



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE BALSAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

THIAGO DE SOUSA BATISTA

**ANÁLISE FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL DA
VENTILAÇÃO NATURAL DO GINÁSIO REI PELÉ**

**BALSAS-MA
2025**

Thiago de Sousa Batista

Análise fluidodinâmica computacional da ventilação natural do ginásio rei Pelé

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil, do Centro de Ciências de Balsas, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Leandro Gomes Domingos

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

de Sousa Batista, Thiago.

ANÁLISE FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL DA VENTILAÇÃO
NATURAL DO GINÁSIO REI PELÉ / Thiago de Sousa Batista. -
2025.

59 p.

Orientador(a): Leandro Gomes Domingos.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil,
Universidade Federal do Maranhão, Balsas - Ma, 2025.

1. Ventilação Natural. 2. Conforto Térmico. 3. Cfd.
4. Lanternins. 5. Aberturas Laterais. I. Gomes
Domingos, Leandro. II. Título.

Thiago de Sousa Batista

Análise fluidodinâmica computacional da ventilação natural do ginásio rei Pelé

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil, do Centro de Ciências de Balsas, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 19 de fevereiro de 2025.

Prof. Me. Leandro Gomes Domingos – Orientador

Prof. Dr. Daniel Beserra Costa – Examinador interno

Profa. Dra. Amanda Paiva Farias – Examinador externo

Balsas-MA

2025

RESUMO

O conforto térmico refere-se ao estado em que uma pessoa se sente satisfeita com as condições térmicas do ambiente. Para alcançá-lo, são empregadas estratégias como a ventilação natural, que utiliza recursos naturais, como o vento, para diminuir a temperatura interna das edificações. Diante disso, foi realizada uma análise no Ginásio Rei Pelé, no município de Balsas – MA, com o objetivo de avaliar a influência da configuração das aberturas no fluxo interno de ar, estudar o comportamento do fluxo de ar no ginásio e propor medidas para melhorar o conforto térmico. A metodologia foi dividida em três etapas: levantamento *in loco*, análise computacional e avaliação dos resultados. No levantamento realizado no local, foram obtidas as medidas e características da edificação. Na segunda etapa, para determinar as direções e velocidades do vento, utilizou-se o *Autodesk Forma*, enquanto o *Ansys Discovery Live* foi empregado para a análise das aberturas do ginásio, definindo-se uma velocidade de 0,5 m/s entrando pelas aberturas laterais com temperatura média de 34 °C e uma temperatura interna do ginásio de 38 °C. Na terceira etapa, foram elaborados três modelos do ginásio Rei Pelé para comparação e, em seguida, foram analisados os resultados através dos resultados obtidos em tela. Em termos de características dos modelos, o primeiro foi uma simplificação da edificação em que portões e janelas foram retirados; no segundo modelo ampliou-se as aberturas laterais para 1,10 m; no último modelo as mesmas aberturas laterais foram aumentadas para 1,65 m e elevou-se o pé-direito para 6,00 m. Os resultados dos três modelos indicaram redução na temperatura interna de 1,3 °C, 2,3 °C e 2,5 °C, respectivamente. A análise comparativa mostrou que as aberturas laterais do modelo 1 possuem altura insuficiente, limitando a entrada de vento e dificultando a melhoria do conforto térmico no ginásio, enquanto o aumento das aberturas e a elevação do pé-direito demonstraram ser soluções mais eficazes para promover uma ventilação natural eficiente e temperaturas internas mais amenas. Conclui-se a importância de considerar as direções predominantes do vento em projetos arquitetônicos de ginásios e edificações semelhantes em Balsas – MA, quando visa-se aproveitar ao máximo a ventilação natural. Além disso, recomenda-se o aumento da altura das aberturas laterais do ginásio para melhorar a circulação de ar e, conseqüentemente, proporcionar um conforto térmico adequado aos frequentadores do ginásio.

Palavras chaves: ventilação natural; conforto térmico; CFD; lanternins; aberturas laterais.

ABSTRACT

Thermal comfort refers to the state in which a person feels satisfied with the thermal conditions of the environment. To achieve it, strategies such as natural ventilation are employed, using natural resources, such as wind, to reduce the internal temperature of buildings. In this context, an analysis was conducted at the Rei Pelé Gymnasium, located in the city of Balsas – MA, aiming to evaluate the influence of the configuration of openings on internal airflow, study the behavior of airflow inside the gymnasium, and propose measures to improve thermal comfort. The methodology was divided into three stages: on-site survey, computational analysis, and evaluation of results. In the on-site survey, the building's measurements and characteristics were obtained. In the second stage, to determine wind directions and speeds, Autodesk Forma was used, while Ansys Discovery Live was employed for analyzing the gymnasium openings, considering an airflow velocity of 0.5 m/s entering through the lateral openings, with an average temperature of 34 °C and an internal gymnasium temperature of 38 °C. In the third stage, three models of the Rei Pelé Gymnasium were developed for comparison, and the results were analyzed based on the visualized output data. Regarding the characteristics of the models, the first model was a simplified version of the building, where gates and windows were removed; in the second model, the lateral openings were expanded to 1.10 m; in the third model, the same lateral openings were increased to 1.65 m, and the ceiling height was raised to 6.00 m. The results of the three models indicated an internal temperature reduction of 1.3 °C, 2.3 °C, and 2.5 °C, respectively. The comparative analysis showed that the lateral openings of model 1 were insufficiently high, limiting wind entry and hindering the improvement of thermal comfort inside the gymnasium. Meanwhile, increasing the openings and raising the ceiling height proved to be more effective solutions for promoting efficient natural ventilation and achieving lower indoor temperatures. It is concluded that considering the predominant wind directions in architectural designs of gymnasiums and similar buildings in Balsas – MA is crucial to maximizing natural ventilation benefits. Additionally, it is recommended to increase the height of the lateral openings in the gymnasium to improve air circulation, thereby ensuring adequate thermal comfort for its occupants.

Keywords: natural ventilation; thermal comfort; CFD; skylights; side openings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Casos típicos de ventilação natural.	17
Figura 2. Exemplos de ventilação cruzada.	18
Figura 3. Sistema de abertura unilateral.	18
Figura 4. Representação do efeito Venturi e da turbulência de esteira.	20
Figura 5. Caso 1: galpão sem tomada de ar; Caso 2: galpão com tomada de ar, porém sem saída de ar; Caso 3: galpão com tomada e saída de ar.	21
Figura 6. Esquema para determinação das dimensões do lanternim.	21
Figura 7. Ventilação do ático.	22
Figura 8. Tipos de lanternim.	22
Figura 9. Utilização de forro com a finalidade de bloquear a energia radiante.	24
Figura 10. Comparação da eficiência da ventilação ao longo do dia.	24
Figura 11. Entradas de ar.	25
Figura 12. Aberturas laterais e do lanternim.	26
Figura 13. Etapas da pesquisa.	29
Figura 14. Localização do ginásio.	30
Figura 15. Vista frontal - A; vista lateral esquerda - B; interior do ginásio - C; arquibancadas e aberturas - D.	30
Figura 16. 3D - Ginásio Rei Pelé.	31
Figura 17. Dimensões das aberturas laterais do ginásio.	32
Figura 18. Dimensões das arquibancadas.	32
Figura 19. Vista frontal do ginásio.	33
Figura 20. Vista frontal do lanternim.	33
Figura 21. Etapas da análise computacional.	34
Figura 22. Discretização da locação do Ginásio Rei Pelé.	34
Figura 23. Modelo simplificado ginásio Rei Pelé.	35
Figura 24. Interface do Ansys Discovery Live.	36
Figura 25. Vento a Nordeste a 45 graus (31%).	38
Figura 26. Vento a Leste a 90 graus (30%).	39
Figura 27. Análise climática através do Autodesk forma.	40
Figura 28. Estatísticas da análise climática do mês de setembro.	41
Figura 29. a) vento Leste; b) climatização em setembro às 14h.	42

Figura 30. Vento a 45 graus (Nordeste a 31% de frequência) - a; climatização em setembro às 14h - b.....	43
Figura 31. Configuração A - abertura frontal: A) temperatura interna; B) velocidade do vento.	45
Figura 32. Configuração B – aberturas laterais: A) temperatura interna; B) velocidade do vento.	46
Figura 33. Configuração B - aberturas laterais: A) temperatura interna; B) velocidade do vento.	47
Figura 34. Configuração A – abertura frontal: temperatura interna.	48
Figura 35. Configuração B - abertura laterais: A) temperatura interna; B) velocidade do vento.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	JUSTIFICATIVA.....	13
3	OBJETIVO.....	14
3.1	Geral.....	14
3.2	Específicos.....	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1	Conforto térmico	15
4.2	Ventilação natural em edifícios	16
4.3	Galpões e lanternins.....	20
4.4	Pé-direito das edificações	23
4.5	Aberturas em lanternins e laterais	24
4.6	Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD)	26
4.7	Ansys Discovery Live	27
4.8	Autodesk Forma	28
5	METODOLOGIA.....	29
5.1	Etapa 1: Levantamento in loco	29
5.2	Dimensões do Estádio Rei Pelé	31
5.3	Etapa 2: Análise Computacional	33
5.3.1	Configuração A: abertura frontal	37
5.3.2	Configuração B: abertura laterais esquerda	38
5.4	Etapa 3: Análise dos Resultados.....	39
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1	Resultados via Autodesk Forma	40
6.2	Resultados via Ansys Discovery Live	44
6.2.1	Modelo 1: configuração A – abertura frontal.....	44
6.2.2	Modelo 1: configuração B – aberturas laterais	45
6.2.3	Modelo 2: configuração B – abertura laterais	46
6.2.4	Modelo 3: configuração A – abertura frontal.....	47
6.2.5	Modelo 3: configuração B – abertura lateral.....	48
6.2.6	Comparação dos modelos	49

7	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DO GINÁSIO REI PELÉ	59

1 INTRODUÇÃO

A ventilação natural é, sobretudo no Brasil devido ao clima quente, uma importante estratégia bioclimática para a promoção de conforto térmico em edificações (Dallastra *et al.*, 2020). Essa estratégia desempenha um papel crucial na criação de ambientes agradáveis, especialmente em climas tropicais e subtropicais, como no Brasil, onde as condições térmicas podem ser desafiadoras. O conforto térmico, por sua vez, é definido como um estado mental no qual o ser humano se sente satisfeito com o ambiente térmico em que está inserido (Pereira, 2021). Para alcançar essa satisfação, é essencial atingir a neutralidade térmica, com uma temperatura média da pele e uma taxa de secreção de suor adequadas à atividade realizada, além da ausência de desconforto térmico localizado (Pereira, 2021). Essa busca por conforto térmico destaca a necessidade de compreender os fatores que influenciam diretamente essa condição.

Entre os principais fatores que interferem no conforto térmico, destacam-se os aspectos ambientais e humanos. Os fatores ambientais incluem variáveis objetivas, como a temperatura do ar interior, a umidade relativa, a velocidade do ar e a temperatura média de radiação. Já os fatores humanos envolvem a taxa metabólica e a resistência térmica das roupas utilizadas (He; Isa, 2024). A interação entre essas variáveis demonstra a complexidade de alcançar o conforto térmico, evidenciando a importância de soluções específicas que atendam às características regionais e arquitetônicas.

Nesse contexto, a ventilação natural surge como uma estratégia para promover o conforto térmico em edificações. Basicamente, a ventilação natural se trata de um processo no qual o vento entra espontaneamente no ambiente, entra no espaço e sai por aberturas, como janelas, vãos nas paredes e lajes. Esse mecanismo não só reduz as temperaturas internas, proporcionando maior conforto, como também apresenta vantagens econômicas e ambientais. No entanto, em situações em que a ventilação natural é insuficiente, a dependência de sistemas de ventilação mecanizada torna-se inevitável, acarretando maior consumo de energia elétrica.

A relação entre conforto térmico e consumo de energia elétrica foi explorada por Almeida (2023), de acordo com o autor, o déficit de ventilação natural em edificações aumenta a necessidade de ventilação mecanizada, enquanto a integração de estratégias passivas, como a ventilação natural, proporciona benefícios diretos, incluindo ambientes mais saudáveis, redução do consumo de energia e maior qualidade de vida para os usuários.

Para facilitar as análises de ventilação natural, a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) é uma forte aliada, uma vez que utiliza ferramenta que possibilita a análise do escoamento de fluidos, abrangendo aspectos como transmissão de calor, transporte de massa,

mudanças de fase, reações químicas, movimentos mecânicos e tensões. Esse método baseia-se na modelagem matemática, permitindo simular o comportamento térmico e o escoamento de fluidos (Morais, 2013).

As simulações realizadas com CFD ampliam sua aplicabilidade ao possibilitar análises quantitativas e qualitativas do desempenho da ventilação natural em diferentes etapas do projeto. Esse nível de detalhamento é alcançado por meio de softwares que resolvem equações de transporte em cada ponto de uma malha bidimensional ou tridimensional, garantindo precisão na simulação dos fenômenos físicos envolvidos (Morais, 2013). Nesse sentido, Barradas (2016) reforça que o uso da CFD fornece informações fundamentais já na fase de projeto, permitindo ajustes mais precisos e eficientes. Dessa forma, a tecnologia se torna uma ferramenta indispensável para otimizar o desempenho da ventilação natural em edificações.

Um exemplo notável da aplicação da CFD é sua utilização na otimização de estratégias de ventilação natural em edificações. Moraes e Labaki (2017) utilizaram CFD para analisar tipologias do programa "Minha Casa, Minha Vida", identificando que plantas em formato de "H" favorecem o fluxo de ar devido às reentrâncias, que canalizam e distribuem melhor o ar. Já Bevilaqua *et al.*, (2019), compararam ensaios físicos e simulações CFD, destacando o impacto da localização de aberturas no desempenho do fluxo de ar interno e a eficácia de modelos simplificados para ensinar princípios de ventilação.

Nesse contexto, a CFD pode ser amplamente aplicada a projetos locais, residências e edifícios comerciais oferecendo soluções eficazes e práticas. A combinação de ferramentas como o *Autodesk Forma* e o *Ansys Discovery Live* é essencial para estudar o fluxo de ar e otimizar sistemas de ventilação natural. Enquanto o *Autodesk Forma* permite análises preliminares, como a identificação de padrões de vento e condições climáticas, o *Ansys Discovery Live* aprofunda a avaliação, simulando comportamentos complexos do fluxo de ar. Essa abordagem integrada foi aplicada no Ginásio Rei Pelé, como a CFD pode identificar falhas, propor melhorias e indicar ambientes mais confortáveis.

2 JUSTIFICATIVA

A cidade de Balsas, localizada no sul do estado do Maranhão, é amplamente reconhecida por sua significativa produção agrícola, com destaque no cultivo de grãos como a soja. Esse setor tem impulsionado um crescimento econômico acelerado nos últimos anos, acompanhado pela expansão urbana e pela construção de novas edificações, como galpões industriais, comerciais e logísticos, para atender às demandas de armazenamento e transporte de grãos.

Com esse crescimento, surgem desafios específicos relacionados às construções na região, especialmente em Balsas, que apresenta temperaturas elevadas ao longo do ano, variando entre 21 °C e 37 °C, com uma estação chuvosa e outra seca (Weatherspark, [s.d.]). Entre tais desafios, destaca-se a necessidade de projetar edificações eficientes, capazes de incorporar a ventilação natural para promover conforto térmico e eficiência energética. Essa abordagem é essencial para substituir ou restringir os sistemas mecanizados de climatização, contribuindo para a redução de custos e impactos ambientais.

