

Análise da Influência dos Esforços de Vento em Coberturas em Função da Variação da Inclinação

Livia Arantes Pereira¹

Mariana Aparecida Silva Amorim²

Thamirys Carvalho Almeida³

Thais Iamazaki Benati⁴

Rafael Barreto Castelo da Cruz⁵

Resumo

A forma que a edificação se comporta devido à ação do vento pode pôr em risco a segurança e solidez da construção. Atualmente alguns autores apontam que os projetos arquitetônicos têm usado coberturas com inclinações cada vez menores, materiais mais leves, flexíveis e com vãos maiores tornando-os mais sensíveis à ação do vento. Um único acidente desses, isoladamente, não representa muito na economia nacional, mas somados, os prejuízos causados pelos inúmeros acidentes chegam a um valor significativo. Para evitar e minimizar esses acidentes é fundamental entender como o vento se comporta diante de certas variáveis, tais como a inclinação, a incidência do vento e sua velocidade. Para tanto, foi escolhido para o estudo um galpão modelo, fixadas as condições topográficas, forma e proporção e região, com vento de velocidade característica 52 m/s. O trabalho consiste em analisar os ventos incidentes de 0° e 90°, com a variação da inclinação da cobertura de 0° a 60° e levando em consideração os coeficientes de pressão e de forma internos seguindo as orientações da NBR 6123:1988. A análise foi realizada por região e com base nos resultados obtidos foi possível notar comportamentos distintos da teoria abordada, tais como as regiões incidentes de sobrepressão no barlavento para ventos incidentes a 90°.

Palavras-chave: Vento; Coberturas; Inclinações, Galpão.

1 Introdução

O estudo da ação do vento em coberturas é relevante por ser uma parte da edificação suscetível a danos, tais como arrancamentos parciais ou totais da cobertura e de partes da estrutura do telhado, quando não devidamente considerados seus efeitos (BLESSMANN, 2001).

Essas ações causadas pelo vento podem ser sucções ou sobrepressões, ambas podendo variar seus efeitos dependendo das características da edificação e do local onde está inserida.

As sucções são pressões efetivas abaixo da pressão atmosférica de referência caracterizando-se pelos coeficientes de pressão e de forma negativos, e

as sobrepressões são pressões efetivas acima da pressão atmosférica caracterizando-se pelos coeficientes de pressão e de forma positivos (ABRANTES, 2016).

Geralmente as ações do vento mais nocivas à cobertura são as sucções, principalmente em telhados pouco inclinados. Com o aumento dessa inclinação os valores de sucções tendem a diminuir, porém, em coberturas com maiores inclinações podem ocorrer o surgimento de sobrepressões em partes dela (BLESSMANN, 1991).

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento de uma cobertura com diferentes inclinações diante à ação do vento, reunindo seus fatores de influência e suas ações em estruturas, determinando assim uma faixa de inclinação ideal.

1 Graduando em Engenharia Civil na Universidade São Judas Tadeu – USJT – São Paulo – SP, Brasil.

2 Graduando em Engenharia Civil na Universidade São Judas Tadeu – USJT – São Paulo – SP, Brasil.

3 Graduando em Engenharia Civil na Universidade São Judas Tadeu – USJT – São Paulo – SP, Brasil.

4 Graduando em Engenharia Civil na Universidade São Judas Tadeu – USJT – São Paulo – SP, Brasil.

5 M. Sc. em Engenharia Civil e Docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade São Judas Tadeu – USJT – São Paulo – SP, Brasil. Prof.rafaelcruz@usjt.br

2 Metodologia

Para atingir os objetivos deste trabalho foi realizada uma análise teórica das solicitações de vento atuantes em um telhado de duas águas de um galpão modelo em função da sua inclinação, essa variando de 0° até 60°. Por meio de levantamento bibliográfico na norma nacional e em referências bibliográficas, foram reunidos os fatores de influência do vento e suas ações em estruturas. O método de cálculo seguiu as recomendações da NBR6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações.

Foram analisados gráficos das solicitações de vento para cada inclinação, determinando assim, uma faixa de inclinação que apresentou os melhores resultados para o galpão modelo.

3 Ações devido ao vento

Segundo Blessmann (2009) as ações causadas pelo vento podem variar seus efeitos de acordo com fatores como a direção do vento, rugosidade e topografia do terreno, forma e proporção da edificação, inclinação e tipo de cobertura (planas ou curvas).

3.1 Ações locais

Também Pitta (1987) reforça que as ações locais são constituídas por altos valores de sucções que ocorrem em zonas não muito extensas. Ocorrem próximas das arestas, quinas de paredes e coberturas, principalmente para ventos incidindo obliquamente a uma fachada.

