



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

Ação dinâmica do vento em edifício alto: análise comparativa entre procedimentos normativos e experimentais

Dynamic wind loading of a tall building: comparative analysis between normative and experimental procedures

TCarga dinámica del viento en un edificio alto: análisis comparativo entre procedimientos normativos y experimentales

Thiarly Feitosa Afonso de Lavôr

Universidade de Brasília

Doutor em Engenharia Civil

Cajazeiras, Paraíba, Brasil

thiarlycz@hotmail.com

RESUMO

A ação do vento sobre edificações é normalmente avaliada por meio de análise estática, conforme prescrito pela norma brasileira NBR 6123:2023, que atualiza sua versão de 1988. No entanto, edificações altas e esbeltas apresentam elevada sensibilidade aos efeitos dinâmicos induzidos pelo vento, os quais podem influenciar significativamente sua resposta estrutural. Este estudo tem como objetivo analisar as razões que motivaram a recente revisão da norma brasileira, comparando diferentes metodologias analíticas que consideram o comportamento dinâmico de edifícios altos na direção do vento, com foco no momento fletor máximo na base. Foi adotado como referência o modelo CAARC Standard Tall Building. As análises foram realizadas utilizando o método discreto da NBR 6123:1988 e o procedimento descrito no Eurocode 1-4:2005, comparando-se os resultados com dados experimentais de túnel de vento obtidos pela técnica de balança de forças de alta frequência (HFFB). Os resultados demonstram que a norma brasileira subestima as solicitações em ambas as direções do vento, tanto para as parcelas flutuantes quanto para as máximas da resposta, enquanto a norma europeia apresenta valores mais próximos dos observados experimentalmente.

Palavras-chave: Dinâmica, vento, normas, edifício.

ABSTRACT

The wind action on buildings is usually evaluated through static analysis, as prescribed by the Brazilian standard NBR 6123:2023, which updates its 1988 version. Nevertheless, tall and slender buildings are highly sensitive to wind-induced dynamic effects, which



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

may significantly influence their structural response. This study aims to analyze the rationale behind the recent revision of the Brazilian code by comparing different analytical methodologies that account for the dynamic behavior of tall buildings in the along-wind direction, focusing on the maximum base bending moment. The CAARC Standard Tall Building model was adopted as a reference. The analyses employed the discrete method from NBR 6123:1988 and the procedure described in Eurocode 1-4:2005, with results compared against experimental wind tunnel data obtained through the high-frequency force balance (HFFB) technique. The results demonstrate that the Brazilian standard underestimates structural stresses in both wind directions, for both fluctuating and peak components of the response, while the European standard provides values in closer agreement with experimental observations.

Keywords: Dynamics, wind, standards, building.

RESUMEN

La acción del viento sobre los edificios se evalúa generalmente mediante análisis estático, según lo establecido por la norma brasileña NBR 6123:2023, que actualiza su versión de 1988. Sin embargo, los edificios altos y esbeltos son altamente sensibles a los efectos dinámicos inducidos por el viento, los cuales pueden influir significativamente en su respuesta estructural. Este estudio tiene como objetivo analizar las razones que motivaron la reciente revisión de la norma brasileña, comparando diferentes metodologías analíticas que consideran el comportamiento dinámico de los edificios altos en la dirección del viento, con énfasis en el momento flector máximo en la base. Se adoptó como referencia el modelo CAARC Standard Tall Building. Los análisis se realizaron utilizando el método discreto de la NBR 6123:1988 y el procedimiento descrito en el Eurocode 1-4:2005, comparando los resultados con datos experimentales de túnel de viento obtenidos mediante la técnica de balanza de fuerzas de alta frecuencia (HFFB). Los resultados muestran que la norma brasileña subestima los esfuerzos estructurales en ambas direcciones del viento, tanto para las componentes fluctuantes como para las máximas de la respuesta, mientras que la norma europea proporciona valores más coherentes con las observaciones experimentales.

Palabras clave: Dinámica, viento, normas, edificación.

1 INTRODUÇÃO

Até meados da década de 1960, o vento não representava um problema relevante nos projetos estruturais. Segundo Blessmann (2005), edificações de baixa altura, pesadas



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

e rígidas eram dominadas por carregamentos verticais. Com o avanço dos materiais e das técnicas construtivas, as edificações tornaram-se mais leves e esbeltas, elevando a importância dos carregamentos horizontais, principalmente da ação do vento, que passou a representar parcela significativa das solicitações estruturais.

Esse novo cenário tornou essencial o estudo das propriedades estruturais — rigidez, fator de amortecimento e frequências naturais — e das respostas dinâmicas das edificações, pois as edificações altas e esbeltas não estão sujeitas apenas à componente estática do vento, mas também à componente flutuante, responsável por respostas dinâmicas nas direções longitudinal, transversal e torsional.

Por sua relevância no desempenho estrutural e no conforto dos ocupantes, a análise dinâmica do vento tornou-se indispensável, como demonstrado por Algaba (2016), Lavôr (2017) e Santos (2018). As principais normas internacionais sobre ação do vento já incorporam procedimentos dinâmicos, como a NBR 6123:1988 (Brasil) e o Eurocode 1-4:2005 (Europa), as quais recomendam que estruturas com frequência natural inferior a 1 Hz sejam avaliadas por análise dinâmica.