Nesse contexto, o Ginásio Rei Pelé, apesar de ter sido projetado com soluções arquitetônicas, como aberturas laterais, lanternins e cobertura inclinada, para favorecer a ventilação natural, o local enfrenta problemas de altas temperaturas e abafamento, especialmente nas arquibancadas. Isso evidencia a necessidade de estudos mais aprofundados para avaliar e melhorar a eficiência da ventilação natural implementada.

Com base nisso, será realizada uma análise CFD, que permitirá não apenas compreender os fenômenos envolvidos, mas também fornecer subsídios essenciais para otimizar as estratégias de ventilação natural no ginásio, garantindo um ambiente mais confortável para os usuários.

3 OBJETIVO

3.1 Geral

Investigar a ventilação natural no ginásio Rei Pelé, localizado no município de Balsas – MA, através da análise fluido dinâmica computacional.

3.2 Específicos

- Avaliar a influência da configuração das aberturas no fluxo interno de ar e no perfil interno de temperatura da edificação;
- Propor medidas para melhorar o conforto térmico da edificação;

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Este estudo foca na ventilação natural e no conforto térmico de galpões em aço, considerando especialmente as condições climáticas de Balsas, no Maranhão. Em regiões tropicais, o conforto térmico é essencial para garantir a produtividade e o bem-estar das pessoas que utilizam esses espaços. A seguir, serão discutidos os temas de conforto térmico, ventilação natural em edifícios, galpões e lanternim, pé-direito das edificações, aberturas laterais, dinâmica dos fluidos computacionais (CFD), *Ansys Discovery live, Autodesk Forma*.

4.1 Conforto térmico

O conforto térmico pode ser definido como uma condição mental em que o indivíduo se sente satisfeito com o ambiente térmico, resultado da interação entre fatores objetivos, como temperatura, umidade, velocidade do ar e temperatura das superfícies ao redor (Pereira, 2021).. No entanto, as sensações térmicas variam entre os indivíduos, influenciadas por aspectos biológicos, fisiológicos e emocionais, o que torna desafiador atender às expectativas de todos os usuários (Leite, 2015).

Essa subjetividade no conforto térmico também está diretamente relacionada ao contexto em que as pessoas estão habituadas a viver ou trabalhar. Indivíduos que passam a maior parte do tempo em ambientes climatizados, tendem a desenvolver altas expectativas de homogeneidade térmica e podem se sentir insatisfeitos com pequenas variações de temperatura. Em contrapartida, pessoas que vivem ou trabalham em edificações naturalmente ventiladas, onde têm acesso a aberturas como janelas, geralmente se adaptam a variações térmicas sazonais e desenvolvem uma percepção de conforto mais ampla, capaz de abranger diferentes condições climáticas (Borges, 2018).

Nesse sentido, as estratégias para alcançar o conforto térmico devem ser considerados não apenas os limites fisiológicos, mas também as preferências dos ocupantes em função do contexto usado. Segundo Lamberts *et al.*, (2014), o conforto térmico em ambientes interiores pode ser alcançado em temperaturas entre 18°C e 29°C, com umidade relativa de 20% a 80%, desde que estratégias específicas sejam adotadas, como evitar o impacto direto do vento em temperaturas mais baixas, priorizar o sombreamento em climas quentes e controlar a ventilação diurna em regiões áridas para favorecer a ventilação noturna.

4.2 Ventilação natural em edifícios

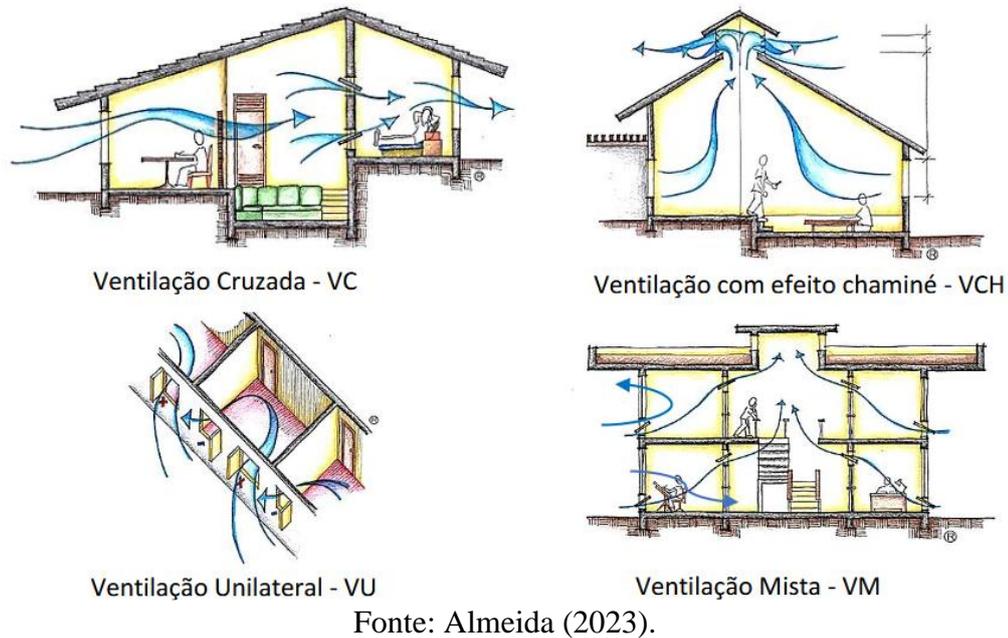
A ventilação natural é considerada uma das estratégias mais eficientes para alcançar o conforto térmico em regiões de clima quente e úmido, como grande parte do território brasileiro. Além de contribuir para o conforto dos usuários de forma passiva, ela promove a renovação contínua do ar, melhorando a qualidade e as condições de salubridade dos ambientes. Essa estratégia também auxilia na redução do consumo de energia elétrica, ao minimizar a necessidade de uso excessivo de sistemas de ar-condicionado (Lukiantchuki; Xavier, 2023).

Em edifícios, a ventilação natural é dividida em permanente e controlada, sendo que a ventilação permanente ocorre quando o objeto permanece aberto, como no caso de venezianas, cobogós ou frestas nas aberturas, enquanto a ventilação controlada refere-se à abertura de componentes móveis das edificações, como janelas e portas, que são controladas pelo usuário. Além disso, a ventilação natural desempenha três funções básicas: manter a qualidade do ar dentro dos níveis de segurança para o usuário, proporcionar conforto térmico e permitir o resfriamento da edificação por meio da troca térmica entre o ar interno e externo (Tibúrcio, 2017).

Em relação à ventilação natural controlada pela entrada e saída de ar em um ambiente, o fluxo de ar depende da diferença de pressão entre o interior e o exterior do recinto, bem como da resistência das aberturas ao movimento do ar (Camargos, 2019).

Esses princípios teóricos ganham maior clareza quando são observados na prática. A Figura 1 exemplifica diferentes formas de aplicação da ventilação natural em edificações, com e sem lanternim, destacando quatro configurações específicas. A Ventilação Cruzada (VC), utiliza aberturas opostas para criar um fluxo de ar eficiente, atravessando o ambiente de forma contínua. Já a Ventilação por Efeito Chaminé (VCH), baseia-se no movimento ascendente do ar quente, que é liberado por aberturas superiores. A terceira configuração demonstra a Ventilação Unilateral (VU), limitada a aberturas em apenas um lado da edificação, o que resulta em menor eficiência na circulação do ar. Por fim, a Ventilação Mista (VM), combina essas estratégias para otimizar o fluxo de ar e atender às necessidades específicas de cada projeto. Assim, a integração de diferentes métodos, como a ventilação cruzada e o efeito chaminé, pode potencializar os benefícios da ventilação natural, tornando o ambiente interno mais saudável e sustentável.

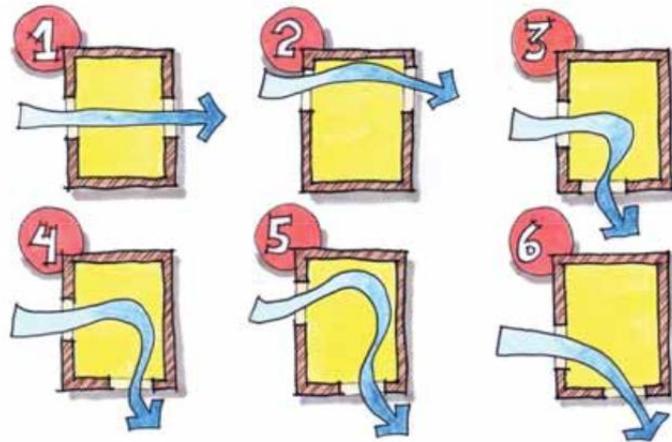
Figura 1. Casos típicos de ventilação natural.



A ventilação natural por efeito chaminé ocorre devido à diferença de temperatura entre o ar interno e o externo do edifício, o que gera gradientes de densidade e pressão que, normalmente, fazem a temperatura interna ser mais alta em razão das fontes internas de calor e da radiação solar absorvida pela envoltória do edifício, promovendo a ascensão do ar quente, menos denso, que é expelido pelas aberturas superiores, enquanto o ar fresco, mais denso, entra pelas aberturas inferiores, permitindo a renovação do ar de forma contínua e eficiente. (Lukiantchuki, 2015).

Em complementação a esse conceito, a ventilação cruzada ocorre em edificações com aberturas localizadas em paredes opostas ou adjacentes, sendo influenciada pela variação das pressões nas fachadas em função da posição e do tempo, já que esse tipo de ventilação depende diretamente da intensidade e da direção do vento no meio externo, bem como da diferença de pressão entre as aberturas. Contudo, as taxas de ventilação podem ser significativamente reduzidas durante períodos de calmaria, o que limita sua eficiência em determinadas condições climáticas (Lukiantchuki, 2015). A Figura 2 está apresentado um modelo de ventilação cruzada, em que o ar entra de um lado, percorre todo o interior do edifício e acaba saindo no outro lado por aberturas semelhantes às que entrou.

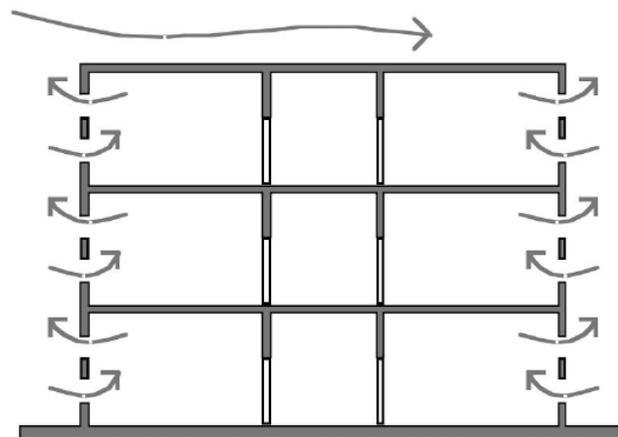
Figura 2. Exemplos de ventilação cruzada.



Fonte: Lamberts *et al.* (2014).

Por outro lado, a ventilação unilateral (Figura 3), embora menos eficiente que a cruzada, é amplamente utilizada em espaços menores, como quartos e escritórios. Caracteriza-se por possuir aberturas apenas em uma fachada, onde a diferença de temperatura provoca o movimento do ar: o ar quente interno sobe e sai pela parte superior da abertura, enquanto o ar frio externo entra pela parte inferior. Apesar de sua limitação em comparação com outros métodos, a ventilação unilateral oferece uma solução prática para edificações que não possuem aberturas opostas (Quadros, 2016).

Figura 3. Sistema de abertura unilateral.



Fonte: Emmerich *et al.* (2001).

Em relação ao efeito da velocidade do ar sobre os seres humanos (Tabela 1), descreve o impacto que a velocidade do vento tem sobre os seres humanos, onde a eficiência depende da velocidade e temperatura do ar, com um limite ideal de velocidade que varia conforme fatores, como temperatura, umidade, metabolismo e vestuário (Lukiantchuki, 2015).

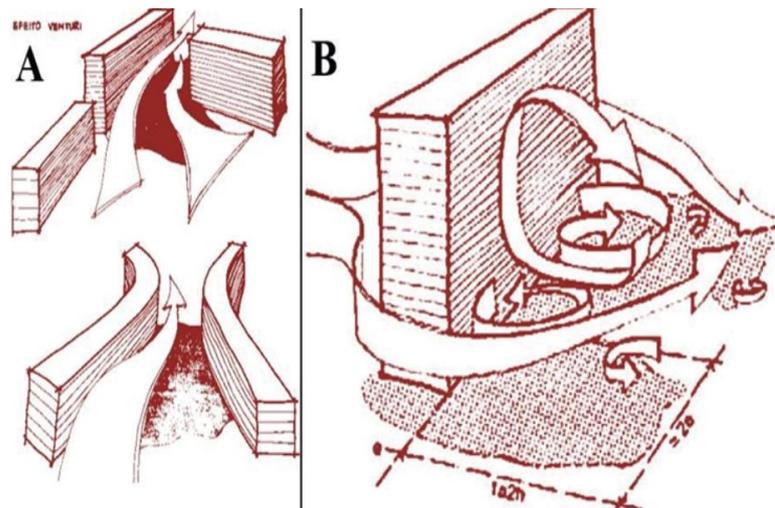
Tabela 1. Efeitos da velocidade do ar sobre os seres humanos.

Velocidade do ar (m/s)	Efeito sobre os seres humanos	Efeito de esfriamento (°C)
0,10	Pode-se sentir sufocação.	0,0
0,25	Há movimento imperceptível exceto com baixas temperaturas do ar.	0,7
0,50	Sensação de frescor a temperaturas confortáveis, porém incomoda a baixas temperaturas.	1,2
1,00	Agradável, geralmente quando o clima é confortável ou quente, porém causa sensação de movimento constante. É o nível máximo aceitável de conforto noturno.	2,2
1,50	Incômodo a temperaturas confortáveis. Limite máximo de conforto para atividades internas.	3,3
2,00	Aceitável só em condições muito quentes e úmidas, quando nenhum outro alívio ambiental está disponível.	4,2

Fonte: Lukiantchuki (2015).

Ao se analisar o efeito do vento na área externa de edificação, a ação do vento é influenciada por edificações próximas, alterando sucções, forças e momento, com efeito específico para cada caso. Fenômenos, como o efeito Venturi, a deflexão vertical do vento e a turbulência de esteira, são essenciais para entender o comportamento do vento em ambiente urbano (Silva, 2024). Com ênfase ao efeito Venturi (Figura 4A), ele é causado pelo afunilamento do vento, onde aumenta sua velocidade de aceleração, alterando as pressões nas fachadas (Martins, 2024). Além do efeito Venturi, a turbulência de esteira (Figura 4B), que ocorre a sotavento de um edifício, forma vórtices de maior intensidade do que os gerados pelo escoamento da camada limite atmosférica (Silva, 2024). Esse efeito, assim como o efeito Venturi, reforçam a complexidade das interações do vento com o ambiente construído.

Figura 4. Representação do efeito Venturi e da turbulência de esteira.



Fonte: adaptado de Silva (2024).

4.3 Galpões e lanternins

No Brasil, a maior parte das construções em aço é composta por estruturas simples, como coberturas e edificações de um único pavimento (Camargos, 2019). Dentro desse cenário, os galpões destacam-se como a principal aplicação, liderando o segmento com soluções econômicas e versáteis para grandes vãos e diversas finalidades na construção civil e na indústria (Camargos, 2019).

