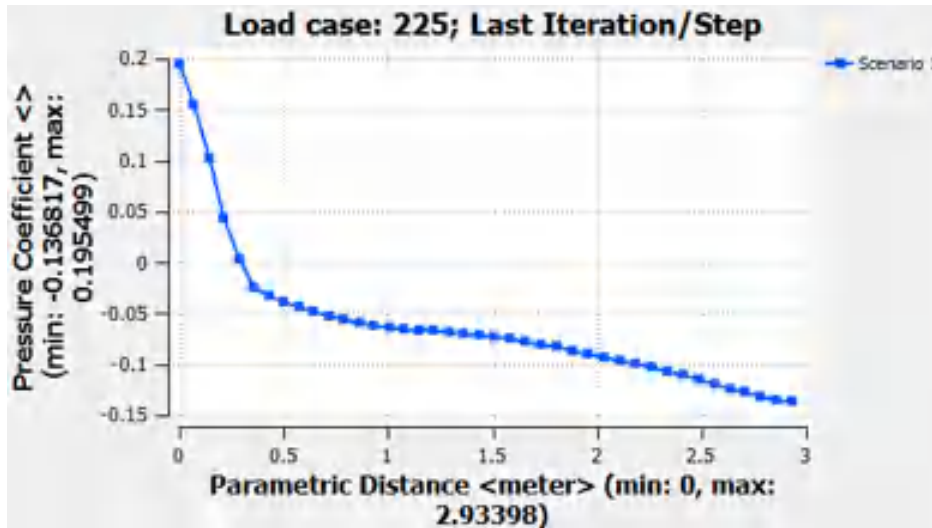
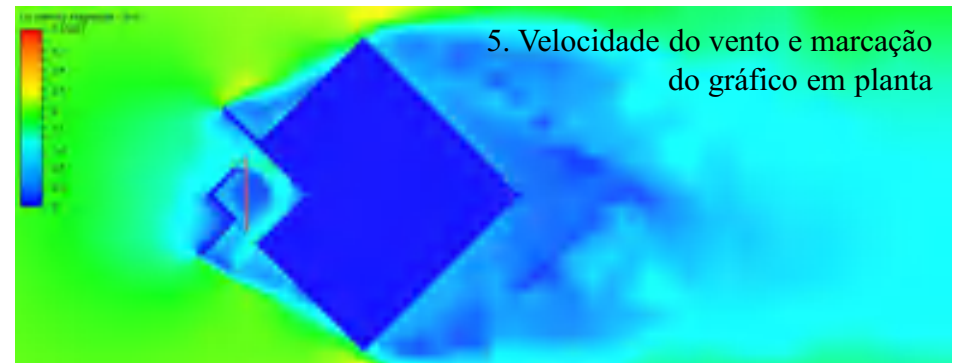


Hipótese 5: Anteparo com 2m



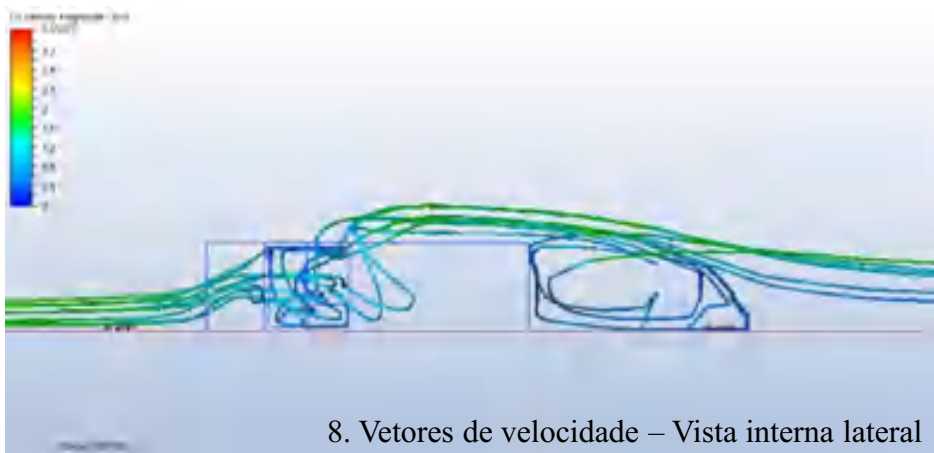


Hipótese 5: Anteparo com 2m

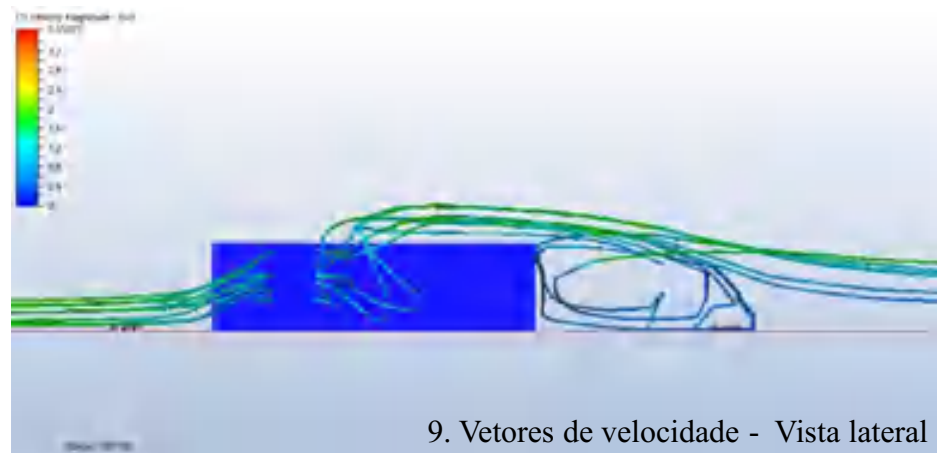




Hipótese 5: Anteparo com 2m



8. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



9. Vetores de velocidade - Vista lateral



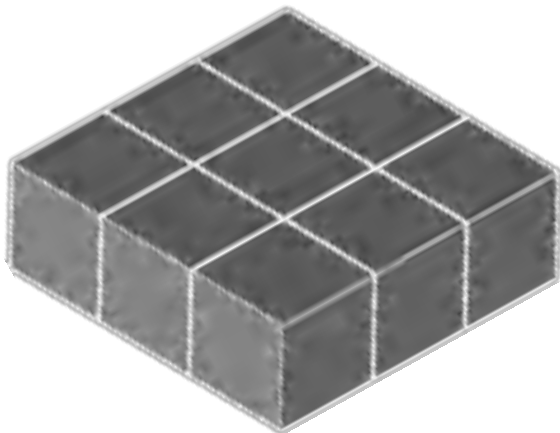
10. Vetores de velocidade – Vista interna a barlavento



11. Vetores de velocidade - Vista a barlavento

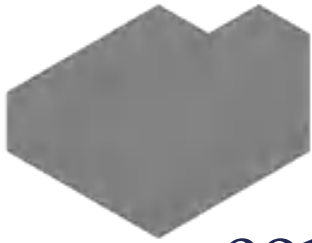
FACES A 90° - NEGATIVA

M25:l:PL

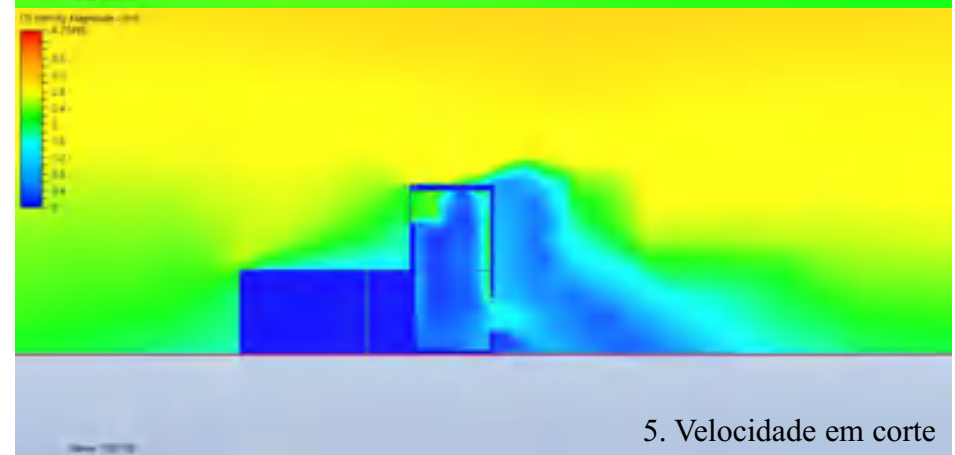
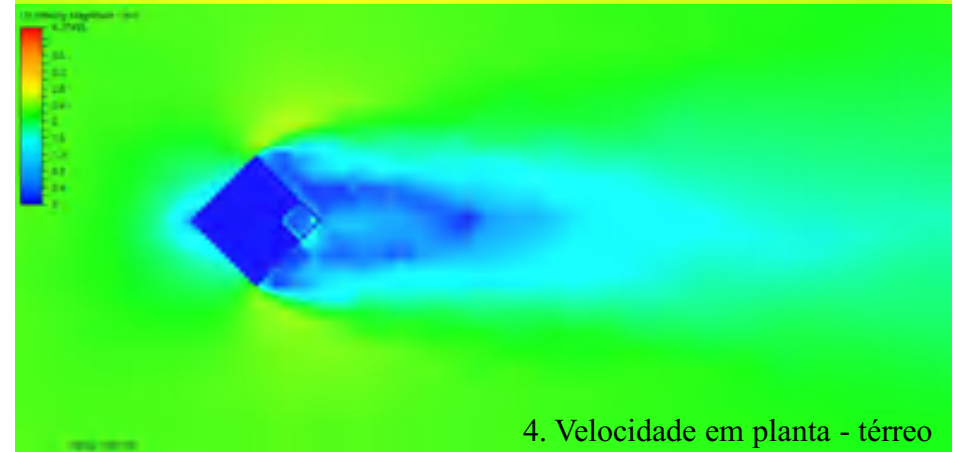
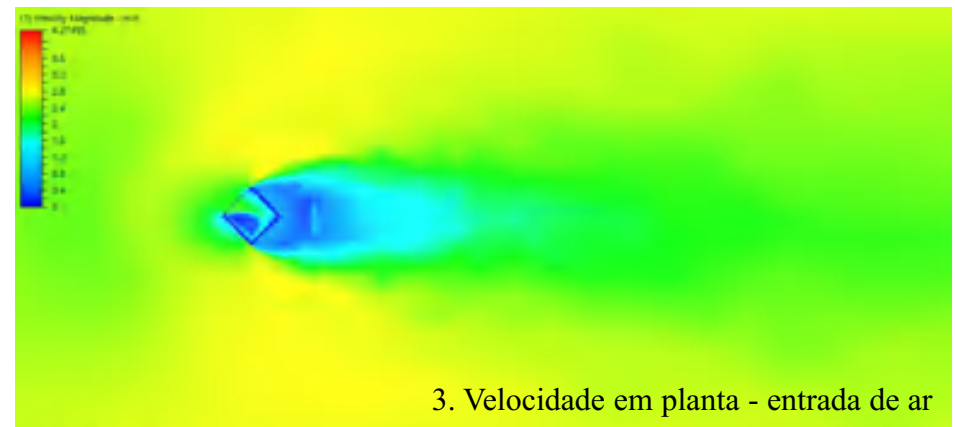
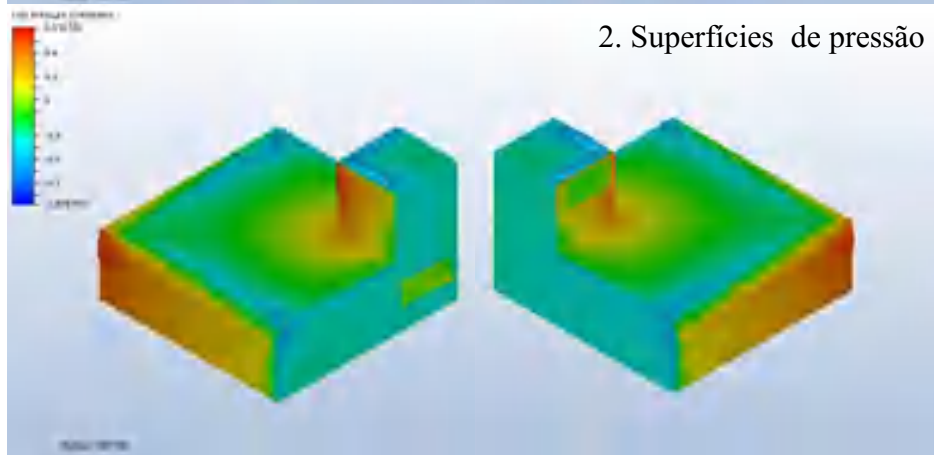
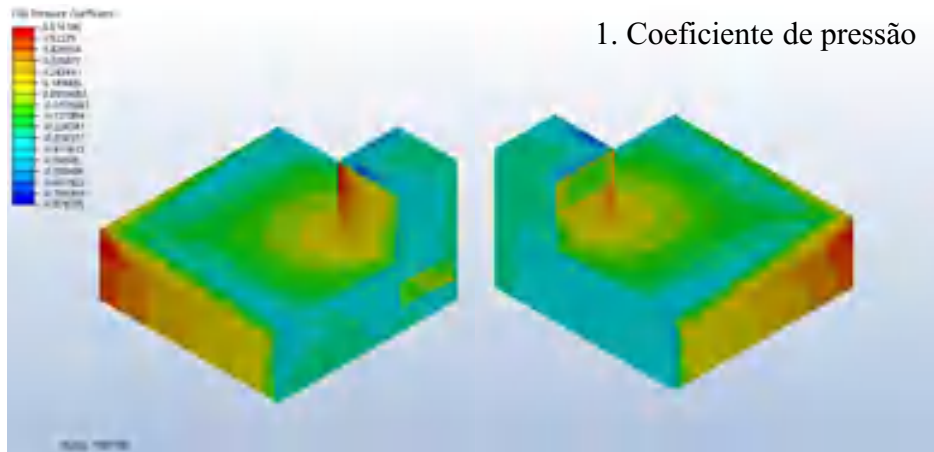


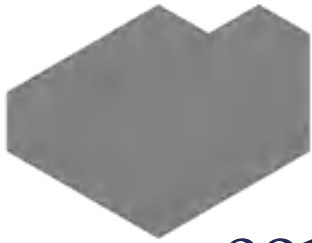
Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais

Hipótese 2: Torre de vento com janelas de canto

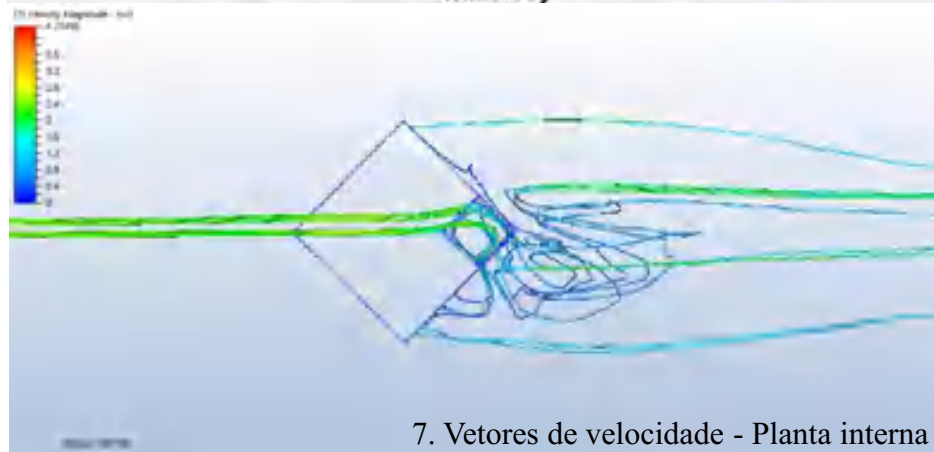
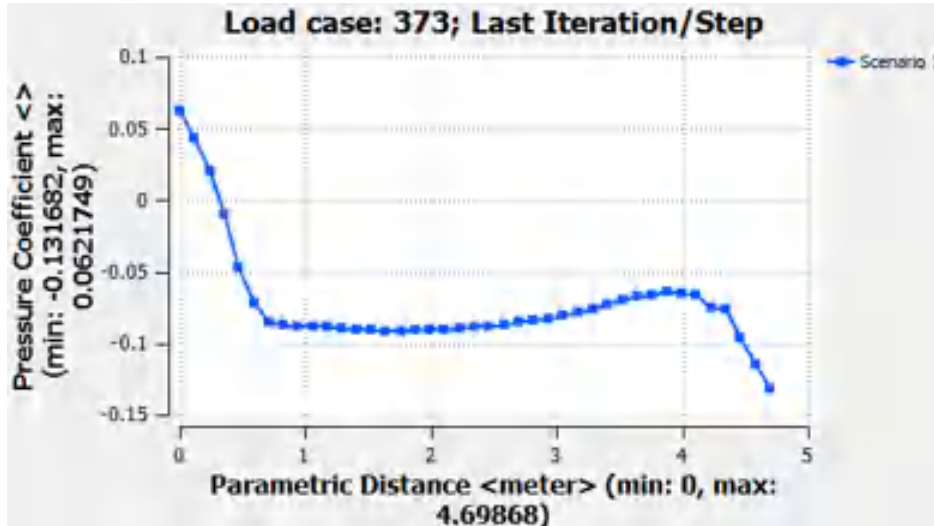


Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais

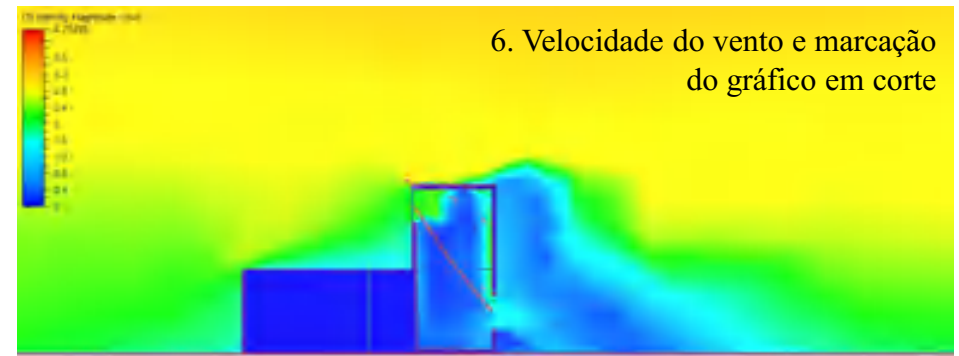




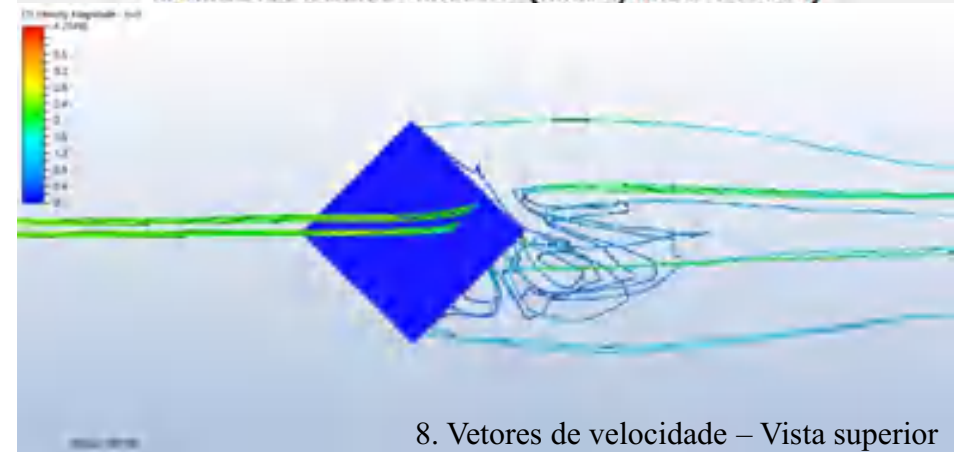
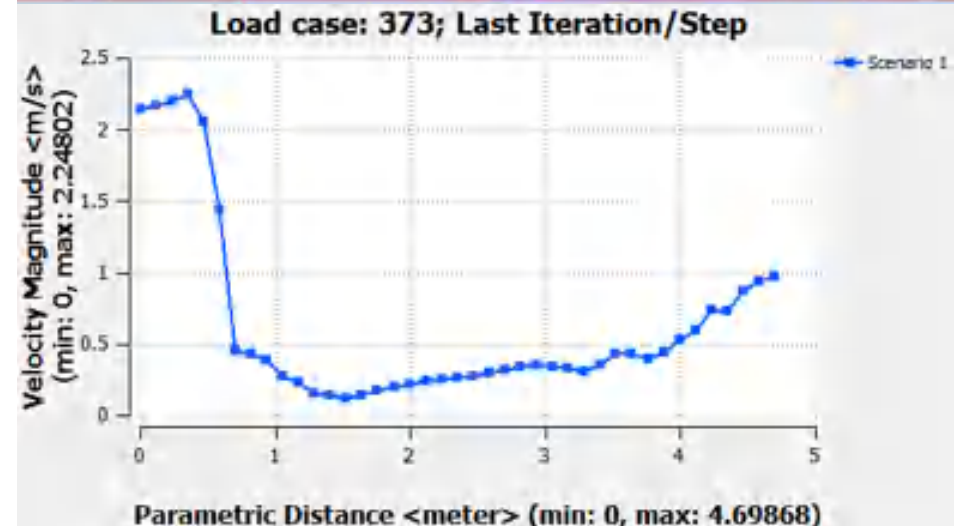
Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais



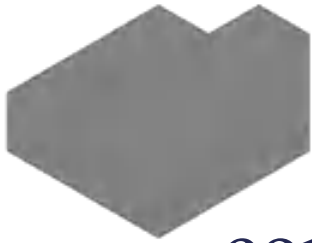
7. Vetores de velocidade - Planta interna



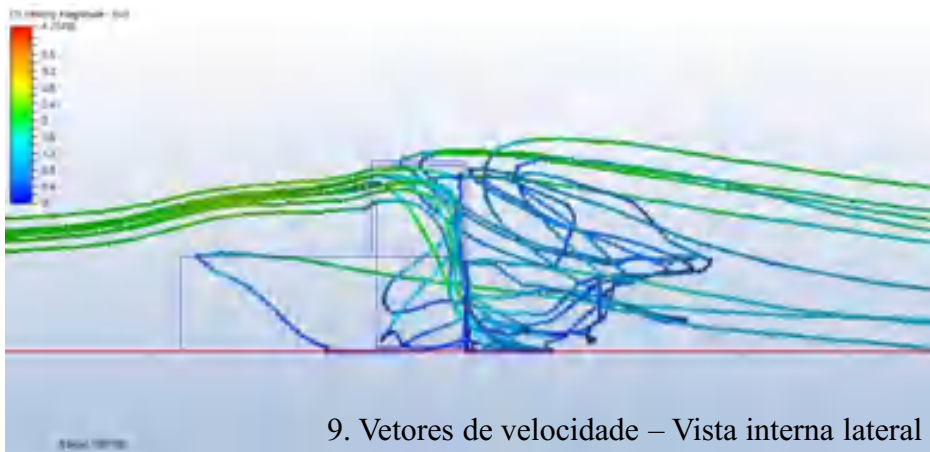
6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



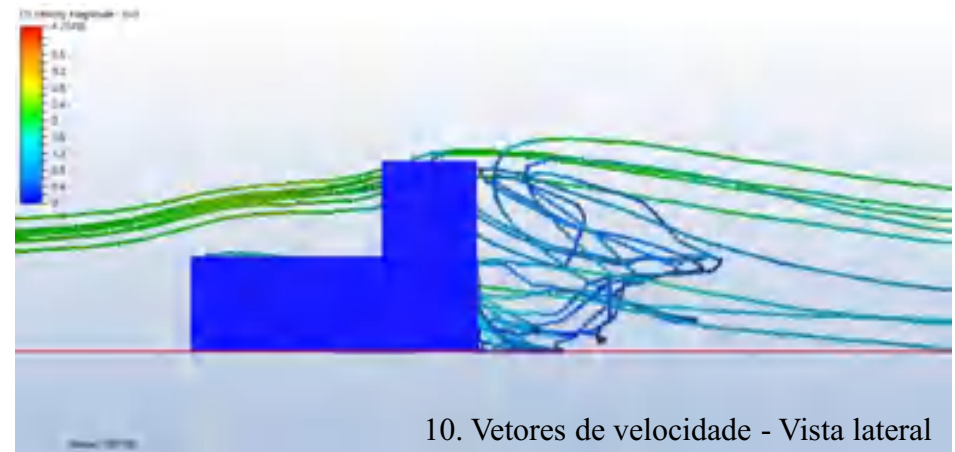
8. Vetores de velocidade – Vista superior



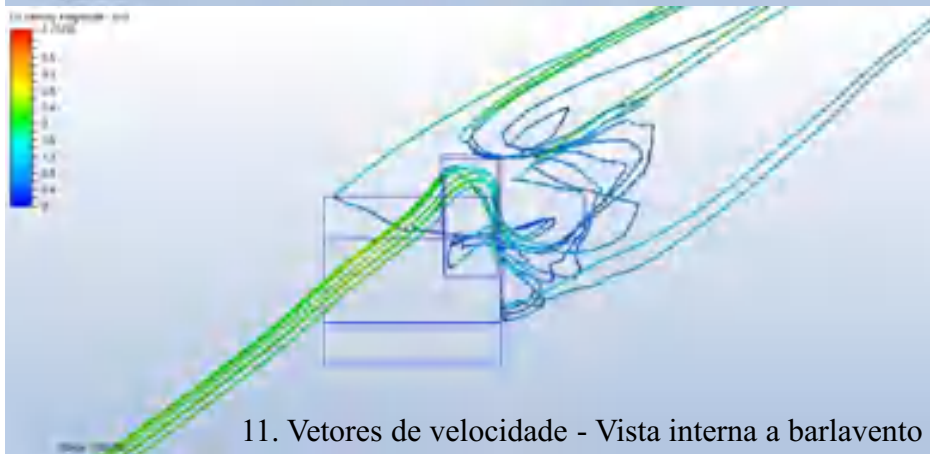
Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais



