

**Estudo da pressão efetiva em coberturas com platibanda conforme a NBR 6123
– forças devidas ao vento em edificações****Study of effective pressure in roofs with platiband according to NBR 6123 –
forces due to wind in buildings**

DOI:10.34117/bjdv6n8-051

Recebimento dos originais:08/07/2020

Aceitação para publicação: 07/08/2020

Gean Henrique Sabino Freitas

Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal da Grande Dourados
Instituição: Universidade Federal da Grande Dourados
Endereço: Rodovia Dourados/Itahum, Km 12 – Unidade II/CEP: 79.804-970
E-mail: gean.henri@hotmail.com

Flávio Santana Michels

Doutor em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal da Grande Dourados
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Endereço: Av. Costa e Silva, s/nº - Bairro Universitário/CEP: 79.070-900
E-mail: flavio.michels@ufms.br

Luiz Henrique Moreira de Carvalho

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté
Instituição: Centro Universitário da Grande Dourados
Endereço: Rua Balbina de Matos, 2121 – Jardim Universitário/CEP: 79.824-900
E-mail: enghariacivil@unigran.br

Nelson Ferreira Correa

Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Instituição: Centro Universitário da Grande Dourados
Endereço: Rua Balbina de Matos, 2121 – Jardim Universitário/CEP: 79.824-900
E-mail: nelison_ferreira@hotmail.com

Wilson Espindola Passos

Doutor em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal da Grande Dourados
Instituição: Centro Universitário da Grande Dourados
Endereço: Rua Balbina de Matos, 2121 – Jardim Universitário/CEP: 79.824-900
E-mail: wilson.e.passos@gmail.com

RESUMO

Devido ao panorama da arquitetura atual, é recorrente a inserção de platibandas nas coberturas das edificações atuais. Contudo, por esta ser uma tendência relativamente recente, a NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações, publicada em 1988, não trata da influência desses elementos construtivos na pressão efetiva desenvolvida sobre a cobertura. Dessa forma, busca-se uma contribuição ao cálculo das cargas do vento sobre as edificações por meio da análise de uma cobertura com platibanda em uma residência localizada na cidade de Dourados – MS, no bairro

Santa Fé. Para isso, define-se uma equação para cada inclinação de telhado, 5°, 15° e 20°, propiciando uma análise comparativa da influência da variação da altura da platibanda na pressão efetiva sobre o telhado para diferentes inclinações. Assim, foi percebido que conforme é aumentada a altura da platibanda, menores são as pressões efetivas sobre o telhado. Contudo, é preciso atentar-se a elevação dos custos em coberturas mais inclinadas, o que afeta financeiramente a execução da obra, pois exige estruturas mais robustas, além de inviabilizar arquitetonicamente a utilização de platibandas.

Palavras-chave: Platibandas. Projeto de cobertura. Pressão efetiva.

ABSTRACT

In reason of the panorama of the current architecture, it is recurrent the insertion of platibands in the coverings of the current buildings. However, because this is a relatively recent trend, NBR 6123 – Wind Forces in Buildings, published in 1988, does not address the influence of these constructive elements on the effective pressure developed on the roof. Thus, a contribution is made to the calculation of the wind loads on the buildings by means of the analysis of a cover with the panel in a residence located in the city of Dourados – MS, in the Santa Fé neighborhood. For this, an equation is defined each roof slope, 5°, 15° and 20°, providing a comparative analysis of the influence of the variation of the height of the panel in the effective pressure on the roof for different slopes. Thus, it was noticed that as the height of the panel is increased, the lower the effective pressures on the roof. However, it is necessary to be attentive to the elevation of the costs in more inclined roofs, which affects financially the execution of the construction, because it requires more robust structures, besides making unworkable architecturally the use of platibands.

Keywords: Platibands. Coverage project. Effective pressure.

1 INTRODUÇÃO

A influência da ação do vento, principalmente em edificações esbeltas e leves (edifícios com a tecnologia *steelframe*, por exemplo), de grandes vãos livres, pode ser catastrófica. Contudo, conforme Makowski (2004), mesmo em residências de até dois pavimentos, e locais de risco é possível constatar com frequência perdas físicas ou humanas, pois a estrutura de cobertura possui a característica de geralmente ser leve e possuir vínculo com a superestrutura que não impede a magnitude de flexão imposta pela ação do vento.

A influência do vento nessas estruturas pode ser por sucção, esforços no sentido de baixo para cima, ou de pressão, de cima para baixo (BLESSMANN, 1991). A inclinação entre 8° e 12° é a mais recorrentemente utilizada nas construções, porém, esta corresponde ao valor em que resulta a máxima sucção média. No entanto, a influência do vento por esforço de pressão apresenta maior perigo em coberturas com mais de 45° de inclinação.

As ações do vento são classificadas como carregamentos de duração instantânea, formados pelo carregamento normal e pelo carregamento excepcional. O tipo normal refere-se ao carregamento previsto, sendo considerado de longa duração, verificado nos estados limites últimos

e de utilização. O tipo excepcional corresponde ao efeito na construção não previsto durante sua concepção, devido a frequência reduzida de ocorrência. Nesse caso, as consequências podem ser catastróficas. Análises precisas em relação a existência conjunta desses esforços, com a estipulação das condições específicas de existência e duração, podem ser obtidas por métodos computacionais ou por análise em túneis de vento (BLOCKEN, 2014).