Projetos de galpões exigem atenção a diversos elementos essenciais, incluindo locação, dimensionamento dos equipamentos, circulação, movimentação de cargas, iluminação e aeração (Bellei, 2023). Entre esses fatores, a aeração por ventilação natural desempenha um papel crucial para garantir um ambiente interno adequado e funcional.

Para demonstrar a importância da ventilação natural, considera-se a necessidade de aberturas para entrada e saída de ar em edifícios industriais em três cenários de ventilação em galpões industriais (Figura 5). No Caso 1, sem aberturas adequadas, o calor se acumula devido à falta de circulação de ar. No Caso 2, há entrada de ar, mas a ausência de saída superior cria sobrepressão, mantendo o calor concentrado. Já no Caso 3, aberturas inferiores e superiores permitem a entrada e saída de ar, promovendo circulação eficiente e dissipação do calor. O Caso 3 é o mais eficiente, garantindo melhor conforto térmico e produtividade.

Figura 5. Caso 1: galpão sem tomada de ar; Caso 2: galpão com tomada de ar, porém sem saída de ar; Caso 3: galpão com tomada e saída de ar.

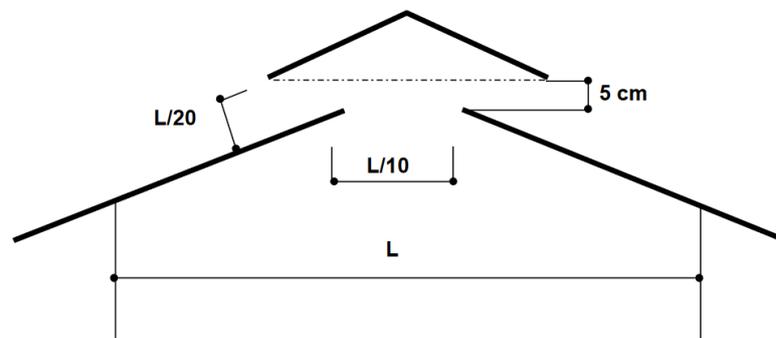


Fonte: adaptado de Bellei (2023).

Para permitir a saída do ar quente acumulado no interior da edificação, tal como indicado no caso 3, constrói-se uma abertura sobrelevada no telhado que é chamada de lanternim. O funcionamento desse tipo de abertura se baseia no efeito chaminé, onde a diferença de densidade do ar, causada pelo calor, eleva o ar quente até a cobertura, permitindo que ele escape pelas aberturas do lanternim (Camargos, 2019).

Em termos construtivos, recomenda-se que o lanternim seja construído em duas águas, disposto longitudinalmente ao longo de toda a extensão do telhado. Além disso, é fundamental incluir um sistema de gradeamento para evitar a entrada de passaros. Em galpões com largura igual ou superior a 8 m, o uso do lanternim é indispensável. O dimensionamento ideal requer uma abertura equivalente a 10% da largura do edifício, com sobreposição do telhado e afastamento de 5% da largura da edificação ou, no mínimo, 40 cm (Abreu; Abreu, 2000). A Figura 6 ilustra a forma correta de dimensionar o lanternim, destacando que suas extremidades devem estar no máximo 5 cm acima da abertura do telhado para evitar a entrada de chuva.

Figura 6. Esquema para determinação das dimensões do lanternim.

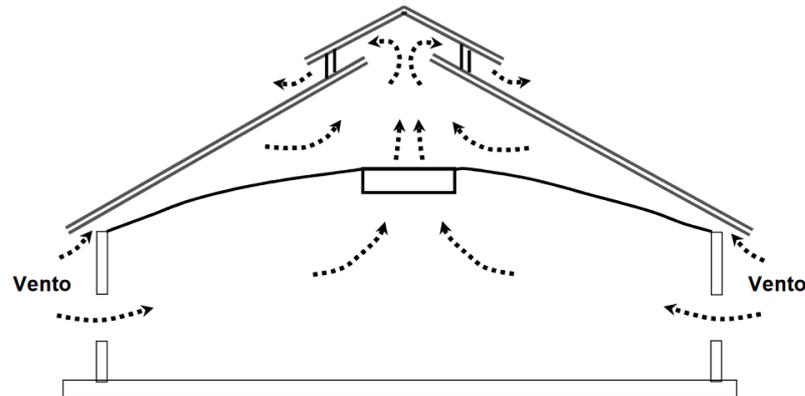


Fonte: Abreu e Abreu (2001).

Outra técnica eficiente para reduzir a carga térmica, especialmente em épocas de calor intenso, é direcionar o fluxo de ar para o lanternim. Isso pode ser feito por meio de aberturas na

cobertura, como indicado na Figura 7, mesmo quando houver forro na edificação. A distribuição adequada de algumas aberturas no forro é essencial para permitir que o ar circule livremente entre a cobertura e o lanternim, maximizando a eficiência do sistema (Abreu; Abreu, 2000).

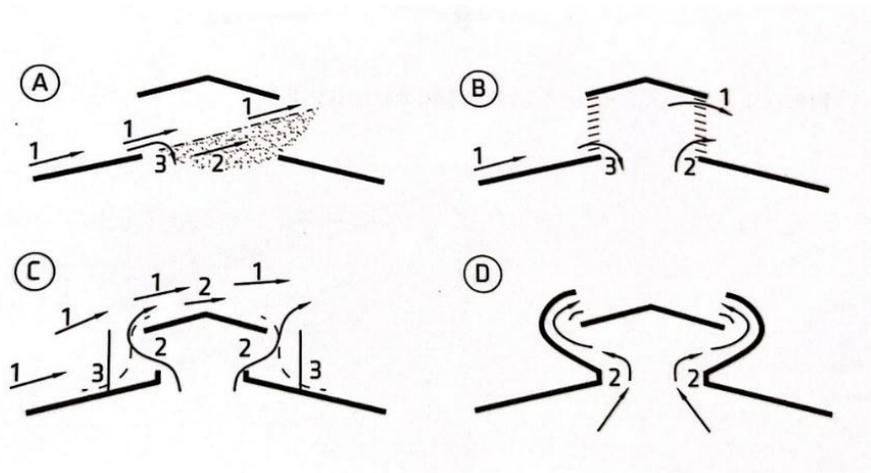
Figura 7. Ventilação do ático.



Fonte: Abreu e Abreu (2000).

No entanto, a eficiência do lanternim depende diretamente do seu design. O modelo simples mostrado na Figura 8A, com uma abertura básica, apresenta desvantagens, como a entrada de chuva em ventos fortes e o retorno do ar quente. Problemas semelhantes são observados em venezianas mal projetadas, ilustradas na Figura 8B. Em contrapartida, o sistema mostrado na Figura 8C, projetado para evitar a entrada de chuva, é consideravelmente mais eficiente. A evolução desse modelo resultou nos lanternins curvos, apresentados na Figura 8D, que são reconhecidos como os mais eficazes na extração de ar quente, oferecendo uma solução aprimorada para ventilação natural (Bellei, 2023).

Figura 8. Tipos de lanternim.



Fonte: Bellei (2023).

4.4 Pé-direito das edificações

A altura da construção traz benefícios diretos para o conforto térmico, no passado era um conceito muito utilizado por projetista. Esse fator está diretamente relacionado ao efeito chaminé, que melhora a ventilação natural. Dessa forma, edificações de maiores dimensões dificultam a circulação do ar no centro, exigindo o aumento do pé-direito para intensificar a ventilação nas regiões centrais (Camargos, 2019).

Nesse contexto, por meio de trabalhos de campo, Scigliano e Hollo (2001, *apud* Camargos, 2019), indicam o pé direito mínimo recomendável em função da largura e do comprimento da edificação (Tabela 2).

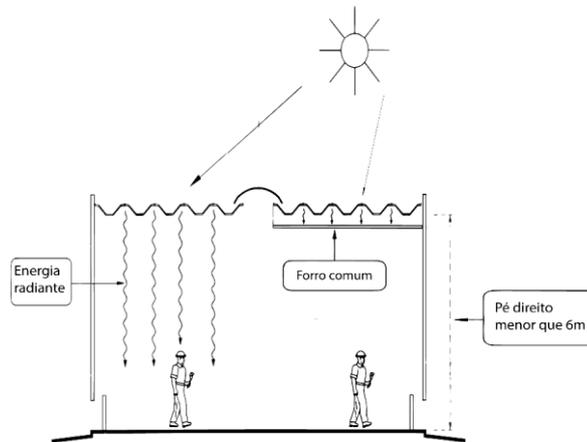
Tabela 2. Valores mínimos para o pé direito da edificação

Largura da edificação [m]	Comprimento da edificação [m]												
	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210
30	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
45	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
60	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
75	7	7	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
90	7	7	8	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
105	7	7	8	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
120	7	7	8	9	10	10	11	11	11	11	11	11	11
135	7	7	8	9	10	10	11	11	11	11	11	11	11
150	7	7	8	9	10	10	11	11	12	12	12	12	12
165	7	7	8	9	10	10	11	11	12	12	12	12	12
180	7	7	8	9	10	10	11	11	12	12	13	13	13
195	7	7	8	9	10	10	11	11	12	12	13	13	13
210	7	7	8	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14

Fonte: Scigliano e Hollo (2001, *apud* Camargos, 2019).

As recomendações da Tabela 2 são especialmente relevantes em situações em que o pé-direito é reduzido. Em edificações com altura inferior a 6 m, mesmo quando há boa ventilação natural, a radiação infravermelha pode causar desconforto aos usuários (Mazon, 2005). No entanto, esse efeito pode ser mitigado com a instalação de forro, especialmente em construções com pé-direito abaixo dessa altura, conforme ilustrado na Figura 9.

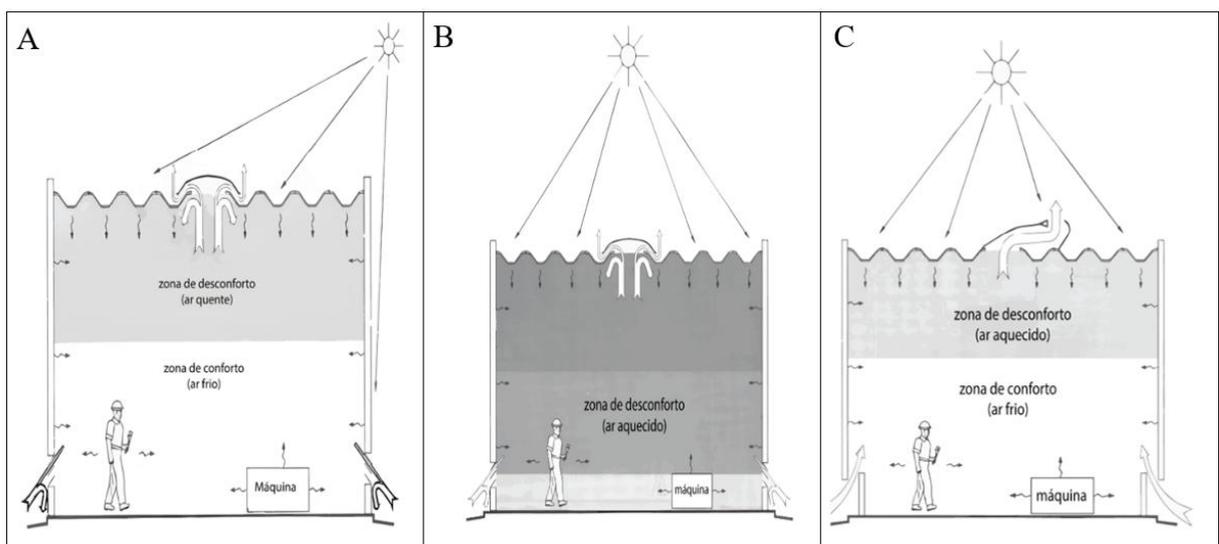
Figura 9. Utilização de forro com a finalidade de bloquear a energia radiante.



Fonte: adaptação Scigliano e Hollo (2001, *apud* Mazon, 2005).

Esse tipo de análise é complementado pelas Figuras 10 a), b) e c) ilustram diferentes cenários de ventilação em um prédio. Pela manhã (Figura 10 a), em um ambiente com ventilação natural deficiente, o ar aquecido pelas pessoas, máquinas e calor externo concentra-se na parte superior do prédio, sem causar desconforto. Ao meio-dia (Figura 10 b), a ventilação deficiente faz com que o ar aquecido atinja o nível de trabalho, aumentando o desconforto. Já na (Figura 10 c), com uma ventilação natural eficiente, o prédio possui entradas para ar frio e saídas para o ar quente, garantindo conforto térmico ao manter o ar aquecido limitado à parte superior do ambiente.

Figura 10. Comparação da eficiência da ventilação ao longo do dia.

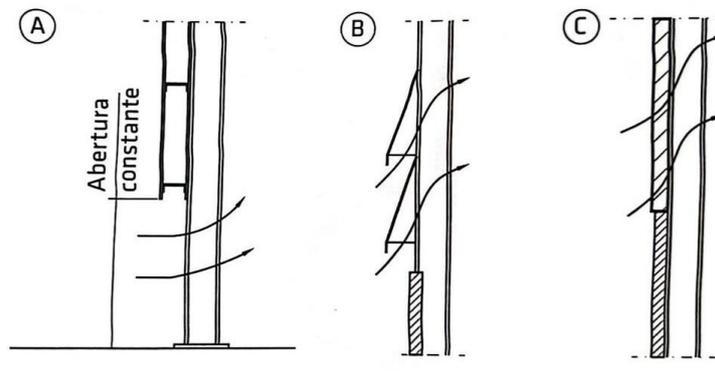


Fonte: adaptação Scigliano e Hollo (2001, *apud* Mazon, 2005).

4.5 Aberturas em lanternins e laterais

Nos galpões, as entradas de ar naturais podem ser obtidas de diferentes formas, como por aberturas sem proteção contra chuva (Figura 11A), aberturas protegidas (Figura 11B) ou, mais comumente, por meio de venezianas estrategicamente posicionadas na parte inferior do fechamento (Figura 11C). Essas venezianas, além de favorecerem a ventilação, contribuem para a iluminação natural e a estética dos galpões, sendo frequentemente confeccionadas com chapas translúcidas de PVC ou fiberglass em diversas cores, o que proporciona um aspecto visual mais agradável às fachadas (Bellei, 2023).

Figura 11. Entradas de ar.



Fonte: Bellei (2023).

Para garantir um desempenho eficiente da ventilação, é essencial considerar o dimensionamento adequado das aberturas. De acordo com Instituto Aço Brasil (2018), o dimensionamento das aberturas laterais e superiores em edifícios pode ser realizado utilizando métodos simplificados, conforme indicado nas Equações 1 e 1.1.