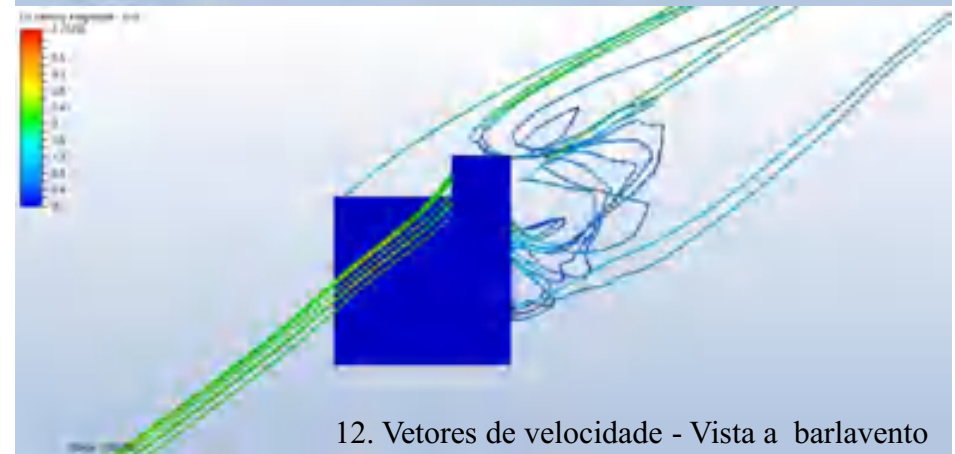
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



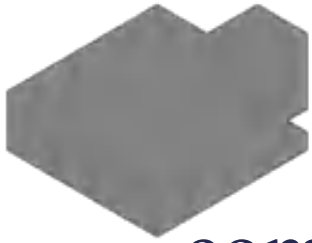
10. Vetores de velocidade - Vista lateral



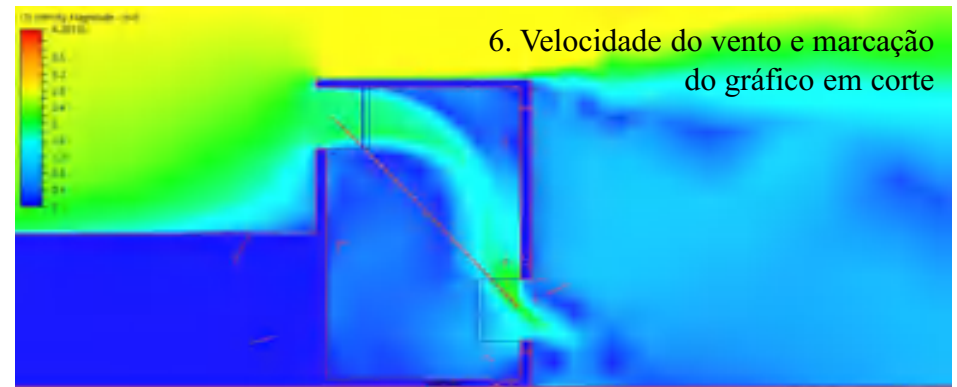
11. Vetores de velocidade - Vista interna a barlavento



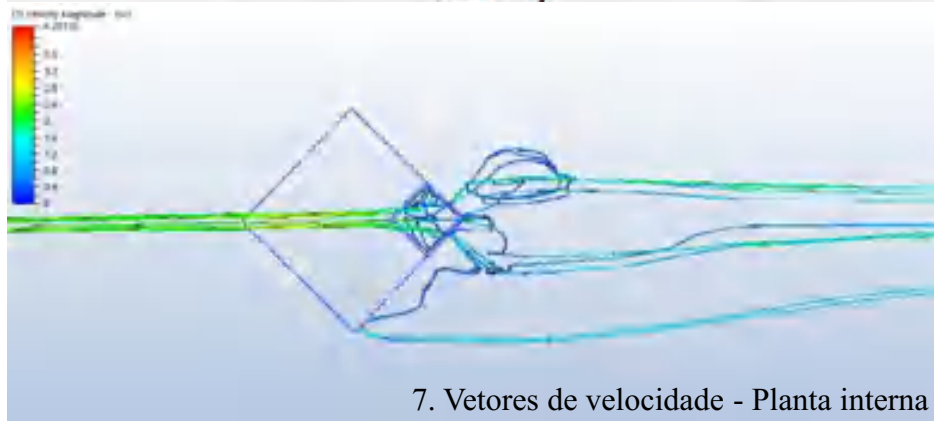
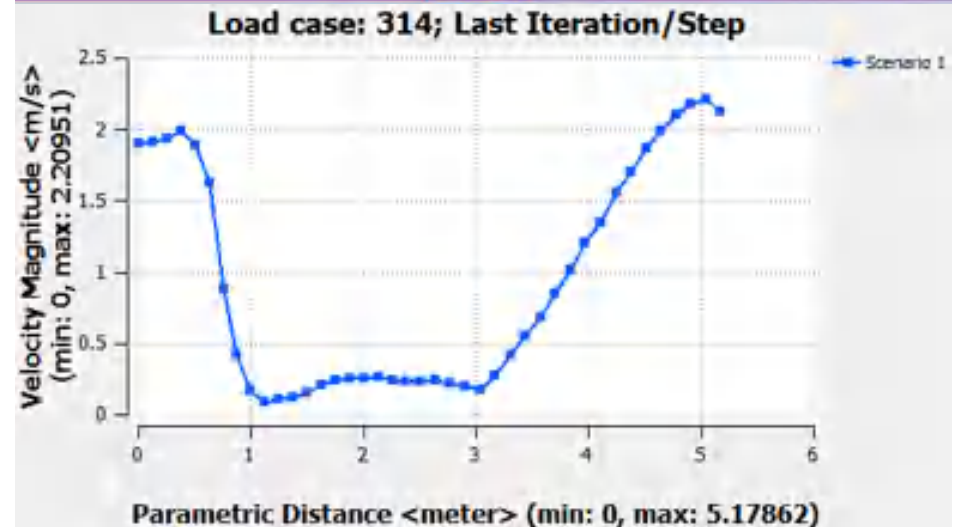
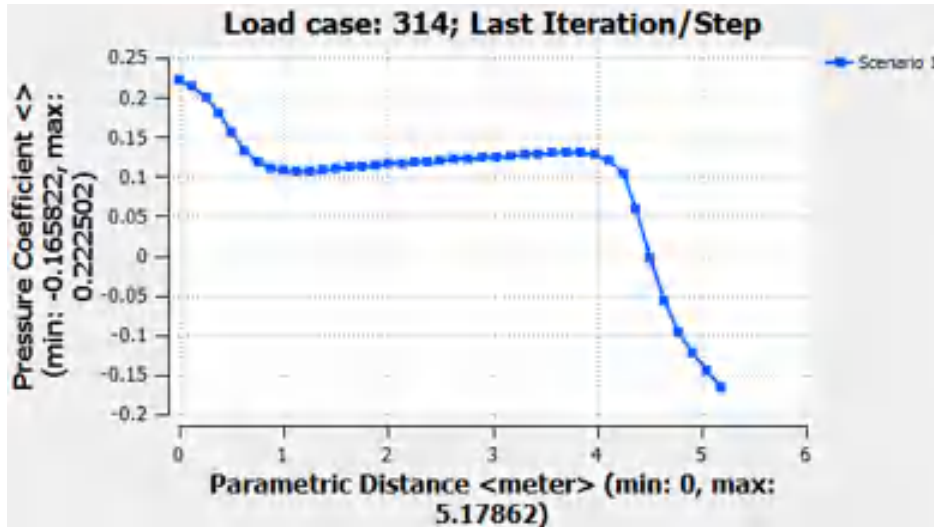
12. Vetores de velocidade - Vista a barlavento



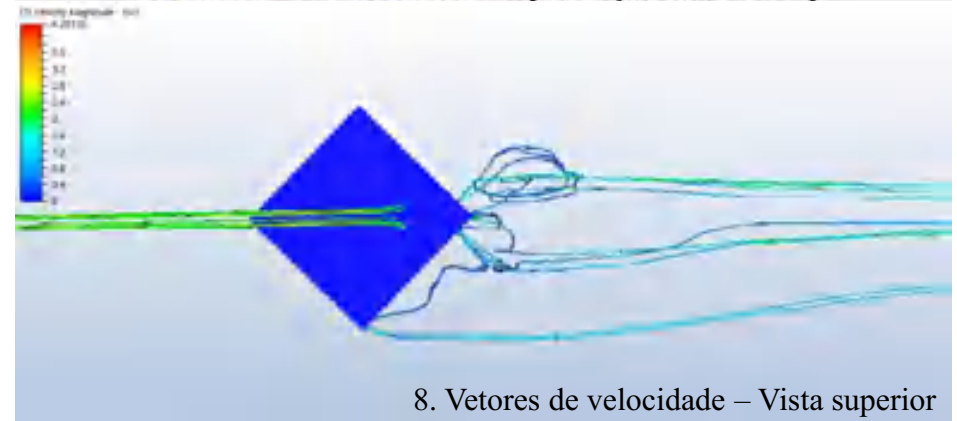
Hipótese 2: Torre de vento com janelas de canto



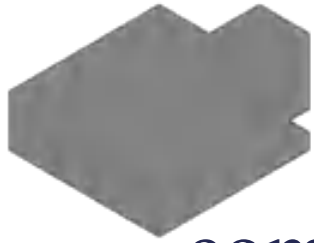
6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



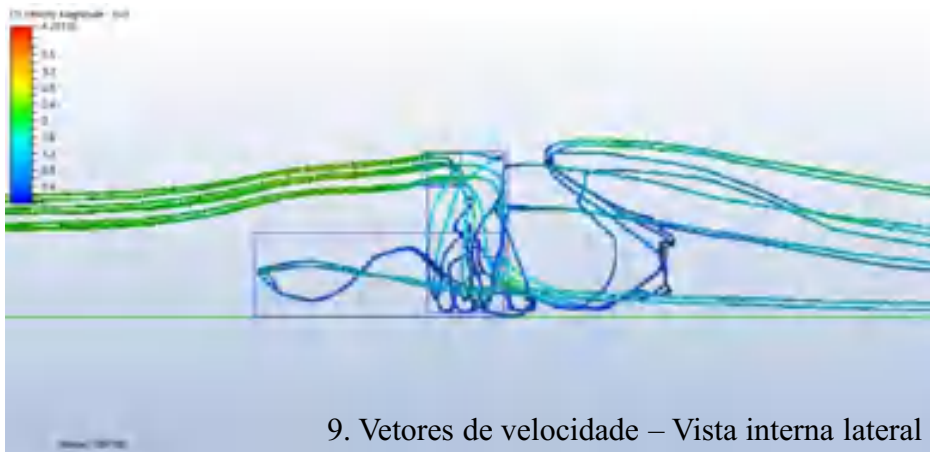
7. Vetores de velocidade - Planta interna



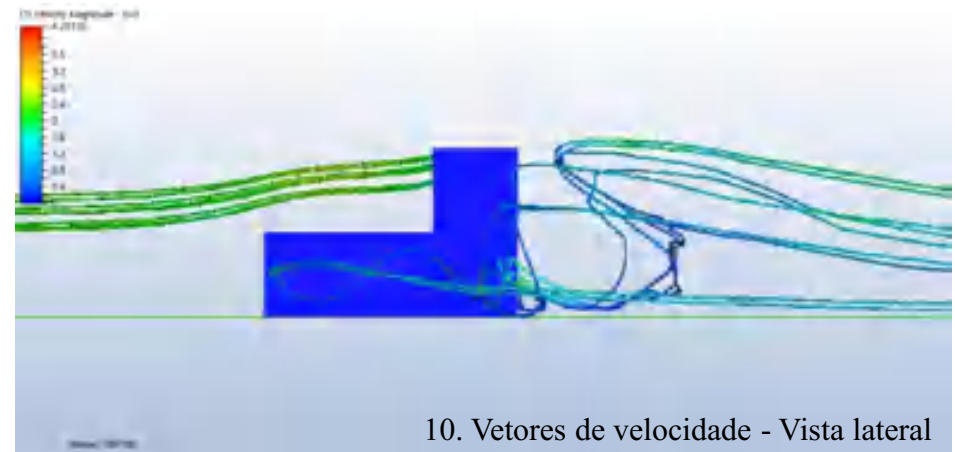
8. Vetores de velocidade - Vista superior



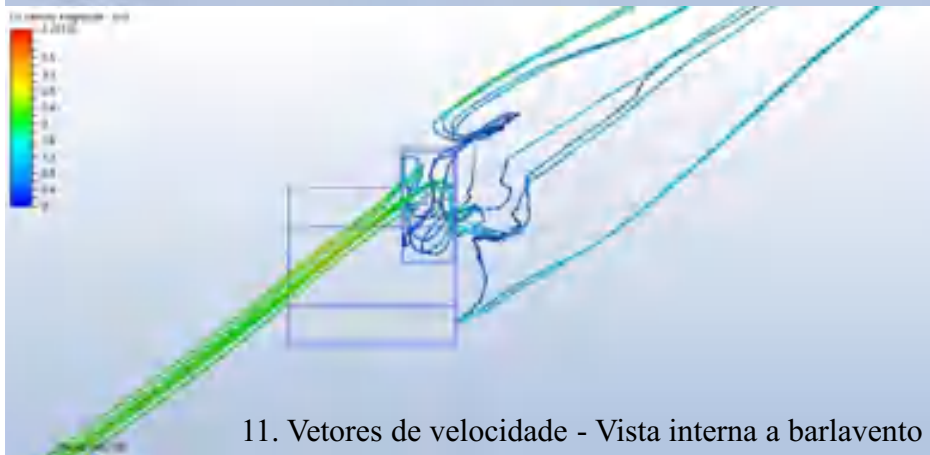
Hipótese 2: Torre de vento com janelas de canto



9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



10. Vetores de velocidade - Vista lateral



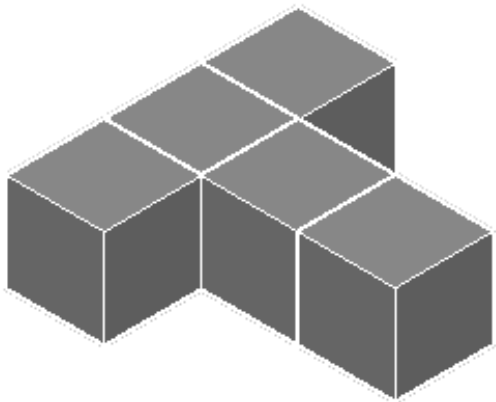
11. Vetores de velocidade - Vista interna a barlavento



12. Vetores de velocidade - Vista a barlavento

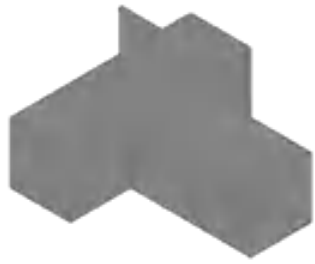
TRÊS FACES NEGATIVAS

M19:H:P

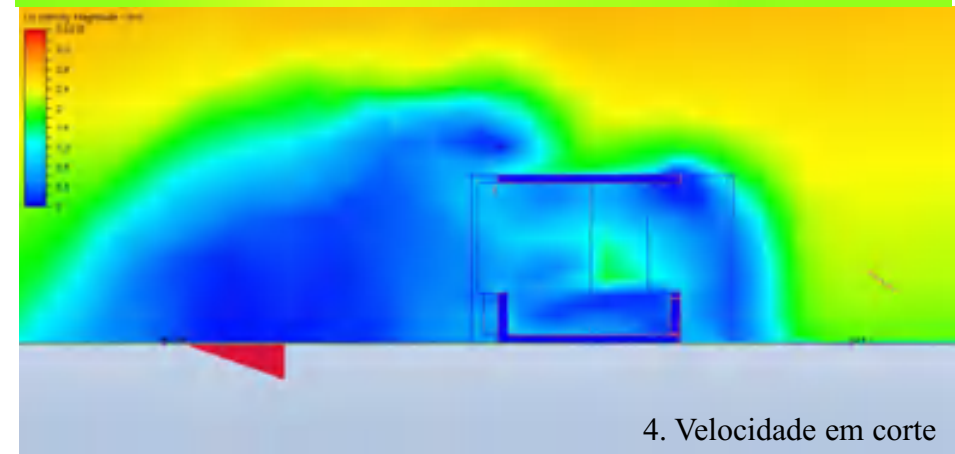
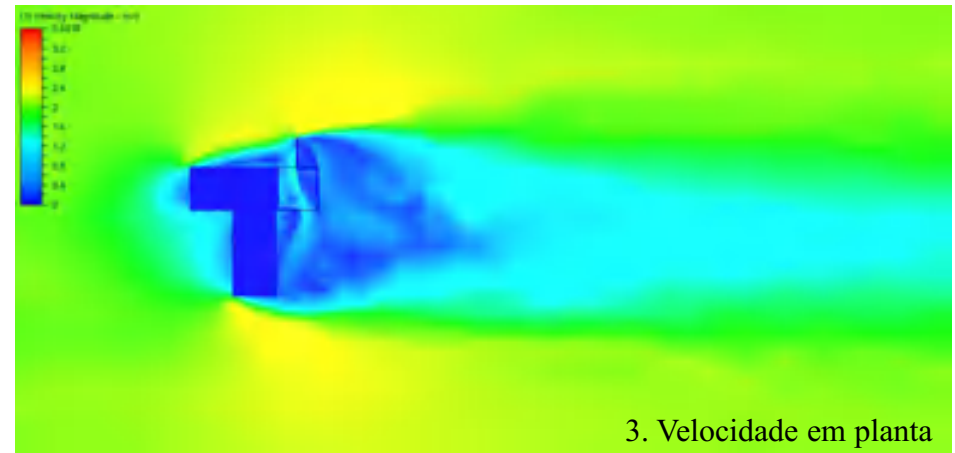
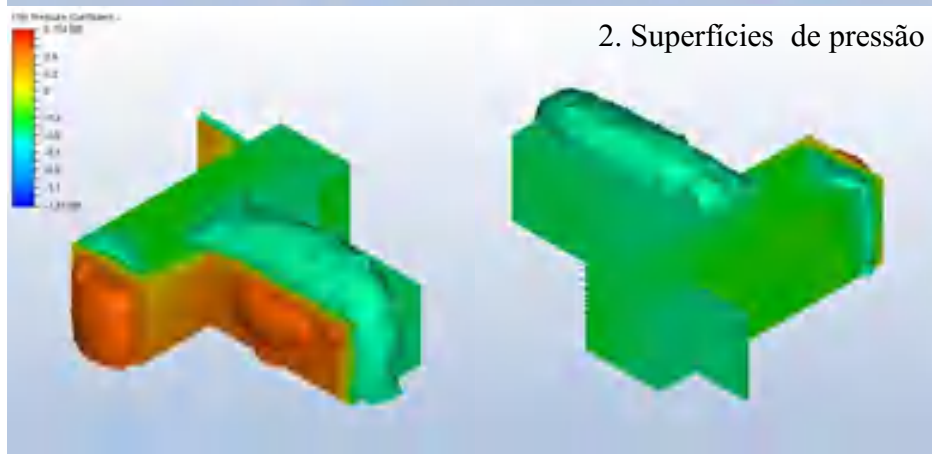
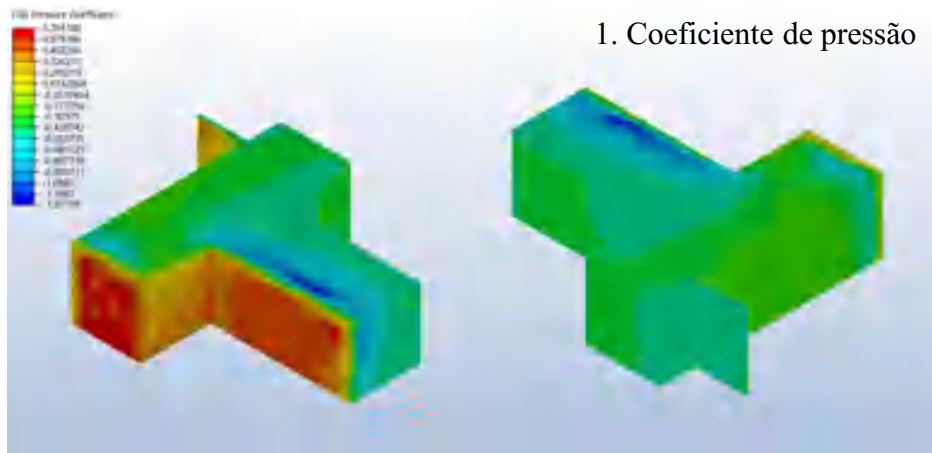


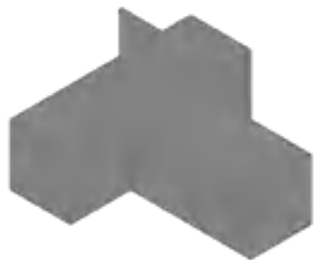
Hipótese 1: Anteparo com 2m

Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

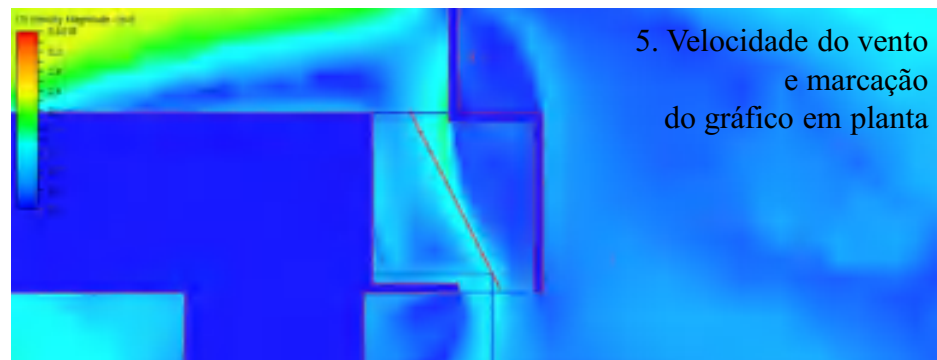


Hipótese 1: Anteparo com 2m

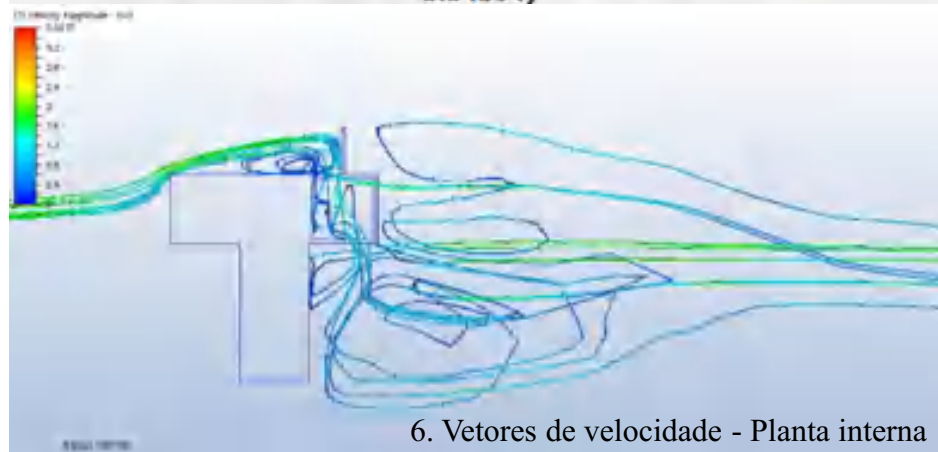
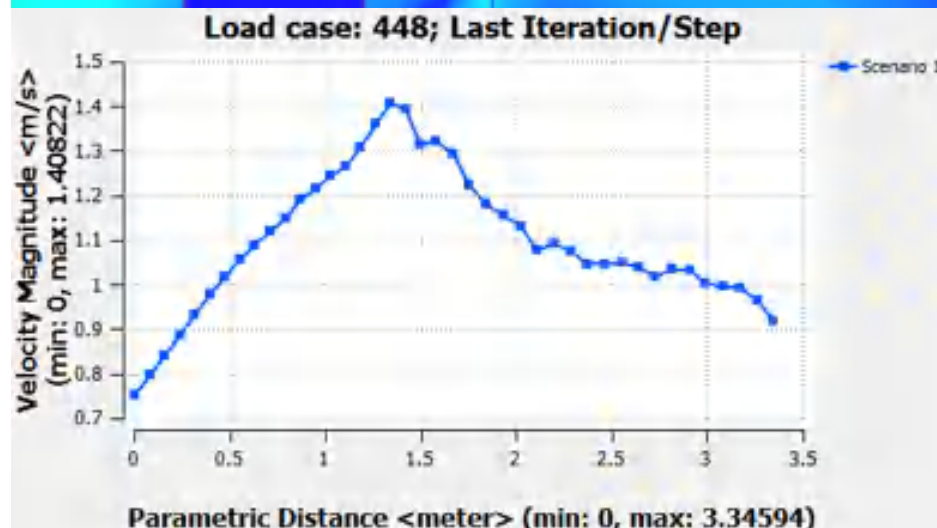
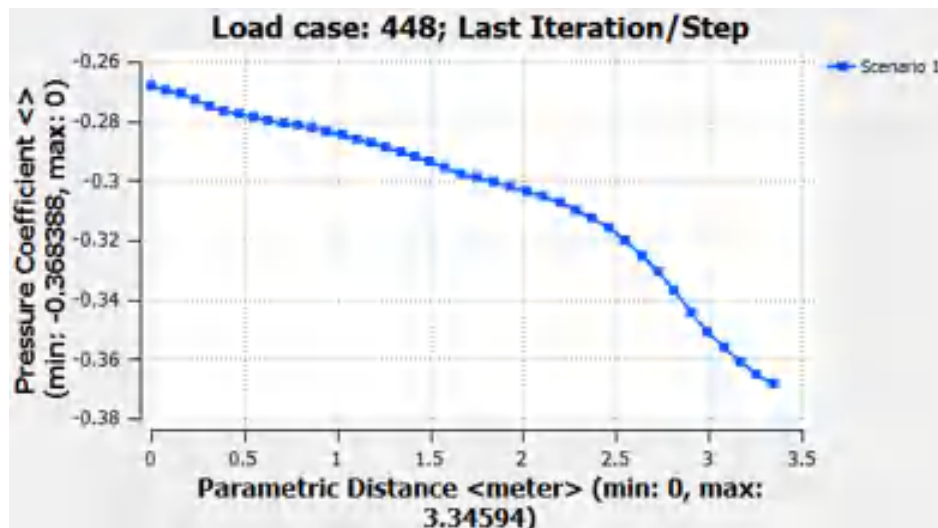




