

Análise de Projeto estrutural de Platibanda no Município de Terra Boa no Noroeste do Paraná

Gabriel Vitor Gaio Baccon, Centro Universitário Integrado, Brasil.

gabriel1997baccon@gmail.com

Vitor Trevisan Moura dos Santos, Centro Universitário Integrado, Brasil.

vittortrevisanmoura2001@gmail.com

RESUMO

O artigo em questão se dedica a analisar a estrutura de platibanda em concreto armado, com fechamento em alvenaria, com foco na resistência dessas estruturas às ações do vento. O estudo considera um projeto localizado em Terra Boa, no noroeste do Paraná, e segue as diretrizes estabelecidas pelas normas ABNT NBR 6123:88 e ABNT NBR 6118:14, que fornecem parâmetros específicos para o cálculo da verificação das estruturas da platibanda em concreto armado sob a influências das cargas solicitantes. A pesquisa parte do pressuposto que as platibandas são executadas sem um dimensionamento prévio. Levando em consideração que o vento exerce uma força dinâmica sobre as estruturas, gerando pressões que resultam em cargas laterais, o que pode afetar a estabilidade e segurança das edificações, caso o dimensionamento não seja adequado. O estudo considera as características geométricas e materiais das platibandas, bem como a velocidade média e direção do vento na região de Terra Boa, com base em registros climáticos. A metodologia adotada envolve o cálculo da velocidade característica do vento, o coeficiente de pressão do vento, a análise do dimensionamento estrutural, a verificação de estabilidade e a consideração do efeito de segunda ordem no momento de cálculo. O artigo descreve em detalhes os cálculos e parâmetros utilizados na análise, incluindo o cálculo da resistência das platibandas, momento de engaste, momento inferior, momento mínimo, esbeltez e esbeltez limite, cortante e estribos. Ao fim, é apresentado uma otimização de cálculo em linguagem Python a fim de facilitar a análise dos pilaretes. O estudo conclui que a análise minuciosa das platibandas é essencial para garantir a estabilidade das edificações e a segurança estrutural, considerando as forças solicitantes. Além disso, destaca a importância de seguir as normas técnicas para o dimensionamento das estruturas de concreto armado.

Palavras-chave: Concreto armado, resistência estrutural, vento, normas técnicas, automação em Python.

ABSTRACT

This article is dedicated to analyzing the structure of parapets in reinforced concrete, focusing on the resistance of these structures to wind and self-weight actions. The study considers a project located in Terra Boa, in the northwest of Paraná, and follows the guidelines established by the standards ABNT NBR 6123:88 and ABNT NBR 6118:14, which provide specific parameters for calculating the verification of reinforced concrete parapet structures under the influence of soliciting loads. The research assumes that parapets are executed without prior sizing. Considering that the wind exerts a dynamic force on the structures, generating pressures and suctions that result in lateral loads, which can affect the stability and safety of buildings if the sizing is not adequate. The study considers the geometric and material characteristics of the parapets, as well as the average wind speed and direction in the Terra Boa region, based on climatic records. The adopted methodology involves calculating the characteristic wind speed, wind pressure coefficient, structural sizing analysis, stability verification, and considering the second-order

effect in the calculation moment. The article describes in detail the calculations and parameters used in the analysis, including the calculation of the resistance of the parapets, hinge moment, lower moment, minimum moment, slenderness, and slenderness limit, shear, and stirrups. In the end, an optimization of the calculation in Python language is presented to facilitate data analysis. The study concludes that a thorough analysis of parapets is essential to ensure the stability of buildings and structural safety, considering soliciting forces. It also emphasizes the importance of following technical standards for the sizing of reinforced concrete structures.

Keywords: Reinforced concrete, structural resistance, wind, technical standards, Python automation.

1. INTRODUÇÃO

Uma platibanda é uma estrutura vertical que se projeta para fora do nível do telhado ou da laje de um edifício, essa característica arquitetônica costuma ser disposta de forma paralela à parede principal da construção. A altura, espessura e design da platibanda podem variar consideravelmente, dependendo das especificações do projeto arquitetônico em questão.

Segundo Bonametti (2006) a estrutura eclética ganhou popularidade primeiramente no Rio de Janeiro, então a capital do território, sendo um grande polo de interação de pessoas e de efervescência cultural. Similarmente, em São Paulo, devido ao crescimento da economia cafeeira e ao início do processo de industrialização do país, houve uma enorme movimentação populacional. Em razão do contexto arquitetônico contemporâneo, é frequente a incorporação de Platibandas nas coberturas das construções atuais.

A principal função das platibandas em alvenaria está relacionada à proteção da parede e da estrutura da cobertura contra os impactos das intemperes climáticas e o vento. A negligência no dimensionamento adequado das platibandas de concreto armado representa uma ameaça substancial à estabilidade e segurança das estruturas, com a influência do vento desempenhando um papel crucial. A falta de consideração adequada para as forças e pressões exercidas pelo vento durante o processo de dimensionamento pode resultar em consequências prejudiciais, comprometendo a integridade estrutural e aumentando os riscos associados, como potenciais impactos adversos na estabilidade estrutural e na segurança global das edificações.

Conforme apontado por Carpeggiani (2004), os primeiros estudos de relevância relacionados à influência do vento em edifícios de grande altura foram desenvolvidos em meados da década de 1930, coincidindo com o crescimento da construção dos denominados "arranha-céus". O cálculo estrutural se baseava em cargas estáticas derivadas das máximas velocidades do vento observadas, levando em consideração a variação da velocidade com a altura em relação ao terreno. Nesse contexto, foram abordados os principais conceitos relacionados à ação do vento sobre as platibandas

Davenport (2002) proporcionou um conciso histórico do estudo do vento na engenharia. Neste trabalho, foi realizada uma retrospectiva desse campo a partir dos anos 1950, e o que se notou foi uma grande evolução na análise do carregamento do vento no projeto estrutural. Inicialmente, considerado exclusivamente como um acréscimo no elemento estático da ação sobre a estrutura, o modelo evoluiu gradualmente para uma avaliação dinâmica.