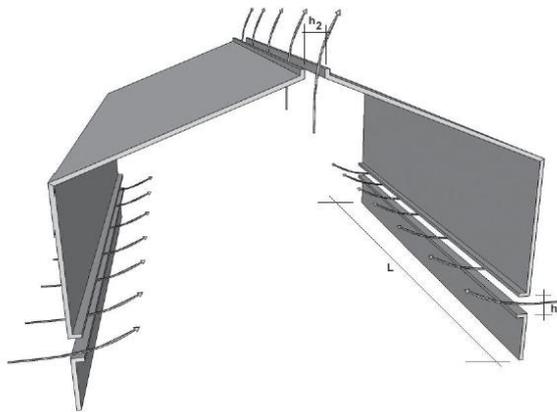
$$h_2 = \frac{n \cdot V}{L \cdot v \cdot 3600} \text{ em (m);} \quad (1)$$

$$h_1 = \frac{1,5 \cdot h_2}{2} \text{ em (m);} \quad (1.1)$$

Onde: V é o volume interno do galpão em m^3 ; v a velocidade de saída do ar através da abertura do lanternim, considerada entre 1,0 a 1,5 m/s; L o comprimento total do galpão em metros; n o número de vezes que o ar interno do galpão é renovado por hora, considerando de 15 a 30 renovações por hora; h_1 a altura da abertura lateral; e, h_2 a largura do lanternim.

Essas equações são fundamentais para dimensionar as aberturas laterais e as do lanternim de forma simplificada. A equação 1 é utilizada para calcular o tamanho das aberturas laterais, enquanto a equação 1.1 se destina ao dimensionamento das aberturas de saída de ar no topo do telhado. As aberturas laterais (h_1) e as do lanternim (h_2) desempenham papéis complementares no processo de ventilação natural. As aberturas laterais permitem a entrada do ar fresco, enquanto as aberturas superiores facilitam a expulsão do ar quente, aproveitando o efeito chaminé. A Figura 12 ilustra a configuração dessas aberturas, evidenciando a importância de sua interação para a renovação do ar e o conforto térmico dentro do ambiente.

Figura 12. Aberturas laterais e do lanternim.



Fonte: Instituto aço Brasil, (2018).

4.6 Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD)

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) é uma ferramenta essencial para analisar o escoamento de fluidos, permitindo simulações detalhadas e eficientes (Tristão, 2022). Para isso, é necessário compreender a natureza dos fluidos, como líquidos e gases, que respondem a forças externas. Nos fluidos newtonianos, comuns em engenharia, os escoamentos são descritos pelas equações de Navier-Stokes (Equações 2, 2.1, 2.2), baseadas no princípio de balanço da quantidade de movimento linear em um meio contínuo, utilizando uma abordagem euleriana (Melo, 2020).

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2.1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2.2)$$

onde:

u = velocidade da partícula de fluido na direção x

v = velocidade da partícula de fluido na direção y

w = velocidade da partícula de fluido na direção z

ρ = densidade do fluido

μ = viscosidade do fluido

g = aceleração da gravidade (decomposta em g_x , g_y e g_z)

O CFD baseia-se nos princípios de conservação de massa, quantidade de movimento e energia, representados por equações diferenciais ou integrais. Ele transforma essas equações em formas algébricas discretizadas, permitindo a resolução numérica das variáveis de escoamento em pontos específicos no espaço e no tempo. Essa abordagem torna o CFD uma ferramenta essencial na engenharia, proporcionando soluções precisas e detalhadas para diversas aplicações (Tristão, 2022).

Atualmente, a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) utiliza ferramentas de cálculo numérico, como os métodos dos Elementos Finitos, Diferenças Finitas, Elementos de Contorno e Volumes Finitos, para realizar previsões rápidas sobre escoamentos, mesmo em geometrias e padrões complexos. Esses métodos, combinados com o poder computacional moderno, são amplamente empregados na indústria e na pesquisa por meio de softwares especializados, que utilizam modelos de turbulência aproximados para resolver as equações de Navier-Stokes (Munhoz, 2024).

4.7 Ansys Discovery Live

O *Ansys Discovery Live* é uma ferramenta de simulação em tempo real que permite aos engenheiros avaliar rapidamente o desempenho de projetos durante o design. Ele possibilita análises estruturais, térmicas e de dinâmica de fluidos (CFD) de forma interativa, facilitando a otimização de componentes sem longos tempos de processamento.

Essa aplicabilidade foi demonstrada no estudo Olenkov et al. (2024) utilizou o software *ANSYS Discovery Live* para simular o comportamento do vento em uma área de habitação densa, situada em um clima quente. Por meio da modelagem numérica, foram analisados os

padrões de circulação do vento dentro do complexo residencial, permitindo a identificação de zonas de aeração, áreas de estagnação e regiões de conforto térmico. Além disso, a ferramenta possibilitou a avaliação de estratégias para a melhoria da ventilação, incluindo a instalação de telas de proteção contra o vento. simular diversos cenários alternativos que melhore o desempenho do conforto térmico.

4.8 Autodesk Forma

O *Autodesk Forma* é uma plataforma de design e análise voltada para o planejamento urbano e arquitetura. Ele permite simular condições ambientais, como luz solar, temperatura, vento e conforto térmico, ajudando profissionais a otimizar projetos urbanos e torná-los mais sustentáveis. O software é útil para avaliar o impacto de elementos como vegetação e outras intervenções no microclima, fornecendo dados essenciais para embasar decisões projetuais.

Essa capacidade de análise foi demonstrada no estudo de Napoli (2024), no qual o *Autodesk Forma* foi empregado para realizar uma avaliação microclimática urbana no centro histórico de Lima, no Peru. A aplicação do software permitiu coletar informações detalhadas sobre temperatura, número de horas de incidência solar, velocidade e direção do vento, além da sensação de conforto térmico na região. Além disso, a ferramenta foi utilizada para analisar os efeitos da introdução de vegetação na área urbana, evidenciando seu potencial para auxiliar na criação de ambientes mais sustentáveis e confortáveis.

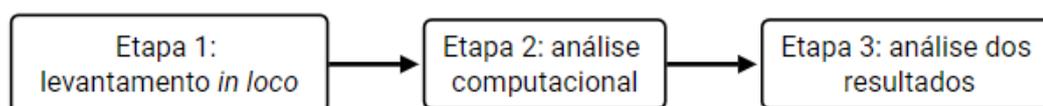
5 METODOLOGIA

Este estudo tem como objetivo realizar uma análise fluidodinâmica computacional da ventilação natural de um ginásio municipal. A pesquisa se caracteriza como quantitativa, pois busca analisar o comportamento do fluxo de ar e as condições térmicas, expressos em valores mensuráveis e avaliados de forma detalhada.

Quanto ao tipo de pesquisa, classifica-se como estudo de caso, uma vez que foca na análise específica de um ginásio, objetivando prever o comportamento do fluxo de ar e as condições térmicas no local.

A metodologia deste trabalho foi dividida em três etapas principais (Figura 13). Na Etapa 1, realizou-se o levantamento *in loco*, coletando dados e informações essenciais do local, e realizando medições. A Etapa 2 foi desenvolvido a análise computacional, começando com a criação da planta baixa e do modelo 3D no *Autodesk Revit*. O modelo foi então analisado preliminarmente no *Autodesk Forma* e simplificado no *SketchUp* para facilitar sua importação no *Ansys Discovery Live*, onde foram realizadas análises avançadas. Na Etapa 3, os resultados obtidos nos softwares foram avaliados, considerando aspectos de desempenho ambiental, estrutural e funcional do projeto.

Figura 13. Etapas da pesquisa.

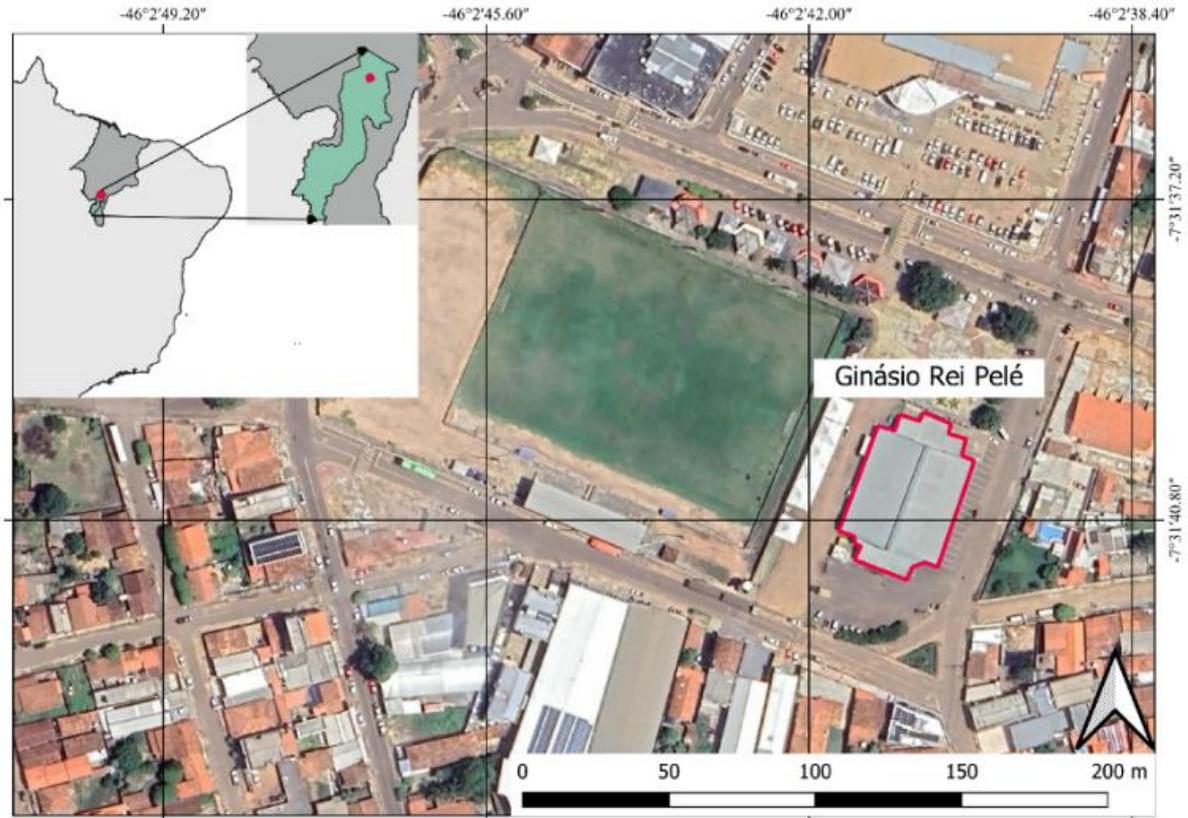


Fonte: Autor (2025).

5.1 Etapa 1: Levantamento *in loco*

O ginásio escolhido foi o Ginásio Rei Pelé (Figuras 14 e 15), situado no Bairro de Fátima, no município de Balsas – MA (Figura 14). A Figura 15A apresenta a vista frontal do Ginásio Rei Pelé, enquanto a Figura 15B exibe a vista lateral do mesmo. A Figura 15C mostra o interior do ginásio, e na Figura 15D, é possível observar as aberturas de 0,97 m acima da alvenaria de fechamento. Essas aberturas não permitem a passagem de vento devido ao cobrimento do telhado. Além disso, elas possuem grades de proteção para impedir a entrada de invasores indesejados.

Figura 14. Localização do ginásio.



Fonte: adaptado de IBGE (2023) e Google Earth (2025).

Figura 15. Vista frontal - A; vista lateral esquerda - B; interior do ginásio - C; arquibancadas e aberturas - D.



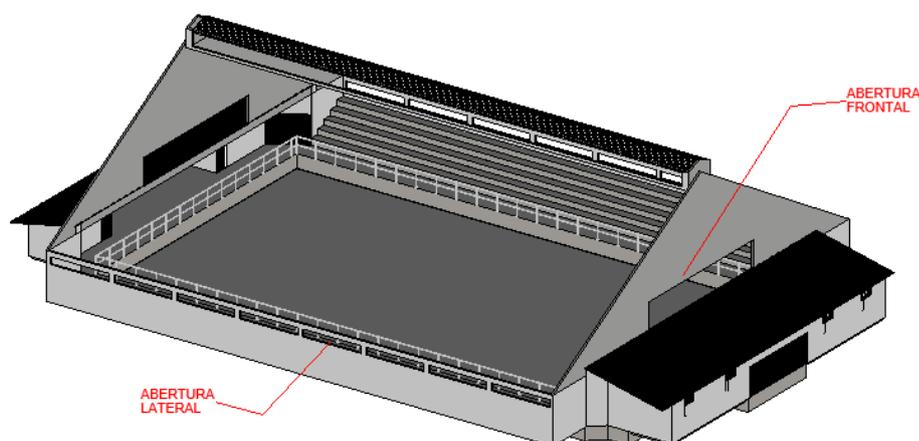
Fonte: Autor (2025).

Para viabilizar a modelagem computacional, foi necessário realizar medições detalhadas do edifício. Essas medições ocorreram em 29 de dezembro de 2024, utilizando-se uma trena (Mileseey, x5) a laser com alcance de 100 m e uma trena manual de 8 m (Starrett). A autorização para acessar o local foi previamente concedida pelo vigia do ginásio. O ginásio Rei Pelé possui acesso livre para o público.

5.2 Dimensões do Estádio Rei Pelé

O ginásio conta com uma quadra poliesportiva, uma arquibancada destinada aos visitantes, além de banheiros e vestiários. A Figura 16 apresenta o modelo 3D detalhado do ginásio, criado para representar com precisão as características arquitetônicas e estruturais do edifício. A edificação possui aberturas laterais, frontais e posteriores, que desempenham um papel crucial na circulação de ar e na ventilação natural do ambiente. Essas aberturas foram destacadas como elementos relevantes para a análise computacional de fluidodinâmica, contribuindo para o conforto térmico dos usuários e a eficiência energética do espaço.

Figura 16. 3D - Ginásio Rei Pelé.



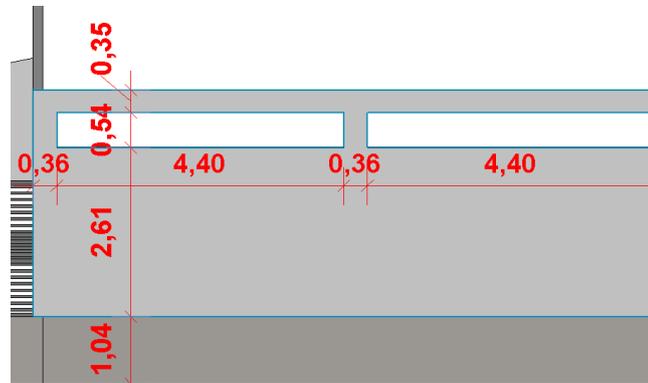
Fonte: Autor (2025).

O ginásio possui 49,00 m de comprimento, 32,30 m de largura e 13,80 m de altura. A entrada possui 6,35 m por 2,00 m. Maiores detalhes da edificação, através da planta baixa, estão no Apêndice A, onde se destaca as principais características dimensionais levantadas.

Em relação às aberturas laterais (Figura 17), o ginásio possui oito aberturas em cada lado, com dimensões de 4,40 m x 0,54 m e espaçamento de 0,36 m entre elas. Além disso, a

edificação conta com um subsolo com cota de -1,04 m, que também foi representado na maquete eletrônica.