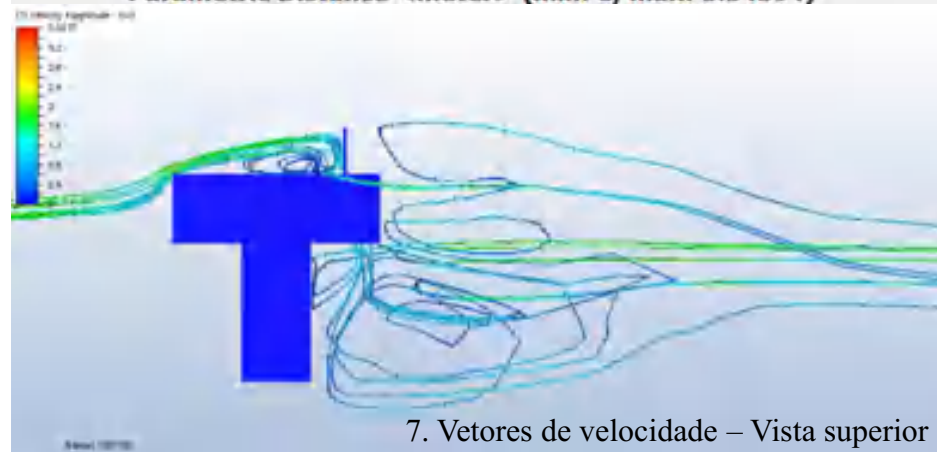
Hipótese 1: Anteparo com 2m



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



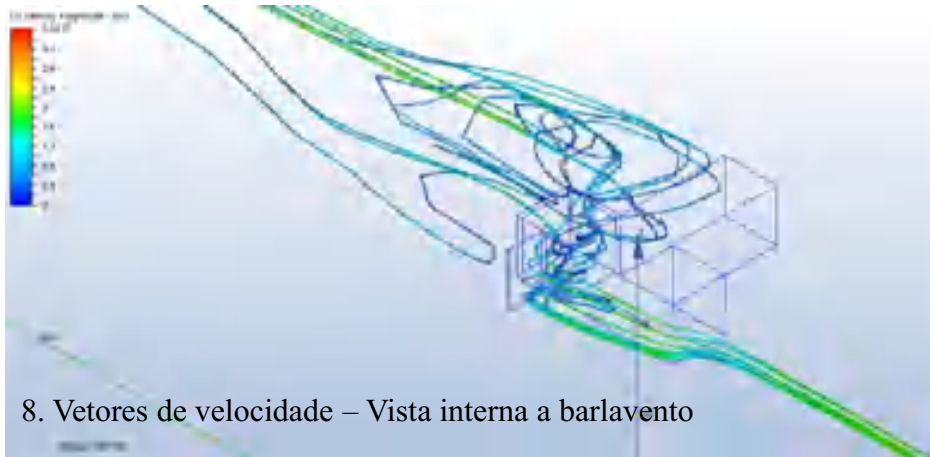
6. Vetores de velocidade - Planta interna



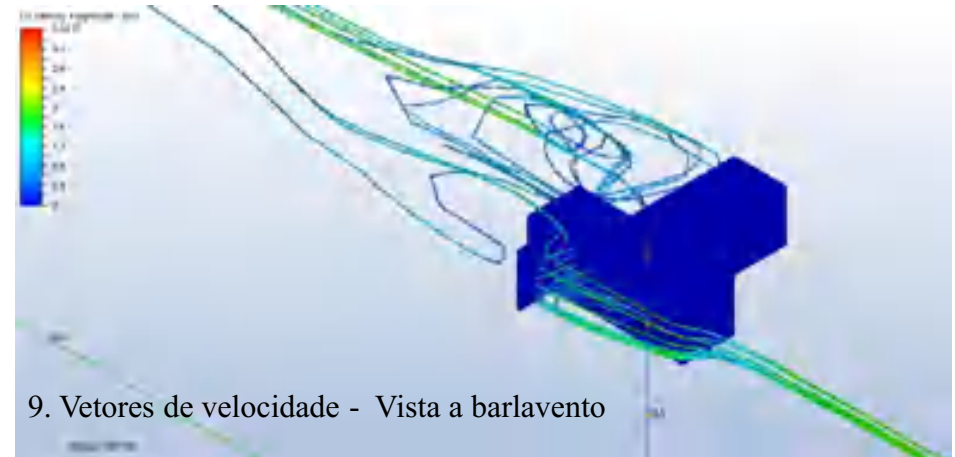
7. Vetores de velocidade - Vista superior



Hipótese 1: Anteparo com 2m



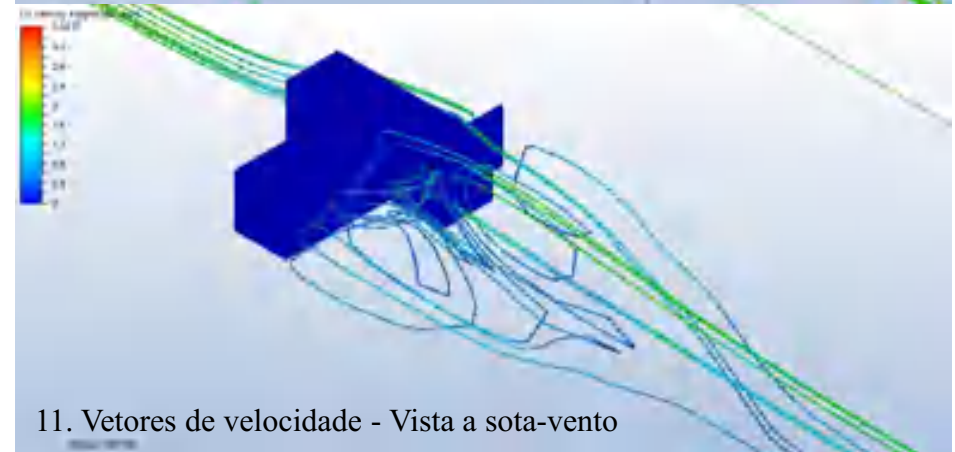
8. Vetores de velocidade – Vista interna a barlavento



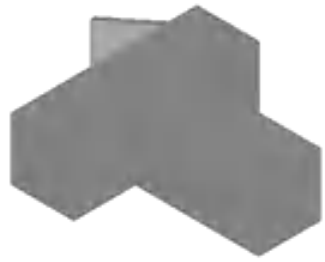
9. Vetores de velocidade - Vista a barlavento



10. Vetores de velocidade – Vista interna a sota-vento

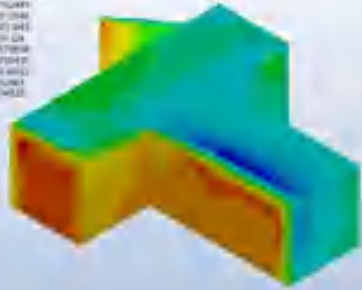


11. Vetores de velocidade - Vista a sota-vento

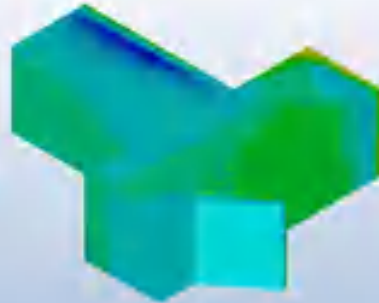


Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

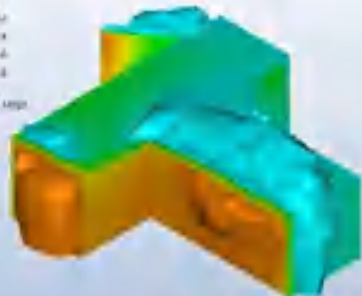
100 Pressure Coefficient



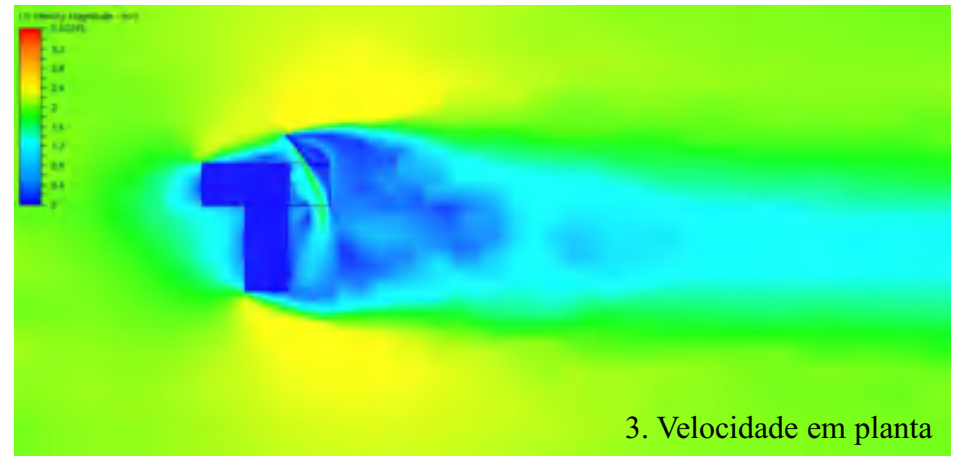
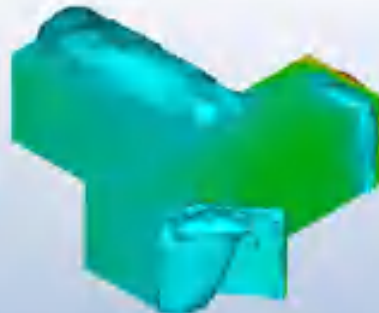
1. Coeficiente de pressão



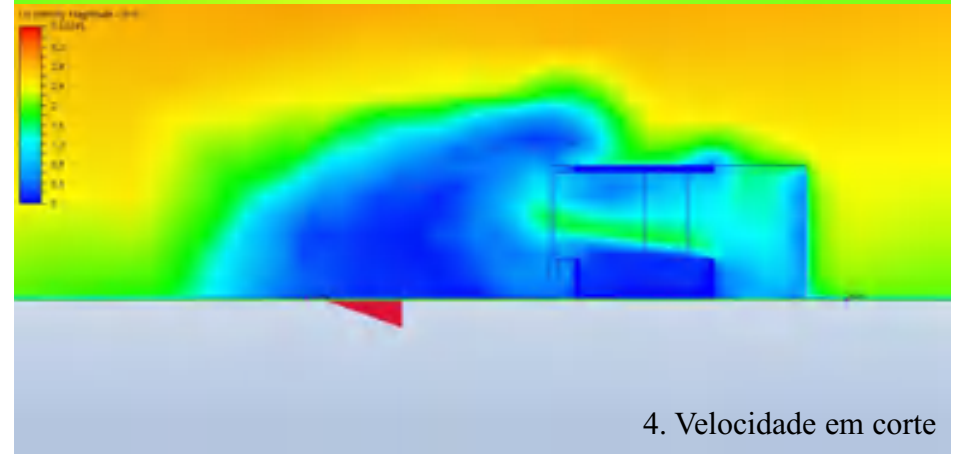
100 Pressure Coefficient



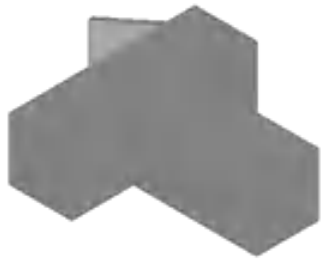
2. Superfícies de pressão



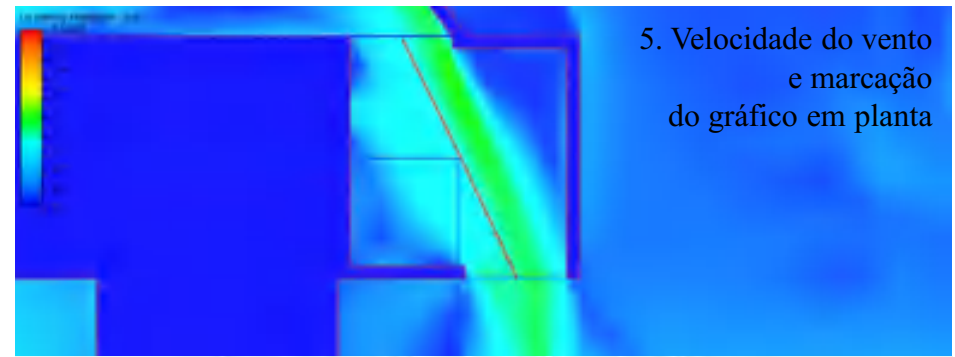
3. Velocidade em planta



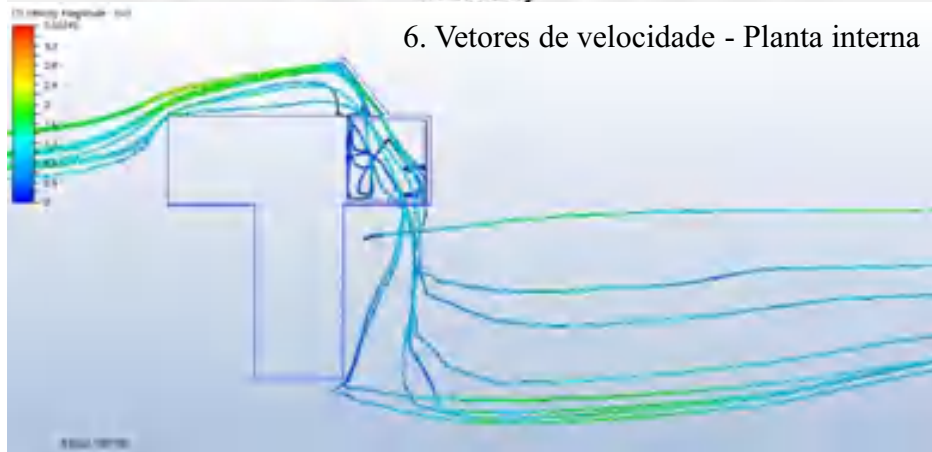
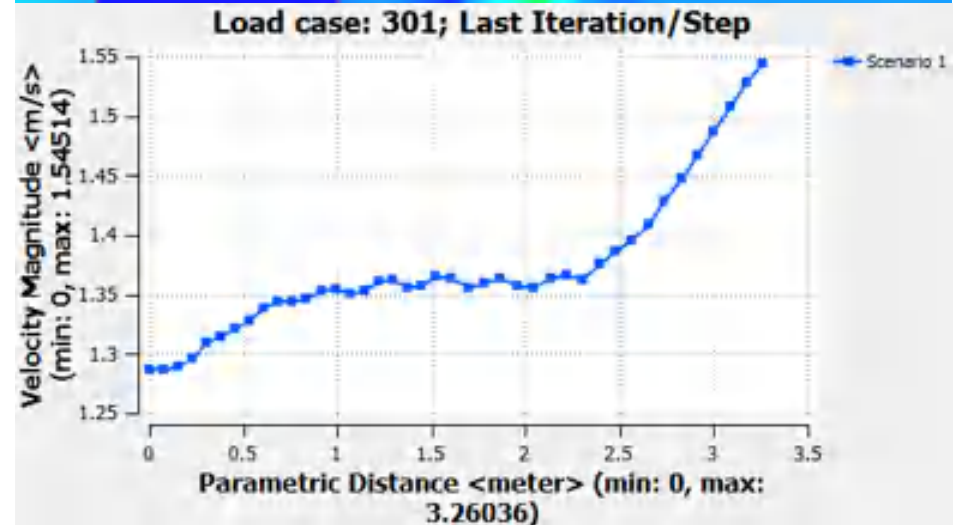
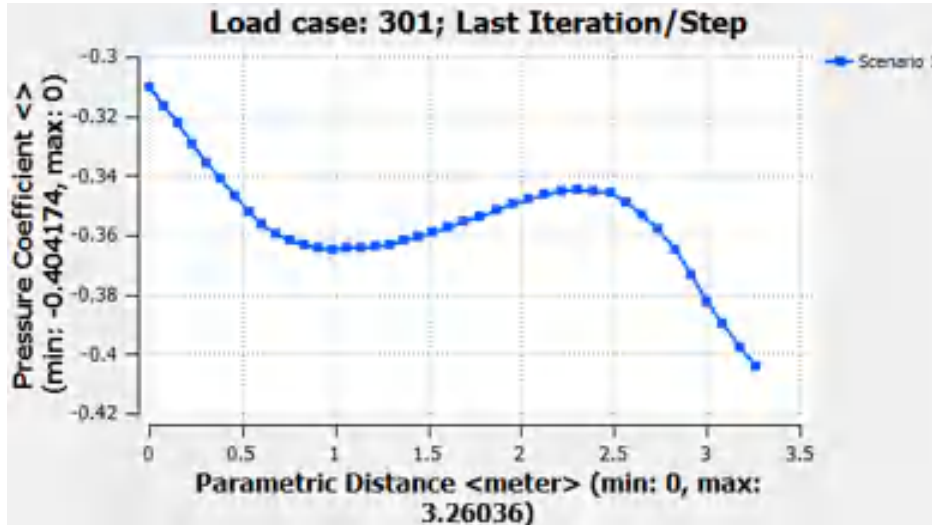
4. Velocidade em corte



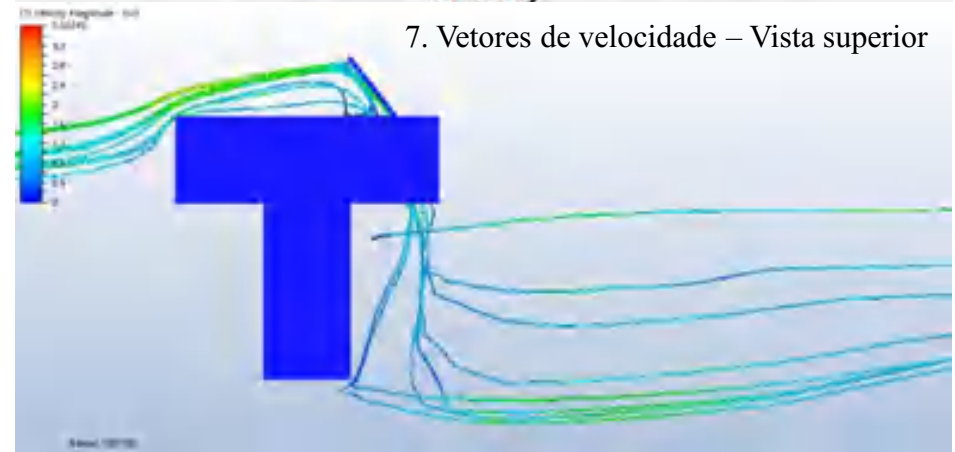
Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



5. Velocidade do vento e
marcação
do gráfico em planta



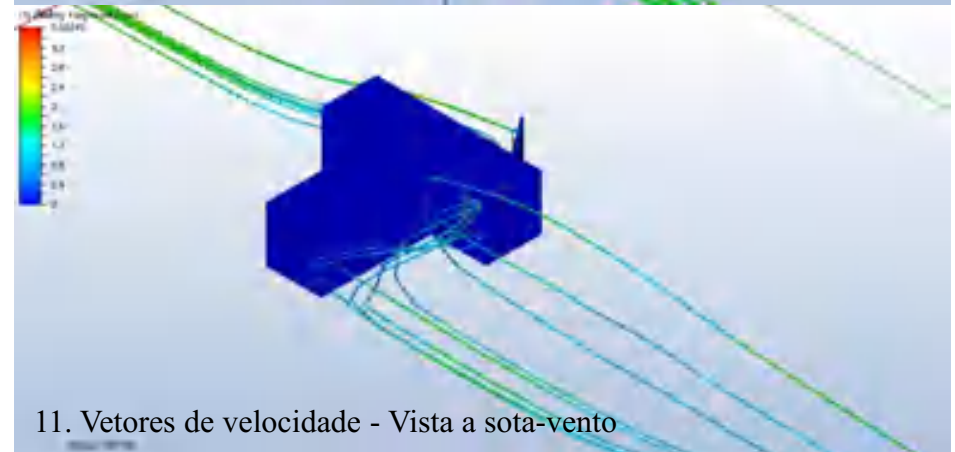
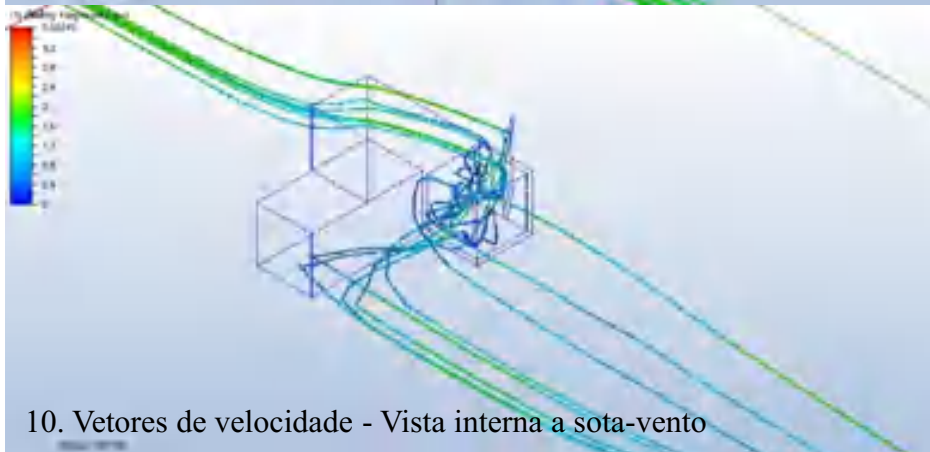
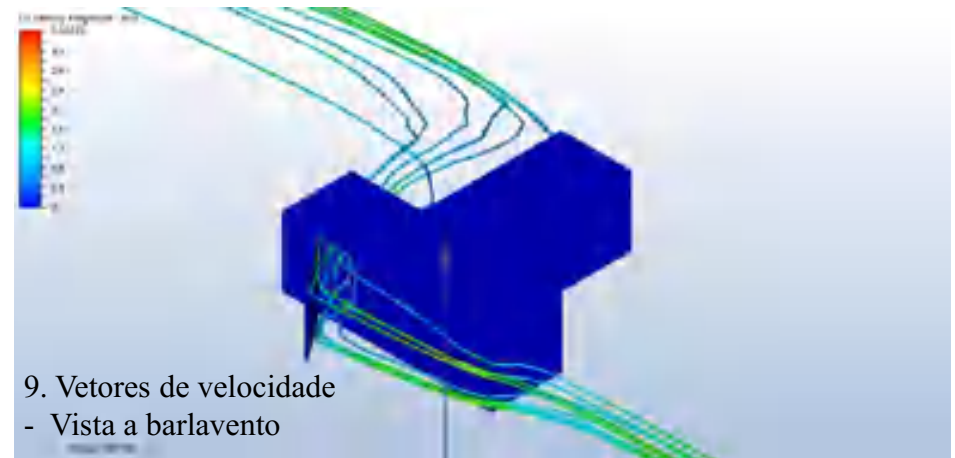
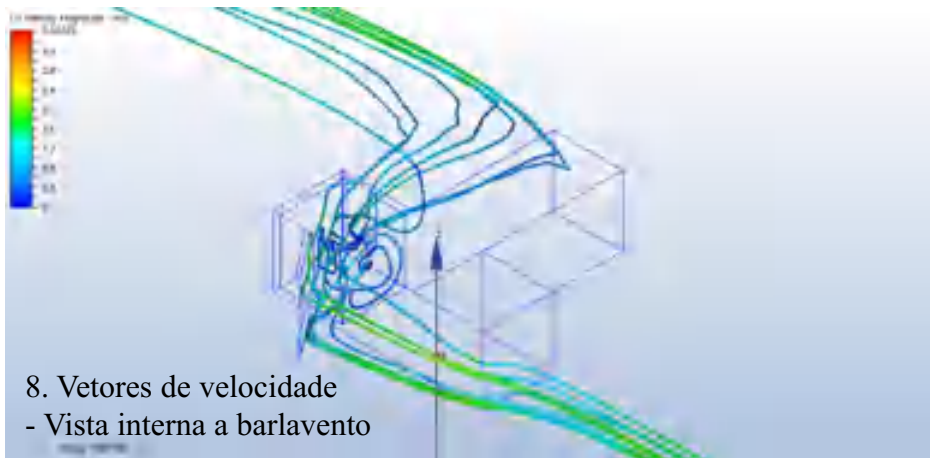
6. Vetores de velocidade - Planta interna