Conforme expressa Pereira *et al.* (2017), é crescente a utilização de coberturas cada vez menos inclinadas, com o emprego de materiais leves, flexíveis e em grandes vãos livres. Isso implica na necessidade de análises mais rigorosas da ação do vento. Neste estudo, serão verificadas as inclinações do telhado de 5°, 15° e 20°, com ângulos de incidência do vento de 0°, situação em que os ventos atingem maior velocidade na região e os menores valores de sucção para declividades da cobertura entre 30° e 60°. Ou seja, verifica-se que em declividades mais baixas os valores de sucção tendem a ser menos favoráveis a segurança da edificação.

Para o cálculo da pressão efetiva considerando a existência do telhado com platibanda, avalia-se o efeito de parede, dessa maneira, é possível basear-se na NBR 6123 (ABNT, 1988). O presente estudo empregou a referida norma, onde os cálculos desenvolvidos se constituem de aproximações de modelos reais. Como o estudo de Manfrim (2006) demonstra, em determinadas regiões das paredes de um galpão verifica-se variações dos coeficientes de pressão apresentados pela NBR 6123 e os fornecidos pela análise fluido dinâmica computacional, mas em regiões de barlavento os coeficientes de pressão são mais próximos aos descritos pela norma. Pode-se inferir que a norma preconiza valores menos exatos, porém seguros, devido à grande variação dimensional entre as construções.

Quando é analisada a pressão do vento sobre as paredes, considera-se o efeito preponderante sobre as estruturas metálicas e de madeira, conforme expressa Pravia e Chiarello (2003), onde essas considerações são realizadas inicialmente de modo acadêmico, pelo frequente tratamento das forças devidas ao vento somente nas disciplinas de engenharia civil referentes a essas estruturas. Porém, se tratando de platibandas, deve-se considerar o efeito desta em conjunto com a cobertura, pois a estrutura que suporta o telhado geralmente é leve e a existência da platibanda altera as pressões efetivas sobre a mesma, caso contrário, não se caracterizaria uma análise próxima da realidade.

Com finalidade de uma análise mais generalizada do efeito da pressão efetiva em coberturas com a presença de platibandas, foi empregada uma edificação residencial de um único pavimento, conduzindo os cálculos a partir do nível do solo a laje superior, onde a partir dessa altura foi considerada uma platibanda de altura variável para efeitos de cálculo. A NBR 6123 considera duas situações imprescindíveis da consideração dos efeitos dinâmicos da interação fluido-estrutura, em

estruturas com frequências próprias fundamentais inferiores a 1 Hz e em edificações esbeltas e flexíveis, onde mostra-se necessário estudar a estabilidade da construção (DENG *et al.*, 2018; NUNES, 2008).

Com isso, infere-se que há necessidade de estudos que investiguem os efeitos dinâmicos do vento sobre estruturas de cobertura, estruturalmente mais frágeis a esses esforços, em conjunto com elementos arquitetônicos com ampla utilização em edificações correntes, como a platibanda, em que além da ornamentação também é empregada como elemento de proteção da fachada.

2 OBJETIVOS

Realizar análises comparativas das magnitudes da pressão efetiva em função da variação da altura da platibanda, para as declividades de 5°, 15° e 20°, consideradas baixas, visto que as telhas são do tipo metálica. Para isso, será calculada a carga dinâmica do vento considerando os coeficientes de pressão externos a cobertura e as paredes, adotando um coeficiente de pressão interno a edificação. Com as funções obtidas, pretende-se realizar uma análise qualitativa do efeito dinâmico do vento para a cobertura de uma residência na região de Dourados – MS.

3 MÉTODO OU PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foram utilizados artigos científicos, livros e pesquisas acadêmicas em geral, pertinentes aos objetivos propostos. Inicialmente, foi realizada uma contextualização dos aspectos fundamentais que envolvem a inserção dos efeitos da força do vento sobre as edificações para posteriormente especificar-se no desenvolvimento de uma abordagem conjunta na relação entre as platibandas e as coberturas para obter a pressão efetiva especificamente na cobertura.

Na análise comparativa será utilizada como referência uma edificação residencial de um pavimento localizada no município de Dourados, em Mato Grosso do Sul, no bairro Santa Fé. Conforme as isopletas de velocidade básica do vento apresentadas pela NBR 6123, a respectiva velocidade para a região é de 47 m/s. A inclinação do terreno é inferior a 3°, em ambiente residencial com altura média das edificações inferior a 10 m, onde 21,13 m é maior dimensão da residência.

Como a edificação mencionada possui cobertura em diversas águas, para efeitos de análise e maior compatibilidade com os parâmetros oferecidos pela norma, de modo que simultaneamente propicie uma análise que majore os esforços existentes, foi adotada a disposição da cobertura da garagem dessa residência como parâmetro de análise, onde o fator de rugosidade do terreno,

dimensão da edificação e altura sobre o terreno (S_2) foi determinado conforme as dimensões longitudinais e transversais totais da residência edificada.