Diante disso, este estudo tem por objetivo determinar as respostas longitudinais de uma edificação esbelta sob ação dinâmica do vento, por meio dos procedimentos da NBR 6123:1988 e do Eurocode 1-4:2005, e comparar os resultados com dados experimentais de túnel de vento, avaliando a precisão dos métodos normativos e, desse modo, atribuir as razões que motivaram à recente revisão da norma brasileira de vento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 NBR 6123:1988 E NBR 6123:2023

A norma brasileira NBR 6123, em suas duas versões, estabelece os parâmetros que devem ser considerados na determinação das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento. A resposta dinâmica de uma estrutura pode ser obtida por dois

Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

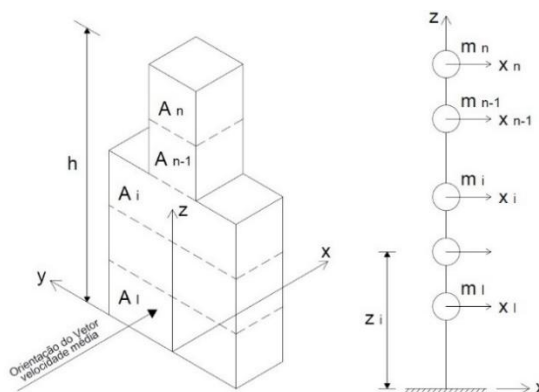
Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

métodos distintos, ambos baseados no modelo definido por Davenport (1967).

Um desses métodos, chamado de modelo discreto, engloba edificações com propriedades variáveis com a altura, e dimensão vertical maior que 150 m, sendo discretizada por elementos de barra, mostrados na Figura 1.

Figura 1. Esquema para o modelo dinâmico discreto



Fonte: NBR 6123:1988

Em que x_i , A_i , m_i , z_i e z_r correspondem respectivamente ao deslocamento, área de influência, massa discreta do elemento, altura do elemento e altura de referência da coordenada i .

Depois de estabelecer o modelo da estrutura, obtém-se a frequência natural f_j e a forma modal $\overline{X_j}$ correspondentes ao modo j para r modos retidos na solução e, assim, define-se a força total $F_{j,i}$ aplicada ao nó i , calculada por:

$$F_{j,i} = \overline{F_{j,i}} + \widehat{F_{j,i}} \quad (1)$$

As componentes $\overline{F_{j,i}}$ e $\widehat{F_{j,i}}$ são respectivamente a força média e a força flutuante de pico, dadas por:



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

$$\overline{F_{j,i}} = \overline{q_0} b^2 C_{ai} A_i \left(\frac{z_i}{z_r} \right)^{2p} \quad (2)$$

$$\widehat{F_{j,i}} = F_H \psi_i \phi_{j,i} \quad (3)$$

Sendo $\overline{q_0} = 0,613 \overline{V_p}^2$; b e p são parâmetros de rugosidade indicados na tabela 20 da norma; $\overline{V_p}$ é a velocidade de projeto; C_{ai} é o coeficiente de arrasto; $\psi_i = m_i/m_0$, onde m_0 é a massa de referência arbitrária. A força F_H é dada pela Equação 4.

$$F_H = \overline{q_0} b^2 A_0 \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \phi_{j,i}}{\sum_{i=1}^n \psi_i \phi_{j,i}^2} \xi \quad (4)$$

Onde A_0 é a área de referência arbitrária e ξ é o coeficiente de amplificação dinâmica, única variável que sofreu mudança na atualização da norma, e β_i dado pela Equação 5.

$$\beta_i = C_{ai} \frac{A_i}{A_0} \left(\frac{z_i}{z_r} \right)^p \quad (5)$$

2.2 EUROCODE 1-4:2005

Assim como na NBR 6123:1998, o objetivo do Eurocode 1-4:2005 é fornecer orientações relacionadas a determinação das ações do vento natural para o projeto de edifícios com alturas até 200 m, contudo também fornece o procedimento de análise de outras estruturas ou em elementos específicos delas, como as pontes.

A norma abrange a resposta dinâmica devida à turbulência na direção do vento (longitudinal) em ressonância com as vibrações, também na mesma direção. A resposta dinâmica da estrutura é obtida a partir da pressão de pico, $q_p(z)$, da altura de referência no campo de escoamento não perturbado, dos coeficientes de força e de pressão e do



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

coeficiente estrutural $c_s c_d$. A pressão de pico é dada pela Equação 6.

$$q_p(z) = [1 + 7I_u(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) \quad (6)$$

Em que ρ é a massa específica do ar, I_u é a intensidade de turbulência à altura z , dada pela Equação 7 e $v_m(z)$ é a velocidade média do vento à uma altura z acima da superfície, calculada pela Equação 8.

$$I_u(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_o(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{para } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (7)$$

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b \quad (8)$$

$$\sigma_v = k_r v_b k_I \quad (9)$$

Onde σ_v , Equação 9, é o desvio padrão das flutuações da velocidade para as componentes nas direções dos três eixos de referência, c_o é o coeficiente de orografia e v_b é o valor de referência da velocidade do vento relacionada à direção do vento e à época do ano a uma altura de 10 m acima da superfície num terreno plano, z_0 é o comprimento de rugosidade do terreno, k_r e k_I são coeficientes de terreno e turbulência, respectivamente.

O coeficiente de rugosidade, c_r , pode ser encontrado para duas situações:

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{para } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (10)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{para } z \leq z_{min} \quad (11)$$

Em que k_r , que depende do comprimento de rugosidade, é definido por:



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (12)$$

Sendo: $z_{0,II} = 0,05$ m (Categoria de terreno II, Tabela 4.1 do Eurocode 1-4:2005); z_{min} , altura mínima (Tabela 4.1 do Eurocode 1-4:2005); z_{max} , altura máxima igual a 200 m (limite permitido pelo Eurocode 1-4:2005).