7. Vetores de velocidade – Vista superior

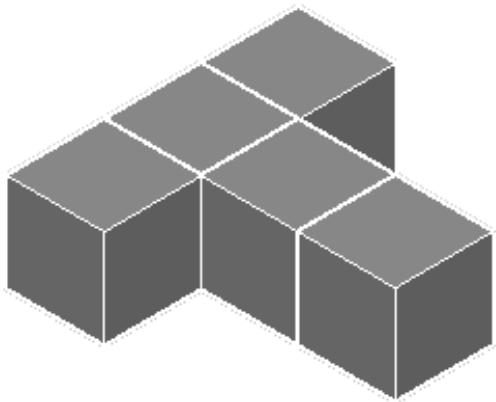


Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



FACE ÚNICA

M19:H:P

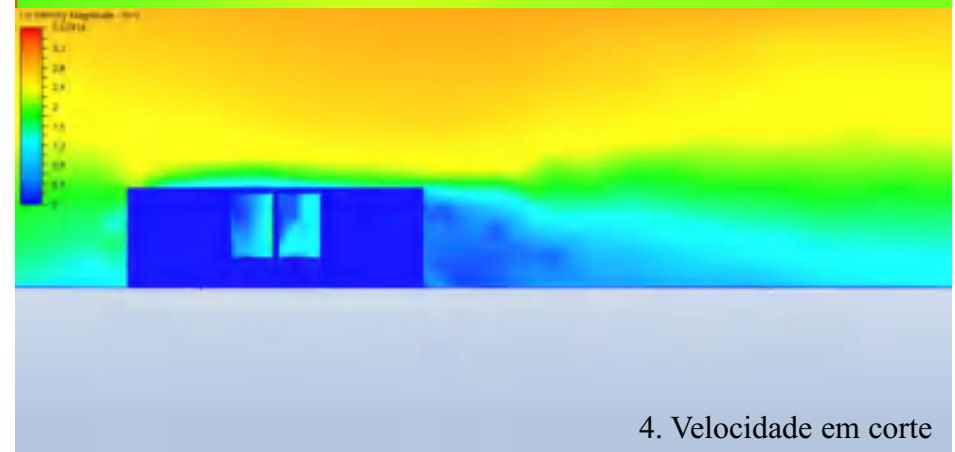
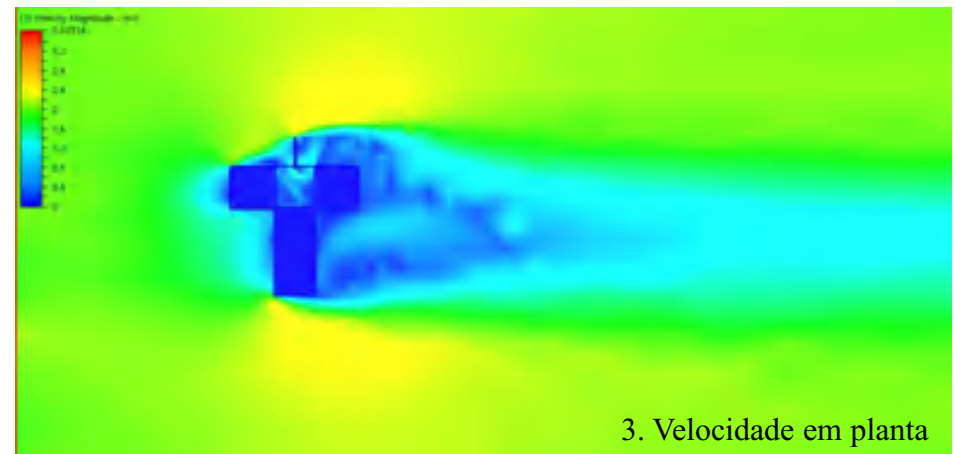
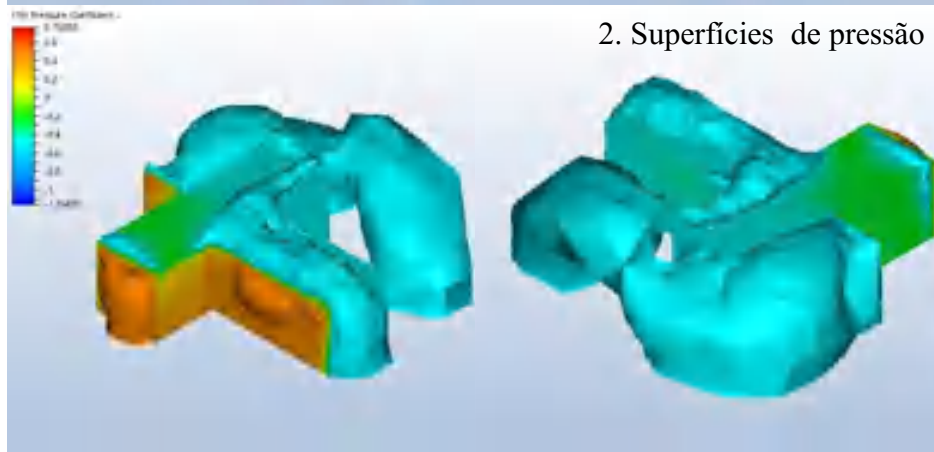
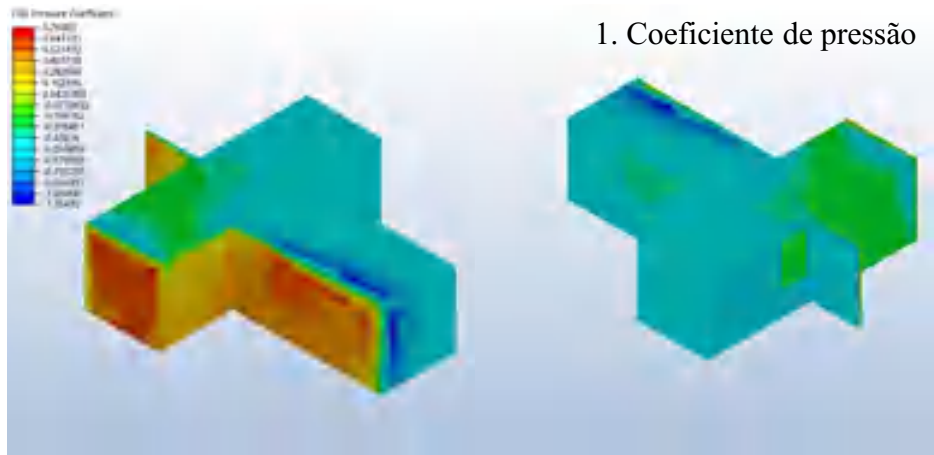


Hipótese 1: Anteparo com 2m

Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

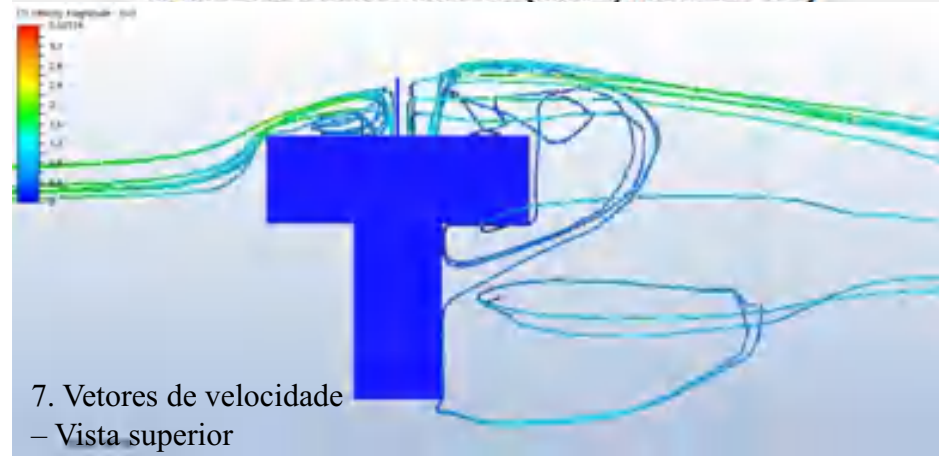
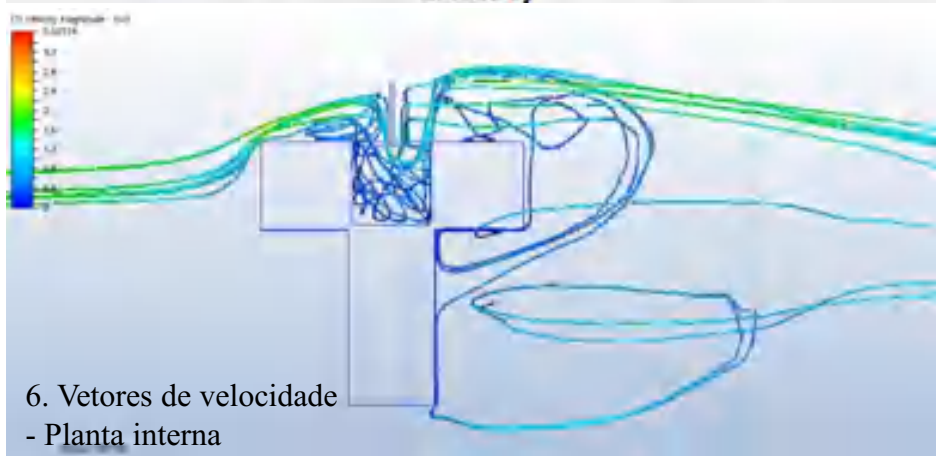
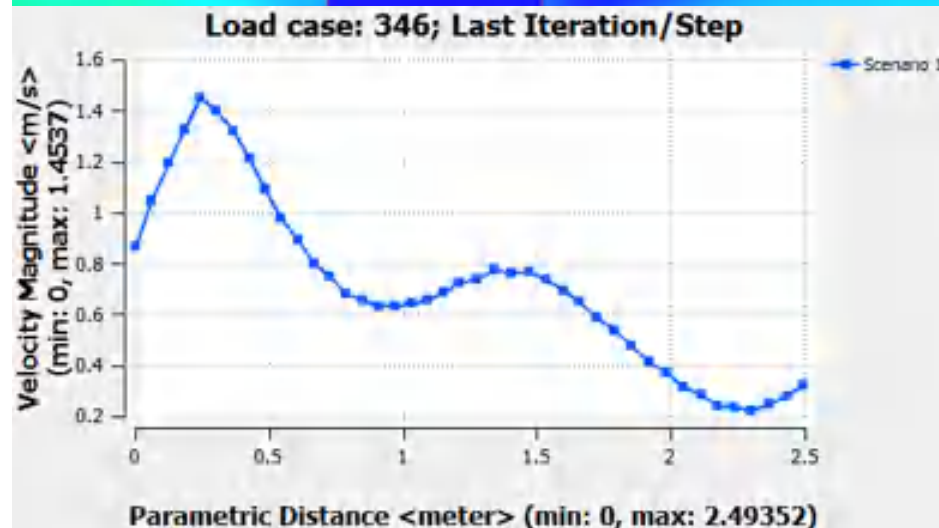
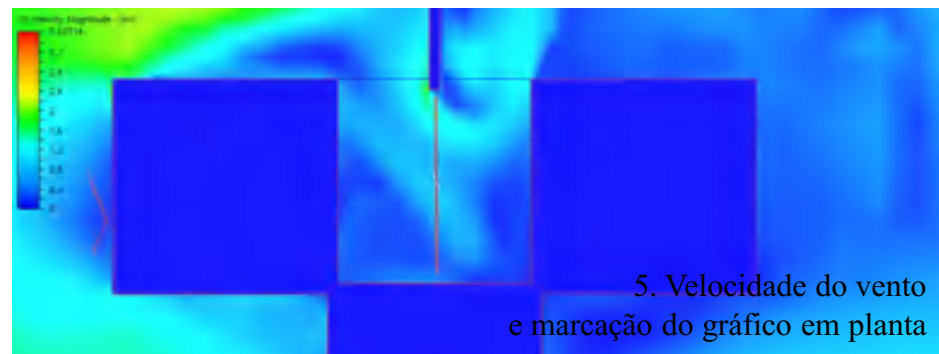
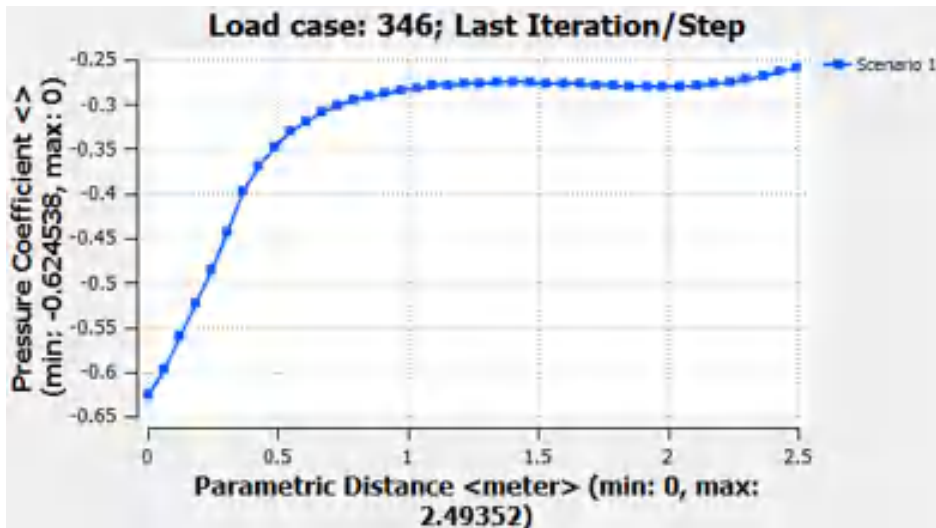


Hipótese 1: Anteparo com 2m



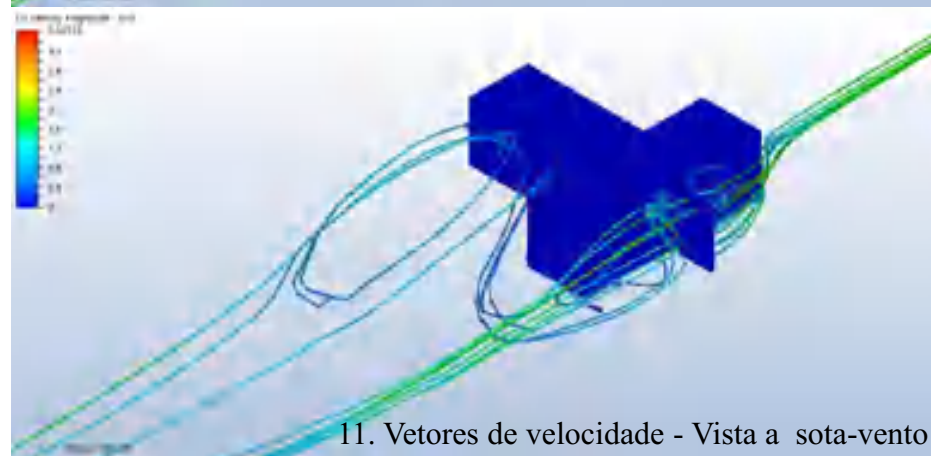
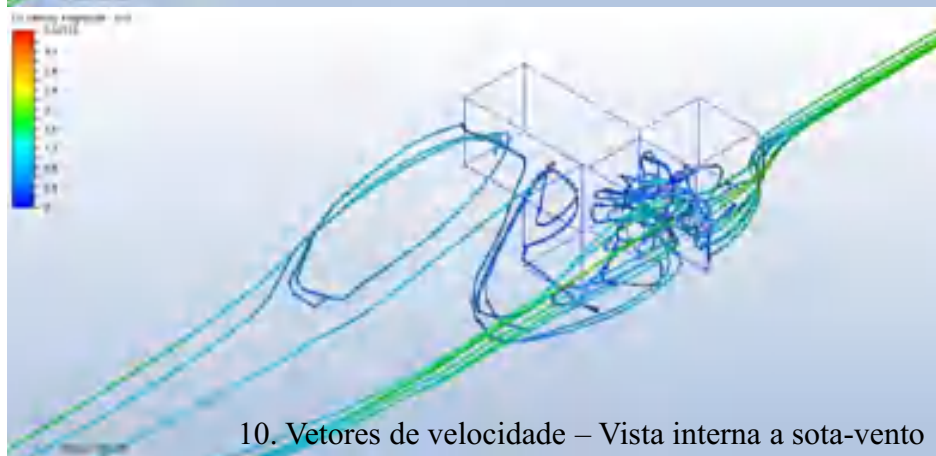
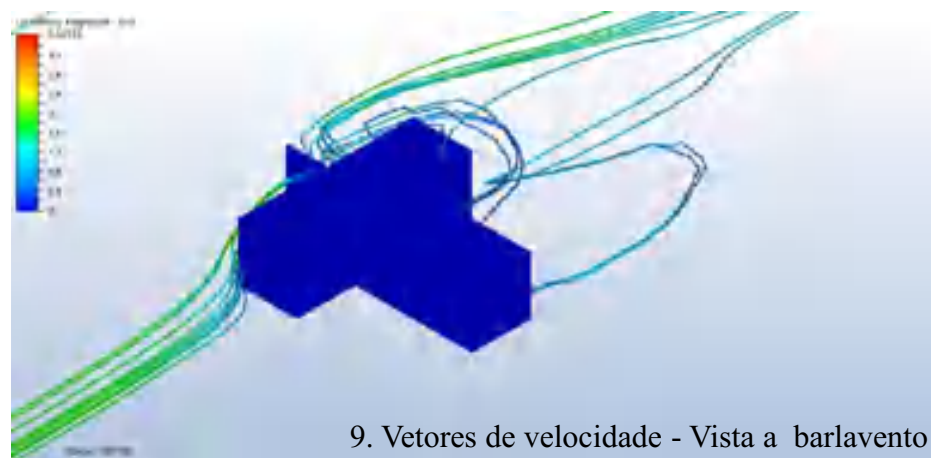
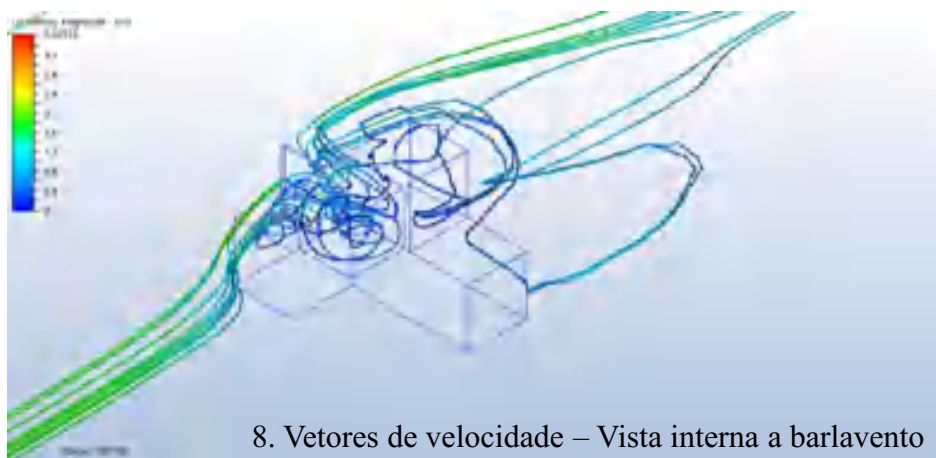


Hipótese 1: Anteparo com 2m



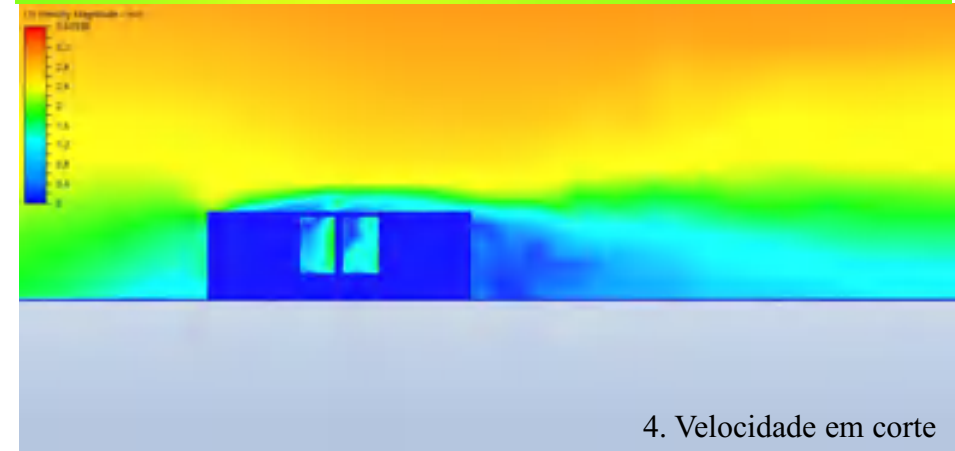
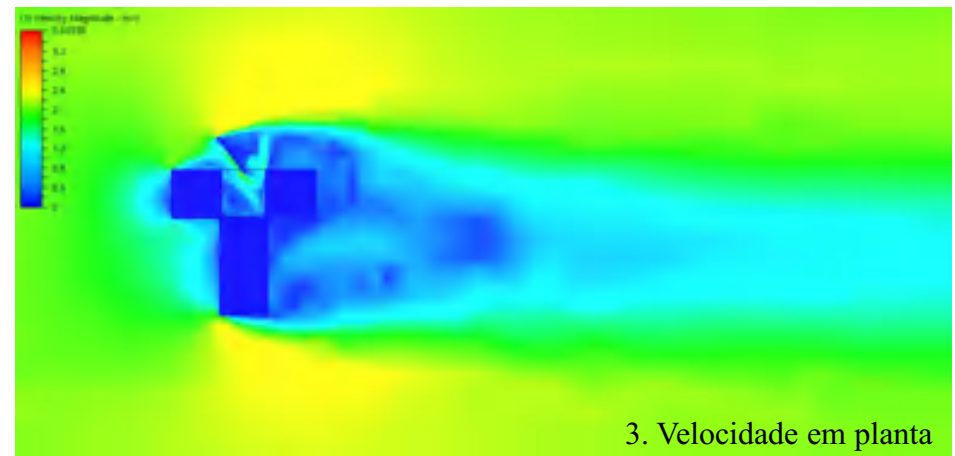
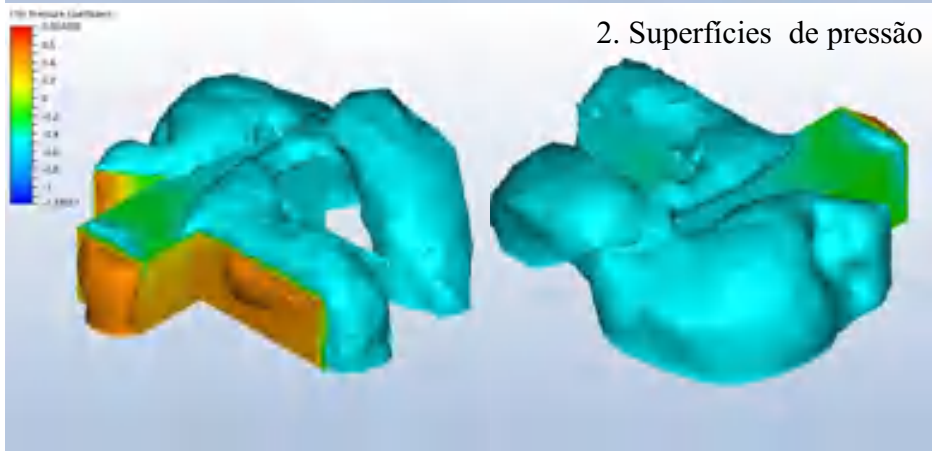
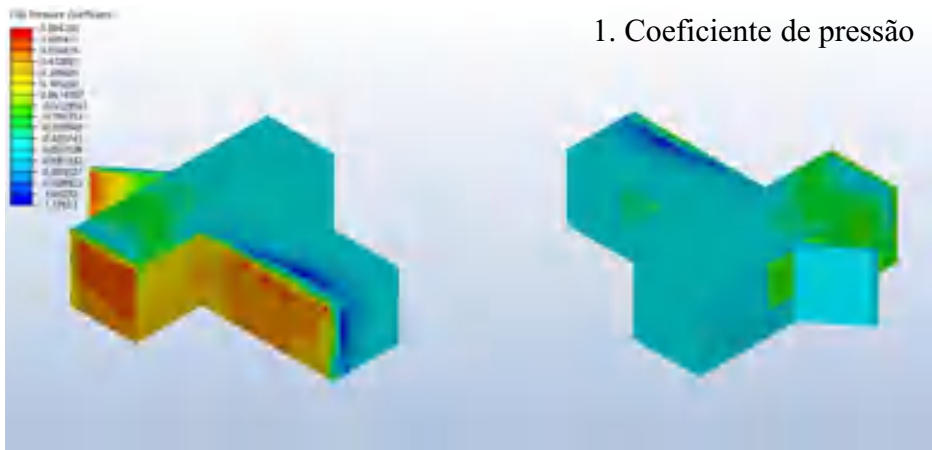