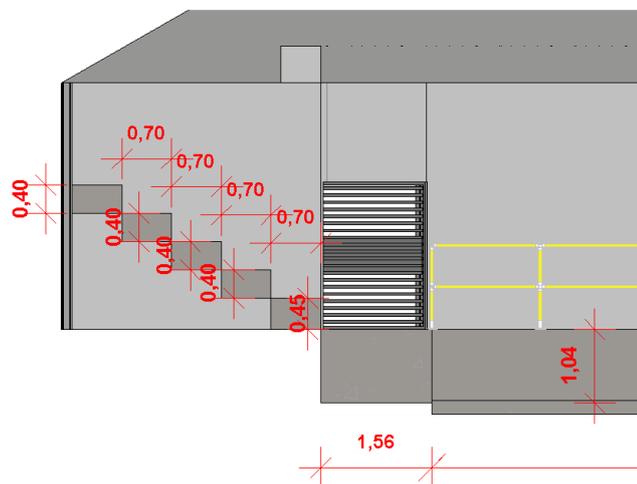
Figura 17. Dimensões das aberturas laterais do ginásio.



Fonte: Autor (2025).

Na Figura 18, é possível ver o detalhamento das dimensões das arquibancadas e outros elementos estruturais do ginásio. Cada lado do ginásio possui cinco arquibancadas, sendo a primeira com dimensões de 0,45 m x 0,70 m e as outras quatro com 0,40 m x 0,70 m. Das arquibancadas à quadra, há um corredor central com largura de 1,56 m.

Figura 18. Dimensões das arquibancadas.

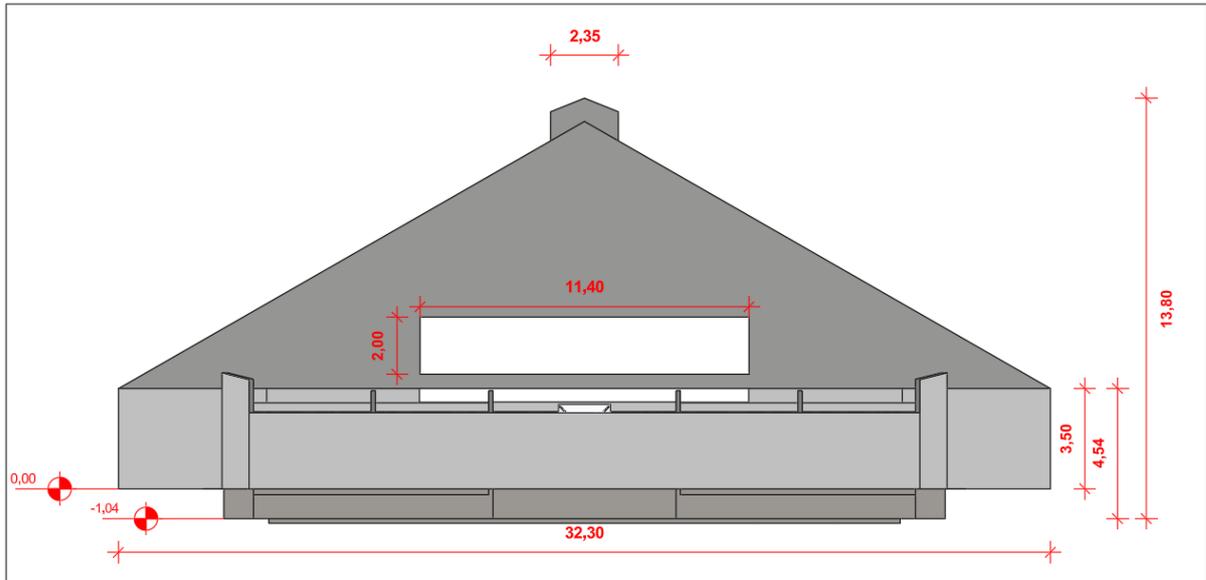


Fonte: Autor (2025).

A vista frontal do edifício (Figura 19) destaca suas principais dimensões estruturais, incluindo a altura total de 13,80 m, a altura da parede de 3,50 m e a largura de 32,30 m. Tanto na vista frontal quanto na posterior, há uma abertura com dimensões de 11,40 m x 2,00 m.

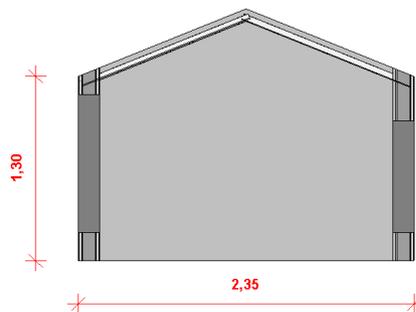
A Figura 20 ilustra as dimensões do lanternim do Ginásio Rei Pelé, que possui um design de duas águas. Suas principais medidas incluem uma altura de 1,30 m e uma largura de 2,35 m, contribuindo para a ventilação e iluminação natural do espaço.

Figura 19. Vista frontal do ginásio.



Fonte: Autor (2025).

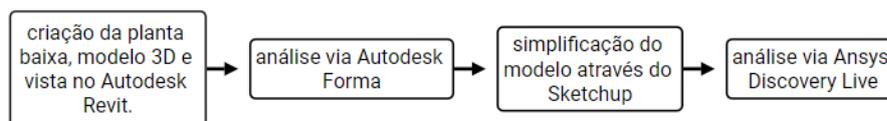
Figura 20. Vista frontal do lanternim.



Fonte: Autor (2025).

5.3 Etapa 2: Análise Computacional

Nesta etapa, foram seguidos os passos indicados na Figura 21. Inicialmente, foram elaborados a planta baixa, os cortes e a modelagem 3D no *Revit*, com posterior importação do modelo para o *Autodesk Forma*. Em seguida, o modelo foi simplificado no *SketchUp* e transferido para o *Ansys Discovery Live* para as análises.

Figura 21. Etapas da análise computacional.

Fonte: Autor (2025).

Com as informações levantadas *in loco* utilizou-se o software *Autodesk Revit* 2024, para desenvolver a planta baixa, os cortes e o modelo 3D detalhado do Ginásio Rei Pelé.

Após a finalização da modelagem do ginásio no *Revit* e o levantamento completo de suas dimensões, iniciou-se a modelagem simplificada da região onde está localizado o ginásio, utilizando o software *Autodesk Forma*.

Após a conclusão da modelagem das ruas, vegetação, edifícios comerciais e residências, o modelo 3D do Ginásio Rei Pelé foi importado do *Revit* para o *Autodesk Forma* no formato *Industry Foundation Classes* (IFC), de acordo com a metodologia da Modelagem da Informação da Construção (BIM). Essa integração permitiu uma representação detalhada e contextualizada do ginásio em seu entorno urbano (Figura 22).

Figura 22. Discretização da localização do Ginásio Rei Pelé.

Fonte: Autor (2025).

Com a discretização concluída, iniciou-se a análise da ventilação utilizando o comando “Vento”. Para isso, foi definida uma área de 150 m de raio, sendo o menor possível conforme as limitações do software, com o ginásio posicionado no centro da área. Com isso, foi definido uma análise feita em 2024 no mês de setembro, por ser um dos meses mais quente na região¹.

¹<https://pt.weatherspark.com/y/30379/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Balsas-Maranh%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>

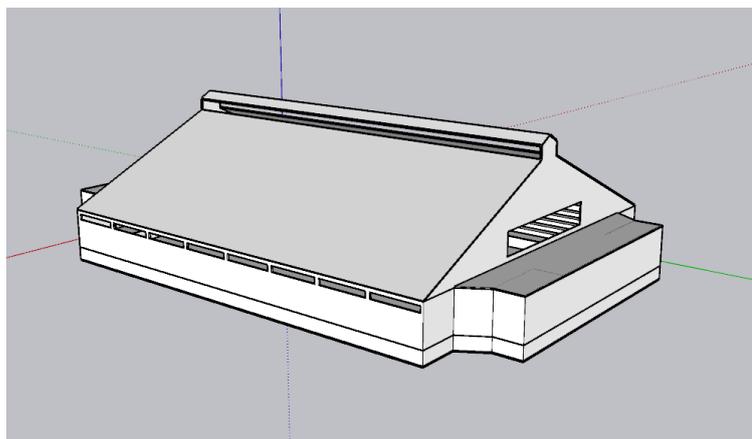
Com a análise de vento concluída, deu-se início à análise do clima da região ao redor do ginásio, utilizando o comando “Microclima”. Assim como na análise anterior, foi selecionada uma área de 150 m de raio, tendo o Ginásio Rei Pelé como ponto central.

A análise climática, realizada no *Autodesk Forma*, possibilitou determinar as temperaturas médias tanto no ginásio quanto em seu entorno durante o mês de setembro de 2024, às 14 horas, horário em que as temperaturas atingem seus valores mais elevados. Além disso, os dados permitiram identificar o ângulo predominante dos ventos na região, contribuindo para uma compreensão mais detalhada das condições ambientais locais.

Para dar continuidade ao processo, foi necessário simplificar o modelo do ginásio. Essa etapa foi essencial para otimizar o processamento computacional e reduzir a complexidade do modelo. A simplificação consistiu na remoção de elementos internos não essenciais, como portas, portões e janelas internas.

Para realizar essa simplificação, foi utilizado o software *SketchUp 2023*, devido à incompatibilidade do software *Ansys Discovery Live* com arquivos nos formatos *IFC* e *Revit*. Após as simplificações, o modelo final foi preparado para as etapas subsequentes de análise, como mostrado na Figura 23, que ilustra o modelo ajustado do Ginásio Rei Pelé, pronto para simulações mais detalhadas.

Figura 23. Modelo simplificado ginásio Rei Pelé.



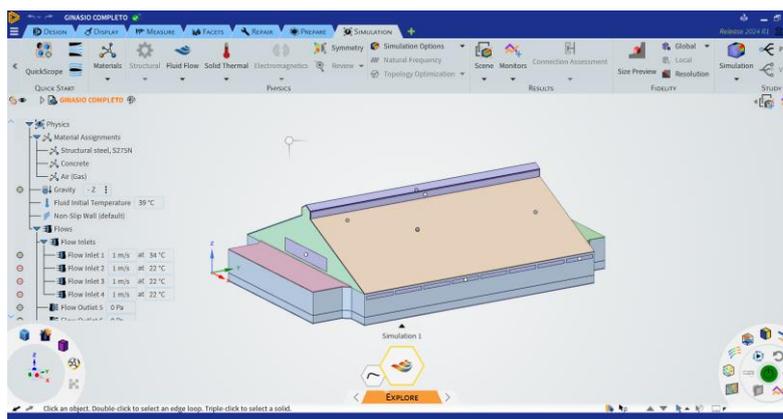
Fonte: Autor (2025).

Com o modelo simplificado finalizado, foi importado o modelo simplificado no *Sketchup* para o *Ansys Discovery Live* para ser aproveitado a geometria do elemento. No *Ansys Discovery Live*, a simulação foi configurada para analisar o fluxo de ar (*Fluid Flow*). O ar foi definido como fluido de trabalho, com propriedades ajustadas para condições padrão. As condições de contorno foram estabelecidas da seguinte forma:

- **Entrada de ar (*inlet*):** O vento foi configurado com velocidade constante, direcionado às aberturas laterais.
- **Saída de ar (*outlet*):** Foi aplicada pressão atmosférica para permitir a exaustão, onde foi definido como saída as aberturas do lanternim.
- **Superfícies sólidas:** As paredes, o telhado e o piso foram configurados como superfícies de não deslizamento (*no-slip*).
- **Aberturas laterais e lanternim:** Foram definidas como saídas livres para a circulação do ar.
- **Materiais do ginásio:** para o fechamento em alvenaria, foi definido como concreto e para a cobertura e o lanternim, foi definido como aço.

A Figura 24 apresenta a interface do *Ansys Discovery Live*. No canto inferior direito, encontra-se a roda de pós-processamento, com o botão “Solver” no centro, utilizado para iniciar as análises físicas. No canto inferior esquerdo, está a roda de ajuste de posições da câmera, vistas e gráficos dos elementos do modelo. À esquerda da interface, é visível a árvore de dados, onde estão organizados todos os elementos e informações inseridos no modelo. Na parte superior da interface, encontram-se as abas de opções, que oferecem ferramentas para tarefas variadas, desde desenho até a configuração de métodos físicos.

Figura 24. Interface do Ansys Discovery Live.



Fonte: Autor (2025).

Com os materiais definidos, iniciou-se a criação do volume interno utilizando o comando “*Volume Extract*”, que permitiu a geração do volume correspondente ao espaço interno do edifício. Em seguida, o material “Ar” foi atribuído a esse volume, representando o fluido de trabalho.

Após a finalização do volume, passou-se à definição das condições de contorno. Inicialmente, foram configuradas as entradas de ar por meio do comando “*Inlet*”, atribuindo-se aberturas laterais, frontais e posteriores do edifício como pontos de entrada.

Com as entradas de ar configuradas, procedeu-se à definição das saídas de ar utilizando o comando “*Outlet*”. As aberturas do lanternim do edifício foram designadas como pontos de saída, permitindo a exaustão do ar para o ambiente externo, com a definição de um valor de pressão de 0 Pa. De acordo com Souza (2023), a pressão manométrica de saída é frequentemente definida como 0 kPa em simulações CFD, indicando que não há restrição ou contrapressão no ponto de saída. Para a temperatura do telhado, foi adotado o valor de 41°C, com base nos dados obtidos pela análise das coberturas da edificação utilizando o *Autodesk Forma*.

Para simular a interação física, foram analisadas as direções que mais apresentaram frequência de vento no ginásio, baseando-se nos sentidos do vento obtidos por meio da análise no *Autodesk Forma*. As seguintes direções de vento foram configuradas:

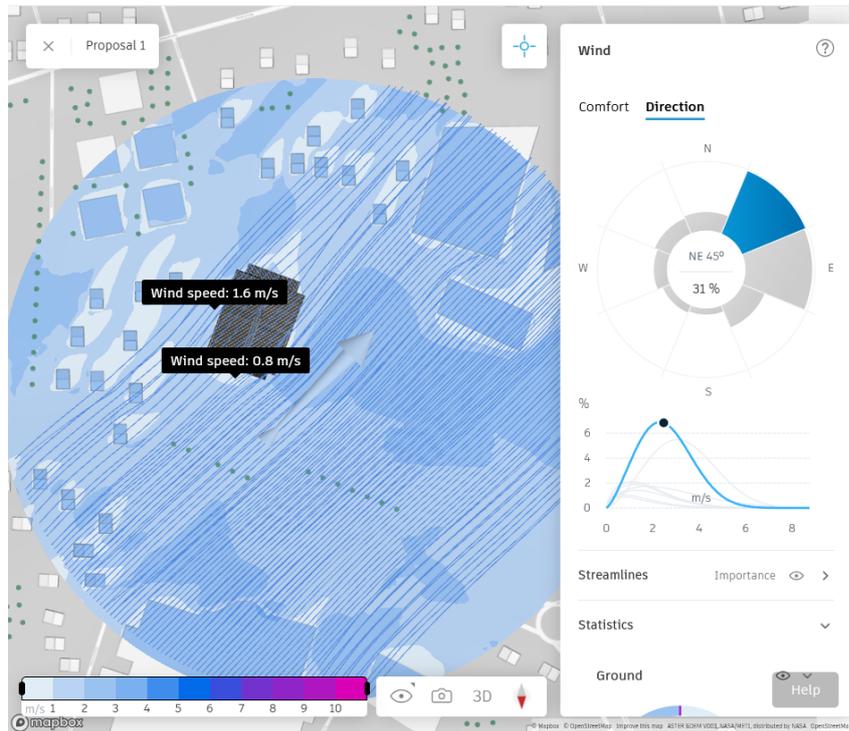
- 45 graus (Nordeste);
- 90 graus (Leste).