O cálculo das forças exercidas pelo vento sobre uma edificação pode ser realizado tanto pelos coeficientes de força quanto pelas pressões nas superfícies. De acordo com a norma europeia a força exercida pelo vento sobre uma construção pode ser obtida diretamente pela Equação 13.

$$F_w = c_s c_d \sum_{elementos} c_f q_p(z_e) A_{ref} \quad (13)$$

Sendo c_f o coeficiente de força (arrasto), z_e a altura de referência para a pressão exterior exercida pelo vento e A_{ref} a área de referência da construção ou do elemento analisado.

O coeficiente estrutural leva em conta o efeito nas ações do vento da não simultaneidade na ocorrência das pressões de pico sobre a superfície (c_s), em conjunto com o efeito das vibrações da estrutura devidas à turbulência (c_d), calculado pela Equação 14.

$$c_s c_d = \frac{1 + 2k_p I_u(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_u(z_s)} \quad (14)$$

Onde $z_s = 0,6h$ é a altura de referência para obtenção do coeficiente estrutural, com h sendo a altura da edificação, k_p é o fator de pico, B^2 e R^2 são respectivamente, os coeficientes de resposta quase-estática e de resposta ressonante, determinados pelo Anexo B ou Anexo C do Eurocode.

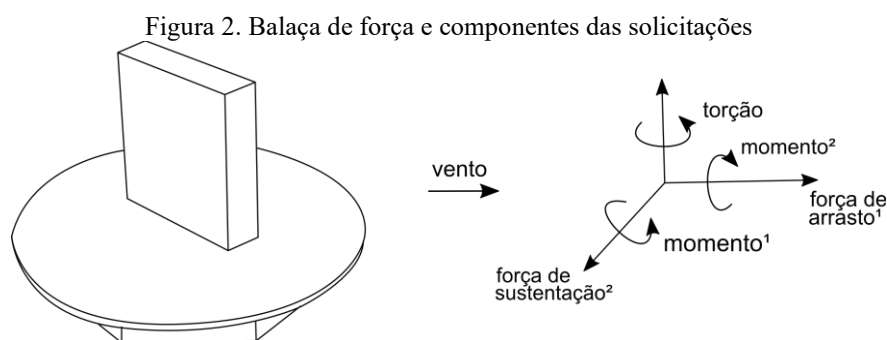
Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

2.3 MÉTODO HIGH FREQUENCY FORCE BALANCE – HFFB

Denominado método *High Frequency Force Balance* (HFFB), conhecido também como *High Frequency Based Balance* (HFBB) ou ainda como *High Frequency Balance* (HFB), fundamenta-se no ensaio de um modelo reduzido rígido com sua base fixada a uma balança de força ultrasensível que quantifica diretamente os esforços solicitantes em termos de forças cortantes e momentos fletores e torsor na sua base ao longo do tempo nos três eixos, por meio de strain gauge ou outro mecanismo piezoelétrico. Um esquema simples da balança com um modelo típico de edifício é mostrado na Figura 2, junto com os eixos coordenados das solicitações.



Fonte: Adaptado de Tschanz e Davenport (1983)

3 METODOLOGIA

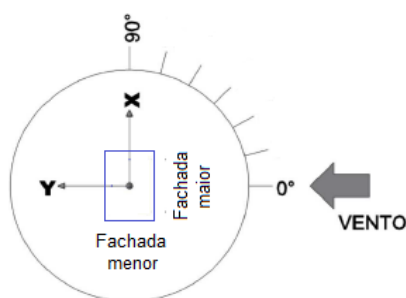
As respostas dinâmicas dos edifícios serão apresentadas aqui em termos dos esforços solicitantes, sendo composto por força cortante, momentos fletor. No caso dessa pesquisa serão analisados os esforços para as direções X e Y, ou seja, para a incidência do vento à 90° e 0° respectivamente, conforme a Figura 3.

Figura 3. Ângulos de incidência do vento no modelo em planta

Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO ANALISADO

Para obter o comportamento dinâmico do edifício padrão CAARC Standard Tall Building na direção do vento, utilizou-se suas propriedades geométricas e dinâmicas, conforme Lavôr (2017), a partir dos valores obtidos de seu modelo experimental, com os fatores de escala relacionados à cada grandeza.

O CAARC possui seção retangular de 30,48m x 45,72m e 180 m de altura; com massa específica de 160 kg/m³ e massa total de 40776,26 toneladas, linearmente distribuídas. Além disso, foi utilizado apenas o modo linear de vibração do edifício, com ponto de rotação na base; sua frequência natural é de 0,20 Hz nas duas direções de flexão e 0,30 Hz de torção; amortecimento de 1% nas duas direções; momento de inércia de $I_{Mx} = 426465000 \text{ t.m}^2$ e $I_{My} = 422820000 \text{ t.m}^2$ e rigidez rotacional de $k_{\theta x} = 723 \text{ GNm/rad}$; $k_{\theta y} = 729 \text{ GNm/rad}$.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO VENTO SIMULADO EM TÚNEL DE VENTO

As principais características do vento simulado através dos experimentos realizados em túnel de vento disponibilizados em IAWQ (2012), utilizados para a comparação neste trabalho são: lei potencial para perfil do vento médio; coeficiente de rugosidade $p = 0,25$; densidade do ar $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$; 14,3% de intensidade longitudinal da



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

turbulência; 175 m de escala longitudinal da turbulência; e velocidades do vento de 20, 30 e 40 m/s no topo do edifício.