Este estudo teve como escopo a busca por uma análise precisa do dimensionamento feito para platibandas de um projeto situado no município de Terra Boa, seguindo as diretrizes estabelecidas na norma ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 6123:1988, que fornecem os parâmetros específicos para o cálculo e verificação das estruturas de concreto armado sob a influência do vento. O projeto analisado em questão localiza-se no noroeste do Paraná e apresenta condições climáticas que exigem uma atenção especial no que diz respeito à resistência da platibanda em relação à ação do vento, conforme as Isopletas da norma ABNT NBR 6123: 1988 apresenta na figura 1.

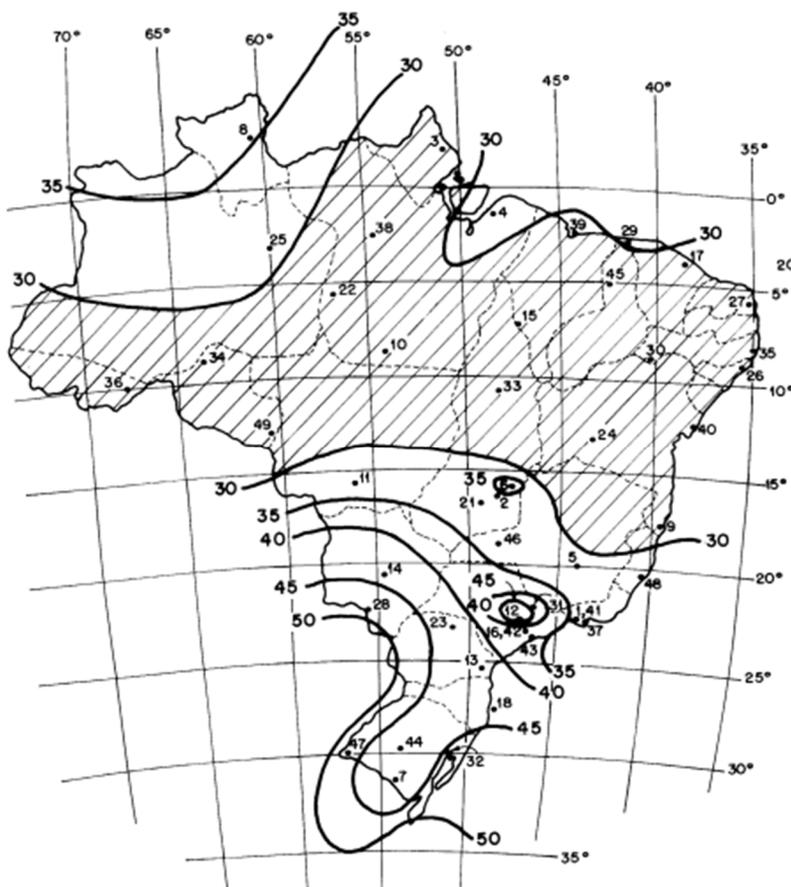


Figura 1 - Isopletas de Velocidade Básica
Fonte: ABNT NBR 6123:1988

Segundo Blocken (2014) a obtenção de tais análises podem ser realizada por meio de métodos computacionais avançados ou por meio da experimentação em túneis de vento. Essas abordagens proporcionam uma compreensão mais profunda das

interações entre o vento e a estrutura, permitindo, assim, o desenvolvimento de estratégias eficazes de projeto e mitigação de riscos.

A platibanda desempenha não apenas uma função arquitetônica, mas também desempenha um papel funcional crucial na proteção contra as intempéries climáticas. Além de contribuir para a estética da estrutura, a platibanda atua como uma barreira eficaz, ajudando a mitigar os efeitos adversos das condições climáticas, como ventos fortes, chuva intensa e exposição prolongada ao sol. Este aspecto funcional da platibanda destaca sua importância além do design, evidenciando sua contribuição vital para a durabilidade e resistência da estrutura frente aos elementos climáticos.

Conforme Carpeggiani (2004), a presença de construções ou edificações próximas pode interferir na ação do vento sobre uma estrutura, alterando sucções, forças e momentos. Esses efeitos, embora mensuráveis, são específicos para cada situação. Assim, as normas em geral propõem coeficientes aerodinâmicos que se referem a edificações isoladas.

A norma ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações - estabelece critérios para a estimativa das cargas de vento em diferentes regiões do Brasil. Essa norma define uma série de parâmetros e coeficientes que devem ser respeitados na análise e dimensionamento das estruturas. No caso do Noroeste do Paraná, é necessário levar em consideração as informações características da região, como a velocidade básica do vento e o coeficiente de pressão dinâmica.

No contexto brasileiro, a norma ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto – é reconhecida para o dimensionamento de estruturas de concreto armado. O objetivo deste estudo é realizar uma análise detalhada do projeto estrutural da platibanda, levando em consideração os seus esforços solicitantes que são gerado pela a ação do vento e o peso proprio da estrutura. Para atingir esse objetivo, serão considerados fatores como a velocidade média e direção do vento na região, a coleta de dados sobre a velocidade média e direção do vento em Terra Boa, com base em registros climáticos. bem como as características geométricas e materiais da platibanda em questão. Avaliando as dimensões da platibanda incluindo altura, espessura, comprimento e demais valores presente no detalhamento estrutural que encontra-se na figura 2, retirada do projeto em anexo.