O fator S_2 foi empregado em função da altura da edificação a partir do nível do terreno (z), contudo, foi adotada uma altura constante de 3,0 m entre o nível do terreno e a base da platibanda. Primeiramente foi determinada a pressão efetiva a altura de 3,0 m, considerando a existência de beiral, para isso o coeficiente de pressão interna igual a $-0,2$, em que apesar da construção com laje, deve-se prever a vedação incompleta em casos críticos da incidência do vento (ABNT, 1988; HAN *et al.*, 2015; LEE *et al.*, 2015). E o coeficiente de pressão externo adotado foi o que apresentou valor crítico ($-2,0$), isto é, o de maior magnitude na cobertura, o que ocorreu nas extremidades longitudinais e transversais da mesma, com faixa de largura de 0,729 m. A partir desses dados foi obtida a pressão efetiva considerando a existência de beiral.

Para as análises posteriores, foi definido y como a altura da platibanda. E a partir dos mesmos dados anteriores foram determinadas funções da pressão efetiva em relação a h para a cobertura com declividades de 5° , 15° e 20° . Em relação as equações definidas em etapas anteriores, varia-se somente os valores dos coeficientes de pressão externa das coberturas conforme as respectivas declividades. Por fim, para obter a influência da platibanda na pressão do vento com efeito de sucção sobre a cobertura, para cada declividade avaliada foi realizada a soma da pressão do vento sobre a cobertura (negativa) com a pressão sobre a platibanda (positiva), considerado o coeficiente de pressão externa para paredes (platibanda) igual a $+0,7$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PRESSÃO EFETIVA CONSIDERANDO A EXISTÊNCIA DE BEIRAL

No desenvolvimento dos cálculos a seguir, será considerada a velocidade básica do vento para a região de Dourados, essa velocidade corresponde a máxima velocidade média medida sobre 3 s, que pode ser excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m de altura sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano (ABNT, 1988). Como o município de Dourados é situado na região sul de Mato Grosso do Sul, foi considerada a velocidade de 47 m/s, analisando o mapa de isopletas para determinação da velocidade básica do vento (v_0), disposto na NBR 6123 (ABNT, 1988).

A velocidade utilizada em projeto é a chamada velocidade característica (v_k), determinada a partir da velocidade básica, considerando o fator topográfico (S_1), o fator de rugosidade do terreno e dimensão da edificação (S_2) e o fator estatístico, devido a ocupação do local por objetos ou pessoas (S_3). O bairro em que a residência se localiza apresenta perfis de elevação com inclinação média de 1,5 %, ou $0,86^\circ$ (dados do Google Earth Pro), sendo abaixo de 3° , é considerado $S_1 = 1,00$. A

altura média dos obstáculos no ambiente residencial, em geral não supera 10 m. Desse modo, a edificação se enquadra na categoria IV, quanto a rugosidade do terreno. A maior dimensão da edificação é de 21,13 m. Com isso, a edificação pertence a Classe B.

Na tabela abaixo são apresentados os parâmetros b e p para a determinação de S_2 , de acordo com as respectivas categorias e classes dispostas na NBR 6123 (ABNT, 1988).

Tabela 1 – Parâmetros meteorológicos

Categoria	Zg (m)	Parâmetros	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
		Fr	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: ABNT, 1988.

Onde z_g define o limite em que é aplicável a equação de S_2 abaixo. Com $F_r = 0,98$ (denominado de fator de rajada, sempre analisado na categoria II), $b = 0,85$ e $p = 0,125$, a uma altura $z = 3,00$ m (para estudos próximos à altura da cobertura), tem-se:

$$S_2 = bF_r \left(\frac{z}{10}\right)^p = (0,85)(0,98) \left(\frac{3,00}{10}\right)^{0,125} = 0,72 \quad \text{Eq. 1}$$

E o fator estatístico para residências é dado por $S_3 = 1,00$. Assim, temos a velocidade característica v_k :