Hipótese 1: Anteparo com 2m



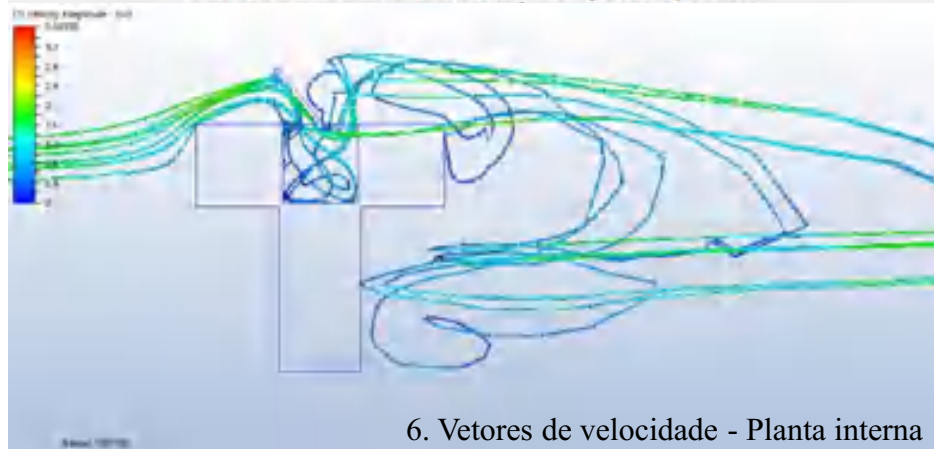
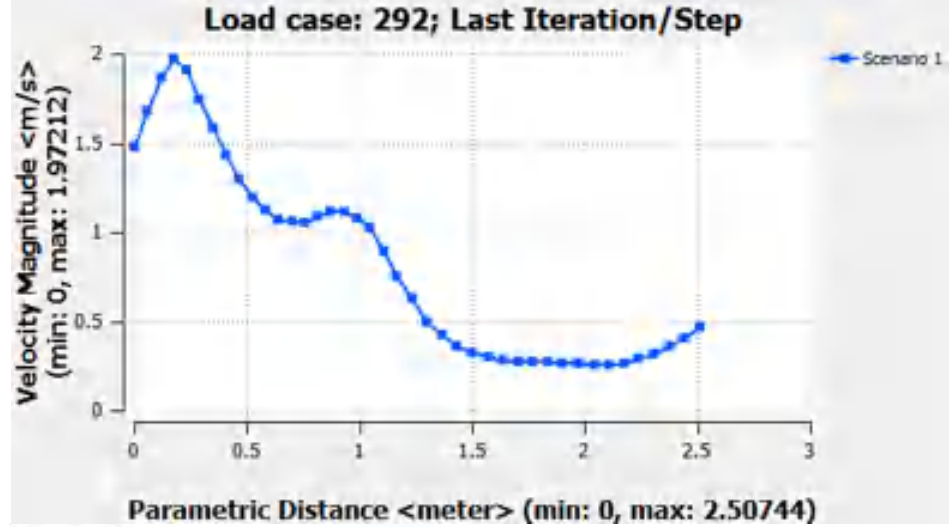
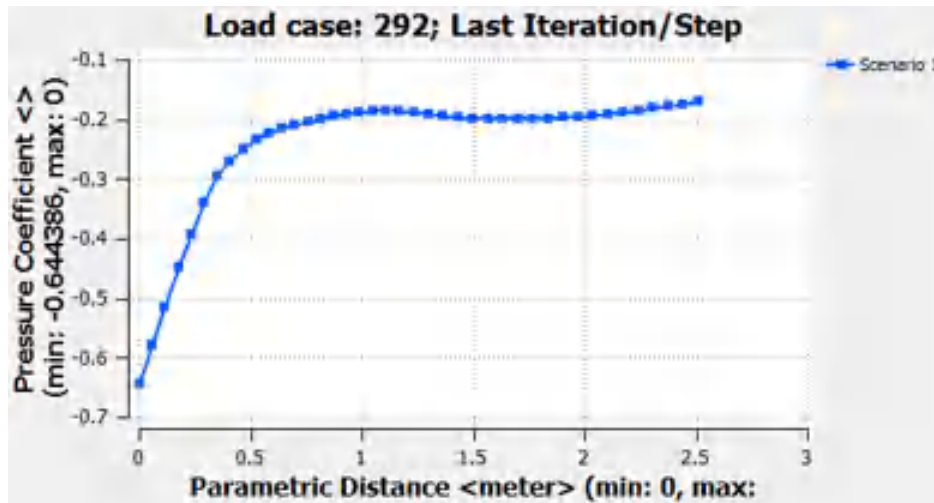
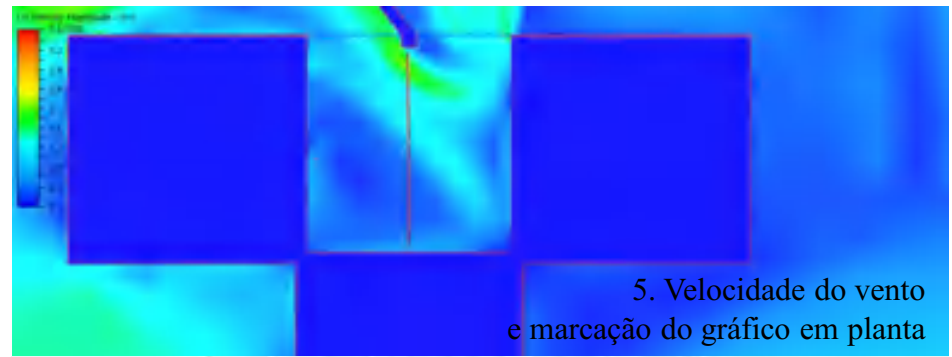


Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



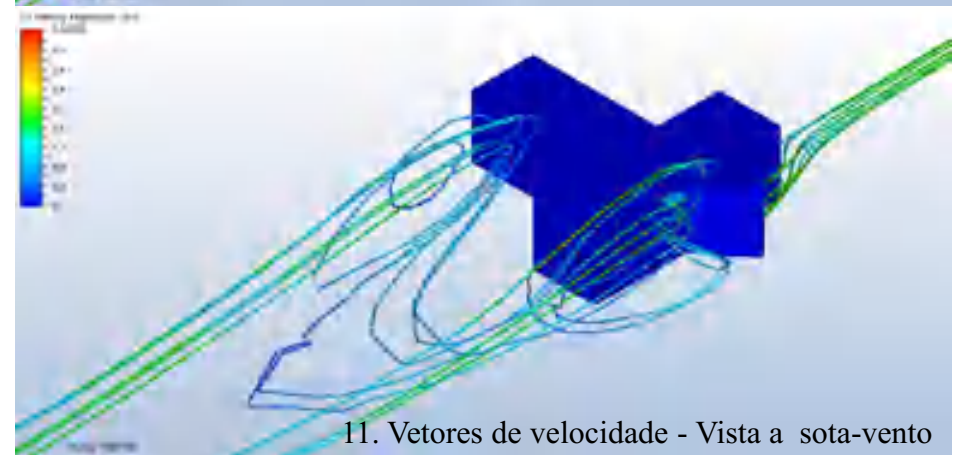
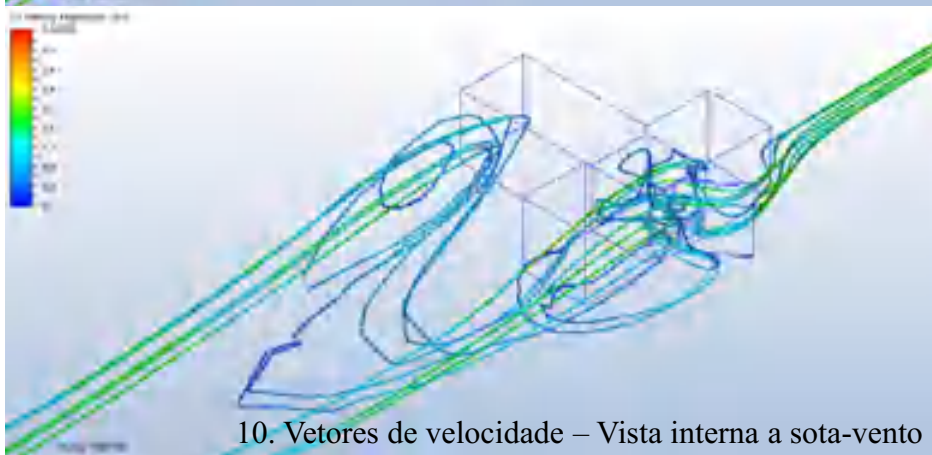
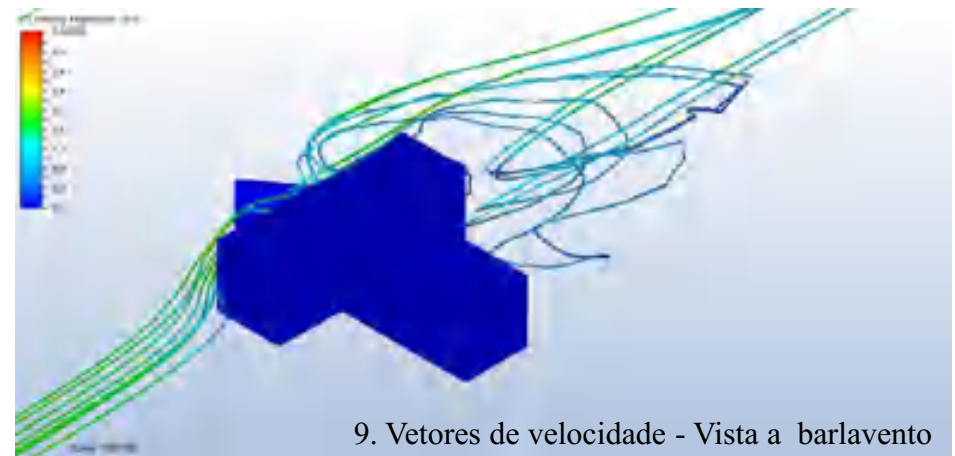
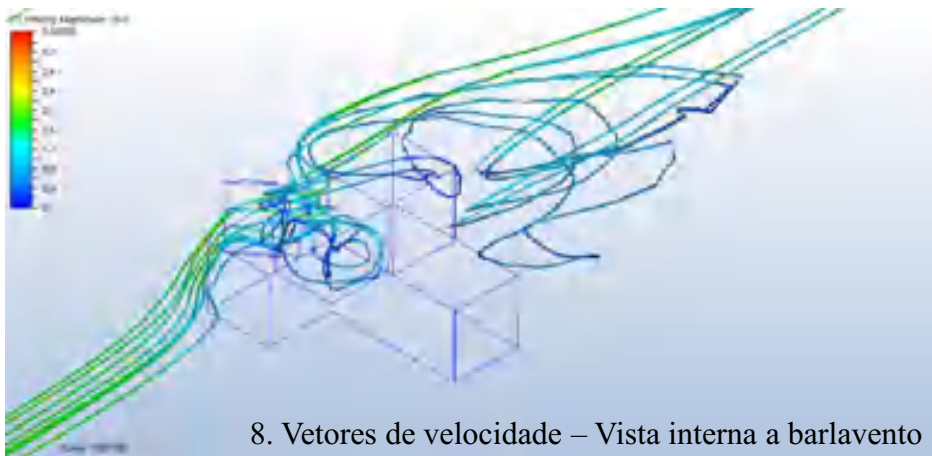


Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



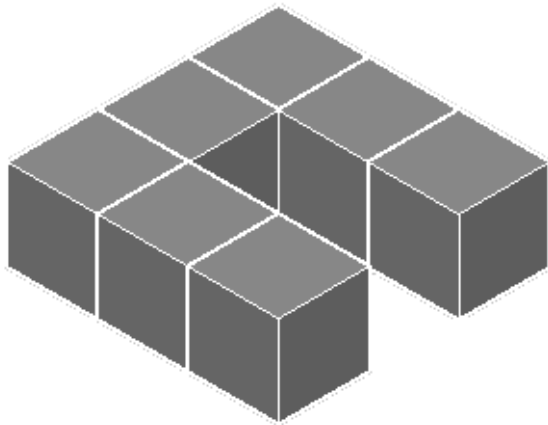


Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



FACE FRONTAL COM OBSTÁCULO

$M_{20}:H:P$



Hipótese 1: Deslocamento do volume lateral

Hipótese 2: Pátio com 9m

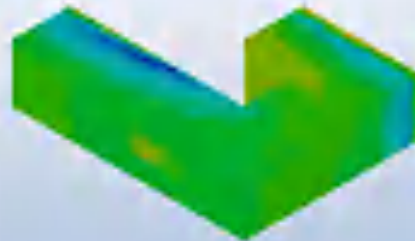
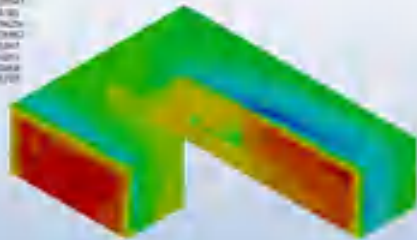
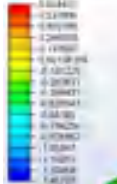
Hipótese 3: Pátio com 18m

Hipótese 4: Anteparo vertical



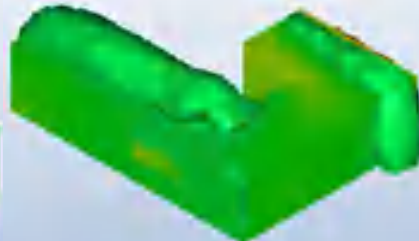
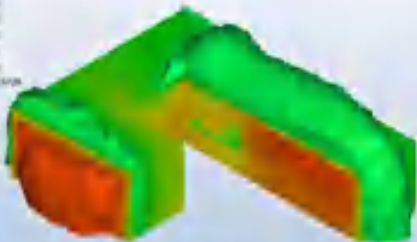
Hipótese 1: Deslocamento do volume lateral

100 Pressure Coefficient

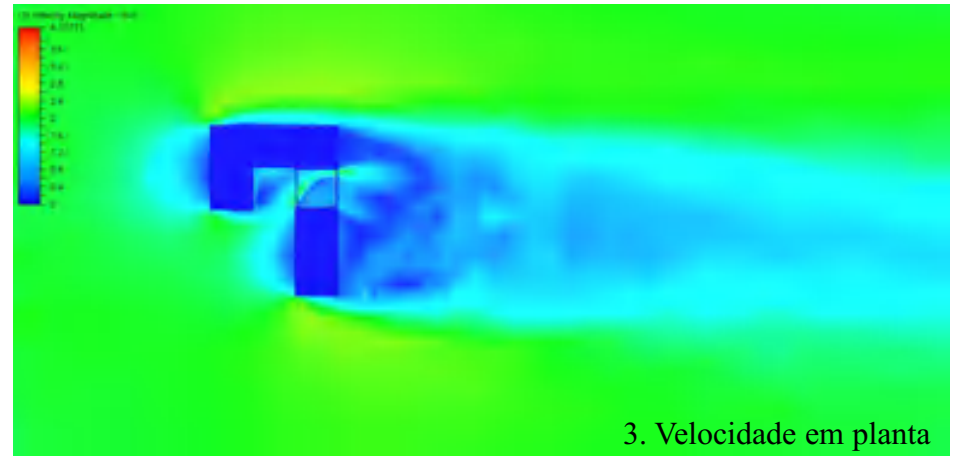


1. Coeficiente de pressão

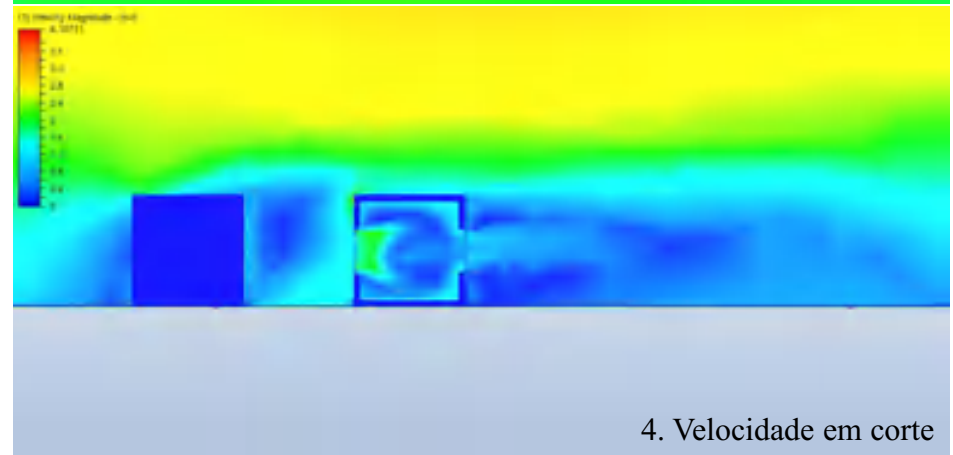
100 Pressure Coefficient



2. Superfícies de pressão



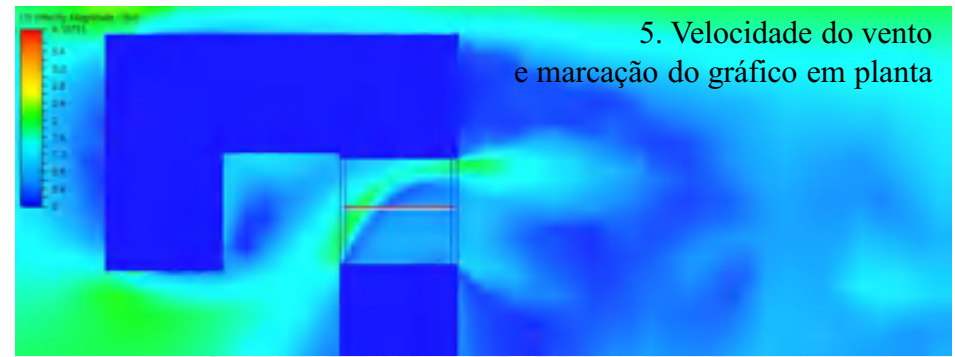
3. Velocidade em planta



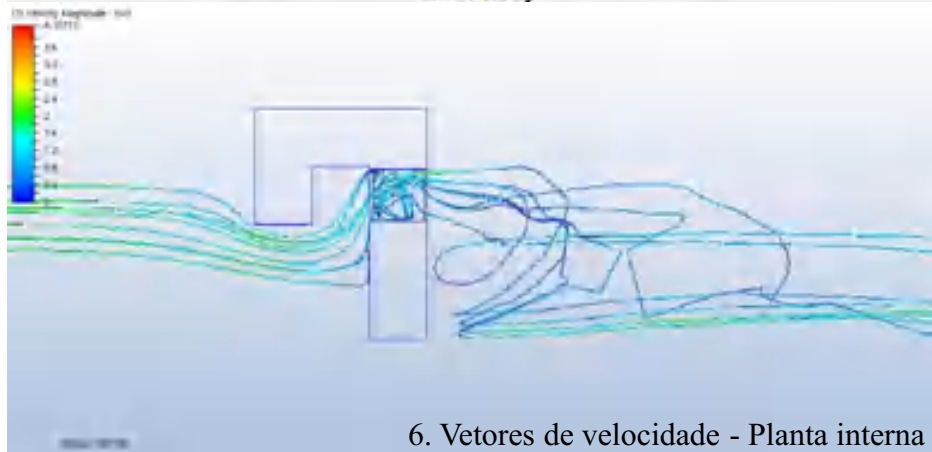
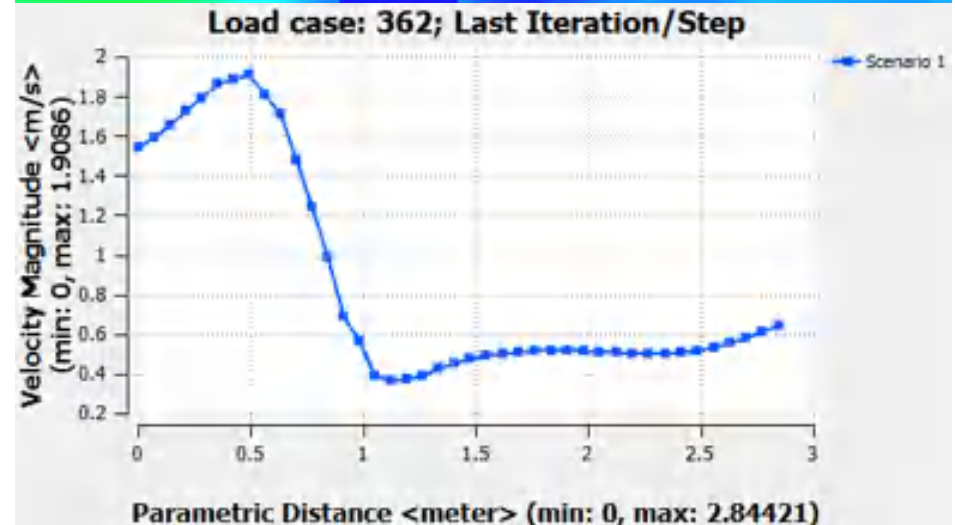
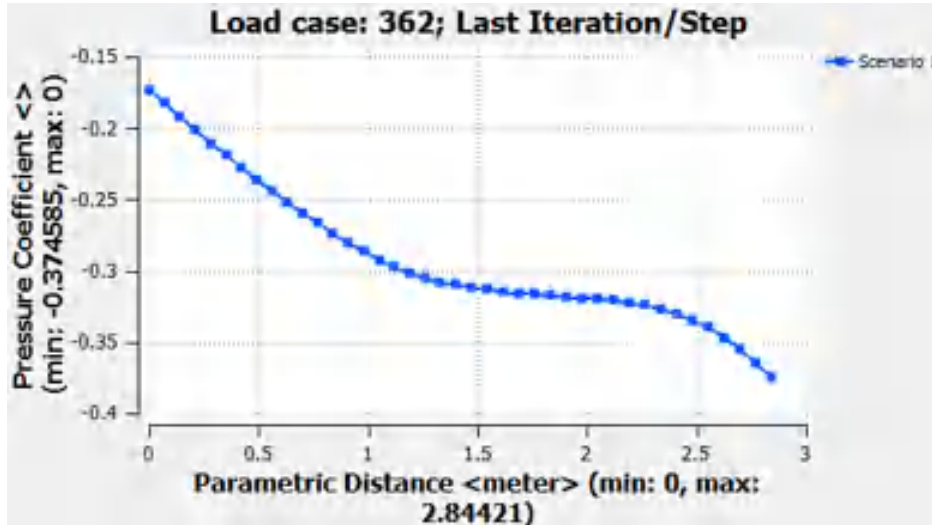
4. Velocidade em corte



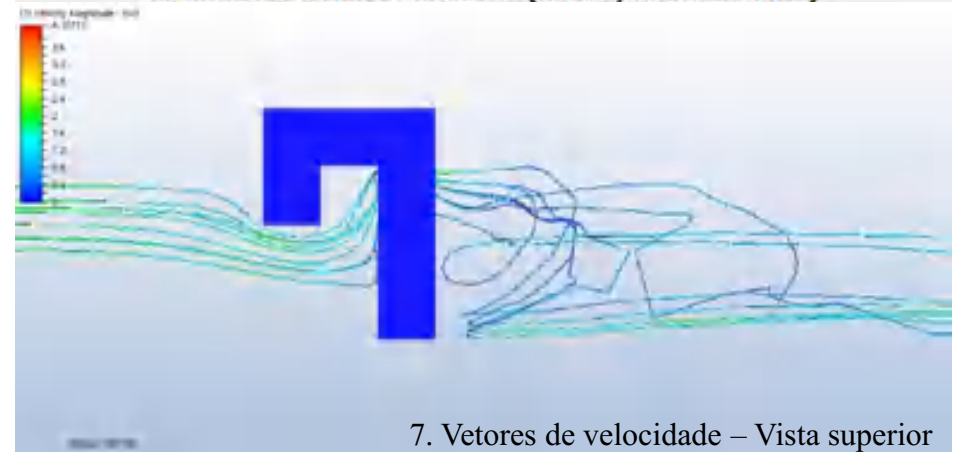
Hipótese 1: Deslocamento do volume lateral



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



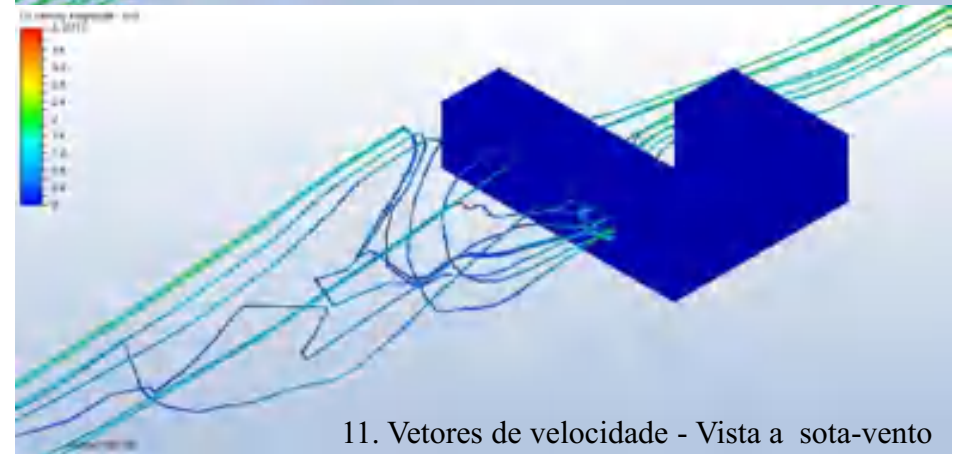
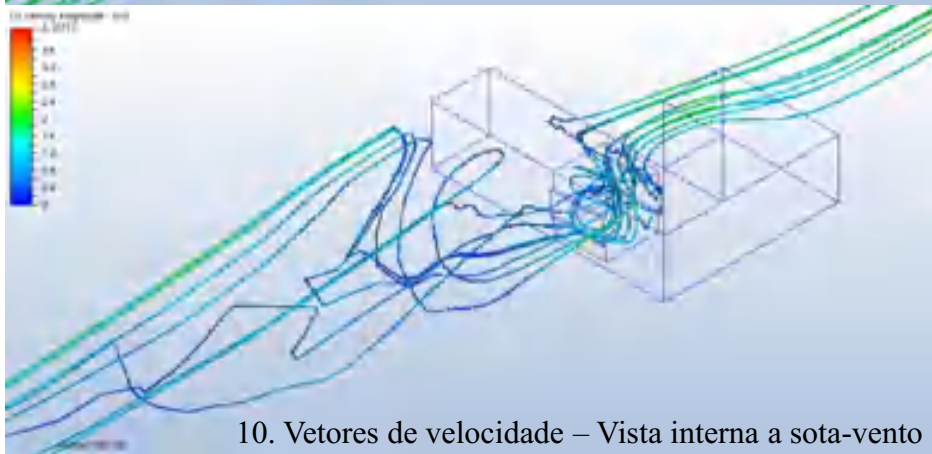
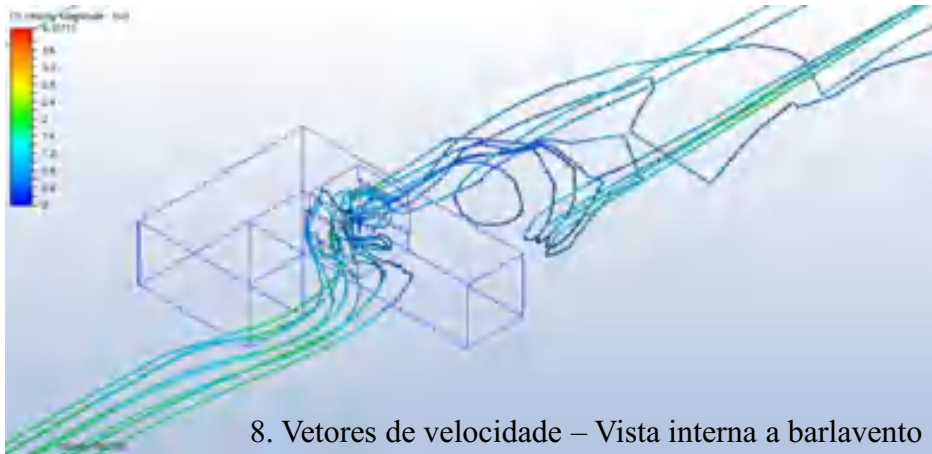
6. Vetores de velocidade - Planta interna



