

ANÁLISE DE CARGA DE VENTO EM UMA COBERTURA METÁLICA UTILIZANDO SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL: UM ESTUDO DE CASO

WIND LOAD ANALYSIS ON A METAL ROOF USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC SIMULATION: A CASE STUDY

Danilo Magalhães de Souza Cavalcante¹; Lucíolo Victor Magalhães e Silva²; Ígor Magalhães e Silva¹

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

² Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Salgueiro, Brasil.

³ 3S Engenharia, Salgueiro, Brasil.

Resumo

O estudo de caso central do artigo aborda um incidente ocorrido em uma escola localizada em Salgueiro-PE envolvendo o colapso da cobertura de estrutura metálica devido a intensas rajadas de vento. Esse evento ressalta a importância do dimensionamento apropriado de estruturas metálicas, conforme as recomendações normativas e literárias. Adicionalmente, em situações específicas que não são abordadas pelas normas vigentes, é fundamental a aplicação de metodologias estruturais mais robustas para uma análise eficaz. No estudo utilizou-se abordagens visuais realizadas *in loco*, anamnese da edificação, classificação das irregularidades e simulação fluidodinâmica para análise do comportamento da estrutura sob ação do vento. Com o intuito de abranger as situações atípicas, realizaram-se simulações através do método dos volumes finitos, utilizando o *software* comercial ANSYS, visando realizar uma análise de escoamento para determinar o campo de pressão atuante sobre a estrutura. Conclui-se que a simulação fluidodinâmica computacional foi essencial no apoio à tomada de decisões, possibilitando a identificação dos carregamentos gerados pelo vento sobre a estrutura.

Palavras-chave: Estrutura Metálica. Simulação Fluidodinâmica. Vento.

Abstract

The central case study of the article addresses an incident that occurred in a school located in Salgueiro-PE involving the collapse of the metal structure roof due to intense gusts of wind. This event highlights the importance of appropriate sizing of metallic structures, in accordance with regulatory and literary recommendations. Additionally, in specific situations that are not addressed by current standards, it is essential to apply more robust structural methodologies for an effective analysis. The study used visual approaches carried out *in situ*, anamnesis of the building, classification of irregularities and fluid dynamic simulation to analyze the behavior of the structure under the action of the wind. In order to cover atypical situations, simulations were carried out using the finite volume method, using the commercial software ANSYS, aiming to perform a flow analysis to determine the pressure field acting on the structure. It is concluded that computational fluid dynamic simulation was essential in supporting decision-making, enabling the identification of loads generated by wind on the structure.

Keywords: Metallic Structure. Fluid Dynamics Simulation. Wind.

Introdução

O século XVIII marcou um ponto de virada na construção civil com a introdução das estruturas metálicas como uma alternativa viável para construção de edificações. Esse material começou a ser amplamente adotado na criação de edifícios e empreendimentos (Freitas; Coelho, 2018). As características distintas das estruturas metálicas, como agilidade na execução, segurança e tolerância dimensional, são fatores determinantes para sua escolha (Santos, 2007). Pela característica de leveza, a estrutura está sujeita a intempéries diversas.

Os acidentes estruturais são uma ocorrência comum na engenharia, resultantes da combinação de diversos fatores que vão desde a concepção do projeto e da construção até a operação e utilização da estrutura. Segundo Marcelli (2007), a maioria dos sinistros são provocados pelas seguintes causas: ação do vento, falta de contraventamento, dimensionamento insuficiente, falta de manutenção, sobrecarga adicional, ligações, apoios e emendas deficientes.

Desta forma, este trabalho apresenta um estudo de caso que investiga um incidente ocorrido em uma escola situada no município de Salgueiro - PE. No domingo do dia 15 de janeiro de 2023 a edificação da escola Progressiva foi atingida por intensas rajadas de vento provocando o colapso da cobertura que foi projetada em estrutura metálica, como pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1-Cobertura da escola progressiva colapsada.