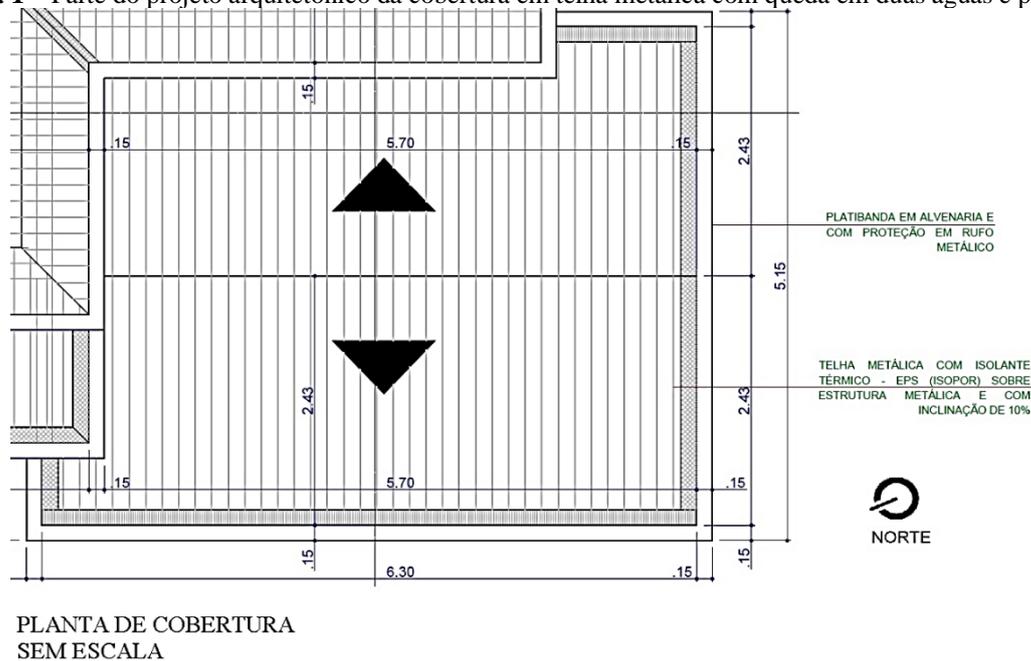
$$v_k = v_0 S_1 S_2 S_3 = (47)(1,00)(0,72)(1,00) = 33,84 \text{ m/s} \quad \text{Eq. 2}$$

Por sua vez, a pressão dinâmica ou pressão de obstrução do vento é obtida abaixo:

$$q = 0,613 v_k^2 = 0,613(33,84)^2 = 701,97 \text{ N/m}^2 \quad \text{Eq. 3}$$

Apenas duas águas da residência localizada no bairro Santa Fé, de Dourados - MS, serão analisadas a seguir, dispostas a direita da fachada principal, onde consta a garagem.

Figura 1 – Parte do projeto arquitetônico da cobertura em telha metálica com queda em duas águas e platibanda



Fonte: Elaborado pelos Autores.

A direção dos ventos predominantes na cidade de Dourados/MS é a nordeste (DA SILVA; VIEIRA, 2016). Analisando a Figura acima, a respectiva direção é mais próxima da direção horizontal da planta, perpendicular a fachada direita representada. Essa condição de cálculo foi adotada com a finalidade de propiciar uma aplicação direta dos coeficientes de pressão fornecidos pela norma empregada neste estudo.

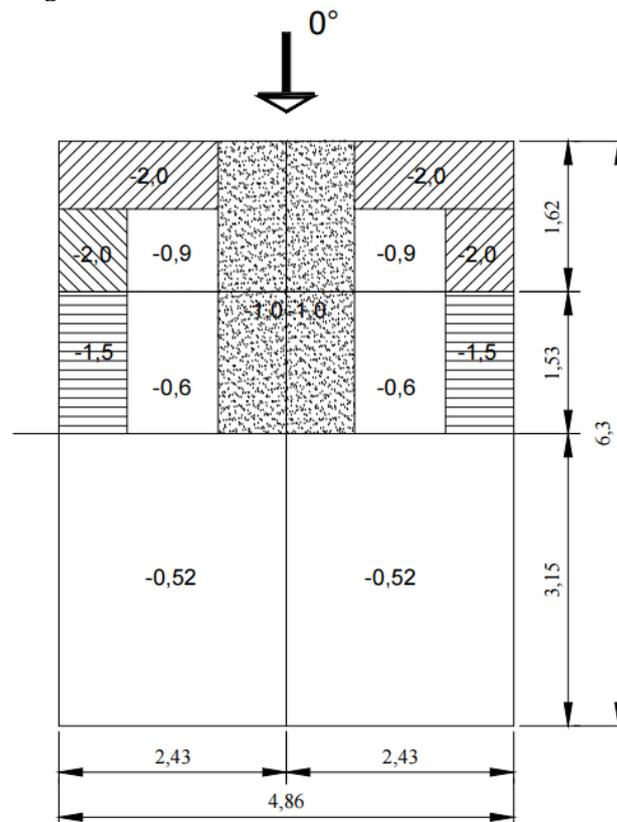
Adiante serão citados os coeficientes de pressão externos para o telhado. Conforme a direção dos ventos predominantes, foi optado por obter as pressões efetivas na cobertura da fachada direita, considerada a mais prejudicada pelos efeitos dinâmicos da interação fluido-estrutura, onde direção dos ventos predominantes na região de Dourados-MS é a nordeste. Logo, a direção analisada de incidência do vento é a correspondente a $\alpha = 0^\circ$, dentre as disposições oferecidas pela NBR – 6123, é mais próxima da direção dos ventos predominantes do município.

Como a espessura da parede que forma a platibanda é constante de 15 cm, a adoção dessas medidas não interferem no cálculo. Será analisada a pressão efetiva real, e a sua relação com a variação da altura da platibanda ou da declividade do telhado na extremidade lateral e inferior da garagem, porém, não serão consideradas as espessuras da platibanda, dado que a zona crítica do telhado é de 72,9 cm, superior a 15 cm.