Essa abordagem permitiu que a simulação das interações físicas fosse mais precisa e representasse de forma realista os diferentes cenários de ventilação e fluxo de ar.

5.3.1 Configuração A: abertura frontal

Na configuração A, com base nos dados obtidos pela análise no *Autodesk Forma*, a abertura frontal recebe vento a 0,8 m/s, enquanto no sentido nordeste a velocidade média é de 3,2 m/s, com frequência de 30%. As demais aberturas foram desativadas para analisar a abertura frontal isoladamente. Além disso, o software apresenta limitações, permitindo apenas a definição de entradas e saídas, sem sobreposição entre elas. A temperatura do ar da ventilação foi definida em 34 °C, com duração de ventilação de 100 segundos. A Figura 25 ilustra o vento entrando pelas aberturas frontal e lateral esquerda, com o fluxo representado por flechas azuis. Condições de contorno específicas foram configuradas para garantir a precisão na representação do comportamento do vento.

Figura 25. Vento a Nordeste a 45 graus (31%).

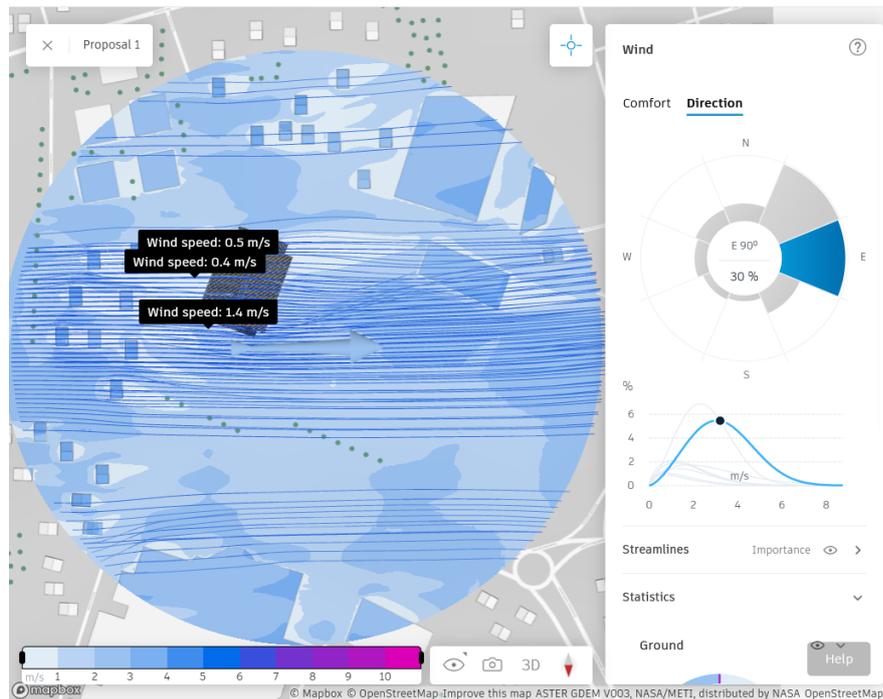


Fonte: Autor (2025).

5.3.2 Configuração B: abertura laterais esquerda

Na configuração B, com base nos dados obtidos pela análise no *Autodesk Forma*, a abertura lateral esquerda recebe vento a 0,5 m/s, enquanto no sentido leste a velocidade média é de 2,5 m/s, com frequência de 30%. As demais aberturas foram desativadas, com o intuito de analisar a abertura lateral isoladamente. A temperatura do ar da ventilação foi definida em 34 °C, com duração de ventilação de 100 segundos. A Figura 26 mostra o vento entrando pelas aberturas lateral esquerda, com o fluxo indicado por flechas azuis. Condições de contorno específicas foram ativadas para garantir a precisão na representação do comportamento do vento.

Figura 26. Vento a Leste a 90 graus (30%).



Fonte: Autor (2025).

5.4 Etapa 3: Análise dos Resultados

Após a conclusão da modelagem nos softwares, foi realizada a análise dos resultados. Para isso, foram capturadas gravações de tela que possibilitam a comparação dos dados de velocidade do vento e temperatura interna do ginásio em três modelos distintos, utilizando duas configurações de entrada de ventilação: A – abertura frontal e B – abertura lateral esquerda.

As imagens geradas apresentam vetores que ilustram o fluxo do vento no edifício, enquanto os resultados são analisados por meio de um gradiente de cores. Nesse gradiente, as cores mais escuras indicam os valores máximos, enquanto as cores mais claras representam os valores mínimos.

O primeiro modelo corresponde a uma versão simplificada do Ginásio Rei Pelé. O segundo modelo apresenta aberturas laterais ampliadas para 1,10 m, sendo inviável um aumento maior devido ao pé-direito de 3,50 m, e à proximidade do último degrau da arquibancada em relação às aberturas. O terceiro modelo, por sua vez, é uma versão hipotética em que as aberturas laterais foram ampliadas para 1,65 m, conforme especificado na Equação 1.1, e o pé-direito elevado para 6 m, seguindo os parâmetros estabelecidos na Tabela 2.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Resultados via Autodesk Forma

A Figura 27 apresenta os resultados da climatização, evidenciando temperaturas externas variando entre 43°C e 44°C na área próxima ao ginásio, onde também apresenta um gráfico que mostra a distribuição do estresse térmico na região. É possível observar que 98% da área apresenta estresse térmico muito forte (representado por cores mais escuras), enquanto os 2% restantes correspondem a estresse térmico forte (representado por cores mais claras).

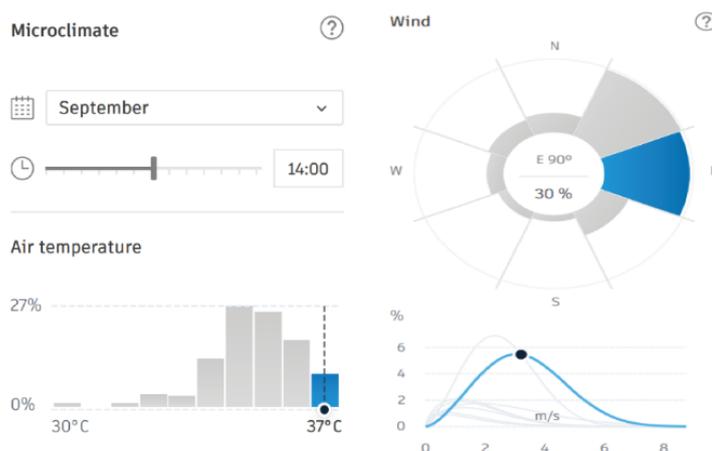
A análise das condições térmicas da região avaliou a temperatura do chão e do teto dos edifícios, onde estão cobertos por uma cor laranja que representa a temperatura, além de identificar a temperatura do ar no mês de setembro, às 14h, que foi de 35 °C com frequência de 27%. A direção predominante dos ventos também foi determinada, indicando uma velocidade variável de 2,5 m/s durante o mês, com 30% da frequência proveniente do Leste (90°) com velocidade média de 3,2 m/s e 31% do Nordeste (45°), apresentando uma velocidade média de 2,5 m/s. Esses resultados estão detalhados na Figura 28.

Figura 27. Análise climática através do Autodesk forma.



Fonte: Autor (2025).

Figura 28. Estatísticas da análise climática do mês de setembro.



Fonte: Autor (2025).

Essa análise fornece informações importantes para compreender o comportamento do vento na região, permitindo identificar áreas de maior impacto e possíveis estratégias para otimizar a ventilação natural e o conforto térmico no ginásio e seu entorno.

Nesse contexto, a análise de CFD realizada com o *Autodesk Forma* na região do Ginásio Rei Pelé permitiu identificar os dois sentidos predominantes do vento, fornecendo informações essenciais para definir o posicionamento ideal de um edifício. Esses dados são fundamentais para maximizar o aproveitamento das rajadas de vento e otimizar a ventilação natural, um aspecto crítico para edifícios localizados em regiões de clima quente e úmido.

Com base na análise, foi possível determinar que os sentidos predominantes do vento na região são 31% na direção Nordeste (45 graus) e 30% na direção Leste (90 graus). As demais direções apresentam menor influência, sendo 11% ao Sudeste (135 graus), 8% ao Norte (0 graus), 7% ao Noroeste (315 graus), 6% ao Oeste (270 graus), 4% ao Sudoeste (225 graus) e 3% ao Sul (180 graus).

A Figura 29 apresenta dois cenários complementares, proporcionando uma visão integrada das condições ambientais ao redor do Ginásio Rei Pelé. Na Figura 29a, é exibida a análise do fluxo de vento proveniente da direção leste (90 graus), com uma influência de 30. Já a Figura 29b mostra a distribuição térmica da região, simulada para o mês de setembro, às 14h, horário em que as temperaturas atingem seus valores mais elevados.

6.2 Resultados via Ansys Discovery Live

Após ajustes necessários para a simulação, iniciou-se o pós-processamento e a análise dos resultados, avaliando-se as configurações de (configuração A – abertura frontal de 11,40 m x 2,00 m) e (configuração B – aberturas laterais de 0,54 m x 4,40 m) para o modelo em estudo, onde foi comparado com os modelos hipotéticos 2 e 3.

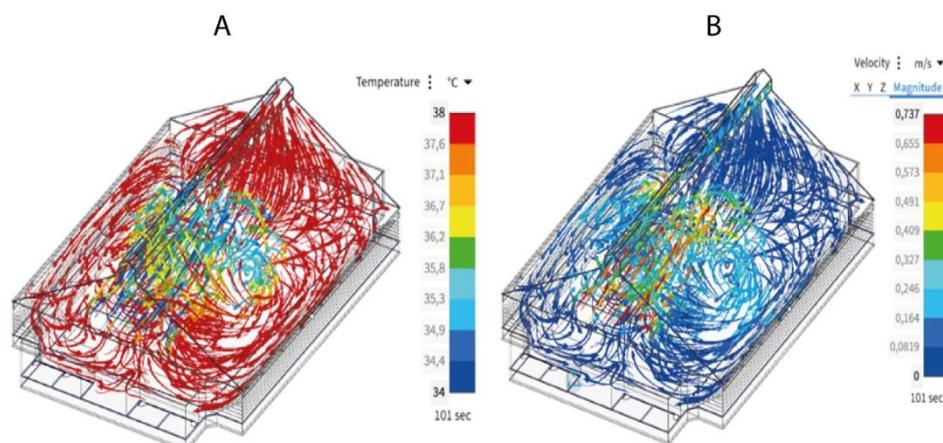
6.2.1 Modelo 1: configuração A – abertura frontal

Na configuração A, a abertura frontal de 11,40x2,00 m possuem grandes dimensões, permitindo a entrada de um fluxo significativo de vento, que resulta em uma considerável redução da temperatura interna. Conforme mostrado na Figura 31A, a temperatura cai de 38°C (representada pelas cores vermelhas) para 36,7°C (cores amarelas), 36,2°C (cores verdes) e 35,8°C (cores azul-claros). Esses dados destacam a eficiência do tamanho das aberturas no que diz respeito à ventilação natural. Com isso, obtendo uma redução de 2,2°C com uma ventilação de 0,8 m/s com duração de 100 segundos.

A relação entre temperatura ambiente e impacto fisiológico é um aspecto crítico, especialmente em atividades físicas. De acordo com Jay et al. (2021), indivíduos com aproximadamente 70 kg e condicionamento físico moderado, ao realizarem exercícios em ambientes com temperatura de 35°C e utilizando 50% de sua capacidade máxima, atingem o nível crítico de desidratação entre 1 e 1,5 horas. Como a reposição voluntária de líquidos repõe apenas metade da perda hídrica pelo suor, a exposição prolongada ao calor sem mecanismos adequados de resfriamento pode comprometer significativamente a hidratação e o desempenho.

No entanto, mesmo com a implementação dessas estratégias, a redução de temperatura pode não ser suficiente para garantir o conforto térmico adequado. Embora a temperatura inicial de 38°C tenha caído para 35,8°C, esse valor ainda está acima do limite ideal para proporcionar uma sensação térmica agradável, assim como indica Jay et al. (2021).

Figura 31. Configuração A - abertura frontal: A) temperatura interna; B) velocidade do vento.



Fonte: Autor (2025).

A distribuição da velocidade do ar no ginásio, conforme ilustrado na Figura 31B, apresenta velocidades máximas de 0,737 m/s, concentradas predominantemente nas partes superiores e centrais do ambiente. Em contrapartida, as áreas inferiores, próximas ao chão e às arquibancadas, exibem baixa movimentação de ar, evidenciando zonas de estagnação.

A cor azul claro indica uma redução na velocidade do ar, correspondente às regiões de troca térmica, onde a velocidade diminui de 0,737 m/s para 0,327 m/s, obtendo uma redução de 0,410 m/s. Apesar do fluxo de ar ser turbulento, a ventilação natural não se mostra suficiente para uniformizar a circulação no ginásio, deixando partes do ambiente com ventilação inadequada.

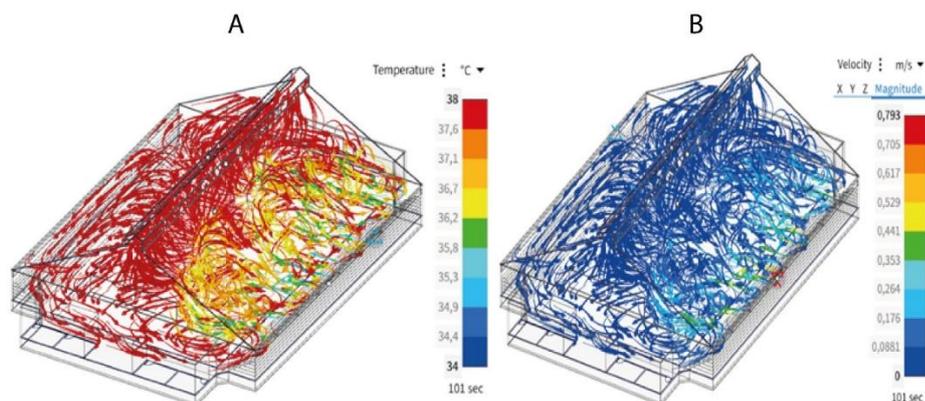
Essa limitação na ventilação impacta diretamente o conforto térmico do ambiente. De acordo com Penwarden (1973), uma velocidade entre 0 e 1,5 m/s gera um efeito calmo, sem vento perceptível. Assim, as áreas onde a velocidade do ar é reduzida tendem a apresentar menor dissipação térmica, favorecendo a sensação de calor e comprometendo o bem-estar dos ocupantes.

6.2.2 Modelo 1: configuração B – aberturas laterais

Na configuração B, com a abertura lateral esquerda ativada, o fluxo de vento no Ginásio Rei Pelé comporta-se conforme indicado na Figura 32A. As linhas de fluxo em vermelho destacam a temperatura interna do edifício antes das alterações, registrada em 38°C. Observa-se, entretanto, uma redução no gradiente térmico, com a cor amarela indicando uma temperatura de 36,7°C, representando uma queda de 1,3°C causada pela ventilação natural com velocidade de 0,5 m/s. Apesar dessa melhoria, nota-se a presença de massas de ar quente nos cantos inferiores da arquibancada, identificadas pelos tons de vermelho, evidenciando áreas onde o

fluxo de ventilação é menos eficaz. Dessa forma, como aponta Joy et al. (2021), temperatura de 35 °C causa desidratação para quem pratica esporte físicos entre 1 e 1,5 horas de duração, assim tendo que ser hidratar constantemente.