De acordo com Blessmann (1990) as ações locais mais violentas são causadas devida a formação de dois vórtices de topo que aparecem com vento incidindo aproximadamente 45°. Esses vórtices se desenvolvem de forma cônica ao longo de duas arestas do telhado, tendo seu início nas proximidades da quina mais a barlavento⁶.

São essas sucções causadas por esses vórtices, algumas vezes somadas a sobrepressões internas, as responsáveis pelos casos de arrancamentos totais ou parciais das coberturas, quando não é levado em consideração esse fenômeno (BLESSMANN, 2001).

3.2 Inclinações da cobertura

A inclinação do telhado, para a água de barla-

vento, influi tanto nas sucções locais para vento incidindo obliquamente como nos valores de sucções e sobrepressões médios e máximos para vento incidindo perpendicularmente a cumeeira (BLESSMANN, 2009).

Blessmann (1991) verificou experimentalmente que para ventos incidindo perpendicularmente a cumeeira aparecem valores maiores de sucção em telhados com inclinação de 8° a 12°, sendo que esses valores diminuem à medida que aumenta a sua inclinação. A partir de 35° pode ocorrer sobrepressão em partes da cobertura. A água de sotavento⁷ está sempre sujeita a sucções.

Segundo Manfrim (2006), valores de sucções muito altos podem aparecer próxima a cumeeira, mesmo na água de barlavento. Assim, é necessário que nessas zonas sejam convenientemente fixadas as telhas a fim de se evitar arrancamentos.

A altura da parede também exerce grande influência sobre as pressões na cobertura. Em geral, levando-se em consideração a influência da altura da parede e a inclinação do telhado, pode-se dizer que as pressões externas dependem da forma do escoamento nas vizinhanças da edificação (BLESSMANN, 2009).

A Figura 1 ilustra três estágios da forma do escoamento do ar, uniforme, obtidos dos ensaios de Irminge e Nokkentved. O primeiro estágio é no início do movimento do ar, o segundo é o estágio intermediário com um grande turbilhão formado a sotavento da edificação e no terceiro (estágio definitivo) com a esteira formada com um grande número de pequenos turbilhões. Os ensaios realizados para telhados com inclinação a 30° são representados pelas letras a), b) e c), para a inclinação a 45° as letras d), e) e f) e inclinação a 60° as letras g), h) e i).

3.3 Formas e proporções da edificação

Segundo Blessmann (2009), altas sucções em telhados e nas paredes podem ocorrer dependendo da forma e proporção da edificação. Isso ocorre quando o vento incide paralelamente a cumeeira, fazendo com que a zona a barlavento, tanto do telhado como da parede, fique submetida a essas elevadas sucções.

4 Descrição do Modelo

O modelo estudado seguiu as recomendações da NBR 6123:1988, para a determinação das pressões

6 Barlavento – região de onde o vento sopra, em relação a edificação analisada (ABRANTES, 2016).

7 Sotavento – região para onde o vento sopra, em relação a edificação analisada (ABRANTES, 2016).

estáticas atuantes no galpão, onde serão determinadas as ações do vento para ângulos de incidência de $\alpha = 0^\circ$ e $\alpha = 90^\circ$.

A Figura 2 representa o galpão modelo avaliado neste trabalho. É um galpão retangular (20,40 m x 40,40 m) como destacado em planta, altura 3,50 m conforme destacado no Corte AA e na fachada. Foi

considerada uma cobertura de duas águas com a inclinação variando de $\theta = 0^\circ$ a $\theta = 60^\circ$, tem a inclinação paralela ao menor vão. O projeto arquitetônico não tem beirais e platibandas. Também foi considerado um terreno plano sem obstruções ao escoamento do vento. As aberturas consideradas estão destacadas na Tabela 1 e também destacadas na Figura 2.