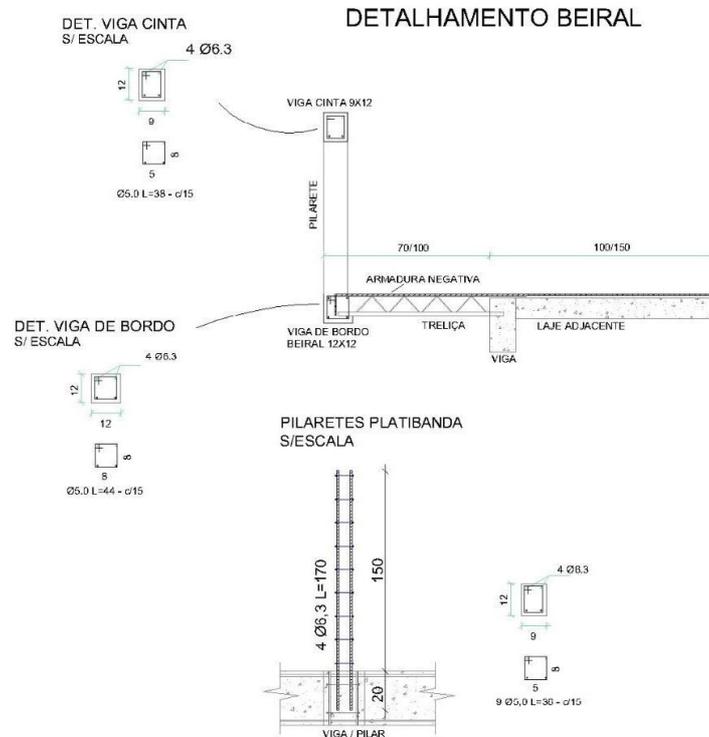


Figura 2 - Detalhe Estrutural da Platibanda.
Fonte: Projeto em Anexo

Para a realização da análise estrutural, foi desenvolvida uma planilha no Microsoft Excel destinada ao cálculo das tensões e deformações sofridas pela platibanda sob a influência do vento e peso próprio da estrutura. Em seguida foi desenvolvida uma extensão em linguagem de programação Python para futuras verificações.

Segundo Ventura (2020) Na contemporaneidade, a linguagem de programação Python toma uma prevalência global expressiva. Em uma avaliação das vinte linguagens mais amplamente empregadas na atualidade, observa-se que o Python ocupa a segunda posição, estando empatado com Java e sendo superado apenas pelo JavaScript.

A automação proporcionada pelo Python na verificação dos cálculos e análises estruturais exigido neste âmbito, ajudou a ter uma visão mais ampla sobre as deformações assim geradas pelos esforços solicitados. Nesse contexto, a automatização desempenha um papel de destaque, catalisando a eficácia da integração tecnológica e consolidando o Python como uma ferramenta útil para engenharia estrutural moderna.

2. METODOLOGIA

A análise do dimensionamento da platibanda em concreto armado foi realizada por

meio de uma série de cálculos estruturais, assegurando que a estrutura seja capaz de resistir aos esforços solicitantes. As cargas do vento foram consideradas conforme critérios da ABNT NBR 6123:1988 para este tipo de estrutura. O cálculo do esforço de momento seguiu o método do Pilar Padrão de Curvatura Aproximada e o cálculo dos estribos foram calculados conforme o modelo I ambos presentes na ABNT NBR 6118:2014. Após ambas as considerações, os cálculos foram inseridos na programação Python para uma automatização, assim para facilitar futuras verificações. Os esforços solicitantes para esta estrutura são cargas de vento e peso próprio, considerando os parâmetros apresentados abaixo.

Velocidade do vento - Inicialmente, foi necessário determinar a velocidade básica do vento para a região específica onde a construção está situada. No caso deste estudo, a região de interesse foi a região Noroeste do Paraná, na cidade de Terra Boa. A velocidade do vento foi expressa em metros por segundo.

Coefficiente de pressão do vento - Com base na velocidade do vento obtida, foi feita a determinação do coeficiente de pressão do vento que seria aplicado à platibanda. Importante mencionar que esse coeficiente variou segundo a altura e a geometria da estrutura. Foi possível obter esses coeficientes por meio de tabelas e gráficos apresentados no método analítico da ABNT NBR 6123:1988.

Análise do Dimensionamento Estrutural Realizado - No âmbito da análise do dimensionamento estrutural, foram utilizados os coeficientes de pressão do vento previamente calculados, juntamente com a geometria específica da platibanda, para realizar a análise. O concreto armado, reconhecido por sua resistência à compressão e tração, foi devidamente considerado nesse processo. Os cálculos foram executados com base na capacidade resistente do concreto e do aço de reforço, visando verificar se a platibanda estava apta a suportar as cargas impostas pelo vento e peso próprio da estrutura analisada.

Verificação de Estabilidade Efetuada - Além da análise de dimensionamento estrutural, uma análise completa das verificações de estabilidade foi conduzida. Essas verificações tinham como finalidade garantir que a platibanda não sofresse deslocamentos ou deformações excessivas devido à ação do vento.

2.1 MÉTODO ANALÍTICO

Para as estruturas rígidas, tal metodologia da ABNT NBR 6123:1988 é eficaz. No entanto, há casos de estruturas mais simples como em platibandas no qual são executadas sem um pré-dimensionado, resultando em uma estrutura superdimensionada ou a subdimensionada, sendo assim o objeto de estudo desse trabalho é avaliar a resistência das platibandas de concreto armado, já executadas, seguindo os parâmetros da ABNT NBR 6123:1988 e ABNT NBR 6118:2014, seguindo o método da ABNT NBR 6123:1988 para avaliar o efeito do vento no pórtico 2D das platibandas e verificar a resistência aos esforços conforme a ABNT NBR 6118:2014.