Tem-se que $a \geq b$, assim com as ponderações mencionadas anteriormente, $a = 6,30 m$ e $b = 4,86m$. A zona crítica do telhado foi determinada sabendo que deve ser adotado o menor valor entre h e $0,15b$. A altura h refere-se a distância vertical entre o nível do terreno e o início do telhado, aproximada por $h = 3,00 m$. Os parâmetros necessários para a obtenção dos coeficientes de pressão externa nos telhados são a altura relativa h/b , sendo $h/b = 3/4,86 = 0,62$, indicando a segunda linha da Tabela 5 da NBR – 6123. Também necessita-se da inclinação θ do telhado, em que $\theta = 5,71^\circ$, entretanto, foi adotado para cálculos como $\theta = 5^\circ$.

A partir desses parâmetros relacionados as dimensões da edificação e da disposição da cobertura, para a região EG obtém-se $c_e = -0,9$ e para FH tem-se $c_e = -0,6$. Como dispõe-se da razão $a/b = 6,30/4,86 = 1,30$, e a norma preconiza c_e para a região IJ igual ao da região FH se $a/b = 1$, $c_e = -0,2$ para $a/b \geq 2$ e manifesta a necessidade de interpolação caso o valor de a/b esteja no intervalo $1 < a/b < 2$, o valor do coeficiente de pressão externa para esse caso é $c_e = -0,52$.

Figura 2 – Distribuição dos coeficientes de pressão externos em telhados de duas águas, em função das dimensões do telhado, da sua inclinação e do ângulo de incidência do vento



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os coeficientes de pressão externos do lado esquerdo e inferior do telhado na Figura 2 não são interessantes do ponto de vista prático, pois nestas há contato com outras águas da cobertura da residência e com isso pode-se inferir que os coeficientes de pressão reais nessas regiões serão inferiores aos apresentados nas regiões críticas e em G e H . Desse modo, os maiores coeficientes estarão na face superior. Com a finalidade de análise, adota-se para estudo somente a face superior esquerda. Nessa região, tem-se o local crítico com uma largura de $y = 0,729 m$, com $c_e = -2,0$.

Calculando somente a região crítica e considerando a distribuição uniforme dos coeficientes nesse local. A pressão efetiva Δp_e é obtida pelo produto entre a diferença do coeficiente de pressão externo $c_e = -2,0$ e o interno $c_i = -0,2$ na região correspondente e a pressão dinâmica $q = 701,97 N/m^2$. Onde o coeficiente de pressão interno igual a $-0,2$ deve-se a consideração do pior caso no qual a cobertura não possui aberturas em suas imediações, apesar de o local ser isolado por meio de laje, emprega-se o valor mencionado considerando que o isolamento não seja perfeito, com índice de permeabilidade menor que 30 % (ABNT, 1988; GONÇALVES *et al.*, 2007). Assim:

$$\Delta p_e = (c_e - c_i)q = (-2,0 + 0,2)(701,97) = -1263,55 N/m^2 \quad \text{Eq. 4}$$

Observe que até o presente instante do estudo foram desconsiderados o efeito da platibanda. A altura de $3,0 m$ utilizada refere-se ao pé direito, portanto a ação da pressão efetiva ocorre a essa altura, e esta considera todos os efeitos particulares a edificação, como a sua forma, a disposição de seus elementos internamente e externamente e as suas dimensões.

4.2 PRESSÃO DINÂMICA VARIÁVEL

A fator de rugosidade do terreno pode ser descrito em função da altura em relação ao nível do terreno, por meio da seguinte equação:

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

Os parâmetros b e p serão os mesmos expostos na seção anterior. Então, a categoria IV e a classe B da edificação, implica nos parâmetros $b = 0,85$ e $p = 0,125$. O fator de rajada F_R é constante na categoria II, de valor $F_r = 0,98$. Aplicando esses valores na equação acima, surge:

$$S_2 = (0,85)(0,98) \left(\frac{z}{10}\right)^{0,125} = 0,833 \left(\frac{z}{10}\right)^{0,125} \quad \text{Eq. 6}$$

Como a altura z refere-se ao nível do solo, e pretende-se estudar o efeito da altura da platibanda, juntamente com a inclinação da cobertura, na variação da pressão dinâmica, o cálculo pode ser desenvolvido de maneira mais prática se inserida a altura de 3,00 m do nível do solo ao nível inferior da platibanda. Para isso, faz-se $z = 3,00 + y$, onde y é altura da platibanda a partir de seu nível inferior, com isso:

$$S_2(y) = 0,833 \left(\frac{3,00 + y}{10}\right)^{0,125} = \frac{0,833}{10^{0,125}} (3,00 + y)^{0,125} = 0,625(3,00 + y)^{0,125} \quad \text{Eq. 7}$$

O fator de rugosidade em função de y é incorporado a velocidade característica, mantendo os dados topográficos, estatísticos e de velocidade básica do vento expostos anteriormente, isto é, $S_1 = 1,00$, $S_3 = 1,00$ e $v_0 = 47 \text{ m/s}$, dessa forma:

$$v_k(y) = (47)(1,00)[0,625(3,00 + y)^{0,125}](1,00) = 29,375(3,00 + y)^{0,125} \quad \text{Eq. 8}$$