7. Vetores de velocidade - Vista superior

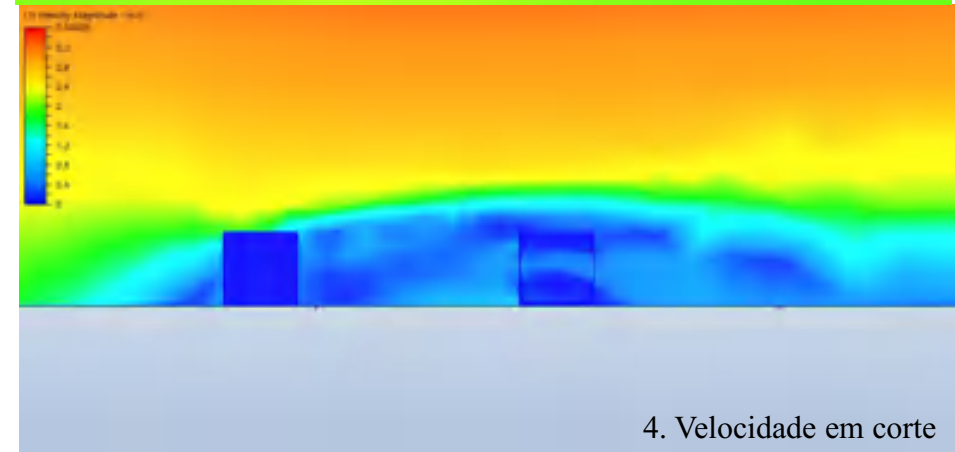
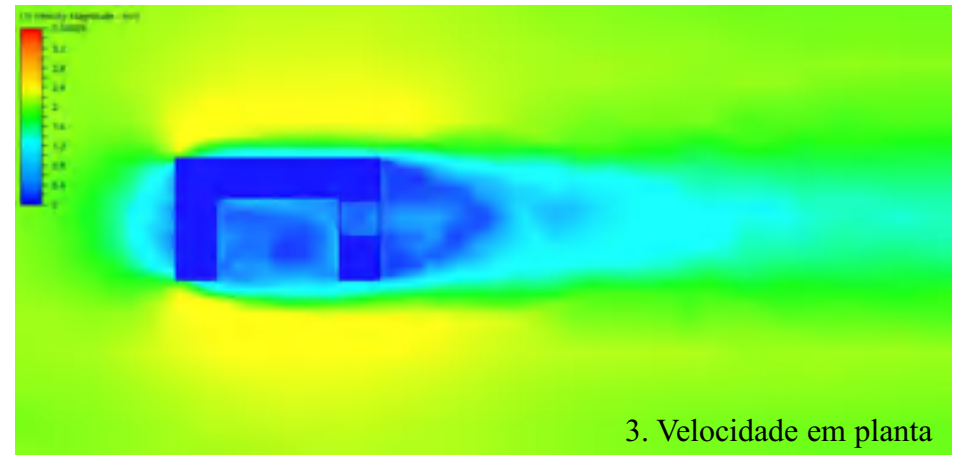
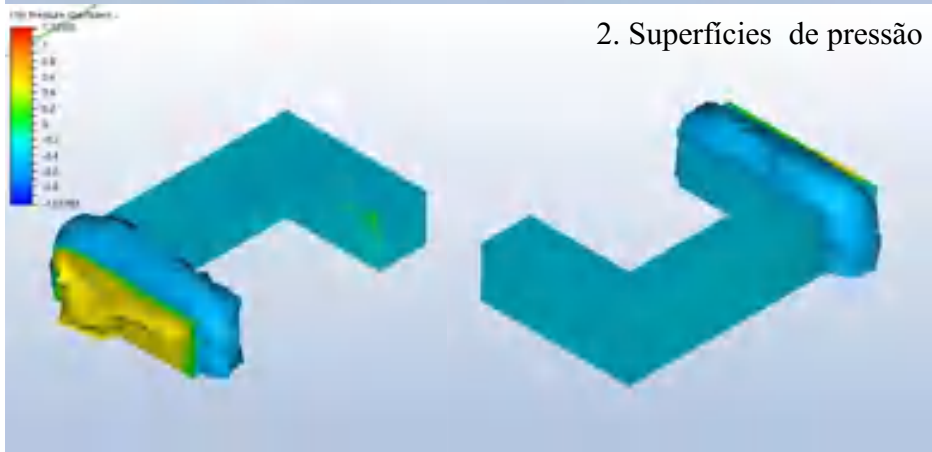
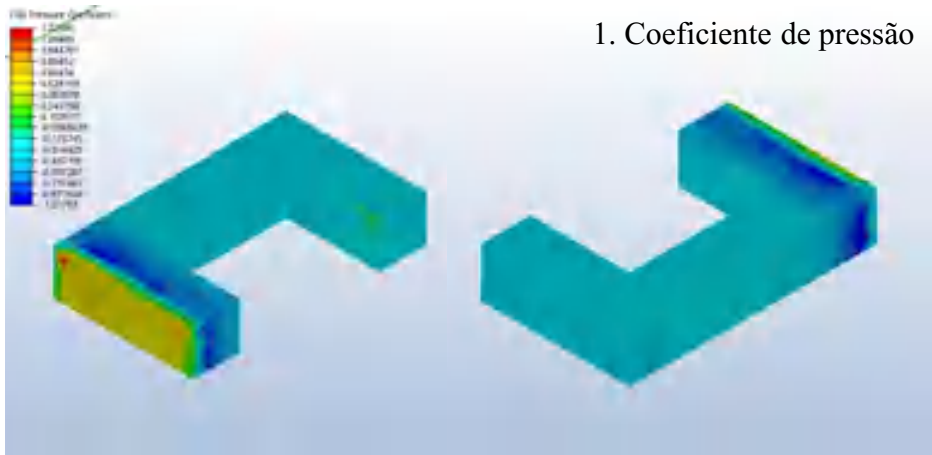


Hipótese 1: Deslocamento do volume lateral



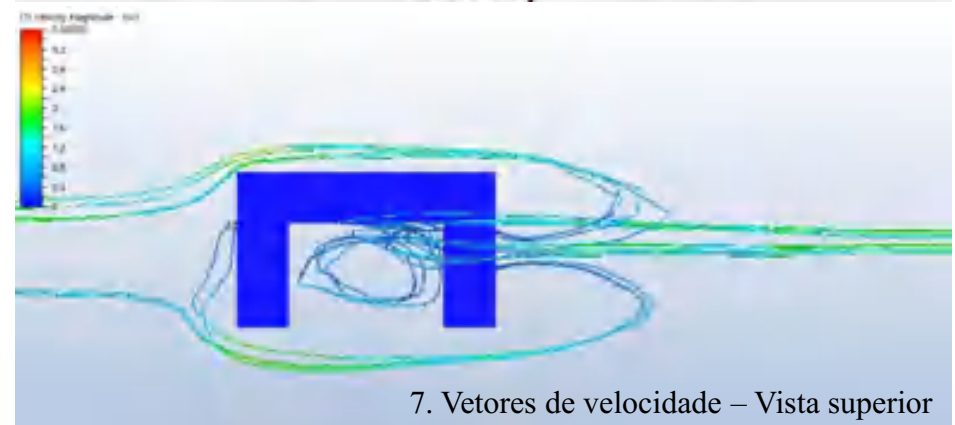
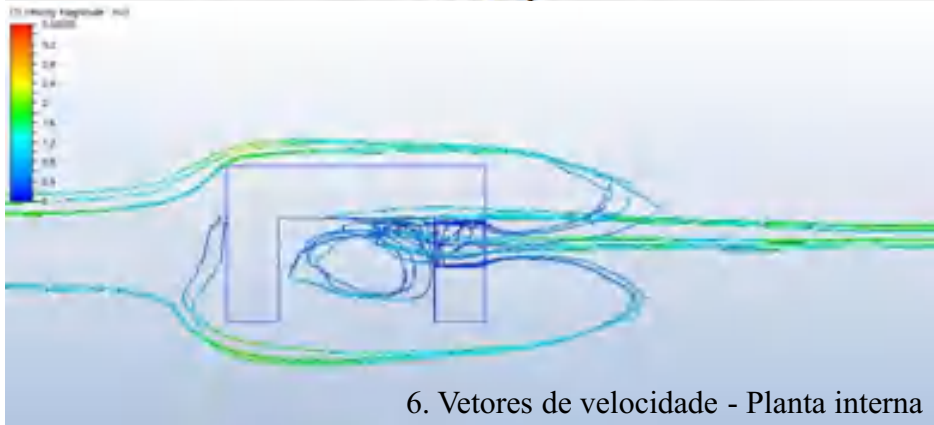
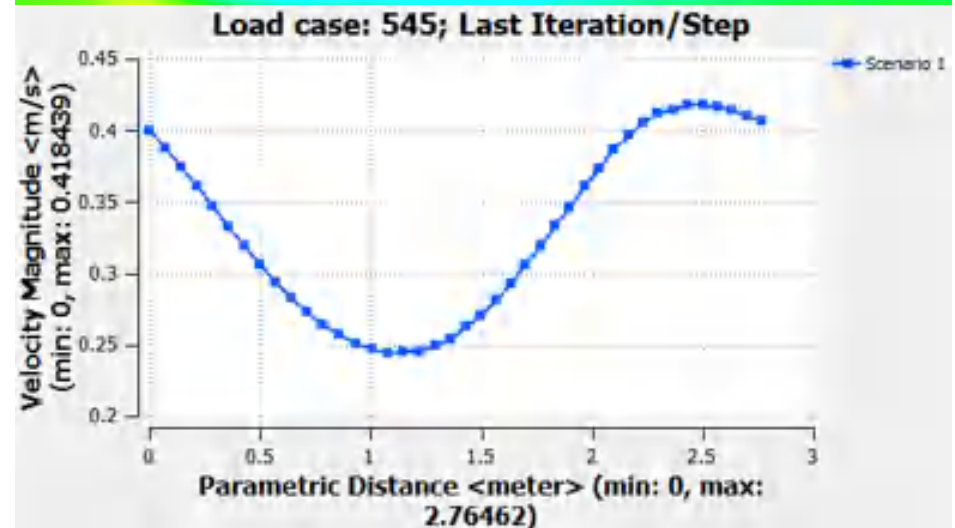
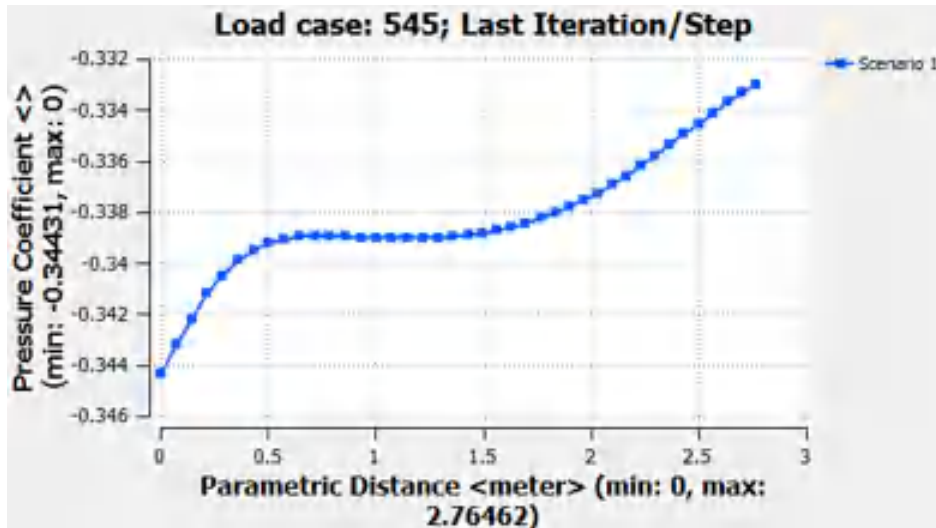
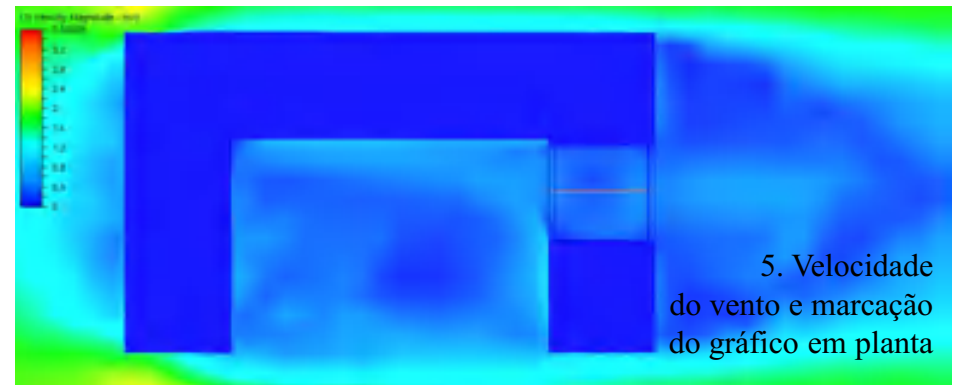


Hipótese 2: Pátio com 9m



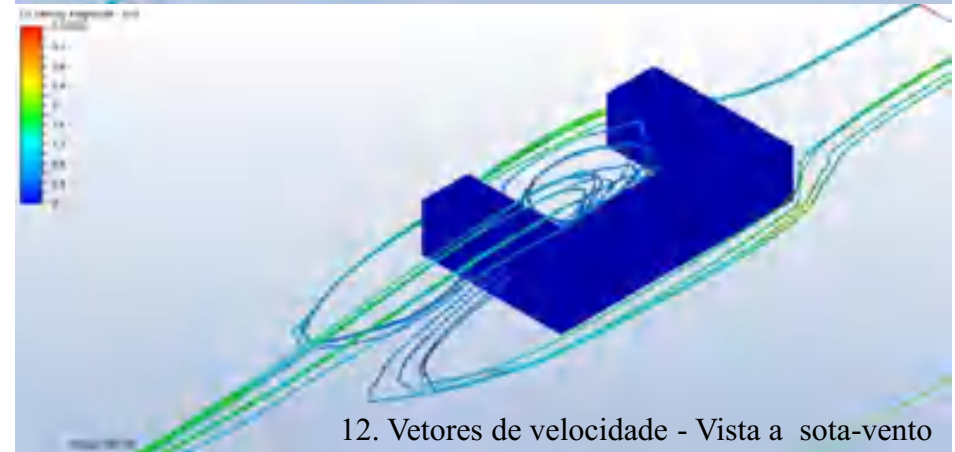
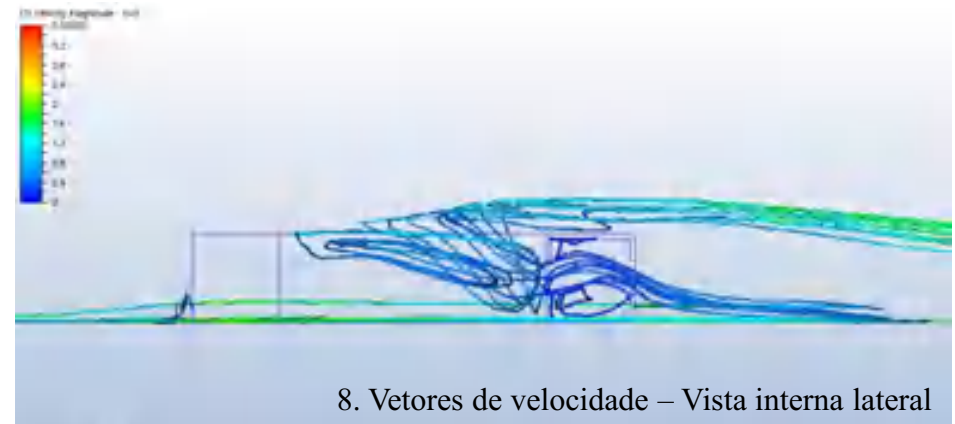
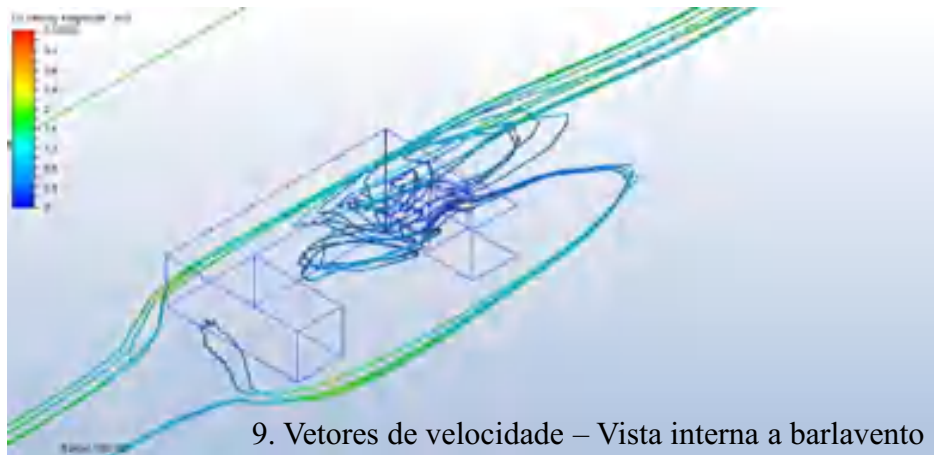


Hipótese 2: Pátio com 9m



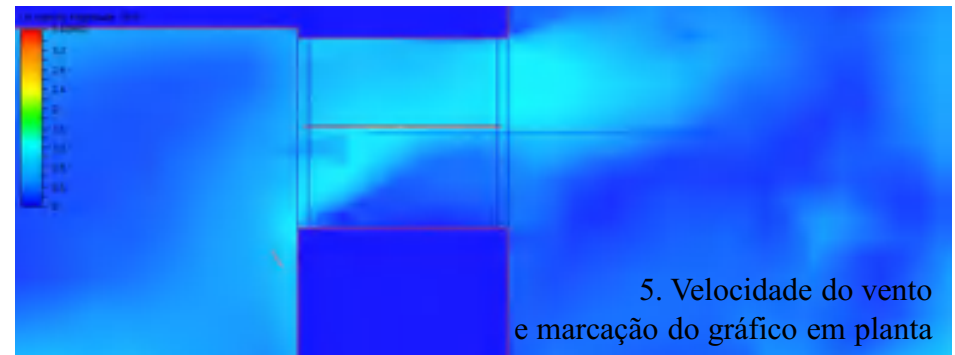


Hipótese 2: Pátio com 9m

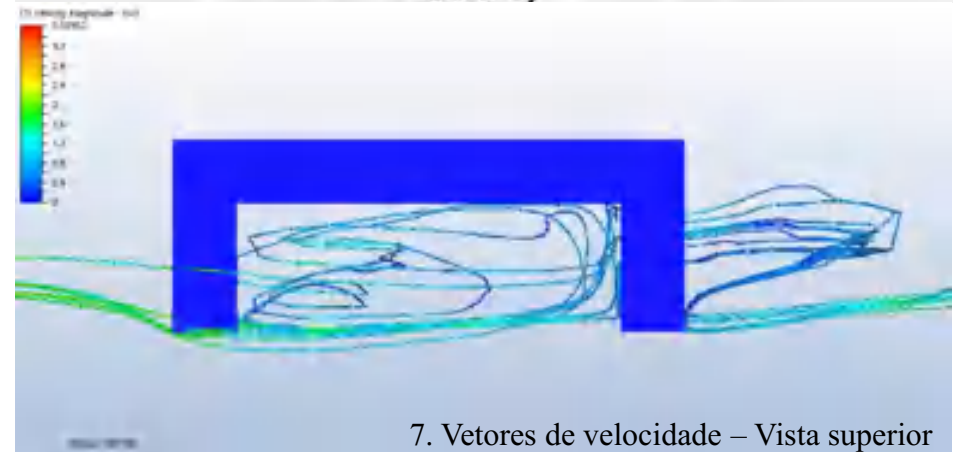
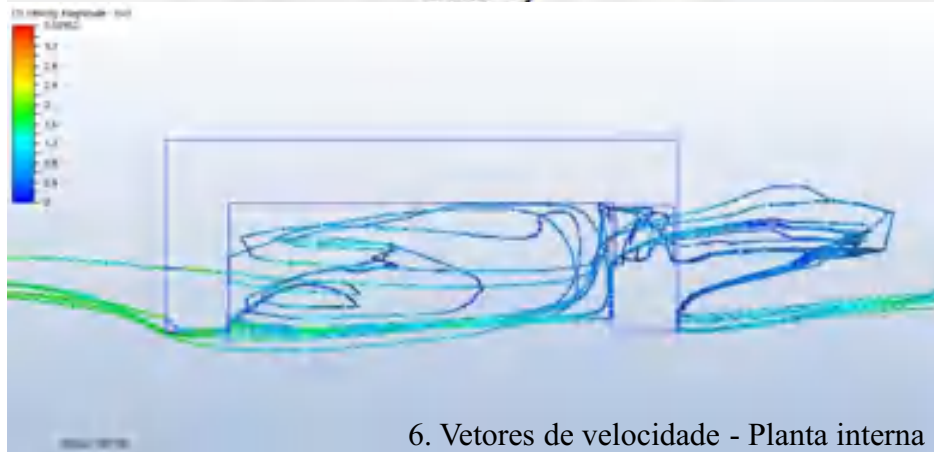
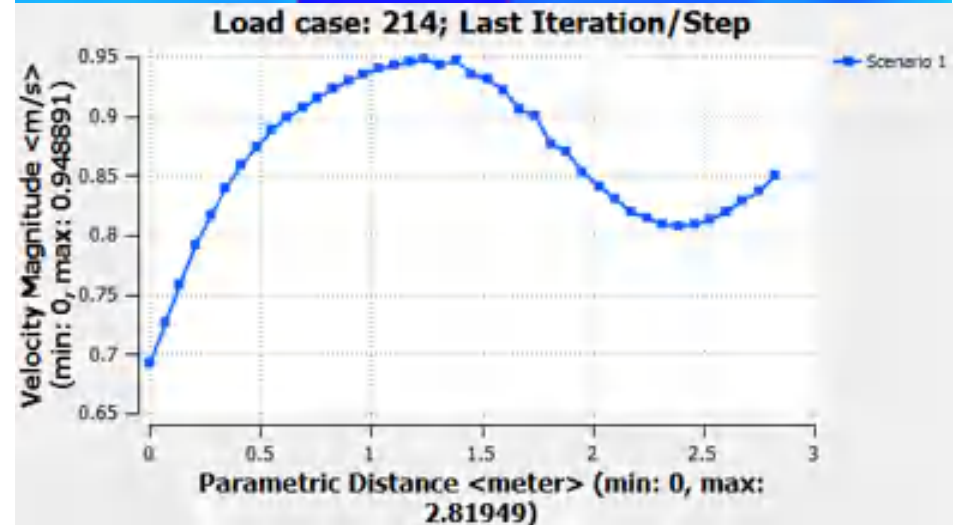
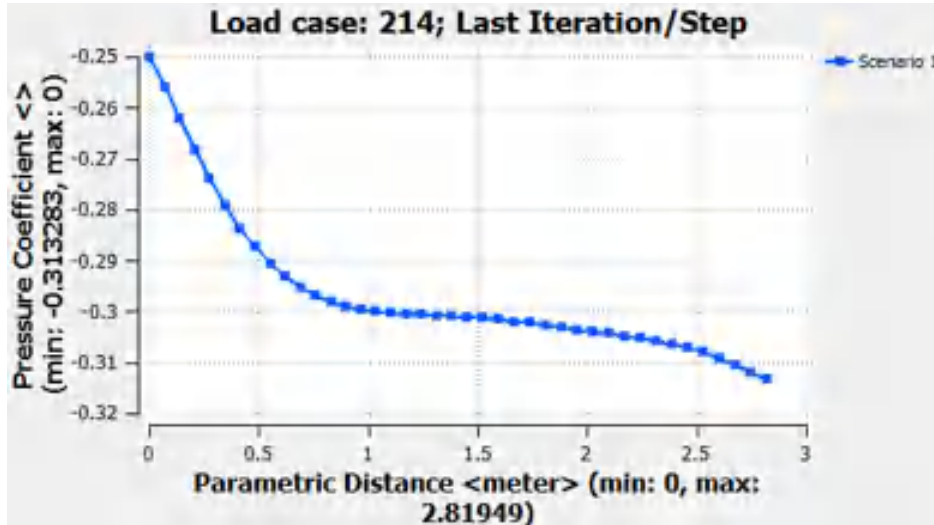