Os coeficientes de rugosidade obtidos nos experimentos correspondem a ventos com características de terreno entre as categorias III e IV da NBR 6123:1988, isto é, terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados, como situações encontradas em cidades pequenas e seus arredores ou subúrbios construídos de grandes cidades. Essa classificação se adequa às categorias II e III definidas no Eurocode 1-4:2005.

3.3 VELOCIDADE DO VENTO COM PARÂMETROS DA NBR 6123:1988

Para uma correta comparação com os dados experimentais, os resultados apresentados serão obtidos com parâmetros das categorias III e IV. Serão analisadas diferentes velocidades de referência para que se obtenha uma linha de tendência dos esforços solicitantes com a variação da velocidade média.

As velocidades médias de referência foram $\bar{U}_{ref} = 20, 30$ e 40 m/s; $z_{ref} = 182.88$ m como altura de referência; $t = 3600$ s de período de duração do vento. Já os parâmetros meteorológicos adotados foram o $p = 0.2(Cat III)$ e $0.25(Cat IV)$, o $b = 0.85(Cat III)$ e $0.68(Cat IV)$ e $F_r = 0.65(Cat III e IV)$; o comprimento de rugosidade do terreno foi $z_0 = 0.2(Cat III)$ e $0.7(Cat IV)$; $C_{as} = 0.0105(Cat III)$ e $0.0226(Cat IV)$ como coeficientes de arrasto superficial; fator $S_2 = 0.988(Cat III)$ e $0.914(Cat IV)$; e intensidade de turbulência $I_U = 0.148(Cat III)$ e $0.188(Cat IV)$ no topo do edifício.

Os coeficientes relacionados com a topografia, $S_1 = 1$, e com o uso da edificação, $S_3 = 1$, foram determinadas para as condições do modelo experimental. O fator S_2 foi obtido pela Equação 15. Os parâmetros meteorológicos foram determinados de acordo com a Tabela 21 do anexo A da NBR 6123:1988, para a categoria e intervalo de tempo analisados. O comprimento de rugosidade e os coeficientes de arrasto são os adotados



Edition: Vol. 02 | N°. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

pela norma brasileira, determinados por Blessmann (2013).

$$S_2 = bF_r \left(\frac{z}{10} \right)^p \quad (15)$$

Depois disso, foi verificado que não é possível caracterizar o vento simulado nos experimentos pela intensidade de turbulência do topo, I_u , determinada na norma pela Equação 16, apresentando grande diferença nos valores, fato atribuído ao desvio padrão ser constante ao longo da altura.

$$I_U = 2.58\sqrt{C_{as}}\left(\frac{10}{z}\right)^p \quad (16)$$

Em seguida as velocidades de projeto do vento, V_p , são determinadas a partir das velocidades básicas, através da Equação 17.

$$V_p = 0.65V_0S_1S_2 \quad (17)$$

A velocidade do vento de projeto proposta pela norma corresponde a uma velocidade de vento média sobre 600 s referida a 10 m de altura acima do terreno. Aqui deverá ser considerado o intervalo de 3600 s, logo será preciso passar F_r de 0,69 para 0,65. Assim, finalmente é determinada a pressão dinâmica, definida pela NBR 6123:1988 pela Equação 18.

$$q_0 = 0.613V_p^2 \quad (18)$$

3.4 VELOCIDADE DO VENTO COM PARÂMETROS DO EUROCODE 1-4:2005

Os resultados pelo Eurocode 1-4:2005 serão obtidos com parâmetros das



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

categorias II e III. A variação da velocidade, a altura de referência, bem como o período de duração da ação do vento são os mesmos apresentados no item 3.3.

Alguns parâmetros utilizados no cálculo do perfil vertical do vento já são previamente recomendados pela norma europeia, tais como: coeficiente de orografia $c_0(z) = 1$; coeficiente de turbulência $k_t = 1$; e comprimento de rugosidade $z_0 = 0.05(Cat II)$ e $0.3(Cat III)$.

A partir deles calcula-se o coeficiente do terreno, k_r , através da Equação 12, para cada categoria considerada nas três velocidades de referência. Isso possibilita determinar o coeficiente de rugosidade, c_r , encontrado por meio da Equação 10, onde o z_{min} é encontrado no Quadro 4.1 da norma europeia e $z_{max} = 200$.

A turbulência do vento é considerada através do desvio padrão, σ_v , dado pela Equação 9, onde a velocidade básica do vento, v_b , é calculada substituindo os valores conhecidos na Equação 8. E através da Equação 7, determina-se a intensidade de turbulência do vento no topo do edifício, $I_u = 0.122(Cat II)$ e $0.156(Cat III)$. Assim como na norma brasileira, não houve similaridade nos valores desse parâmetro determinados pela norma europeia e os obtidos experimentalmente.

Finalmente o coeficiente de força (arrasto), c_f , Equação 19, é determinado por parâmetros que dependem das propriedades geométricas da estrutura e da direção de incidência do vento, conforme prescrições da norma.

$$c_f = c_{f,0} \Psi_r \Psi_\lambda \quad (19)$$

Onde $c_{f,0}$ é o coeficiente de força igual a 1,86 na direção X e 2,39 na direção Y; Ψ_r o coeficiente de redução igual a 1 em ambas as direções; e Ψ_λ o coeficiente de efeitos de extremidade igual a 0,689 na direção X e 0,671 na direção Y. Portanto, $c_f = 1,28$ na direção X e $c_f = 1,60$ na direção Y.

Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

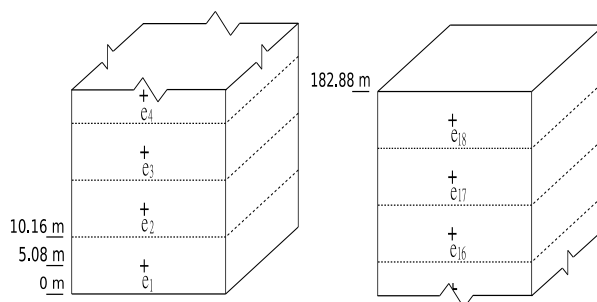
Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

3.5 MODELO DISCRETIZADO DA ESTRUTURA

Para os cálculos das forças na estrutura pela norma brasileira e europeia, foi considerada a área da fachada do prédio, perpendicular ao vento, discretizada com 18 nós na direção vertical. Cada elemento retangular possui a mesma altura, Figura 4, e suas dimensões horizontais dependem da direção considerada do vento.

Figura 4. Discretização das fachadas do CAARC em áreas nodais na direção considerada



Fonte: Lavôr (2017)

Os valores nodais usados para o cálculo foram: massa modal $m_e = 453$ t; área nodal com vento nas direções X e Y, respectivamente, $A_{e,X} = 61.94$ m² e $A_{e,Y} = 92.9$ m².

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PERFIS DE VELOCIDADES MÉDIAS

Os perfis de velocidades médias foram traçados levando-se em consideração cada norma analisada e seus parâmetros determinados no item 3 desse trabalho. Sendo os perfis da NBR 6123:1988 traçados segundo a lei potencial, Equação 20, e do Eurocode 1-4:2005 segundo a lei logarítmica, Equação 21.



Edition: Vol. 02 | N°. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

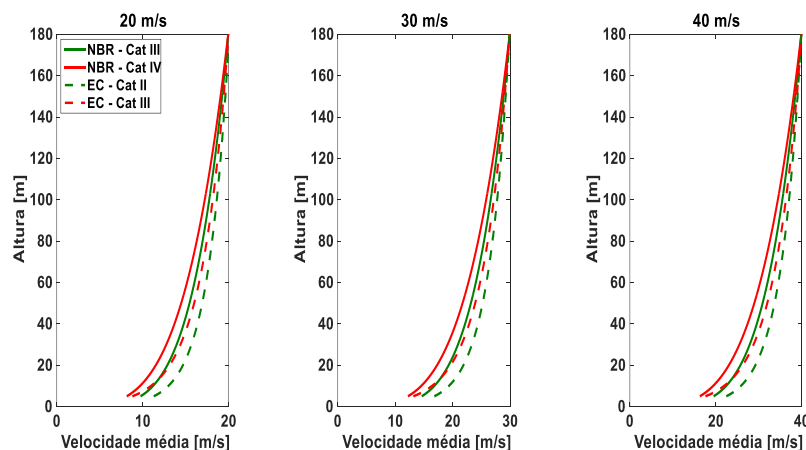
DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

$$\bar{U}(z) = \bar{U}_{ref} \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^p \quad (20)$$

$$\bar{U}(z) = \frac{u^*}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (21)$$

Onde κ é a constante de Von Kármán, $\kappa = 0.4$; u^* é a velocidade de fricção, podendo ser obtida substituindo valores conhecidos na Equação 21, ou valores determinados na literatura, como em Kown e Kareem (2013).

Figura 5. Perfis de velocidades médias



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível notar na Figura 5 que independentemente da velocidade de referência, os perfis gerados pelo Eurocode 1-4:2005 resultam em valores maiores de velocidade média do que os gerados pela NBR 6123:1988.

4.2 FORÇA DO VENTO AO LONGO DA ALTURA DO EDIFÍCIO

4.2.1 Norma Brasileira

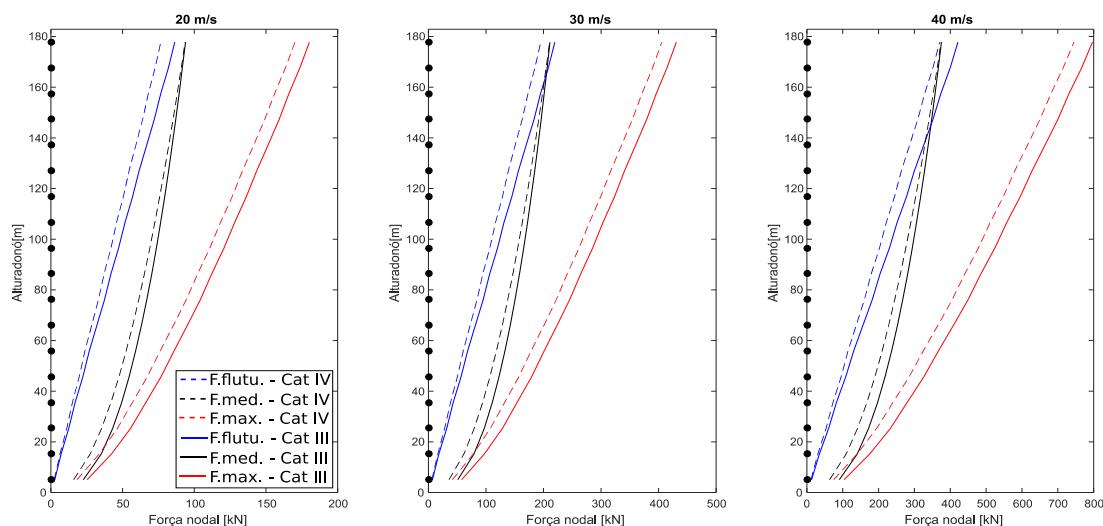
Edition: Vol. 02 | N°. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