2.1.1 Método da ABNT NBR 6123:88

A ABNT NBR 6123:1988 define a velocidade básica do vento V_0 como “a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano.” Este é um dos principais parâmetros utilizados para a determinação das forças devidas ao vento. O mapa de isopletas mostra a velocidade básica do vento (V_0) para diversas localidades do Brasil. A região noroeste do paraná, a qual se encontra entre as isopletas de 45 a 50 m/s, para este cálculo será adotado o pior caso com a isopleta de 50m/s. A velocidade característica do vento, V_k é obtida pela Equação 1.

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad \text{Eq.1}$$

Onde, (V_k) é a velocidade característica do vento, (V_0) é a velocidade básica do vento, (S_1) é o fator topográfico, (S_2) é o fator que considera o efeito combinado de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e variação de velocidade do vento com a altura e (S_3) é o fator estatístico. O Fator V_0 varia de região para região, o qual pode ser encontrado na “Figura 1 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s). No qual, para região do Noroeste do Paraná, será adotado para o cálculo o pior caso, da isopleta de valor igual. $V_0=50$ m/s.

O fator topográfico S_1 , que é um dos fatores que determina a velocidade característica do vento, se refere as variações do terreno conforme apresentado na Figura 3, utilizada como referência para considerar que em Terreno plano ou fracamente acidentado adota-se $S_1 = 1,0$, Taludes e morros, em que se admite um fluxo de ar bidimensional com o sentido apresentado também na Figura 3, No ponto A em morros e nos pontos A e C em taludes deve-se adotar $S_1 = 1,0$ e No ponto B, em função da cota z, em que o falor é obtido pelas equações 2,3 ou 4.

$$\theta \leq 3^\circ \rightarrow S_1 = 1,0 \quad \text{Eq. 2}$$

$$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ \rightarrow S_1(z) = 1 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \cdot \text{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1 \quad \text{Eq. 3}$$

$$\theta \geq 45^\circ \rightarrow S_1(z) = 1 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \cdot 0,31 \geq 1 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde, (z) é a altura em relação à superfície; (d) é a diferença entra a base e o topo do talude ou morro e (θ) é a inclinação media do talude ou morro. Para vales profundos, protegidos pelo vento $S_1 = 0,9$.

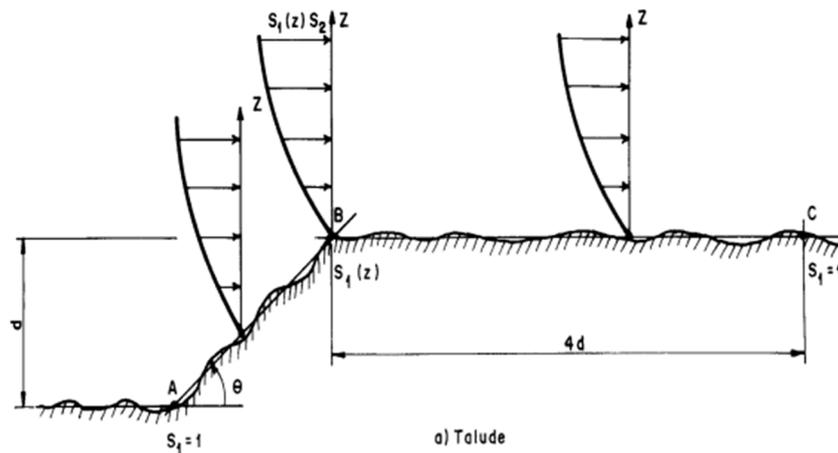


Figura 3 – Fator Topográfico (s_1)
Fonte: ABNT NBR6123:1988

Após a descrição, para o este estudo será adotado o Valor de $S_1 = 1$ para a realização do cálculo de verificação.

O coeficiente S_2 é o responsável por incorporar os efeitos das rajadas, permitindo a aplicação de um método puramente estático, desde que o período fundamental da estrutura não supere 1s. Este coeficiente depende de três características: da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e da variação de velocidade do vento com a altura. Quanto à rugosidade há uma divisão em cinco categorias, em ordem crescente desse fator. Já quanto as dimensões da edificação, há uma divisão em três classes de acordo com a maior dimensão (horizontal ou vertical): classe A até 20 m; classe B de 20 m a 50 m; e classe C com a maior dimensão superior a 50 m. A figura 4, a seguir, apresenta os valores de “b”, “p” e “Fr”, para o cálculo de S_2 que é obtido pela equação 5.

Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos

Categoria	z _g (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F _r	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
		b	0,94	0,94	0,93
III	350	p	0,10	0,105	0,115
		b	0,86	0,85	0,84
IV	420	p	0,12	0,125	0,135
		b	0,74	0,73	0,71
V	500	p	0,15	0,16	0,175

Figura 4 - Parâmetros meteorológicos
Fonte: ABNT NBR6123:1988

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad \text{Eq. 5}$$

A partir dos valores obtidos da Figura 4, sendo todos os valores já tabelados, após uma análise prévia foi decidido que a categoria e classe da edificação para este dimensionamento serão a Categoria III – Classe A, conforme descritas na norma, com o valor de z igual a 4,5 metros para o caso de estudo, sendo esse o valor da soma do pé direito com a altura da platibanda da edificação. Por fim, o fator estatístico S₃ se relaciona ao grau de segurança exigida na edificação. Ele é determinado de acordo com a Figura 5, tabela extraída da norma, sendo adotado S₃ = 1,00 para o cálculo.

Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Figura 5 - Valores mínimos do Fator estatísticos (S_3)

Fonte: ABNT NBR6123:1988

A pressão que o vento exerce sobre uma estrutura depende de sua velocidade característica. Assim, a ABNT NBR 6123:1988 define a pressão dinâmica (q) como $q = 0,613V_k^2$, sendo (unidades SI): q em N^2/m e V_k em m/s.