As estruturas metálicas, quando comparadas com as de concreto, são estruturas extremamente leves e, por via de regra, os telhados são as partes mais vulneráveis da estrutura em relação à carga de vento, principalmente quando possuem inclinações baixas, resultando em pressão de sucção em toda a sua extensão (Marcelli, 2007). Por isso, são imprescindíveis um dimensionamento adequado e uma análise robusta com consideração de vento por parte do projetista, sendo também de fundamental importância a realização de simulações considerando as condições mais adversas possíveis, garantindo maior robustez e otimização dos projetos como um todo.

Materiais e Métodos

A inspeção visual foi conduzida no período compreendido entre 16 e 31 de janeiro de 2023, caracterizando-se por abordagens visuais e ensaios técnicos. O objetivo principal foi a identificação de potenciais pontos de falha na estrutura que havia colapsado, visando detectar sinais de patologias que pudessem ter contribuído para o incidente.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Para coleta de dados relevantes relacionados ao evento, foi conduzida uma anamnese por um profissional devidamente habilitado. Ele foi responsável por obter informações detalhadas sobre a edificação e seu histórico, utilizando-se de um *check-list* como base de apoio. Também foi realizado um levantamento geométrico da estrutura e arquitetura. Foram identificados e caracterizados os materiais a partir de inspeção visual e de realização de ensaios.

2.2 VISTORIA (INSPEÇÃO VISUAL)

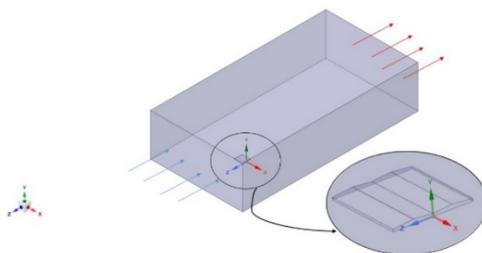
A inspeção consistiu em uma análise visual detalhada e documentação fotográfica, com o intuito de coletar informações sobre as manifestações patológicas observadas na estrutura. Isso incluiu a identificação de fissuras, desgastes decorrentes de corrosão, bem como falhas resultantes de cisalhamento, tração ou torção. Durante a visita, o objetivo foi de observar cuidadosamente todos os fatores que pudessem potencialmente causar problemas adicionais, comprometendo a integridade estrutural.

2.3 SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA

A simulação fluidodinâmica da cobertura da escola em questão foi realizada por meio do *software* comercial ANSYS, versão estudante.

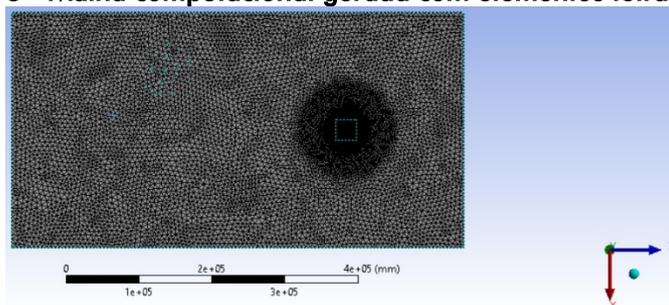
O volume de controle utilizado na simulação pode ser visualizado na Figura 2. Na face à esquerda foi prescrita a velocidade, representada pelas setas em azul, já na face imediatamente oposta preceveu-se a pressão. Todo o restante dos contornos são de fluxo nulo, o mesmo para as paredes da cobertura que também são de fluxo nulo com condição de não deslizamento.

Figura 2 - Domínio computacional e condições de contornos empregadas na simulação.



A malha computacional foi gerada utilizando apenas elementos tetraédricos, com um total de 510000 elementos, possuindo 3 zonas com refinamentos distintos: uma malha mais grossa para as regiões afastadas das paredes da cobertura, uma mais fina nas proximidades e uma bem fina nas regiões intermediárias, como pode ser visto na Figura 3 em mais detalhes.

Figura 3 - Malha computacional gerada com elementos tetraédricos.