Conhecendo a velocidade característica, a pressão dinâmica é obtida mediante:

$$\begin{aligned} q(y) &= 0,613(v_k(y))^2 = 0,613(29,375(3,00 + y)^{0,125})^2 = \\ &= 528,95 (3,00 + y)^{0,25} \end{aligned} \quad \text{Eq. 9}$$

Repare que de acordo com a enunciação desenvolvida acima, a pressão dinâmica está em função da altura da platibanda, onde são considerados os efeitos da velocidade do vento, topografia, rugosidade, dimensões da edificação e da ocorrência segundo parâmetros estatísticos.

4.3 PRESSÃO EFETIVA VARIÁVEL

4.3.1 Cobertura sem platibanda

Na determinação da pressão efetiva apenas há dependência de seu valor à altura y da platibanda e à diferença entre os coeficientes de pressão externa e interna. Esses coeficientes também dependem da inclinação do telhado, além das dimensões da edificação e da existência de abertura (SEIFERT *et al.*, 2006). Se os coeficientes adotados forem $c_e = -2,0$ e $c_i = -0,2$, a

equação para a pressão efetiva corresponderá a inclinação de aproximadamente igual 5°. Desenvolvendo o estudo para o caso sem obstrução, considera-se a inexistência de platibandas, e a altura y indica somente a altura a partir de 3,00 m.

O mesmo cálculo pode ser realizado comparando diferentes inclinações de telhados. Com a finalidade de comparações, obtém-se os coeficientes para as inclinações de 10°, 15° e 20°.

Em 10°, tem-se para a região crítica de G (representada em E) na Figura 2, os coeficientes $c_e = -2,0$ e $c_i = -0,2$, assim:

$$\Delta p_{e1}(y) = (-2,0 + 0,2)[528,95 (3,00 + y)^{0,25}] = -952,11(3 + h)^{0,25} \quad \text{Eq. 10}$$

A 15° de inclinação, a cobertura apresenta $c_e = -1,8$ e $c_i = -0,2$ na região analisada, resultando:

$$\Delta p_{e2}(y) = (-1,8 + 0,2)[528,95 (3,00 + y)^{0,25}] = -846,32(3 + h)^{0,25} \quad \text{Eq. 11}$$

E a 20°, os coeficientes são $c_e = -1,5$ e $c_i = -0,2$, fornecendo:

$$\Delta p_{e3}(y) = (-1,5 + 0,2)[528,95 (3,00 + y)^{0,25}] = -687,64(3 + h)^{0,25} \quad \text{Eq. 12}$$

Se $y = 0$, na altura de 3,0 m, são encontrados valores decrescentes de pressões efetivas conforme é aumentada a declividade da cobertura. Resultando $\Delta p_{e1}(y) = -1252,98 \text{ N/m}^2$, $\Delta p_{e2}(y) = -1123,15 \text{ N/m}^2$ e $\Delta p_{e3}(y) = -904,98 \text{ N/m}^2$. Assim, quanto maior a inclinação do telhado, menor o efeito de sucção, porém, é necessário atentar-se as inclinações máximas recomendadas a cada tipo de telha.

4.3.2 Cobertura com platibanda

Ao considerar o efeito da platibanda na magnitude das pressões efetivas pode-se recorrer a Tabela 4 da NBR 6123 (ABNT, 1988), onde são apresentados os coeficientes de pressão externa para paredes, onde no presente estudo são aplicados a platibandas. Os respectivos coeficientes adotados se referem a face direita da garagem em planta baixa na Figura 1.

Não foi adotado o coeficiente e pressão externa médio, pois somente aplica-se a paredes paralelas a direção de incidência do vento, e nesse estudo avalia-se a direção do vento correspondente a 0°. Desse modo, para a fachada em estudo aplica-se +0,7. Dispondo da carga

dinâmica do vento $q(y) = 528,95(3,00 + h)^{0,25}$, determina-se a pressão efetiva devido a platibanda:

$$\Delta P = (0,7)528,95 (3 + h)^{0,25} = 370,265 (3 + h)^{0,25} \quad \text{Eq. 13}$$

Onde h denota a altura da platibanda.

A pressão efetiva na platibanda é positiva, isto é, age no sentido de compressão a partir do lado externo (sinal positivo), contrário às forças de sucção no telhado.

Assim, para o cálculo da pressão efetiva em diferentes inclinações de telhado, basta somar $370,265 (3 + h)^{0,25}$ com a função correspondente a sucção na cobertura para a declividade requerida.