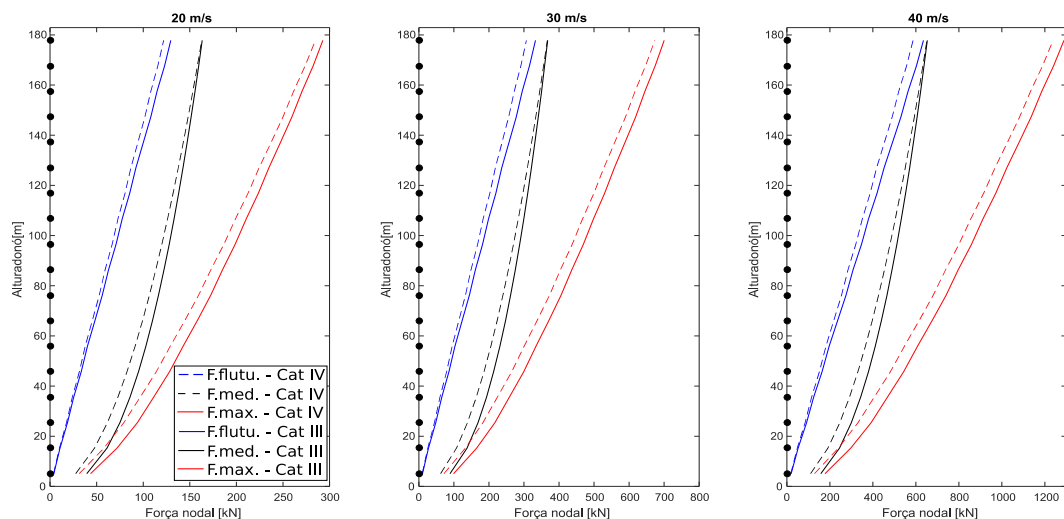
Assim foi determinado as forças nodais ao longo da altura, Figuras 6 e 7, através das equações apresentadas no item 2.1, em termos de respostas médias, flutuantes e máximas (de pico) nas categorias consideradas para cada velocidade de referência, nas duas direções de incidência do vento.

Figura 6. Perfis de forças da NBR 6123:1988 na direção X – Cat III e IV



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7. Perfis de forças da NBR 6123:1988 na direção Y – Cat III e IV



Fonte: Elaborado pelo autor.



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

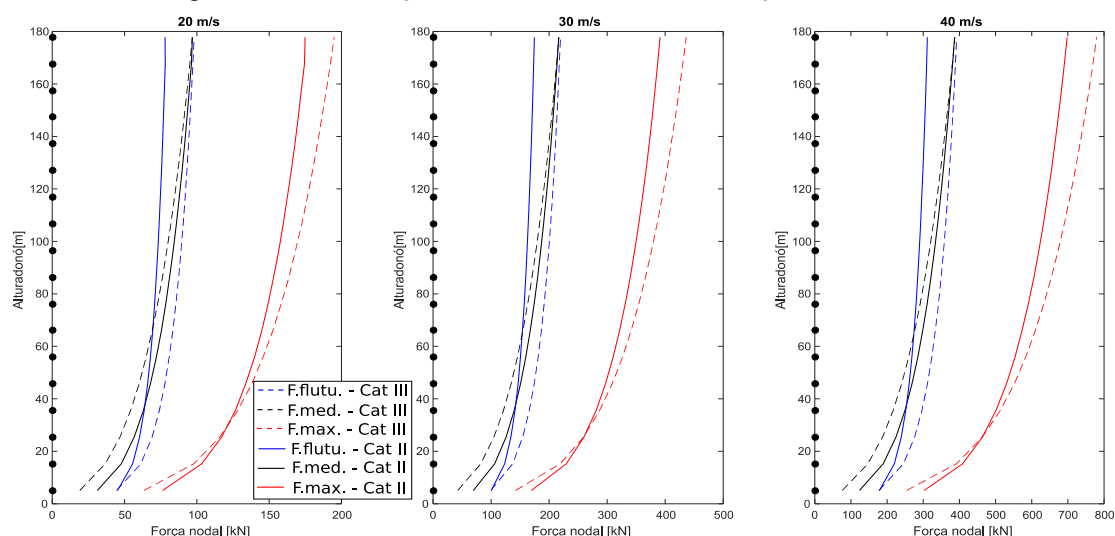
O coeficiente de amplificação dinâmica, segundo Algaba (2016), considera em suas formulações a influência tanto da correlação espacial, através do co-espectro normalizado, quanto da influência causada pela admitância aerodinâmica. Causando, assim, valores subestimados para as respostas flutuantes.

4.2.2 Norma Européia

Com os valores dos parâmetros necessários obtidos até aqui, deverá ser determinada a pressão dinâmica de pico à altura z_e de cada camada discretizada, $q_p(z_e)$, através da Equação 6.

Os parâmetros para o cálculo dos coeficientes de resposta B^2 e R^2 são obtidos pelo anexo B ou C da norma europeia. Nesse trabalho serão considerados os resultados apenas do anexo B, onde as formulações e valores não serão descritos. Com esses valores determina-se o coeficiente estrutural $c_s c_d$ e finalmente os valores das forças exercidas pelo vento, Figuras 8 e 9, dada pela Equação 13.