Figura 32. Configuração B – aberturas laterais: A) temperatura interna; B) velocidade do vento.



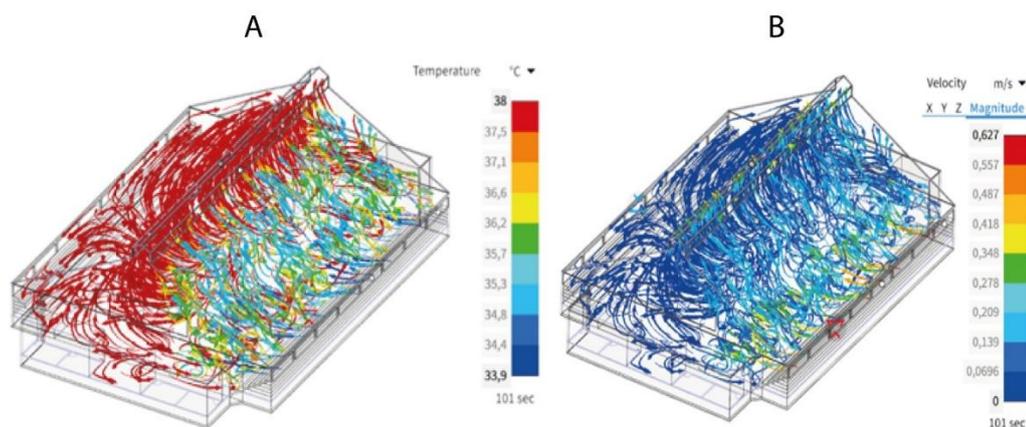
Fonte: Autor (2025).

A Figura 32B ilustra velocidades máximas de 0,793 m/s, localizadas nas aberturas laterais do edifício, representadas pelo tom vermelho. Conforme a ventilação se espalha pelo ambiente, a velocidade do ar reduz gradualmente, chegando a 0,353 m/s, indicado pela cor azul claro, dessa forma, obtendo uma redução da velocidade de 0,440 m/s. Já as áreas em azul marinho representam zonas com velocidade de 0 m/s, caracterizando regiões de recirculação, onde não ocorre nem uma alteração. Esse comportamento destaca a importância de ajustes no design de ventilação para melhorar a distribuição do fluxo de ar em edifícios. Assim conforme citado no item 6.2.1 a velocidade também não ultrapassa 1,5 m/s, assim sendo classificada como vento calmo, sem percepção.

6.2.3 Modelo 2: configuração B – abertura laterais

Nas aberturas laterais, foi possível obter resultados significativos com a aplicação de um vento de 0,5 m/s por 100 segundos. As áreas em vermelho representam a temperatura máxima de 38°C, enquanto as regiões em azul claro indicam 35,7°C, localizado na Figura 33^a, demonstrando uma redução de 2,3°C. Além disso, observou-se uma melhor expulsão do ar quente em direção ao topo da cobertura. A Figura 34A está apresentando a interação da temperatura interna. Assim como o item 6.2.1 a temperatura está acima dos 35°C, onde acarreta desidratação para quem pratica esporte físicos entre 1 e 1,5 horas de duração.

Figura 33. Configuração B - aberturas laterais: A) temperatura interna; B) velocidade do vento.



Fonte: Autor (2025).

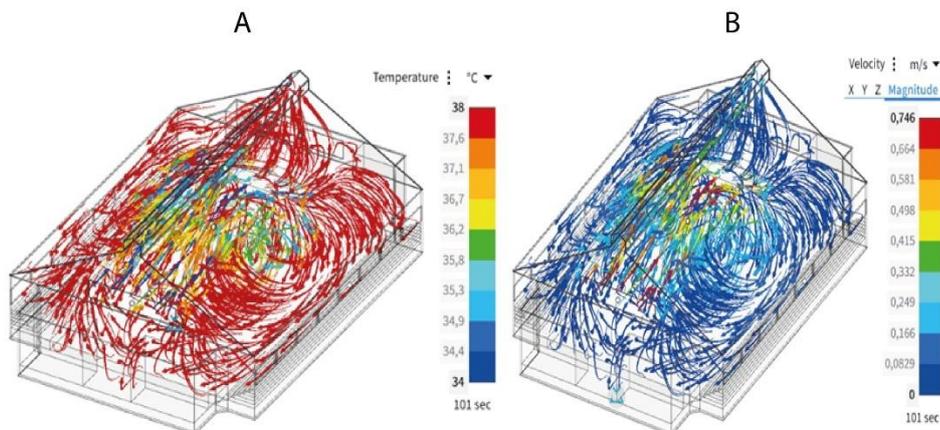
Na análise da velocidade (Figura 33B), observou-se um valor máximo de 0,627 m/s, representado pela cor vermelha, próximo às aberturas. Na região central, ocorre uma troca térmica acompanhada de uma redução na velocidade, atingindo 0,278 m/s, representada pela cor azul claro, o que corresponde a uma diminuição de 0,348 m/s. A Figura 34B apresenta essa análise. Desse modo, como a velocidade permanece abaixo de 1,5 m/s, o vento é considerado calmo e imperceptível de acordo com Penwarden (1973).

6.2.4 Modelo 3: configuração A – abertura frontal

O modelo hipotético foi desenvolvido com o objetivo de aprimorar a ventilação natural e o conforto térmico no ambiente, onde foi aumentado as aberturas laterais para 1,65 m e elevação o pé-direito para 6 m. Na simulação da Configuração A, os resultados demonstraram uma distribuição de ventilação semelhante à da simulação do modelo real, com o fluxo de ar concentrado no topo e no centro da cobertura. Essa disposição, no entanto, mostrou-se insuficiente para promover um conforto térmico significativo para as pessoas nas arquibancadas ou na quadra esportiva.

A análise da Figura 34A revela uma redução gradativa da temperatura. As áreas em vermelho indicam o valor máximo de 38°C, enquanto, na parte central, observa-se uma diminuição, representada por cores como amarelo (36,7°C) e verde (36,2°C), dessa forma, obtendo uma redução de 1,8°C com uma ventilação a 0,8 m/s de velocidade. Apesar da redução, os benefícios da ventilação ainda não alcançam plenamente as áreas mais relevantes do ginásio, que são o chão e as arquibancadas, assim destacando a necessidade de ajustes no modelo. Conforme o item 6.2.1 a temperatura foi acima de 35°C, onde indica alta desidratação para quem pratica esportes físicos entre 1 e 1,5 horas de duração.

Figura 34. Configuração A – abertura frontal: temperatura interna.



Fonte: Autor (2025).

A distribuição da velocidade do ar no ginásio, conforme ilustrado na (Figura 34B), apresenta velocidades máximas de 0,746 m/s, concentradas predominantemente nas partes superiores e centrais do ambiente. Em contrapartida, as áreas inferiores, próximas ao chão e às arquibancadas, exibem baixa movimentação de ar, evidenciando zonas de estagnação.

A cor azul claro indica uma redução na velocidade do ar, especialmente nas regiões de troca térmica, onde a velocidade diminui de 0,746 m/s para 0,498 m/s e, posteriormente, para 0,332 m/s. Isso resulta em uma redução total de 0,414 m/s na velocidade interna. Além disso, como a velocidade permanece abaixo de 1,5 m/s, o vento é considerado calmo e imperceptível de acordo com Penwarden (1973).

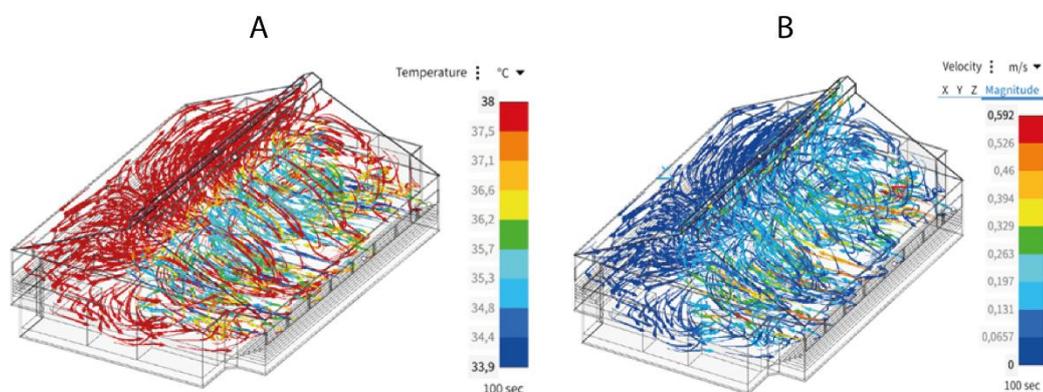
6.2.5 Modelo 3: configuração B – abertura lateral

Ao analisar a funcionalidade das novas aberturas laterais, juntamente com o aumento do pé-direito do edifício, foi possível observar uma mudança significativa no fluxo do vento que penetra no edifício, conforme comparado com a Figura 32A. A Figura 35A apresenta, por meio de vetores, a influência do vento durante a troca térmica com a temperatura interna do ginásio.

Nesse contexto, foi simulada uma rajada de vento com duração de 100 segundos. Na simulação, a cor vermelha representa a temperatura máxima, de 38 °C, enquanto a temperatura interna caiu para 35,5 °C, representada pela cor azul claro na Figura 35A. Isso demonstra uma redução de 2,5 °C na temperatura interna. Além disso, mesmo tendo uma redução de 2,5°C, não foi possível atingir uma temperatura ideal, como aponta Jay (2021), temperaturas de 35°C,

utilizando 50% de sua capacidade máxima, atingem o nível crítico de desidratação entre 1 e 1,5 horas de duração de prática esportiva.

Figura 35. Configuração B - abertura laterais: A) temperatura interna; B) velocidade do vento.



Fonte: Autor (2025).

Para a análise da velocidade interna do ginásio foi possível observar que a maior turbulência se encontra próximo as aberturas laterais (Figura 35B), onde então representando por cores mais quentes, como o vermelho representando 0,592 m/s. Nesse sentido, quando o vento de 34 °C entra em contato com o ambiente interno do edifício de 38 °C acaba acontecendo uma troca térmica, com isso acontece uma desaceleração do vento, onde o vento chega a uma velocidade de 0,263 m/s representado por azul claro, dessa forma obtendo uma redução de 0,329 m/s. Com o aumento do pé-direito foi criado um maior volume de ar, assim melhorando a circulação do ar e acaba eliminado zona de estagnação. Com isso, a velocidade do vento não passa de 1,5 m/s, assim sendo tendo efeito como calmo e imperceptível de acordo com Penwarden (1973).

6.2.6 Comparação dos modelos

Após a conclusão das análises, foi realizado um comparativo entre três modelos distintos. Para organizar e detalhar os resultados obtidos, a Tabela 3 foi elaborada, reunindo os dados da análise CFD de todos os modelos.

Ao comparar o Modelo 1 com o Modelo 3, utilizando a Configuração A, constatou-se que o Modelo 1 apresentou uma redução de 2,2 °C na temperatura, enquanto o Modelo 3 obteve uma redução de 1,8 °C. Quanto à velocidade do ar, a diferença foi de apenas 0,004 m/s, favorecendo o Modelo 3. Essa diferença de temperatura pode ser atribuída ao aumento do pé-direito no Modelo 3, o que permite que o vento, ao adentrar pela abertura, se concentre na parte superior da cobertura, devido à elevada altura da abertura frontal.

Tabela 3. Comparativo: modelo 1; modelo 2; modelo 3.

Característica	Modelo 1: simplificado	Modelo 2: aberturas laterais de 1,10 m	Modelo 3: aberturas laterais de 1,65 m e pé- direito de 6,0 m
Configuração A – abertura frontal: redução da temperatura	2,2 °C	-	1,8 °C
Configuração A – abertura frontal: redução da velocidade	0,410 m/s	-	0,414 m/s
Configuração B – abertura lateral: redução da temperatura	1,3 °C	2,3 °C	2,5 °C
Configuração B – abertura lateral: redução da velocidade	0,440 m/s	0,349 m/s	0,329 m/s

Fonte: Autor (2025).

Na Configuração B, o Modelo 1 registrou uma redução de 1,3 °C na temperatura, enquanto o Modelo 2 apresentou uma redução de 2,3 °C e o Modelo 3 obteve uma diminuição mais significativa, de 2,5 °C. As análises foram realizadas com uma ventilação de 0,5 m/s. Conforme indicado na Tabela 1, elaborada por Lukiantchuki (2015), a redução média de temperatura em edificações ventiladas com 0,5 m/s é de 1,2 °C, destacando a influência do aumento do pé-direito e da ampliação das aberturas laterais.

Ao comparar o Modelo 2 com o Modelo 3, observa-se que as reduções de temperatura são próximas (2,3 °C e 2,5 °C, respectivamente). Entretanto, o Modelo 3 apresenta um pé-direito maior, o que favorece a circulação do vento no interior do edifício, permitindo que o fluxo de ar alcance com mais facilidade a região central.

Esses resultados ressaltam a importância de um pé-direito adequado, conforme destacado por Mazon (2005). O pé-direito do edifício exerce grande influência no conforto interno, uma vez que o efeito chaminé, responsável pela circulação do ar, aumenta proporcionalmente à altura do prédio.

Ao se comparar ao trabalho de Mazon (2005), onde os resultados, destaca-se que, para um galpão com dimensões típicas (por exemplo, 50 m × 20 m × 7 m) e submetido a uma diferença de temperatura de cerca de 8 °C entre o interior e o exterior, os perfis simulados apresentaram temperaturas médias internas na faixa de 22 a 24 °C, os valores que estão bem dentro dos limites de conforto estabelecidos. Já a simulação do Ginásio Rei Pelé com o modelo 3 foi possível obter uma diminuição da temperatura de 2,5 °C para as aberturas laterais, onde a

temperatura inicial era de 38 °C e caiu para 35,5 °C. Já o modelo 2, obteve uma diminuição de 2,3 °C para as aberturas laterais, onde a temperatura inicial era de 38 °C e caiu para 35,7 °C.

Enquanto o trabalho de Mazon (2005) evidencia um ambiente que atinge temperaturas internas compatíveis com o conforto (22–24 °C), a simulação do Ginásio Rei Pelé, mesmo com as intervenções dos Modelos 2 e 3, obteve temperaturas finais significativamente mais elevadas (acima de 35 °C). Segundo a norma ASHRAE Standard 55 (2017), a faixa de temperatura ideal para condições de atividade leve e vestimenta adequada situa-se aproximadamente entre 20 °C e 24 °C. Dessa forma, embora as reduções de temperatura observadas nos modelos do Ginásio representem uma melhoria, elas não foram suficientes para atingir os parâmetros de conforto térmico.

7 CONCLUSÃO

A ventilação natural é uma estratégia fundamental para a promoção do conforto térmico em regiões de clima quente, como o município de Balsas – MA. Nesse contexto, estudos que avaliem as condições de ventilação são essenciais para orientar projetos arquitetônicos e estruturais mais eficientes.

Diante dessa necessidade, a análise climática da região do ginásio permitiu identificar os principais sentidos predominantes do vento: Nordeste (45°), com uma frequência de 31% e velocidade média de 2,5 m/s, e Leste (90°), com uma frequência de 30%. Essas informações são determinantes para compreender o comportamento do vento e direcionar soluções que maximizem a ventilação natural. Além disso, constatou-se que, no mês de setembro, às 14h, a temperatura média do solo e das coberturas de edificações comerciais próximas ao ginásio atinge 44 °C, evidenciando a necessidade de estratégias eficientes de ventilação.