Então:

$$\Delta P = 370,265 (3,00 + h)^{0,25} - 952,11 (3 + h)^{0,25} = -581,85 (3,00 + h)^{0,25} \quad \text{Eq. 14}$$

$$\Delta P = 370,265 (3,00 + h)^{0,25} - 952,11 (3 + h)^{0,25} = -581,85 (3,00 + h)^{0,25} \quad \text{Eq. 15}$$

$$\Delta P = 370,265 (3,00 + h)^{0,25} - 846,32 (3 + h)^{0,25} = -476,06 (3,00 + h)^{0,25} \quad \text{Eq. 16}$$

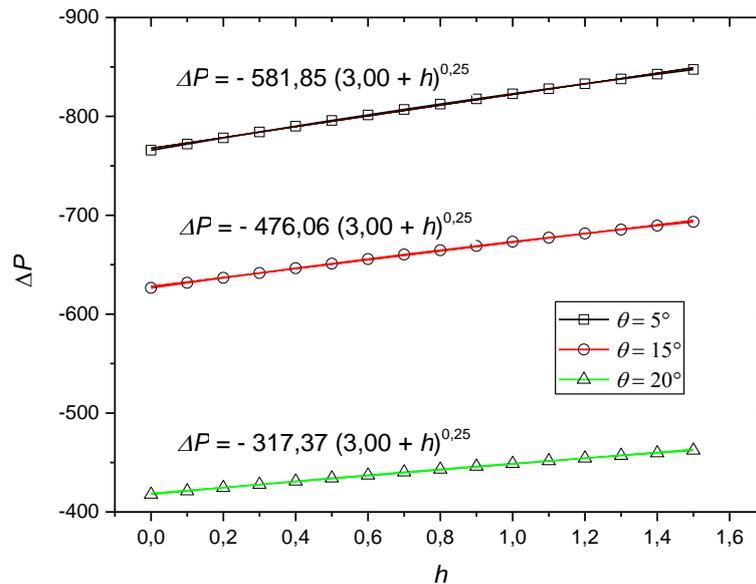
$$\Delta P = 370,265 (3,00 + h)^{0,25} - 687,64(3 + h)^{0,25} = -317,37 (3,00 + h)^{0,25} \quad \text{Eq. 17}$$

Onde as Eq. 14, Eq. 15, Eq. 16 e Eq. 17 acima referem-se as inclinações de telhado de 5°, 10°, 15° e 20°, respectivamente.

Como as declividades de 5° e 10° possuem as mesmas curvas de pressão específica e pretende-se avaliar as principais distinções entre as curvas para diferentes declividades, adota-se somente as declividades de 5°, 15° e 20°, devido a situação real apresentar pressões efetivas semelhantes entre 5° e 10°.

As Eq. 14, Eq. 16 e Eq. 17 são representadas graficamente na Figura 3, o que permite analisar a variação da pressão efetiva conforme a variação da altura da platibanda e simultaneamente comparar essas características entre coberturas de declividades distintas.

Figura 3 – Gráfico da variação da pressão efetiva conforme a variação da altura da platibanda, em diferentes declividades de cobertura



Fonte: Elaborado pelos Autores.

É usual a adoção de 10 % de declividade para telhas metálicas, devendo-se evitar inclinações inferiores a 5 %. Por isso, pode-se comparar a variação da pressão efetiva no telhado da edificação em análise tanto para o valor $\theta = 5^\circ$ (10 %), adotado na edificação analisada, como para valores superiores, como $\theta = 15^\circ$ e $\theta = 20^\circ$, permitindo fazer inferências a partir da pressão efetiva para diferentes alturas de platibanda em diferentes declividades do telhado.

Na Figura 3, o aumento da altura h da platibanda implica no aumento da pressão efetiva negativa no telhado, ou seja, da sucção sobre o mesmo. Essa característica pode ser prevista, pois sabe-se que a pressão do vento sobre uma parede a barlavento implica na sucção a sota-vento (MOONEGHI *et al.*, 2014). Essa mesma tendência é verificada ao diminuir a inclinação do telhado, quanto mais plana a superfície de incidência do vento, maior é a força de sucção (HU *et al.*, 2017).

Na edificação mencionada, a telha galvalume empregada de inclinação de 10 % ou 5°, demonstra baixa viabilidade quando a pressão do vento é analisada, pois a magnitude da sucção torna-se maior devido à baixa declividade em que estas geralmente são instaladas. Na inclinação de 20°, são apresentados os menores valores de sucção. Contudo, a inclinação de 5° é usualmente empregada em telhas galvalume.

Apesar dos resultados apresentados, um telhado com alta declividade pode torna-se inviável tanto pela declividade recomendada pelo fabricante, idealizada para o fluxo de águas pluviais sem uma velocidade excessiva, como pela perda da capacidade de a platibanda ocultar a cobertura, pois

as estruturas de fixação tornam-se mais altas, com perfis mais robustos, e as ligações necessitam ser mais resistentes a esforços de tração e compressão. Logo, com o intuito de proporcionar maior rigidez a estrutura de suporte do telhado, o custo total da edificação pode tornar-se mais elevado.