A força estática sobre uma face da edificação é dada pela diferença entre as pressões internas e externas. Assim, a força global no edifício é a soma vetorial das forças do vento, sendo que uma componente qualquer (F) obtida pela equação 6.

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e \quad \text{Eq. 6}$$

Onde, C_a é o coeficiente de força, o qual depende da forma do edifício, do ângulo de incidência do vento e é descrito na norma para cada caso e A_e é a área de referência. Sendo que para este estudo o cálculo será adotado o seguinte gráfico da Figura 6.

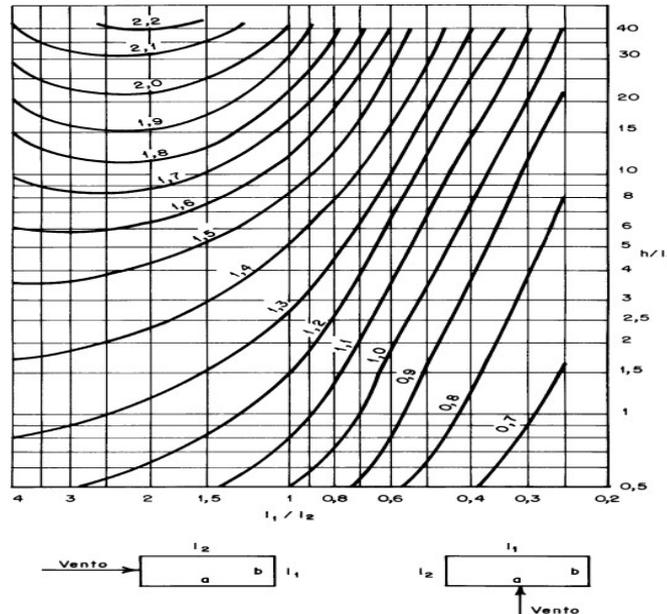


Figura 6 - Coeficiente de Arrasto (C_a)
Fonte: ABNT NBR6123:88

2.1.2 Método da ABNT NBR 6118:2014

A ABNT NBR6118:2014 é a Norma Brasileira Regulamentadora que estabelece os principais aspectos de qualidade do concreto, sendo assim segundo o item 11.8 da mesma “Combinações de Ações” o qual define as combinações para o cálculo dos Estados de Limite Ultimo e de Serviço respectivamente, será adotado para o cálculo de verificação da respectiva estrutura com a combinação de ELU, visto que de todas as combinações, essa é a única que o fator de minoração do vento, como força secundária não se iguala a zero, sendo que de todas as combinações deverá ser considerado o peso próprio da estrutura, suas cargas acidentais e o valor do vento. Conforme o cálculo das solicitações na equação 7.

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \Psi_{0j} + F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk} \quad \text{Eq.7}$$

A partir do carregamento distribuído calculado pela força de arrasto obtido pela ABNT NBR6123:1988, foi obtido o valor de q , no qual a partir do mesmo foi

calculado o valor do momento de engaste do pilarete de 1,5 metros, pela equação 8.

$$M_{eng} = \frac{q \cdot l}{2/3} \quad \text{Eq. 8}$$

Sendo, M_{eng} o momento de engaste, q o carregamento distribuído do vento, considerado como triangular e l o comprimento do pilarete. A partir do Momento de Engaste foi calculado a resistência da Viga-Cinta e dos Pilaretes, para se obter o Momento Inferior (M_{inf}), seguindo o passo a passo das equações 9, 10, 11 e 12, respectivamente.

Inércia de uma seção retangular

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{Eq.9}$$

Resistência da Viga

$$r_{Viga} = \frac{I_x}{l} \quad \text{Eq.10}$$

Resistência do Pilar

$$r_{inf} = r_{sup} = \frac{I_y}{l/2} \quad \text{Eq.11}$$

Momento inferior

$$M_{inf} = \frac{r_{inf}}{2r_{inf} + r_{viga}} * M_{eng} \quad \text{Eq.12}$$

Sendo, para o cálculo de Resistência da Viga (I_x) o momento de inércia em torno do eixo x e (l) o comprimento da viga cinta e para o cálculo do pilar (I_y) o momento de inércia em torno do menor lado, sendo esse o pior caso, o eixo x , e (l) a altura do pilarete.

Para calcular o valor de Momento mínimo (M_{1d1min}), primeiro deve-se calcular a solicitante de normal, o qual foi considerado o peso próprio dos pilaretes e da viga cinta, sendo esse o peso específico das estruturas de concreto armado igual a 25kN/m^3 , multiplicado pelo seu volume da estrutura, para obter a Normal solicitante de projeto (N_{nk}), e com isso majorar a força pela equação 13.

$$N_{sd} = 1,40 * N_{nk} \quad \text{Eq.13}$$

A partir do valor de N_{sd} foi calculado o valor de momento mínimo, pela equação 14.

$$M_{1d1min} = N_{sd} * (0,015 + 0,03 * h) \quad \text{Eq.14}$$

Após calcular (M_{1d1min}) para x e y , o comprimento de flambagem é definido pela condição a seguir.

$$l_e \leq \begin{cases} l \\ l_0 + h \end{cases}$$

Sendo, (l) o comprimento total do pilarete, (l_0) o comprimento do pilarete menos a altura da viga-cinta e (h) a altura do pilar no respectivo eixo. A partir desses valores calcula-se a esbeltez e esbeltez limite para definir o tipo de pilar segundo a ABNT NBR 6118:2014, com as equações 15 e 16 respectivamente.