Com base nesses dados climáticos, a análise das aberturas do ginásio revelou aspectos críticos. Observou-se que a abertura frontal contribui parcialmente para a redução da temperatura, mas seu efeito é limitado à parte superior da cobertura, sem influenciar significativamente as áreas do piso e das arquibancadas — regiões mais relevantes para o conforto térmico do público e dos jogadores. Esse problema reforça a importância de um planejamento adequado das aberturas para garantir melhor ventilação em todo o espaço.

Além das limitações das aberturas frontais, a análise também destacou a ineficiência das aberturas laterais, cuja altura atual de 0,54 m é insuficiente para permitir uma circulação eficiente do ar. Essa configuração prejudica a redução térmica no interior do ginásio, tornando evidente a necessidade de intervenções que promovam uma ventilação mais eficaz.

Mesmo com o aumento das aberturas no Modelo 2 e o acréscimo tanto das aberturas quanto do pé-direito no Modelo 3, a análise revelou que, para o mês de setembro às 14h, não foi possível atingir o conforto térmico ideal. Segundo a norma ASHRAE Standard 55 (2017), a faixa de temperatura recomendada para condições de atividade leve e vestimenta adequada situa-se entre 20 °C e 24 °C.

Apesar dos resultados obtidos, é importante ressaltar algumas limitações técnicas da análise. O uso do software *Ansys Discovery Live* permitiu apenas simulações preliminares, sem a possibilidade de sobreposição de condições de contorno mais complexas.

Por fim, os resultados desta análise ressaltam a importância de considerar as direções predominantes do vento no projeto arquitetônico de ginásios e edificações similares em Balsas – MA. A adequada captação e direcionamento do fluxo de ar podem contribuir

significativamente para a ventilação natural e a mitigação do desconforto térmico. Além disso, recomenda-se o aumento da altura das aberturas laterais do ginásio, ainda que essa intervenção, segundo a norma, não garanta o conforto térmico para o mês de setembro.

Com base nos resultados, o Modelo 2 foi indicado como a melhor alternativa, pois apresentou uma redução de temperatura semelhante à do Modelo 3 (2,3 °C contra 2,5 °C, respectivamente), mas com menor complexidade construtiva e menor impacto estrutural, tornando-se uma opção mais viável para implementação.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G. de; ABREU, V. M. N. **Lanternim: função e construção**. 1. ed. rev. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. 2 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/443215/lanternim-funcao-e-construcao>. Acesso em: 6 nov. 2024.
- AHMED, T.; KUMAR, P.; MOTTET, L. Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 138, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120309539>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- ALMEIDA, A. C. de. **Estudo numérico da ventilação natural em arranjo de edificações distribuídas em série**. 2023. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/54805/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20ALice%20Costa%20de%20Almeida.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- ASHRAE 55-2017. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, GA: ASHRAE, 2017.
- BARRADAS, A. C. M. **Avaliação do desempenho do OpenFOAM® em estudos de ventilação natural**. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Especialidade em Energia e Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2016. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/38992>. Acesso em: 11 dez. 2024.
- BELLEI, I. H. **Edifícios industriais em aço: projeto e cálculo**. 7. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2023.
- BEVILAQUA, C. P. et al. Análise da ventilação natural: simulações CFD e ensaios em um modelo físico reduzido. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, 2019. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652835>. Acesso em: 13 dez. 2024.
- BORGES, B. F. R. **Utilização de torres de vento em edificações para maximização do conforto térmico**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- CAMARGOS, B. H. L. **Desempenho térmico de galpões industriais equipados com lanternins**. 2019. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/48b32ec0-a065-4920-8491-ff722f57fe98>. Acessado em: 09 de junho. 2024.
- DALLASTRA, M. et al. Caracterização da ventilação natural em Tangará da Serra/MT, Brasil sob o viés da construção civil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 198-209, 2020. Disponível em:

<https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.003.0017>. Acesso em: 11 dez. 2024.

EMMERICH, S. J.; DOLS, W. S.; AXLEY, J. W. **Revisão e plano de ventilação natural para ferramentas de projeto e análise**. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2001. Disponível em: <https://www.nist.gov/publications/natural-ventilation-review-and-plan-design-and-analysis-tools>. Acesso em: 6 nov. 2024.

GOOGLE EARTH. 2025. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/>. Acesso em: 12 jan. 2025.

HE, D.; ISA, M. H. M. Investigação do conforto térmico interno de edifícios históricos no verão quente e na zona fria de inverno da China: um estudo de caso. **Estudos de Caso em Engenharia Térmica**, v. 53, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X23011267?via%3Dihub>. Acesso em: 6 nov. 2024.

INSTITUTO AÇO BRASIL; CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Galpões para usos gerais**. 4. ed. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2018. (Série Manual de Construção em Aço). Disponível em: https://d3351uupugsy2.cloudfront.net/cms/files/143141/1600786143manual_galpoes_para_usos_gerais_cbca.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Shapefile 2023_11_23**. Rio de Janeiro, IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2023/. Acesso em: 15 jan. 2025.

JAY, Ollie et al. Reducing the health effects of hot weather and heat extremes: from personal cooling strategies to green cities. **The Lancet**, v. 398, p. 709-724, ago. 2021. Disponível em: <https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736%2821%2901209-5/fulltext>. Acesso em: 4 mar. 2025.

LAMBERTS, R.; LUCIANO, D.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/ Procel, 2014. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/pt-br/publicacoes/livros>. Acesso em: 11 dez. 2024.

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**. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-15072015-142805/publico/TESE_RENAN_ALTERAcoES.pdf. Acesso em: 11 dez. 2024.

LUKANTCHUKI, M. A. **Sheds extratores e captadores de ar para indução da ventilação natural em edificações**. 2015. 362 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-07082015-180544/publico/marielifinal.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2024.

LUKIANCHUKI, M. A.; XAVIER, A. C. de A. **Análise da ventilação natural em salas de aula: simulações CFD**. In: XVII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído; XIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2023, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3744>. Acesso em: 11 dez. 2024.

MARTINS, D. M. **Efeito de interferência de vizinhança na distribuição das pressões médias e de pico devidas ao vento em fachadas de edifícios altos**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2024. Disponível em: http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/48755/1/DouglasMaiaMartins_DISSERT.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025.

MAZON, A. A. O. **Ventilação natural em galpões utilizando lanternins**. 2005. 193 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2240>. Acesso em: 6 nov. 2024.

MELO, F. F. de. **Introdução à Dinâmica dos Fluidos Computacional**. 2020. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/30220?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 31 dez. 2024.

MORAIS, J. M. da S. C. **Ventilação natural em edifícios multifamiliares do programa “Minha Casa Minha Vida”**. 2013. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/928599>. Acesso em: 31 dez. 2024.

MORAIS, J. M. da S. C.; LABAKI, L. C. CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do “Programa Minha Casa, Minha Vida”. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 223-244, jan./mar. 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ac/a/jQknMRzzZwV3rfgttSsFKmk/?format=pdf&utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 13 dez. 2024.

MUNHOZ, G. K. **Projeto de um motor-foguete utilizando o método das características**. 2024. 37 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, São João da Boa Vista, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/8066e8a9-0a93-42bc-a5e5-1513ae6d5bd1/content>. Acesso em: 31 dez. 2024.

NAPOLI, F. Resiliência climática e qualidade do ar: estratégias de infraestrutura verde para Lima. In: **XVI SEMINARIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EM URBANISMO**, 2024, Madrid. Anais [...]. Madrid: Universidade Politécnica de Madrid, 2024. p. 950-962. Disponível em: <https://revistes.upc.edu/index.php/SIIU/article/view/13141>. Acesso em: 3 mar. 2025.

OLENKOV, V. D. et al. Investigação do regime de ventos de edificações residenciais existentes em clima quente. **Bull. South Ural State Univ. Ser. Constr. Eng. Archit.**, Chelyabinsk, v. 24, n. 1, p. 5-13, 2024. Disponível em:

<https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vetrovogo-rezhima-suschestvuyushey-zhiloy-zastroyki-v-usloviyah-zharkogo-klimata>. Acesso em: 3 mar. 2025.

PENWARDEN, A. D. Acceptable wind speeds in towns. **Building Science**, v. 8, p. 259-267, 1973. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/000736287390008X>. Acesso em: 4 mar. 2025.

PEREIRA, P. F. da C. **Determinação de zonas de conforto térmico por meio da análise comparativa entre diferentes métodos de caracterização de pessoas termicamente insatisfeitas**. 2021. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/25061/1/zonasconfortotermico.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2024.

QUADROS, B. M. **Ventilação natural para o conforto térmico e renovação do ar em ambientes de internação hospitalar**. 2016. 137 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/174131>. Acesso em: 6 nov. 2024.

SILVA, F. E. Pinto da. Estudo da ação do vento em uma edificação no bairro Centro-Sul na cidade de Manaus. In: RODRIGUES, F. de A.; SANTARÉM, S. dos S.; RIBAS, L. F. (orgs.). **Saberes da Engenharia: Uma contribuição para a sociedade**. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2024. Cap. 7, p. 72-82. Disponível em: https://web.archive.org/web/20240118055104id_/https://www.poisson.com.br/livros/individuais/Saberes_Engenharia/volume4/Saberes_Engenharia_Vol4.pdf#page=72. Acesso em: 10 jan. 2025.

SON, J. Y.; GOUVEIA, N.; BRAVO, M. A.; FREITAS, C. U.; BELL, M. L. The impact of temperature on mortality in a subtropical city: Effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 1, p. 113-121, 2016. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4644507/pdf/nihms691106.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2025.

SOUZA, L. F. A.; SILVA JUNIOR, L. J. **Utilização da técnica CFD para análise da eficiência aerodinâmica de turbina eólica de eixo vertical empregando diferentes valores de solidez**. In: POLÍTICA INDUSTRIAL VERDE E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA JUSTA: O PROTAGONISMO BRASILEIRO, 2023, Brasil. Anais... Brasil: [s.n.], 2023. p. 1-13. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/11/2.2AP-1690153470-Trabalho_Artigo_CFD_VAWT_BWP-2023.pdf. Acesso em: 06 mar. 2025.

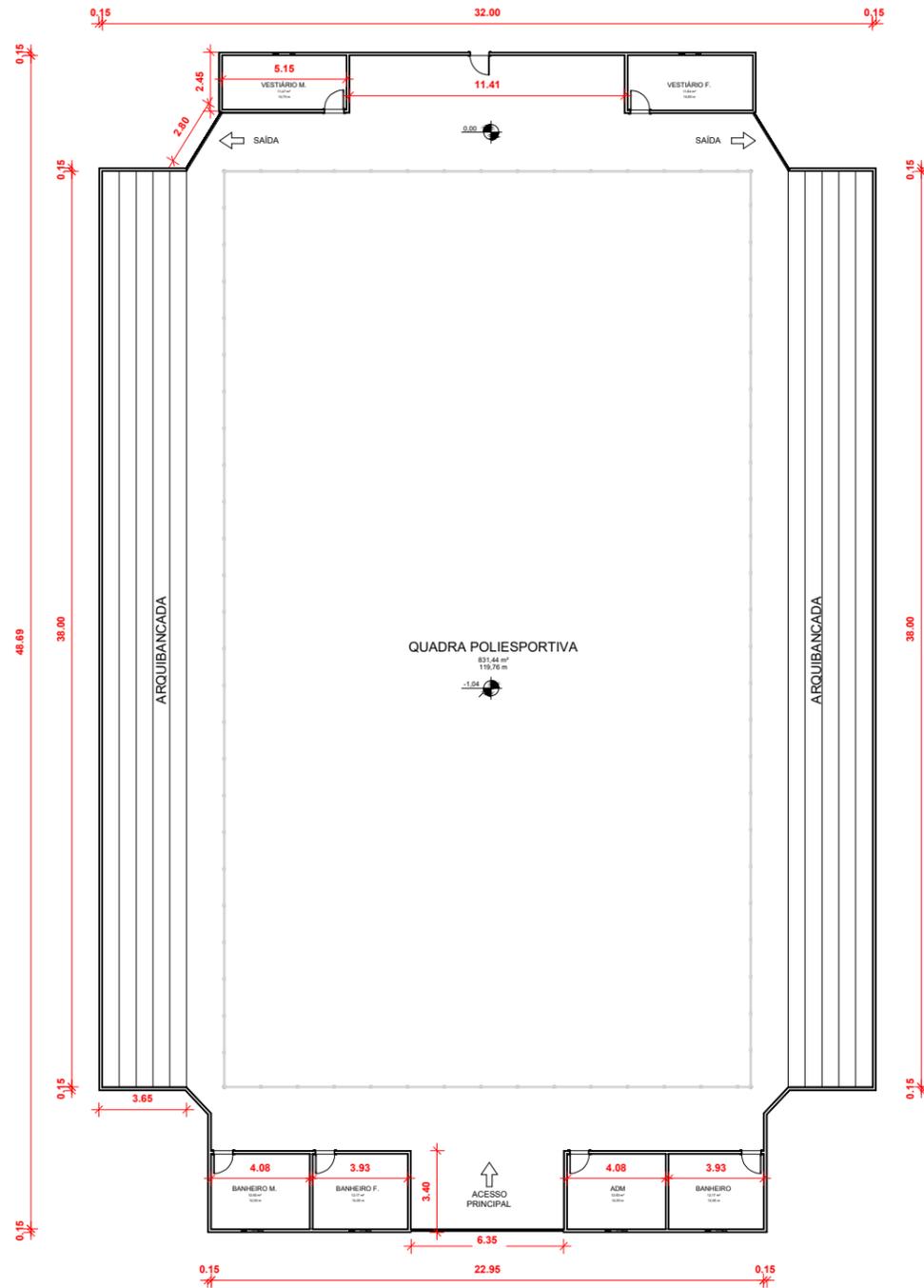
TIBÚRCIO, J. C. da S. P. **Ventilação natural em edifícios residenciais: parâmetros normativos para configuração das aberturas**. 2017. 207f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Departamento de Arquitetura. Universidade Federal de Alagoas, Maceió. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/2723>. Acessado em: 11 nov. 2024.

TRISTÃO, V. M. **Análise CFD de dispositivos aerodinâmicos de redução de turbulência implementados sobre as rodas dos carros de Fórmula 1**. 2022. 73 p. Monografia

(Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022. Disponível em: https://bdta.abcd.usp.br/item/003119569?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 31 dez. 2024.

WEATHERSPARK. Clima característico em Balsas, Maranhão, Brasil, durante o ano. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30379/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Balsas-Maranh%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 1 dez. 2024.

APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DO GINÁSIO REI PELÉ



PLANTA BAIXA
ESCALA 1:100

NOTAS:

0	EMISSÃO INICIAL	xx/xx/xx
REVISÃO	ASSUNTO	DATA

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
Eng. XXX

CREA: XXXXXXXXX

CLIENTE:

OBRA:

TÍTULO:
Projeto Executivo de PLANTABAIXA

OBJETO
CONTEÚDO

COORDENADOR DE PROJETOS:
Eng. XXX

EMISSÃO:
DATA

ARQUIVO:
CODIFICAÇÃO

APROVAÇÃO/DATA
DATA

ESCALA:
1:100

REVISÃO:
REV.

FOLHA:
01 / 01