Neste caso, como pode ser inferido pelo estudo de Vanderlei *et al.* (2019), também é preciso atentar-se a existência e posição das aberturas, assim como suas dimensões, além do conforto lumínico e térmico proporcionado, onde este último fator, quando analisado sistematicamente, alcança os melhores resultados quanto a conservação de energia em coberturas brancas, um quesito preponderante tratando-se de custo-benefício, mas ainda pouco efetivamente considerado em projetos de coberturas de residências de padrão baixo (DURANTE *et al.*, 2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da força do vento em edificações é fundamental em localidades onde as velocidades do vento são elevadas. Esse estudo geralmente é realizado somente em edificações esbeltas e altas. Nesses casos, haverá economia no custo final da obra, sendo obtidas estruturas menos robustas. Apesar de a presente edificação analisada não possuir as características em que esse estudo se mostra necessário, possibilita compreender a interação entre o vento e a cobertura com platibanda.

Foi verificado que no telhado haverá sucção, crescente conforme a diminuição da declividade do telhado ou o aumento da altura da platibanda. Para viabilizar sua construção, sem comprometer o projeto executivo ou arquitetônico, é necessário analisar os casos em que os efeitos do vento devem ser considerados, ou podem ser desprezados, adaptando o projeto as condições específicas da localidade da obra e aos recursos disponíveis.

Deve-se salientar que esta pesquisa foi conduzida considerando os parâmetros, as metodologias e as observações próprias da NBR 6123 – Forças Devidas aos Ventos em Edificações de 1988, dado que sua realização do estudo foi anterior a versão corrigida 2 da referida norma e confirmada 01 de novembro de 2019. Contudo, pode-se verificar a contribuição ao desenvolvimento de projetos de coberturas, avaliando os efeitos produzidos pelo vento integralmente aos esforços induzidos na estrutura em conjunto com a variação dos parâmetros de inclinação da cobertura e altura da platibanda. Assim, pode ser percebida a especificidade do tema abordado, o que torna o estudo relevante para discussão mesmo em atualizações posteriores da NBR 6123.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento em edificações**, NBR 6123, ABNT, Rio de Janeiro, 84 p., 1988.
- BLESSMANN, J. **Ação do vento em telhados**. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1991.
- 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.
- DA SILVA, R. L.; VIEIRA, M. M. Direção predominante, velocidade do vento e suas frequências de ocorrência em Dourados-MS. **Energ. Aric.**, Botucatu, v. 31, n. 4, p. 348-355, out.-nov., 2016.
- 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**, v. 27, n. 13, p. 1-11, June 2018.
- DURANTE, L. C.; JAUDY, L. F. R.; CALLEJAS, I. J. A.; ROSSETI, K. A. C. Conservação de energia em habitação de interesse social: um estudo aplicado ao sistema de cobertura. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 21226-21243, Oct. 2019.
- GONÇALVES, R. M.; DE SALES, J. J.; MALITE, M.; MUNAIAR NETO, J. **Ação do vento nas edificações: Teoria e exemplos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2007. 138 p.
- HAN, G.; SREBRIC, J.; ENACHE-POMMER, E. Different modeling strategies of infiltration rates for an office building to improve accuracy of building energy simulations. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 288-295, Jan. 2015.
- HU, G.; TSE, K.T.; SONG, J.; LIANG, S. Performance of wind-excited linked building systems considering the link-induced structural coupling. **Engineering Structures**, v. 138, p. 91-104, May 2017.
- LEE, DONG-SEOK; KIM, SEUNG-JIN; CHO, YOUNG-HUM; JO, JAE-HUN. Experimental study for wind pressure loss rate through exterior venetian blind in cross ventilation. **Energy and Buildings**, v. 107, p. 123-130, Nov. 2015.
- MAKOWSKI, D. G. **Ação do vento em coberturas isoladas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- MANFRIM, S. T. **Estudo numérico para a determinação das pressões devidas à ação do vento em edifícios industriais**. 2006. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira.
- MOONEGHI, M. A.; IRWIN, P.; CHOWDHURY, A. G. Large-scale testing on Wind uplift of roof pavers. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 128, p. 22-36, May 2014.

NUNES, P. E. V. **Estudo numérico para a determinação das pressões devidas à ação do vento em edifícios industriais**. 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.

PEREIRA, L. A.; AMORIM, M. A. S.; ALMEIDA, T. C.; BENATI, T. I.; DA CRUZ, R. B. C. Análise da Influência dos Esforços de vento em Coberturas em Função da Variação da Inclinação. **Engenharia Estudo e Pesquisa**, v. 17, n. 2, p. 51-59, jul./dez. 2017.

PRAVIA, Z. M. C.; CHIARELLO, J. A. O programa VisualVentos: Determinação de forças devidas ao vento em edificações de base retangular e cobertura a duas águas segundo a NBR 6123 devidas ao vento em edificações de base retangular e cobertura a duas águas segundo a NBR 6123/. *In: XXXI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*, 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2003. 9 p.

SEIFERT, J.; LI, Y.; AXLEY, J.; RÖSLER, M. Calculation of wind-driven cross ventilation in buildings with large openings. **Journal of Wind Engineering**, v. 94, n.12, p. 925-947, dec. 2006.

VANDERLEI, P. S.; DA SILVA, L. C.; GONÇALVES, R. B. Desempenho geométrico de um brise soleil: um estudo sobre seu impacto na iluminação e ventilação natural em uma sala de aula. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 16414-16425, sep. 2019.