Esbeltez
$$\lambda = \frac{l_e}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \quad \text{Eq.15}$$

Esbeltez limite
$$\lambda_1 = \frac{25 + 12,5 \frac{e_1}{h}}{\alpha_b} \quad \text{Eq.16}$$

Sendo (α_b) obtido a partir da ABNT NBR6118:2014, item 15.8.2, conforme os tipos de apoios do pilar e e_1 a partir da equação 17.

$$e_1 = \frac{M_a}{N_{sd}} \quad \text{Eq.17}$$

Após comparar a esbeltez com a esbeltez limite foi constatado em ambos os eixos será necessário considerar o efeito de segunda ordem no momento de cálculo total, seguindo o modelo de calculo do Pilar Padrão de Curvatura Aproximada , o qual é calculado pela equação 18, utilizando valores obtidos pelas equações 19 e 20.

$$M_{d1total} = \alpha_b * M_{1d1min} * \left(N_{sd} * \frac{l_e^2}{10} * \frac{1}{r} \right) \geq M_{1d1min} \quad \text{Eq.18}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h*(\mu+h)} \leq \frac{0,005}{h} \quad \text{Eq.19}$$

$$\mu = \frac{N_{sd}}{A * f_{cd}} \quad \text{Eq.20}$$

Uma vez definidos os momentos totais, calcula-se os valores de cortante e dos estribos no Modelo I. Calculando primeiro o valor da cortante V_{sd} , pela equação 21 e a cortante de cálculo V_{sk} pela equação 22.

$$V_{sd} = q * l \quad \text{Eq.21}$$

$$V_{sk} = V_{sd} * 1,4 \quad \text{Eq.22}$$

Com o valor de V_{sk} deve-se verificar que $V_{Rd2} \geq V_{sk}$, pela equação 23, utilizando os valores obtidos a partir das equações 24 e 25.

$$V_{Rd2} = 0,27 * \alpha_{v2} * f_{cd} * bw * d \quad \text{Eq.23}$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}, \text{ com o valor de } f_{ck} \text{ em Mpa} \quad \text{Eq.24}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \text{ com } \gamma_c = 1,4 \quad \text{Eq.25}$$

Com o valor de V_{Rd2} e após conferir que $V_{Rd2} \geq V_{sk}$ calcula-se o (V_c) força resistente de cortante do concreto pela equação 26, utilizando o valor f_{ctd} , obtido a partir da equação 27, na qual o valor de entrada do f_{ck} deve entrar em MPa, e após isso pode ser feita a transformação de unidade, e com o valor de (V_c) deve-se executar a subtração da solicitante de cálculo (V_{Rd2}), obtendo-se o valor ao qual o aço deve resistir (V_{sw}) pela equação 28.

$$V_c = 0,27 * f_{ctd} * bw * d \quad \text{Eq.26}$$

$$f_{ctd} = \frac{0,21 * f_{ck}^{\frac{2}{3}}}{\gamma_c} \quad \text{Eq.27}$$

$$V_{sw} = V_{sd} - V_c \quad \text{Eq.28}$$

Com o valor de V_{sw} calcula-se o valor de $\frac{A_s W}{s}$ e $A_s W_{min}$, área de aço por metro e área de aço mínima, calculadas pelas equações 29 e 30 respectivamente, as quais após comparadas deve-se adotar a maior entre ambas.

$$\frac{A_s W}{s} = \frac{V_{sw}}{0,9 * d * f_{ywd}} \quad \text{Eq.29}$$

$$A_s W_{min} = 0,012 * f_{ck}^{2/3} * bw \quad \text{Eq.30}$$

Para a equação 30 o valor de f_{ck} em MPa e bw em cm, para obter o valor em cm^2 , visto que a fórmula já foi ponderada para receber os valores nestas unidades de medida, com $(0,012 * f_{ck}^{2/3})$ correspondendo ao valor obtido pela fórmula de ρ_{min} e o valor de 0,12 da fórmula original substituído para 0,012 com o objetivo de converter MPa para kN/cm^2 , na equação 29 foi encontrado o valor de $0,92 \text{ cm}^2/m$ o qual foi substituído pelo valor de $A_s W_{min}$, sendo esse $1,96 \text{ cm}^2/m$ para atender ao espaçamento máximo ($S_{máx}$) de 20cm, conforme a condição a seguir, proveniente da ABNT NBR6118:2014.

$$S_{min} \leq \begin{cases} 15 * \phi \\ 20\text{cm} \end{cases}$$

Sendo ϕ o diâmetro dos estribos.

2.2 Automação do Excel Para Python

Segundo Feldman e Sanger (2006) Python é uma linguagem de programação de alto nível que ganhou grande popularidade devido à sua simplicidade, legibilidade e versatilidade. Ela oferece uma maneira eficaz de instruir um computador a executar tarefas específicas, desde cálculos simples até complexos sistemas de software. A partir do momento em que aprende-se a ler e escrever código em Python, compreender e manipular dados se torna uma tarefa intuitiva.

Para a importação da planilha do Excel foi utilizado a Biblioteca “pandas”. Para ler a planilha usando o “pandas” foi o utilizado o seguinte comando descrito na figura 7.

```
[1] pip install pandas
Requirement already satisfied: pandas in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (1.5.3)
Requirement already satisfied: python-dateutil>=2.8.1 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from pandas) (2.8.2)
Requirement already satisfied: pytz>=2020.1 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from pandas) (2023.3.post1)
Requirement already satisfied: numpy>=1.21.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from pandas) (1.23.5)
Requirement already satisfied: six>=1.5 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from python-dateutil>=2.8.1->pandas) (1.16.0)

[4] import pandas as pd
```

Figura 7 - Python (Importação de biblioteca pandas)
Fonte: Elaborada pelo autor.