Hipótese 3: Pátio com 18m

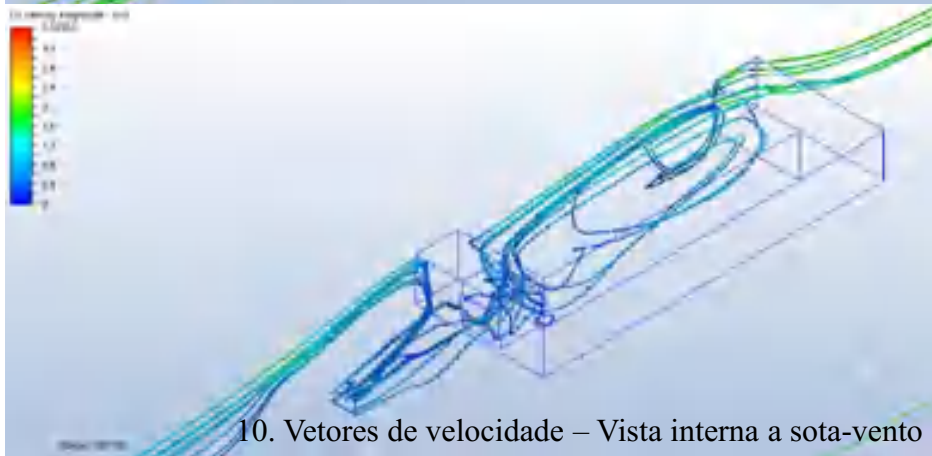
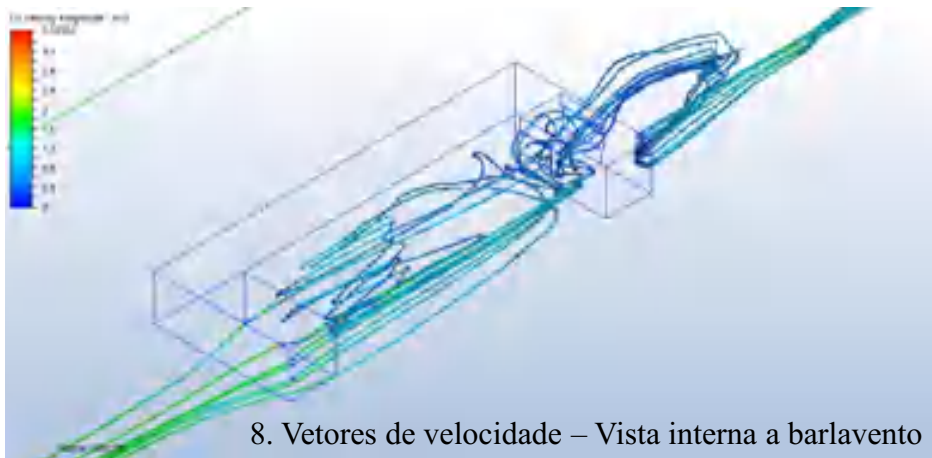


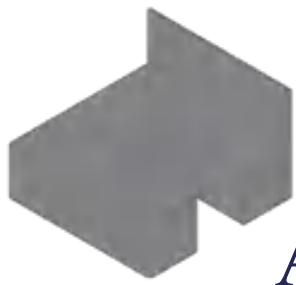
5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



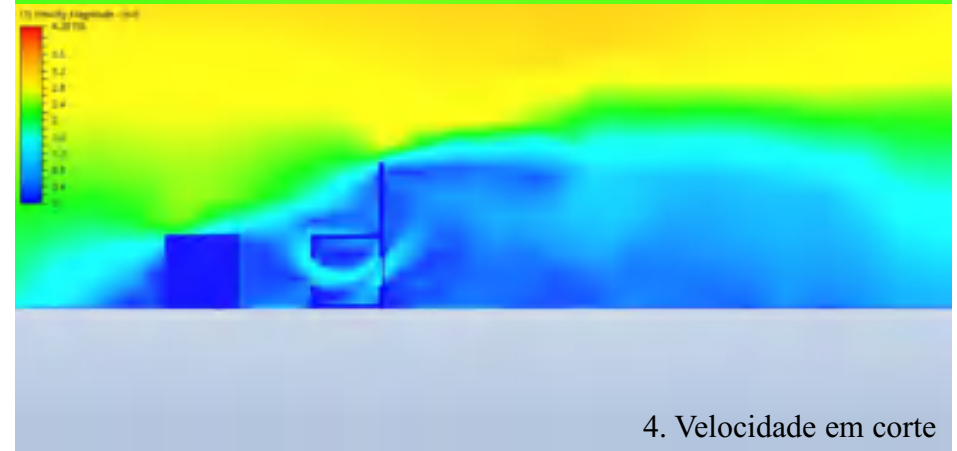
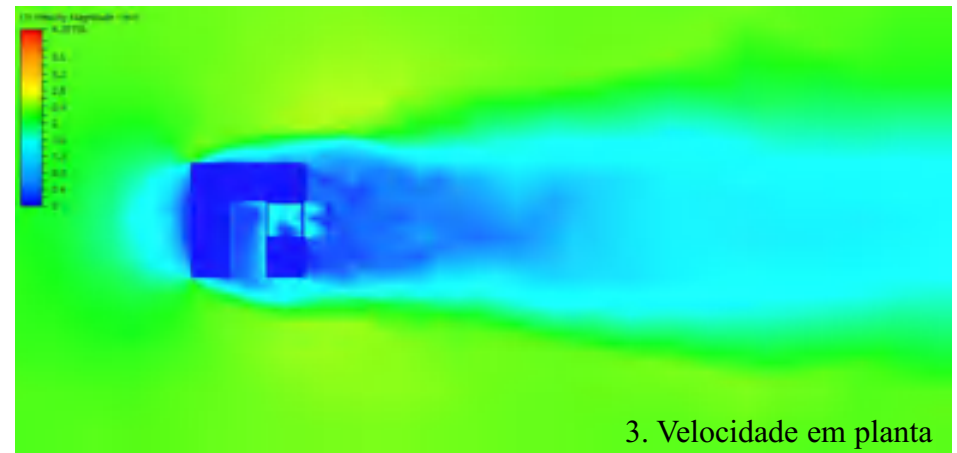
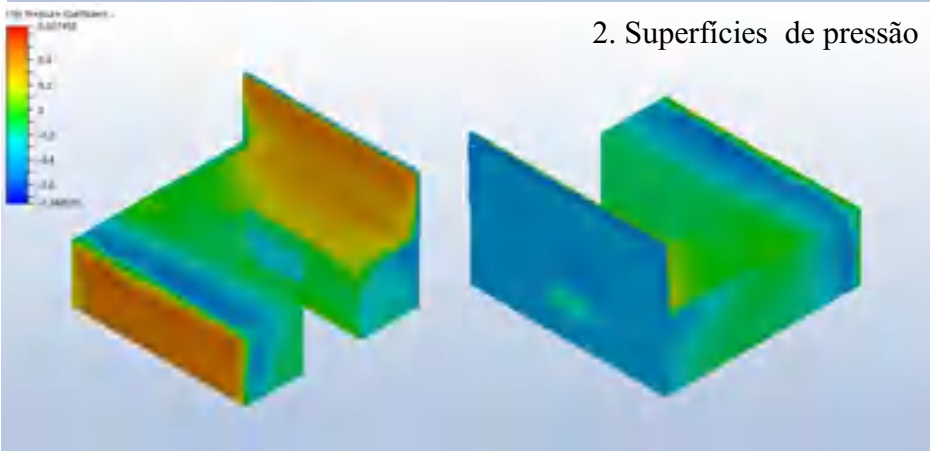
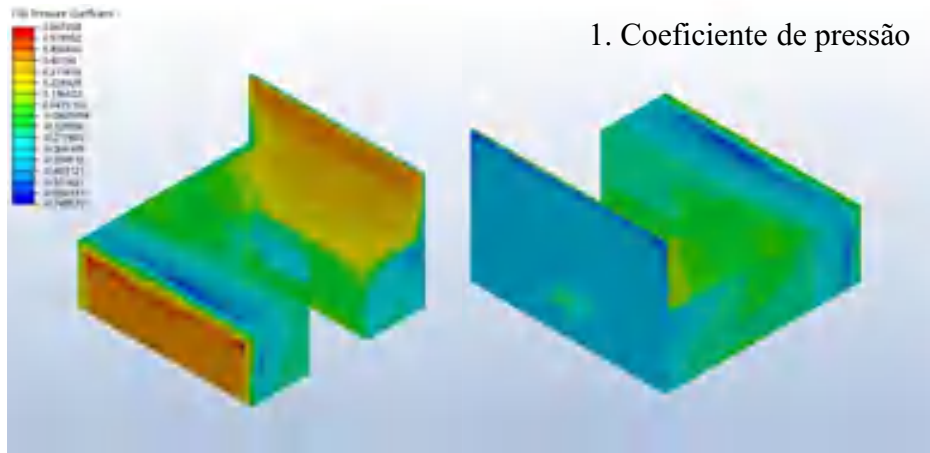


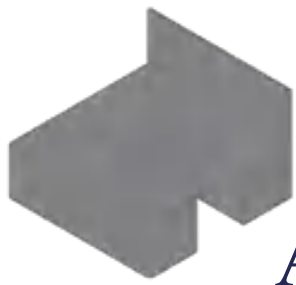
Hipótese 3: Pátio com 18m



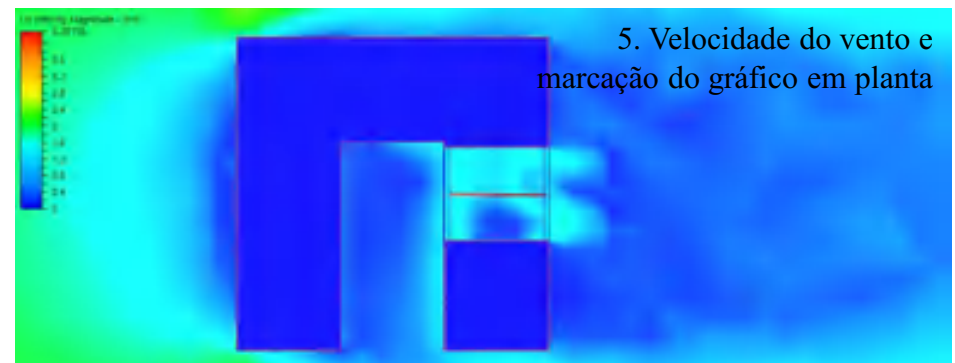


Hipótese 4: Anteparo vertical

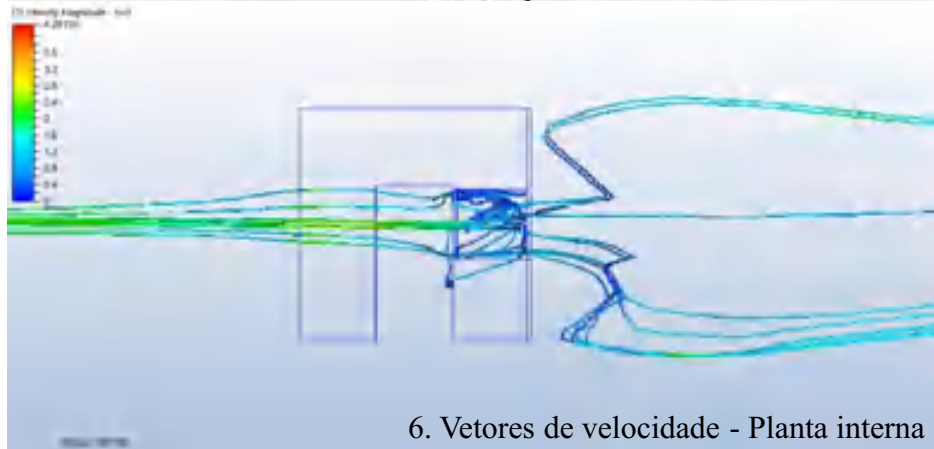
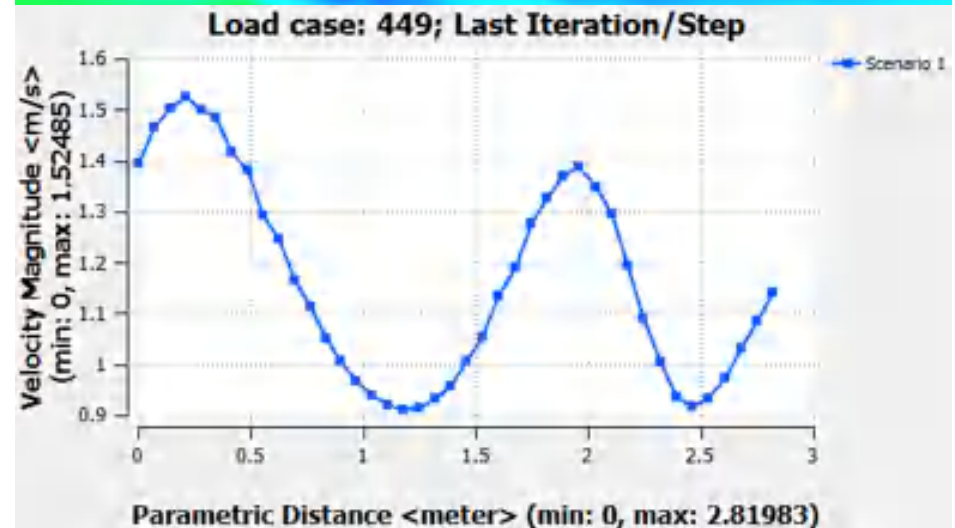
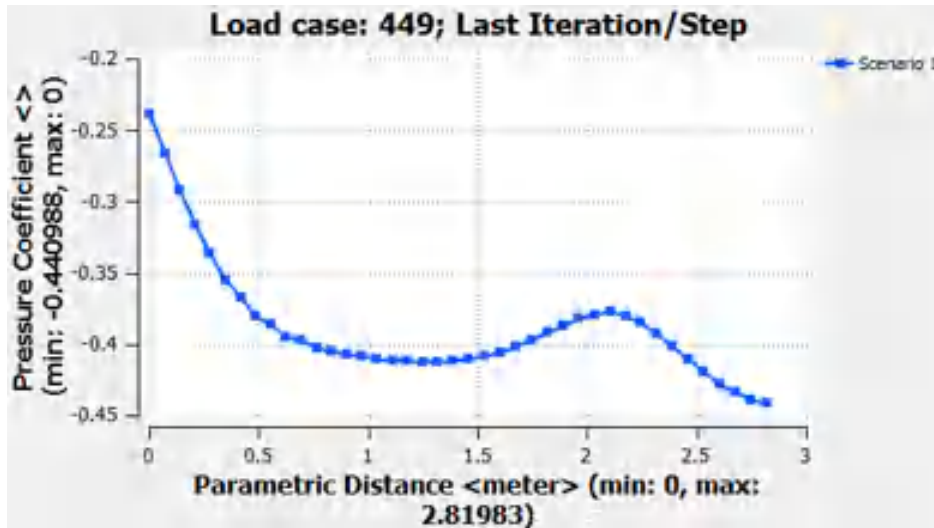




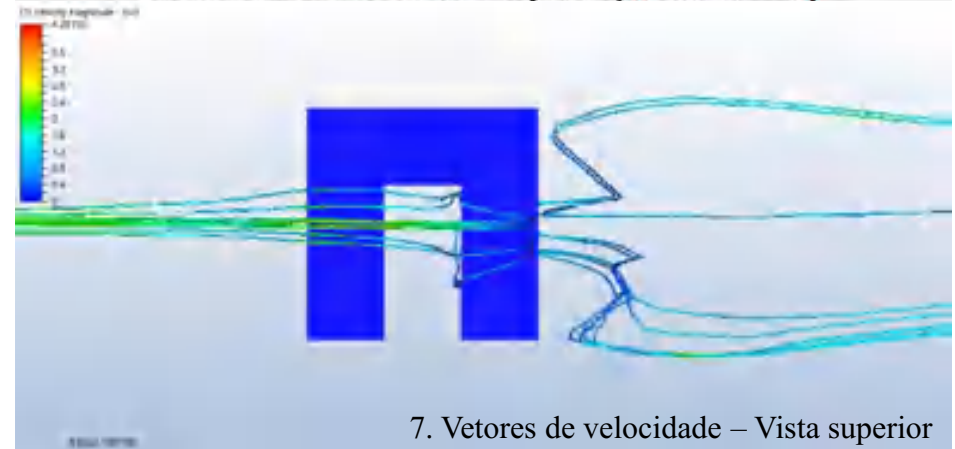
Hipótese 4: Anteparo vertical



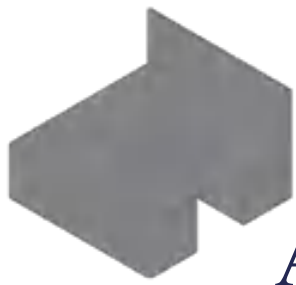
5. Velocidade do vento e
marcação do gráfico em planta



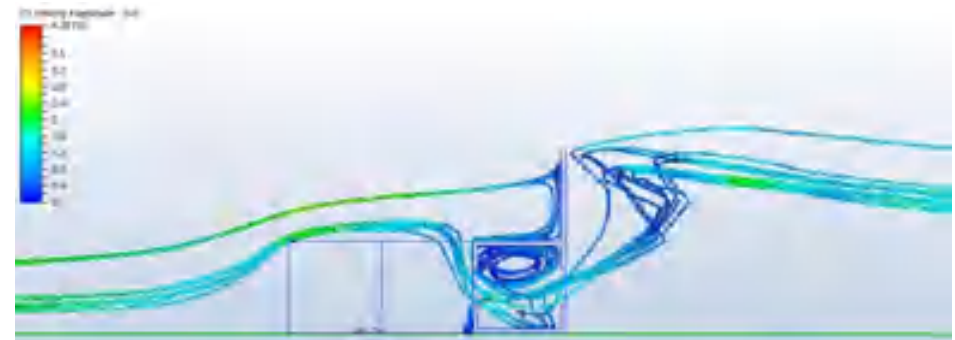
6. Vetores de velocidade - Planta interna



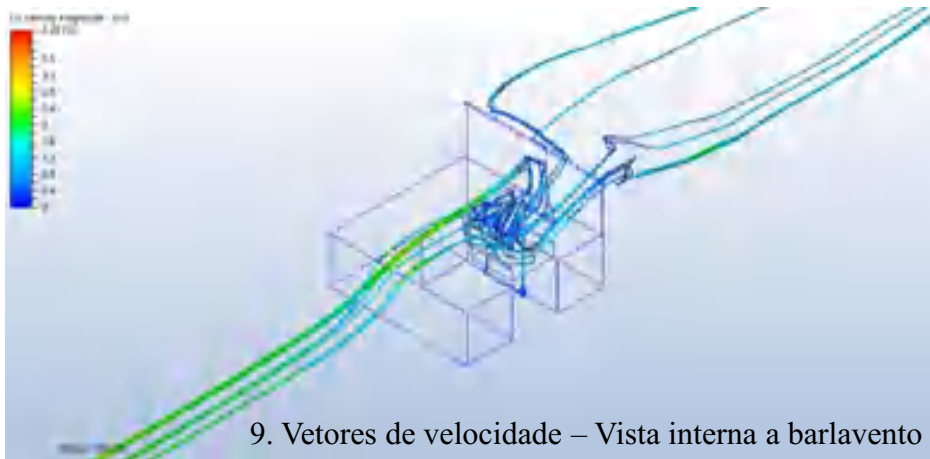
7. Vetores de velocidade – Vista superior



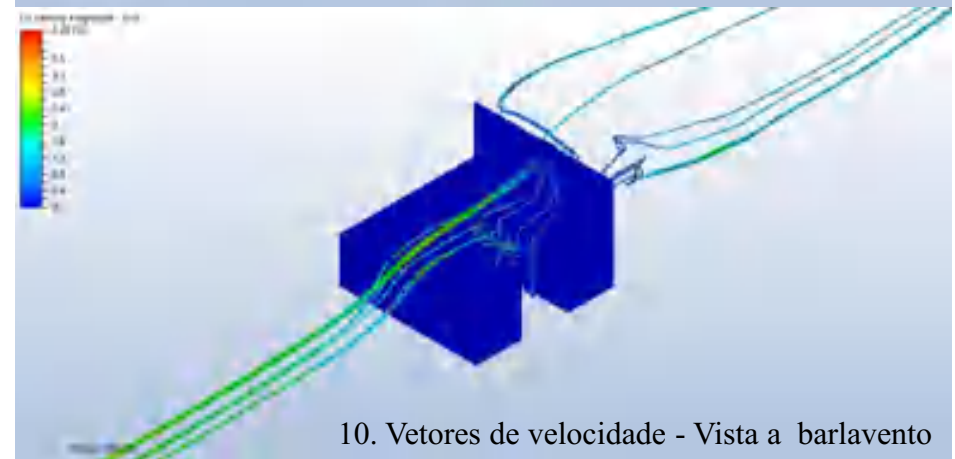
Hipótese 4: Anteparo vertical



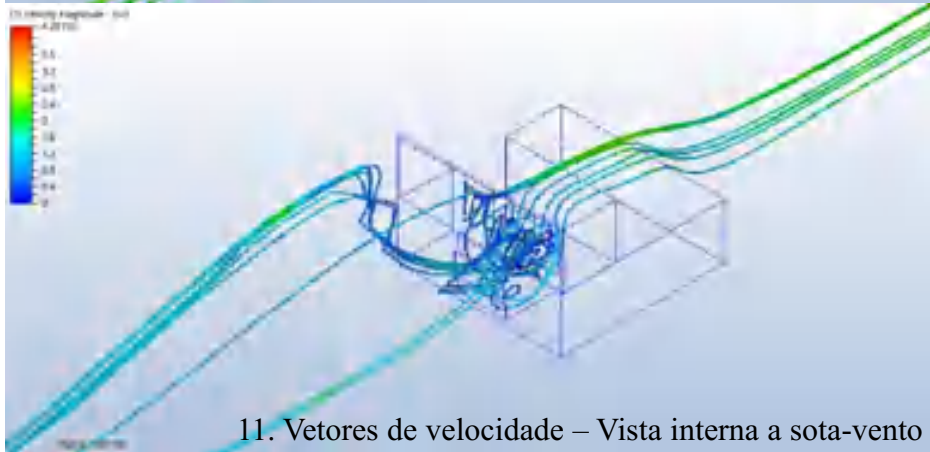
8. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



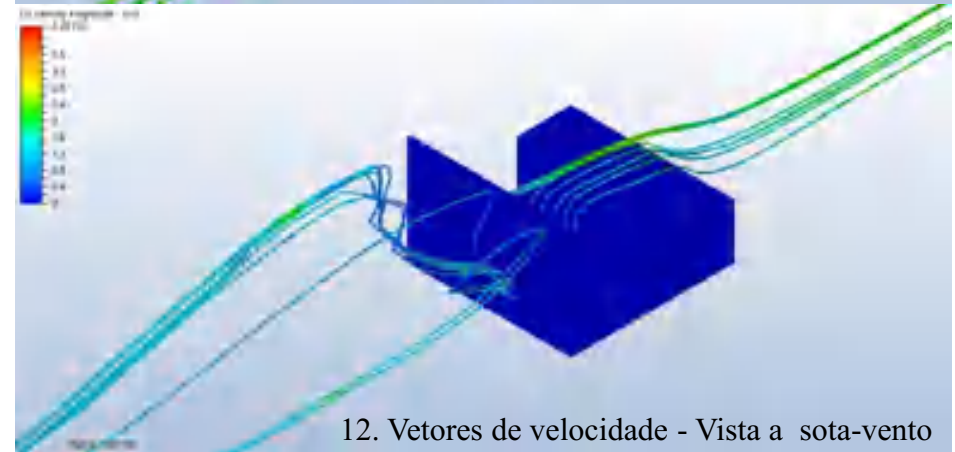
9. Vetores de velocidade – Vista interna a barlavento



10. Vetores de velocidade - Vista a barlavento



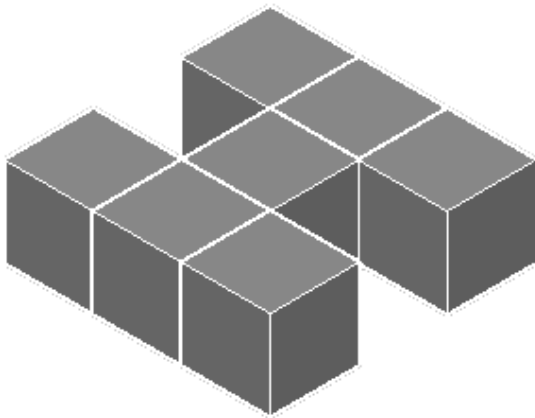
11. Vetores de velocidade – Vista interna a sota-vento