Figura 8. Perfis de forças do Eurocode 1-4:2005 na direção X – Cat II e III



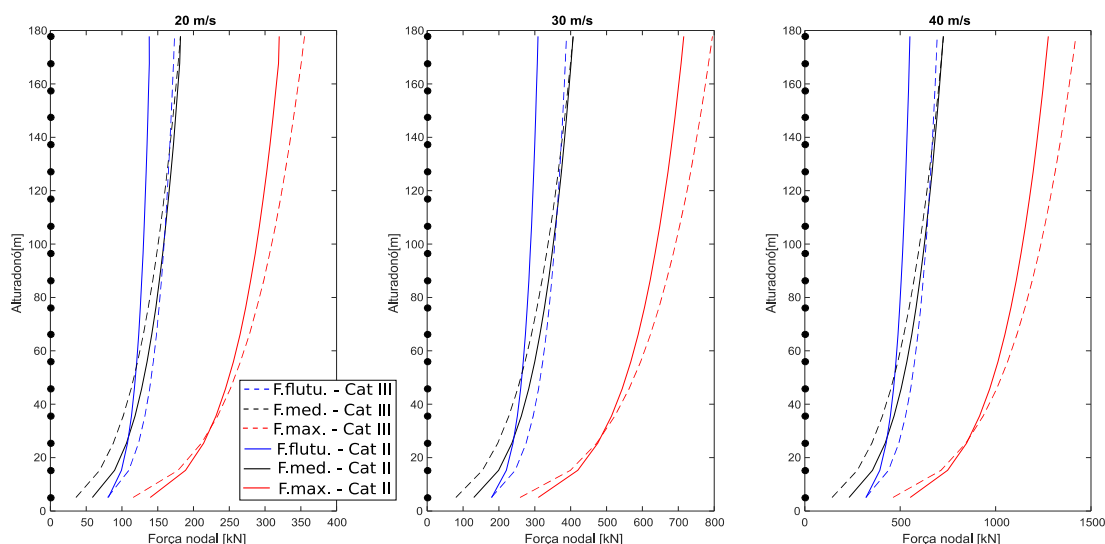
Fonte: Elaborado pelo autor.

Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

Figura 9. Perfis de forças do Eurocode 1-4:2005 na direção Y – Cat II e III



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 MOMENTO FLETOR NA BASE DO EDIFÍCIO

Os resultados das respostas média, flutuante e máxima (de pico) determinadas pelos métodos normativos em termos de momento fletor, com o aumento da velocidade média de referência do vento, são observados nas Figuras 10 e 11 para os dois sentidos da ação do vento, bem como o resultado obtido experimentalmente dos esforços máximos na base do CAARC medido experimentalmente por IAWQ (2012).

O trabalho experimental apenas informa os resultados das parcelas média e máxima para as velocidades de 20, 30 e 40 m/s no topo do edifício, omitindo as repostas flutuantes. Para possibilitar as comparações com os resultados dessa pesquisa, o gráfico de momento fletor flutuante do resultado experimental está representado pelo valor estimado, obtido da subtração do valor total máximo pelo valor médio do momento fletor para cada velocidade de vento.



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

Figura 10. Momento fletor M_y na base com vento na direção X

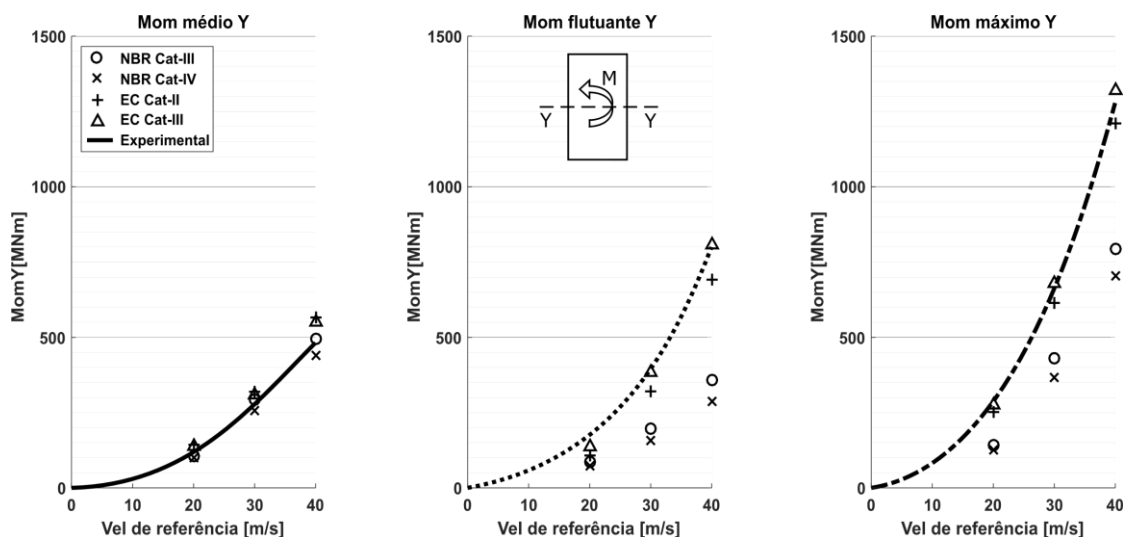
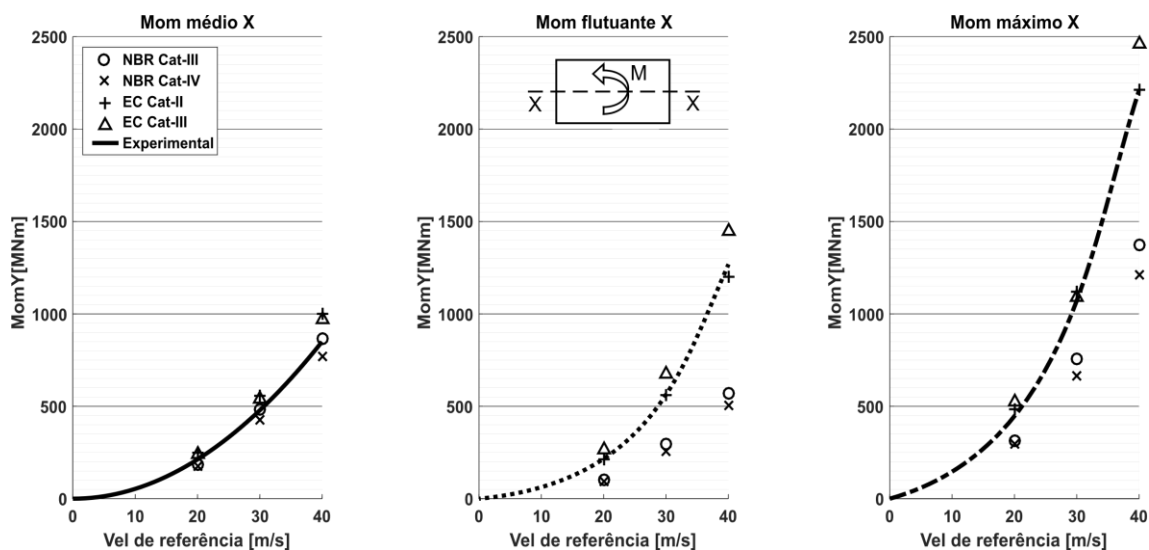