Para Carregar o arquivo Excel foi utilizado a função `pd.read_excel()` o arquivo Excel e foi convertido em um DataFrame, que é uma estrutura de dados tabular do pandas. A automação dos cálculos anteriormente realizados no Microsoft Excel,

transferindo-os para a linguagem de programação Python, a fim de otimizar a análise estrutural do projeto estrutural da platibanda começou com a coleta de dados climáticos específicos da região, necessários para determinar a velocidade básica do vento (V_0), conforme estabelecido pela normativa ABNT NBR 6123:1988. A equação 1 presente no método de análise da ABNT NBR 6123:1988, foi aplicada para obter a velocidade característica do vento (V_k), considerando fatores topográficos, de rugosidade do terreno e estatísticos. A fase subsequente envolveu uma análise da determinação do fator topográfico (S_1), o cálculo do coeficiente (S_2) para incorporar os efeitos das rajadas de vento e a aplicação do fator estatístico (S_3) para definir o grau de segurança exigido na edificação. Os resultados dessas etapas foram essenciais para calcular a pressão dinâmica (q) e a força do vento sobre a estrutura. Conforme apresentado na figura 8.

	Classe A	Classe A.1	-.1	Classe B	-.2
- Categoria III	Categoria III	Categoria III	Categoria IV	Categoria III	Categoria IV
b	0.94	0.94	0.86	0.94	0.85
p	0.1	0.1	0.12	0.11	0.13
Fr	1	1	1	1	1
z1	4	0	4	4	4
z2	7	4.5	7	7	7
S2 z1	0.857697	0	0.770452	0.849874	0.754548
S2 z2	0.907063	0.867859	0.823968	0.903834	0.811487
S1	1	1	1	1	1
S3	1	1	1	1	1
V0(m/s)	50	50	50	50	50
Vk(m/s)	45.353171	43.392943	41.198388	45.191696	40.57436
q(N/m²)	1260.88593	1154.246837	1040.449283	1251.923406	1009.168823
q(kN/m²)	1.260886	1.154247	1.040449	1.251923	1.009169

Figura 8 - Python (Cálculos dos Coeficientes e Forças do Ventos)
Fonte: Elaborada pelo autor.

Estes algoritmos foram elaborados para integrar os resultados advindos da análise climática e estrutural. Tal abordagem proporcionou uma verificação estrutural unificada da platibanda. A migração para Python revelou-se crucial, destacando-se pela sua flexibilidade e notável capacidade computacional. Esta escolha permitiu a execução eficaz dos cálculos complexos inerentes à análise estrutural, evidenciando a importância e eficácia da linguagem Python neste contexto específico. A Figura 9 ilustra esse progresso, apresentando uma notável automatização do Excel para a linguagem de programação Python.

15	Vrd2≥Vsd	OKI	NaN
16	Vc	6.232862	kN/cm ²
17	fctd	0.128248	kN/cm ²
18	Vsw	0.23092	kN
19	Asw/s(calculado)	0.065537	cm ² /m
20	As-min	0.923387	cm ² /m
21	Asw(maior que zero)	0.065537	NaN
22	Asw/s	0.923387	cm ² /m
23	Estribo (Diâmetro)	5	mm
24	Area do estribo 5mm	0.19635	cm ²
25	Nº Estribos	2.351386	Estribos/m
26	S(espacamento)	42	cm
27	Smin	7.5	cm
28	15*d	7.5	cm
29	20cm	20	cm
30	Aplicando espaçamento Min	20	cm
31	Area de Aço min Aplicada	1.963495	cm ²

```
from matplotlib import pyplot as plt
import seaborn as sns
df.groupby('Classe A - Categoria III').size().plot(kind='barh', color=sns.palettes.mpl_palette('Dark2'))
plt.gca().spines[['top', 'right']].set_visible(False)
```

Figura 9 - Python (Calculos dos Estribos)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados aqui apresentados concentram-se na verificação meticulosa dos estribos para uma seção de concreto. Esses cálculos foram conduzidos com precisão através de uma verificação, sendo notável a contribuição essencial da linguagem de programação Python nesse processo. Assim, dedicou-se uma análise aprofundada aos resultados mais significativos obtidos. Nota-se, sobretudo, que a linguagem de programação Python foi empregada de maneira instrumental. Isso confere uma análise eficaz e confiável no dimensionamento dos estribos, evidenciando a versatilidade e robustez dessa linguagem no contexto da engenharia estrutural.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Assim, com base no cálculo de momento e força cortante solicitante, resultante dos cálculos de força do vento, verificou-se que tanto a área mínima transversal do pilar quanto a quantidade mínima de aço atendem à solicitação de momento. Estas medidas foram estabelecidas para sustentar uma carga normal de compressão, proveniente das cargas da cobertura e estrutura associadas. Diferentemente das cargas com vetor gravitacionais, os pilaretes e a viga cinta da platibanda não são projetados para suportar cargas somente paralelas à gravidade, como o peso próprio da estrutura, mas também perpendiculares, representadas pela ação do vento, gerando um momento de engaste entre os pilaretes e as vigas superiores da estrutura. Esse é o desafio que deve ser enfrentado pelos pilaretes, como demonstrado no cálculo do momento de engaste. Conforme os cálculos da planilha, seguindo as fórmulas apresentadas, os valores de momento e inércia resistente do

pilarete de 12x9 são de 1296 cm^4 no eixo X e 729 cm^4 no eixo Y, apresentados na Figura 10.

unidade (cm)		
PILARETE 12X9	12	h
	9	b
COMP. PILARETE	150	cm
VIGA CINTA 12X9	12	h
	9	b
COMP VIGA CINTA	400	cm
Inercia	cm^4	
I_x	1296	
I_y	729	

Figura 10 - Cálculo dos Momentos de Inércia
Fonte: Elaborada pelo autor.