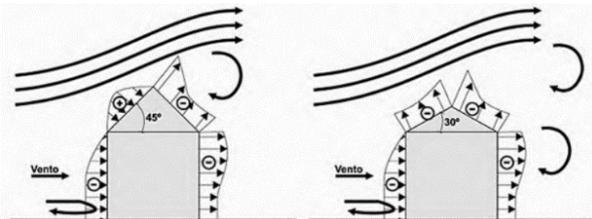


Resultados

A simulação consistiu, inicialmente, na criação de um modelo, concebido com base em uma análise prévia. O objetivo foi de reproduzir a condição mais desfavorável prevista pela norma NBR 6123, que, na análise das isopetas de velocidade, pode atingir até 30 m/s.

Conforme a Norma Brasileira NBR 6123, os esforços não são uniformemente distribuídos ao longo da estrutura. Como demonstrado na Figura 4, a angulação do telhado influencia consideravelmente as condições de pressão e sucção, resultando em diferentes cenários.

Figura 4. Comportamento do carregamento de vento para diferentes angulações de cobertura.



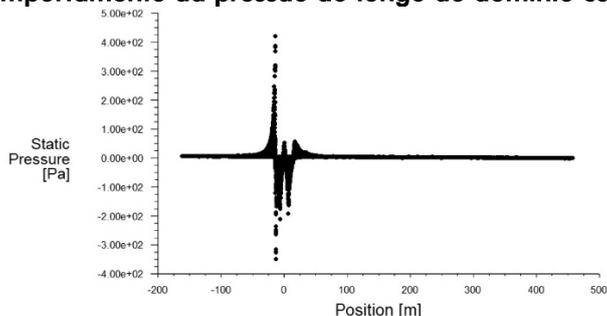
O solver emprega um método localmente conservativo em volumes finitos no ANSYS Fluent para solucionar as equações governamentais. A condição de convergência é baseada na análise de resíduos, que deve atingir uma tolerância especificada de $10e-4$ no solver, ou alcançar o número de iterações igualmente especificado de 200 iterações. A análise dos efeitos da pressão sobre a cobertura é calculada utilizando a relação do coeficiente de pressão, calculado como (Singh; Roy, 2019):

$$C_p = \frac{(P - P_0)}{0.5 \rho U_{Ref}^2} \quad (1)$$

onde P é a pressão estática, P_0 é a pressão estática de referência, ρ é a densidade do ar e U_{ref} é o valor do fluxo aproximado.

Após o processamento dos resultados, foi obtido o comportamento da pressão ao longo do domínio, visualizado na Figura 5. O primeiro pico indicou uma zona de alta pressão, caracterizando uma região de estagnação, e logo em seguida um pico na direção negativa indicou uma região de sucção e posteriormente regiões de pressão e sucção menores. Para o projeto de engenharia as duas primeiras condições são as preponderantes no projeto. Como o carregamento de sucção é o preponderante na região perpendicular à cobertura esses foram os valores que entraram no dimensionamento da cobertura com o carregamento de vento.

Figura 5. Comportamento da pressão ao longo do domínio computacional.



O campo de pressões com regiões de contornos mostrado na Figura 6 fornece uma visualização melhor da física que ocorre no entorno das regiões de análise.

Figura 6. Campo de pressão.



Conclusão

A simulação fluidodinâmica emergiu como uma ferramenta valiosa para prever e mitigar o problema abordado nesse estudo. A lição aprendida com o incidente da escola em Salgueiro-PE é um alerta para a indústria, ressaltando a necessidade de profissionais qualificados e métodos de análise robustos para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas construídas.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 06123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

FREITAS, D. R. F.; COELHO, M. F. O. **A importância do aço na construção civil**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 7, n. 9, p. 5-10, set. 2018.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SANTOS, R. S. D. **Comparativo entre estruturas de aço e concreto armado**. 2007. 73 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

SINGH, J.; ROY, A. K. **Effects of roof slope and wind direction on wind pressure distribution on the roof of a square plan pyramidal low-rise building using CFD simulation**. International Journal of Advanced Structural Engineering, v. 11, [S.n.], p. 231-254, jul. 2019.

Recebido: 10/10/2023

Aprovado: 20/10/2023