12. Vetores de velocidade - Vista a sota-vento

FACE FRONTAL COM OBSTÁCULO

M21:H:P

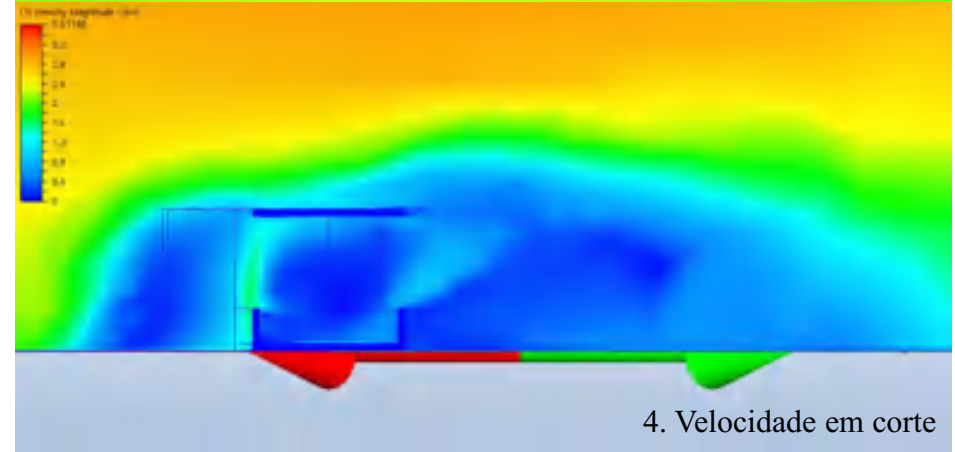
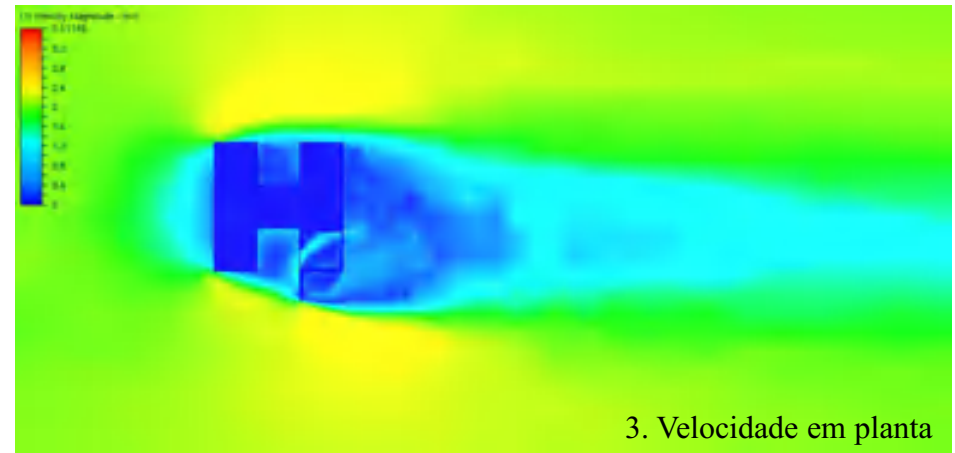
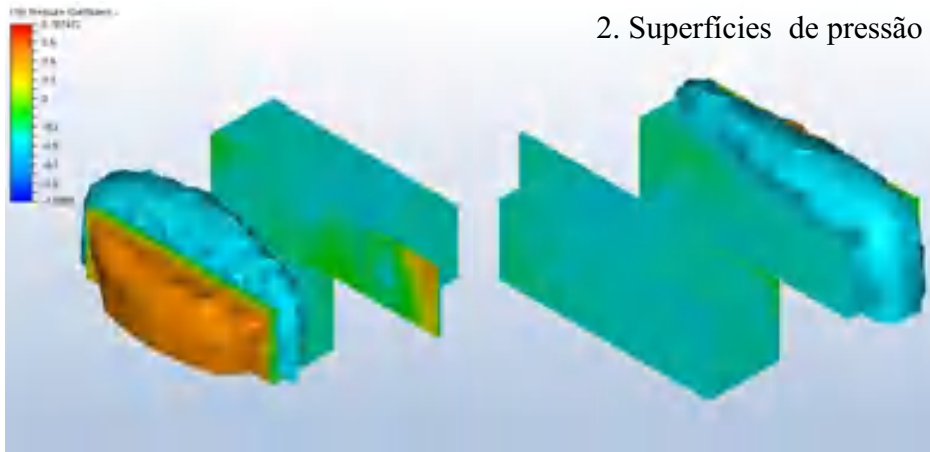
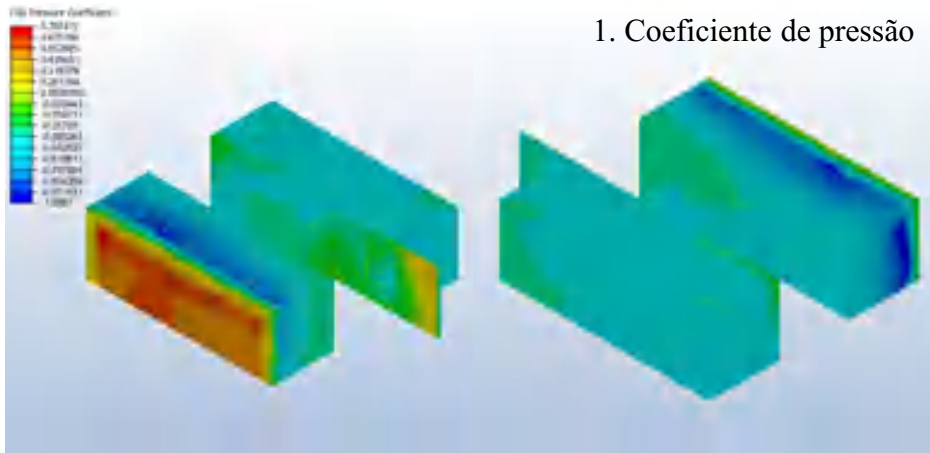


Hipótese 1: Anteparo com 2m

Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

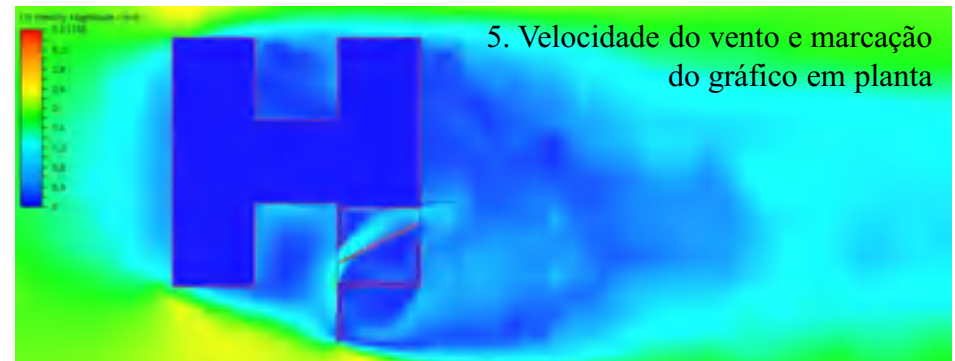


Hipótese 1: Anteparo com 2m

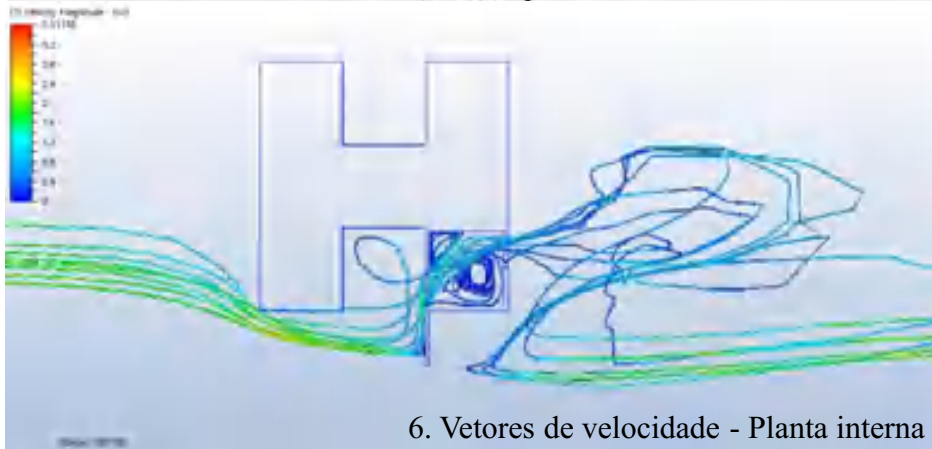
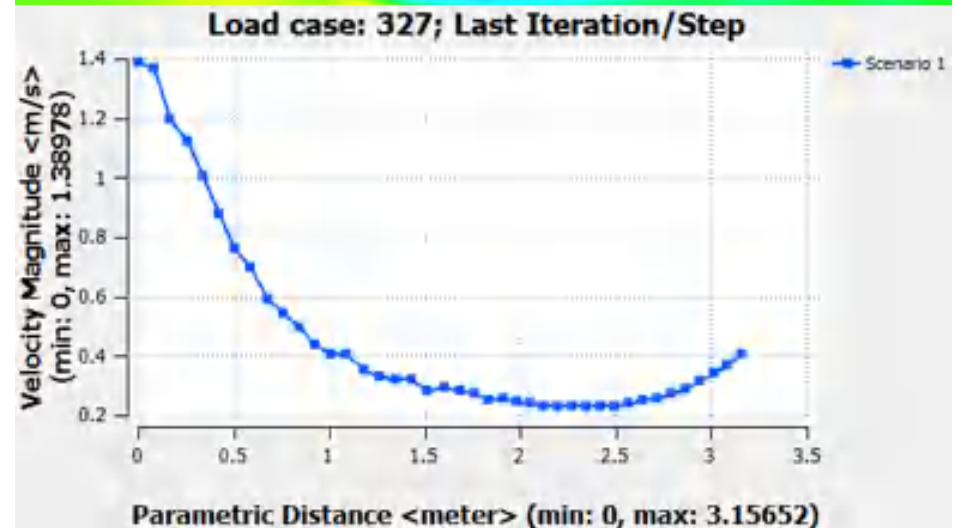
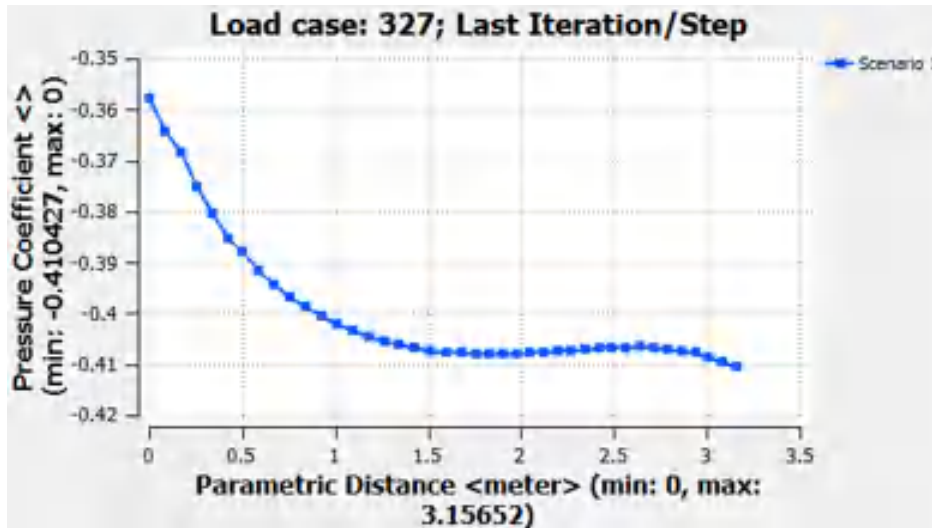




Hipótese 1: Anteparo com 2m



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



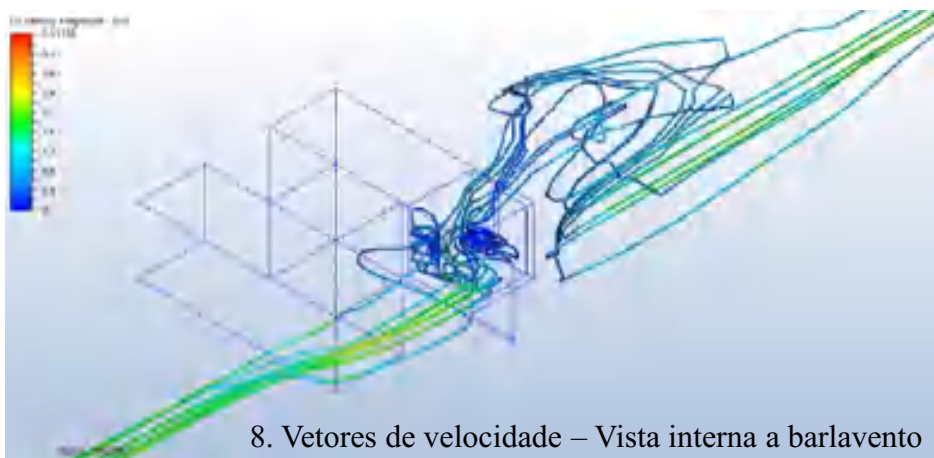
6. Vetores de velocidade - Planta interna



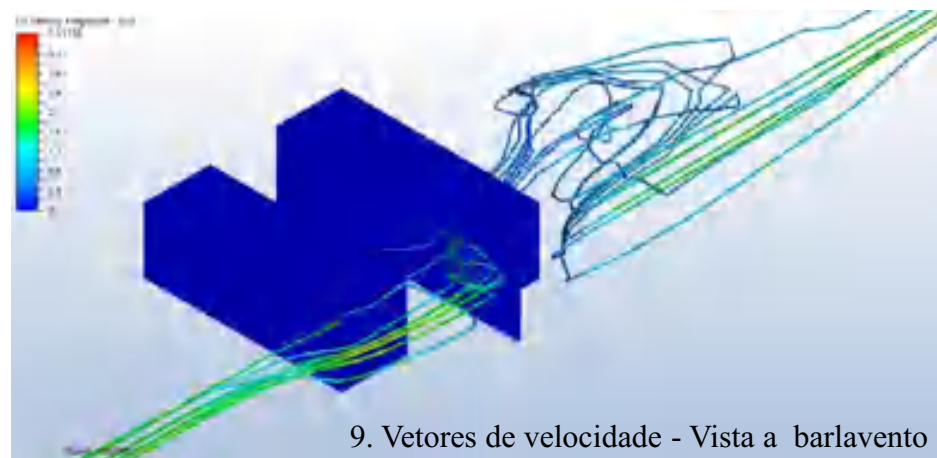
7. Vetores de velocidade – Vista superior



Hipótese 1: Anteparo com 2m



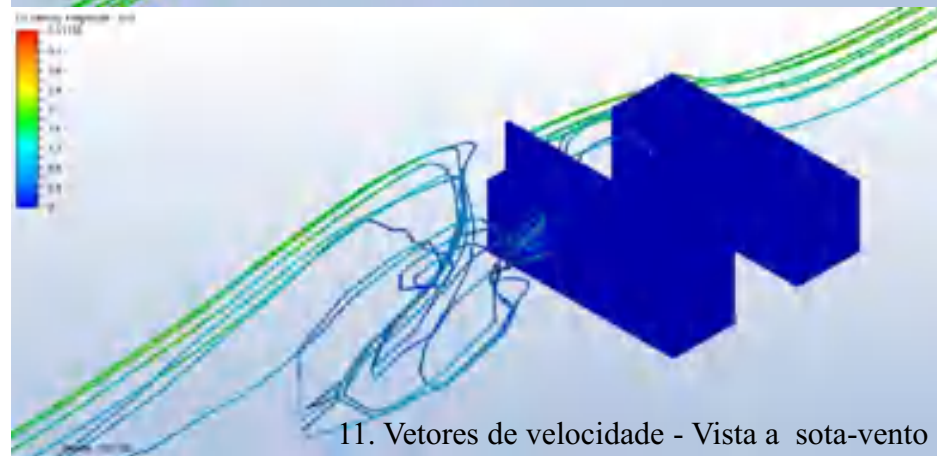
8. Vetores de velocidade – Vista interna a barlavento



9. Vetores de velocidade - Vista a barlavento



10. Vetores de velocidade – Vista interna a sota-vento

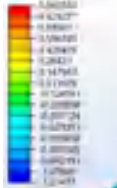


11. Vetores de velocidade - Vista a sota-vento



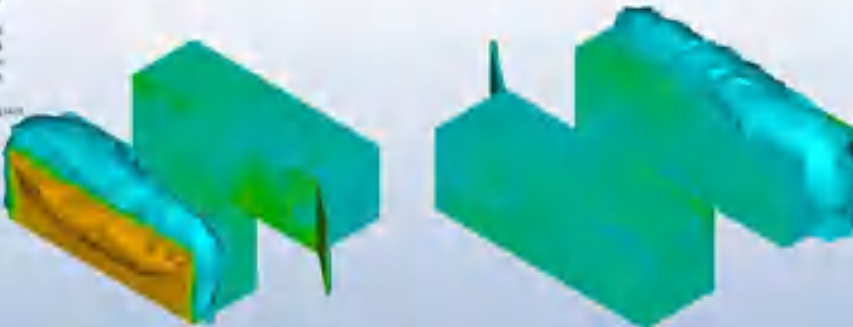
Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

1. Coeficiente de pressão

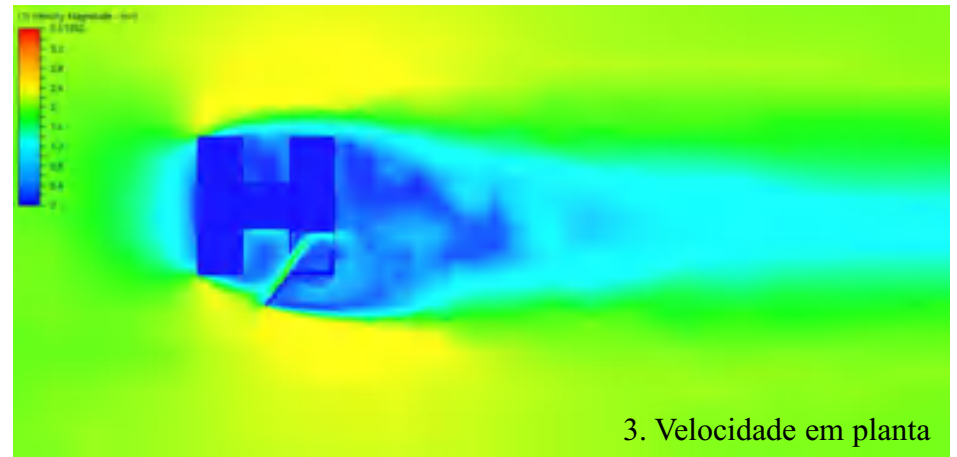


1. Coeficiente de pressão

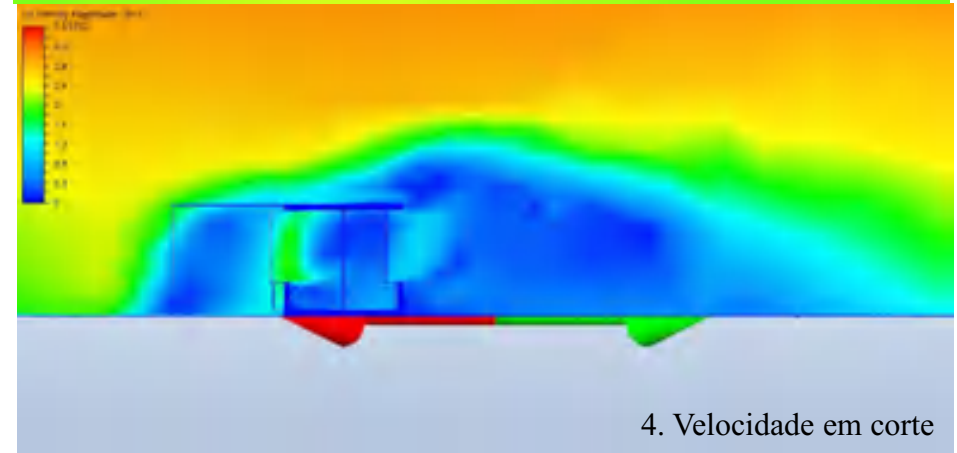
2. Superfícies de pressão



2. Superfícies de pressão



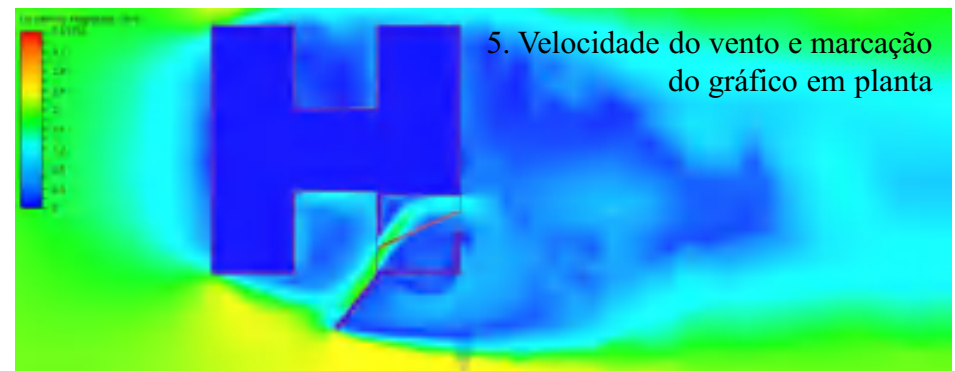
3. Velocidade em planta



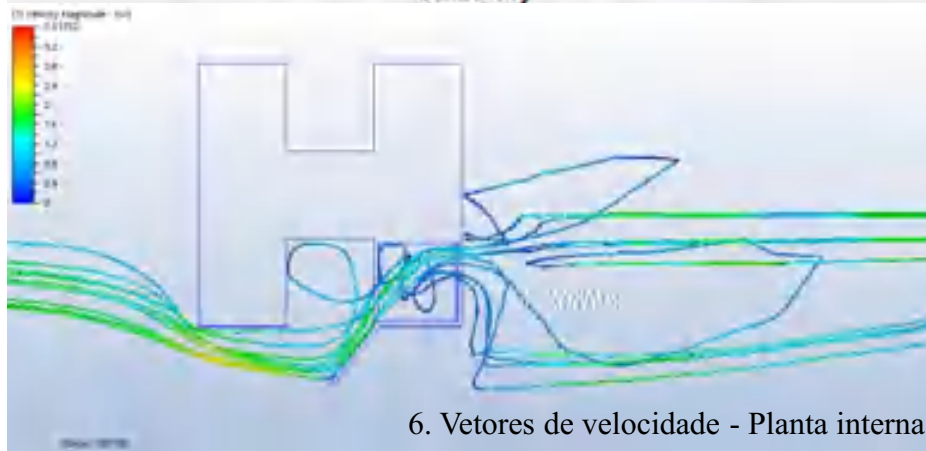
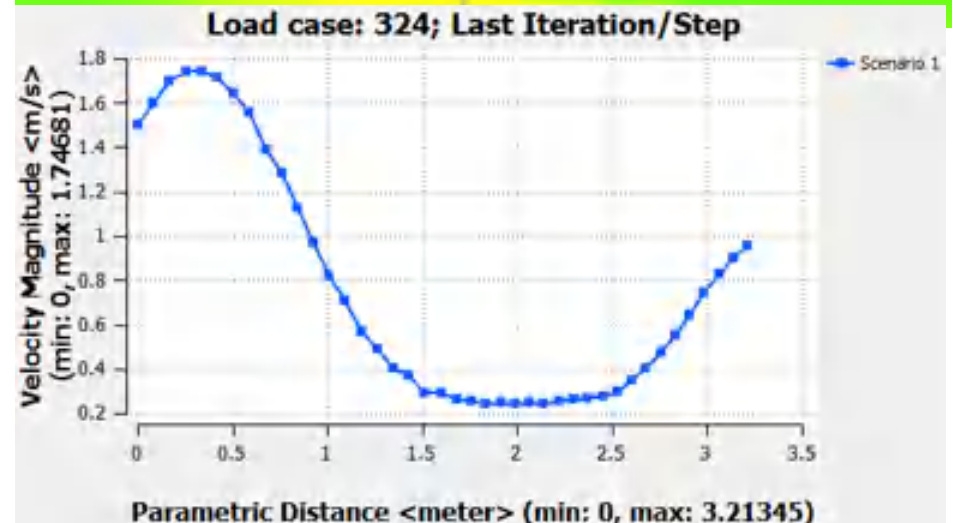
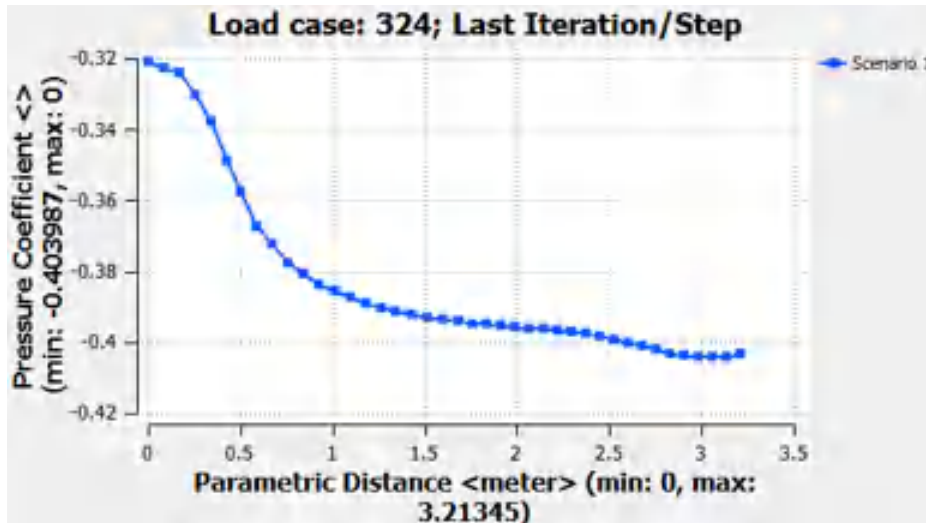
4. Velocidade em corte



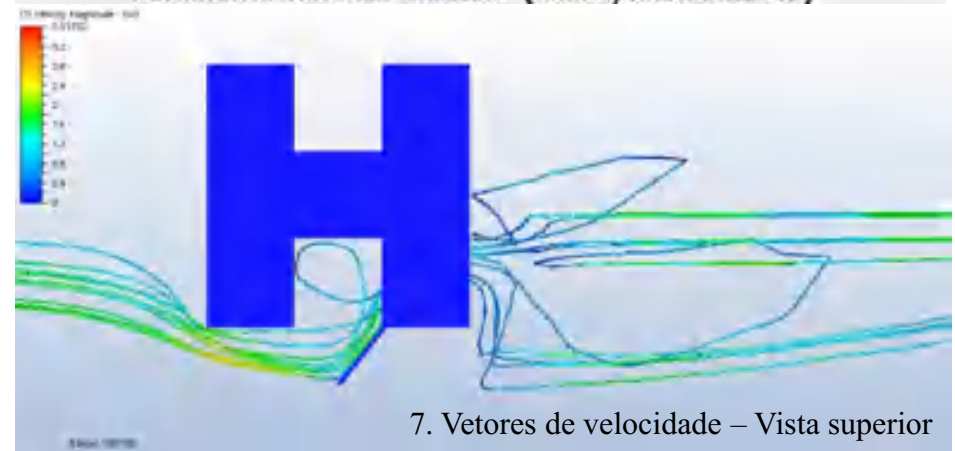
Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



6. Vetores de velocidade - Planta interna



7. Vetores de velocidade – Vista superior



Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