Figura 11. Momento fletor M_x na base com vento na direção Y



5 CONCLUSÃO

As normas estudadas no presente trabalho produzem resultados, em geral, bastante



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

divergentes entre si, quando tomado os resultados experimentais como referência. Isso implica na necessidade de análises mais criteriosas e pesquisas mais aprofundadas, no que diz respeito aos procedimentos de cálculo adotados por cada uma delas.

Pode-se perceber, através dos gráficos das forças ao longo da altura do edifício, que o Eurocode 1-4:2005 fornece valores mais conservadores em relação à NBR 6123:1988. Destacando a importância das forças flutuantes que a norma europeia determina.

O mesmo acontece com os valores dos momentos fletores na base do edifício, observa-se que os resultados da norma brasileira subestimam a solicitação em relação ao resultado experimental e da norma europeia, nas duas direções de incidência do vento para as respostas flutuantes e máximas.

Já pela norma europeia obteve-se valores muito precisos aos experimentais, mostrando sempre resultados mais conservadores, intensificando à medida que houve incremento na velocidade, porém não o bastante para não ser válida sua aplicação para o modelo paralelepípedo analisado.

Os resultados dos momentos flutuantes, principal parcela da resposta para a análise dinâmica da estrutura, mostraram a falta de correlação entre as normas, evidenciando a importância que a norma europeia aplica nas forças flutuantes e exemplificando o problema paramétrico existente na formulação da NBR 6123:1988 para determinação das forças dinâmicas, já que os momentos em suas parcelas flutuante e, consequentemente, máximo são subestimados. Portanto justificando sua atual situação de revisão e atualização, mais especificamente ao seu capítulo 9 que trata da determinação dos efeitos dinâmicos devidos à turbulência atmosférica.



Edition: Vol. 02 | Nº. 04 | (2025)

Publication: 12/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.70579/pl.v2i4.105>

REFERÊNCIAS

- ALGABA, F.G., **Avaliação De Métodos Teóricos Para Estimativa De Comportamento De Edifícios Altos Sob A Ação De Vento Turbulento**. 2016. Dissertação em Engenharia, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças Devidas Ao Vento Em Edificações**. Rio de Janeiro, 1988.
- BLESSMANN, J., **Introdução Ao Estudo Das Ações Dinâmicas Do Vento**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS, 2005.
- BLESSMANN, J., **O Vento Na Engenharia Estrutural**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS, 2013.
- DAVENPORT, A. G. Gust Loading Factors. **Journal of the Structural Division**, v.93, pp. 11–34 n.5255, 1967.
- EUROCODE 1. **Actions on Structures – Part 1-4: General Actions – Wind actions**. The European Standard EN 1991-1-4:2005+A1, 2005.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR WIND ENGINEERING (IAWE). **International HFBB Comparison Project - Building B Summary results**. 2012.
- KWON, D.K.; KAREEM, A. Comparative Study of Major International Wind Codes and Standards for Wind Effects on Tall Buildings. **Engineering Structures**, v.51, p. 23–35, 2013.
- LAVÔR, T.F.A. **Análise Dinâmica do Modelo Padrão de Edifício Alto Sob Ação do Vento**. 2017. Dissertação em Engenharia, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- SANTOS, L.F., **Avaliação De Métodos Normativos Para Determinação da Resposta Aerodinâmica De Edificações**. 2018. Dissertação em Engenharia, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.
- TSCHANZ, T. e DAVENPORT, A.G. The base balance technique for the determination of dynamic wind loads. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 13, p. 429-439, 1983.