Esses valores são tão baixos que podem ser adequadamente resistidos pela armadura longitudinal de projeto, composta por barras de 4x6,3 mm com estribos de 5 mm, dispostos a cada 15 cm conforme especificado no projeto, que após todas as considerações de cálculo a força solicitante dessa estrutura é 6,46 kN e a força resistente do concreto a um esforço cortante, para essa seção, é de 6,23 kN, sobrando para o aço resistir a somente 0,23 kN, a qual corresponde a cerca de 3,56% da força solicitante total da estrutura, conforme apresentado na figura 11.

q	1,15	kn/m
l	4	m
Vsk	4,616987	kN
Vsd	6,463782	kN
αV^2	0,9	
Vrd2	35,14821	kN
Vrd2 \geq Vsd	OK!	
Vc	6,232862	kN/cm ²
fctd	0,128248	kN/cm ²
Vsw	0,23092	kN

Figura 11 - Cálculo de Solicitantes de Vento para Concreto e Aço
Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando os valores apresentados acima, a área de aço obtida é de $0,065 \text{ cm}^2/\text{m}$ de área transversal de estribos e segundo a norma, a área mínima de aço para os estribos deve ser de $0,923 \text{ cm}^2/\text{m}$ a qual corresponde a cerca de 14,2 vezes a solicitada, conforme os resultados apresentados na figura 12.

Asw/s(calculado)	0,065537	cm ² /m
As-min	0,923387	cm ² /m
Asw(maior que zero)	0,065537	
Asw/s(adotado)	0,923387	cm ² /m

Figura 12 - Cálculo da área de aço dos estribos

Fonte: Elaborada pelo autor.

Além disso, após o dimensionamento, verificou-se que o espaçamento máximo, conforme estipulado pela ABNT NBR 6118:2014 - item 18.3.3.2, de 20 cm também atende às exigências do cálculo, como evidenciado pelo cálculo do espaçamento máximo (S_{max}). Dessa forma, fica evidente que os valores mínimos de resistência estrutural de cada componente já são adequados para suportar as forças solicitantes.

4. CONCLUSÃO

Considerando as informações apresentadas nas isopletras da ABNT NBR 6123:1988, que mostram a velocidade do vento no noroeste do Paraná como uma das mais críticas no país, com uma velocidade do vento de 50 m/s, conclui-se que como uma estrutura tão simples como essa atende a tais requisitos, a mesmo pode ser aplicado a outras regiões do Brasil.

Porém, após considerações apropriadas, conclui-se que para uma melhor integração entre a norma e os métodos construtivos, é mais apropriado utilizar pilaretes, com a mesma seção transversal 30x12, adotando o mínimo da norma com área transversal de 360cm², com o espaçamento máximo permitido de 20 cm.

5. REFERÊNCIAS

- (1) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 06123: **FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES**. RIO DE JANEIRO, 1988.
- (2) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 06118: **PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO - PROCEDIMENTO**. RIO DE JANEIRO, 2014.
- (3) BLESSMANN, JOAQUIM. **O VENTO NA ENGENHARIA ESTRUTURAL**/JOAQUIM BLESSMANN. – 2. ED. - PORTO ALEGRE: EDITORA DA UFRGS, 2013.
- (4) CARPEGIANI, ELVIS ANTÔNIO **DETERMINAÇÃO DOS EFEITOS ESTÁTICOS DE TORÇÃO EM EDIFÍCIOS ALTOS DEVIDOS À AÇÃO DO VENTO** / ELVIS ANTÔNIO CARPEGIANI. – 2004.

- (5) DAVENPORT, A. G. **PAST, PRESENT AND FUTURE OF WIND ENGINEERING.** JOURNAL OF WIND ENGINEERING & INDUSTRIAL AERODYNAMICS, AMSTERDAM, 2002
- (6) DAVENPORT, A. G. **HOW CAN WE SIMPLIFY AND GENERALIZE WIND LOADS?** JOURNAL OF WIND ENGINEERING & INDUSTRIAL AERODYNAMICS, AMSTERDAM, 1995.
- (7) BLOCKEN, B. **50 YEARS OF COMPUTATIONAL WIND ENGINEERING: PAST, PRESENT AND FUTURE.** JOURNAL OF WIND ENGINEERING AND INDUSTRIAL AERODYNAMICS, V. 129, P. 69-102, JUNE 2014.
- (8) BONAMETTI, J. H. **A ARQUITETURA ECLÉTICA E A MODERNIZAÇÃO DA PAISAGEM BRASILEIRA.** REVISTA CIENTÍFICA/FAP, CURITIBA, Vº 1, (JAN./DEZ. 2006).
- (9) DENG, T.; FU, J. Y.; XIE, Z. N.; PI, Y. L.; SHI, B. Q. AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE WIND PRESSURE DISTRIBUTION OF TAPERED SUPER HIGH-RISE BUILDINGS. **THE STRUCTURAL DESIGN OF TALL AND SPECIAL BUILDINGS**, JUNNHO 2018.
- (10) FELDMAN, R. AND SANGER, J. (2006). **TEXT MINING HANDBOOK: ADVANCED APPROACHES IN ANALYZING UNSTRUCTURED DATA.** CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, NEW YORK, NY, USA.
- (11) **VENTURA**, FELIPE. PYTHON E JAVA EMPATAM EM RANKING DE LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO. TECNOBLOG. [S.L], 2020. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://TECNOBLOG.NET/327488/PYTHON-JAVA-EMPATAM-RANKING-LINGUAGENS-PROGRAMACAO/](https://tecnoblog.net/327488/python-java-empatam-ranking-linguagens-programacao/). ACESSO EM: 23 NOV. 2020.