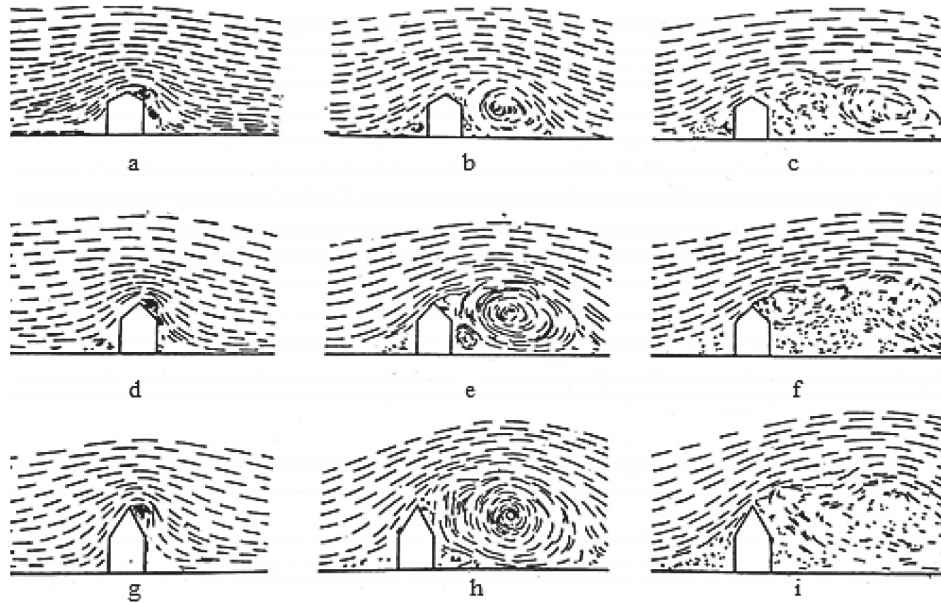


Figura 1 – Forma do escoamento – telhados a 30° , 45° e 60° .

Fonte: Blessmann (2009).

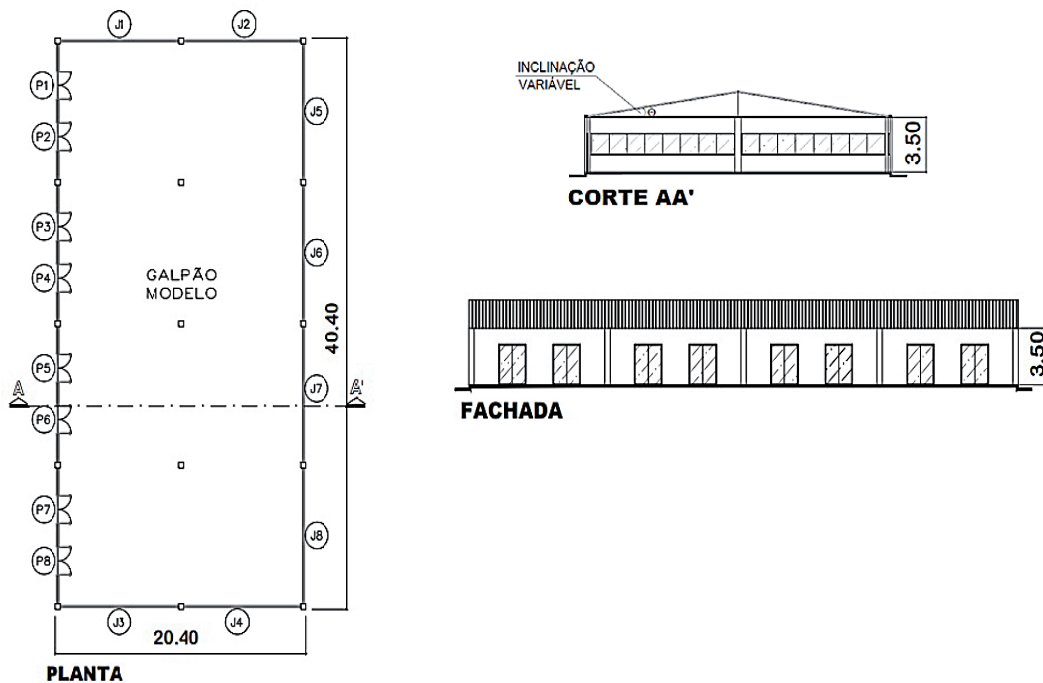


Figura 2 – Planta do galpão modelo – Corte AA' e Fachada.

Fonte: os autores (2017).

Tabela 1 – Esquadrias.

TABELA ESQUADRIAS			
Janelas/Portas	Largura (m)	Altura (m)	Peitoril (m)
J1/J2/J3/J4/J5/J6/J7/J8	9,60	1,30	1,10
P1/P2/P3/P4/P5/P6/P7/P8	2,00	2,50	–

Fonte: os autores (2017).

5 Detalhamento dos Cálculos

A velocidade básica do vento V_o adotada é de 52 m/s. A velocidade característica V_k , foi determinada de acordo com o item 4.2 (b) da NBR 6123:1988 por.

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (1)$$

onde S_1 , S_2 e S_3 são os fatores de correção da velocidade básica do vento. Para o S_1 (fator topográfico), adotou-se $S_1 = 1$, referente a terrenos planos e pouco ondulados de acordo com o item 5.2 (a) da NBR 6123:1988, o S_2 (fator rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno) foi determinado para categoria de terreno I, classe B referente a maior dimensão da edificação (40,40 m) e $Z = 3,50$ m correspondente à altura do galpão. Portanto, de acordo com a Tabela 2 da NBR 6123:1988, $S_2 = 1,04$ e para o S_3 (fator estatístico) adotou-se $S_3 = 0,95$ referente ao grupo 3 da Tabela 3 da NBR 6123:1988, referente a vida útil e estabilidade da edificação.

A pressão dinâmica do vento q foi determinada com a velocidade característica de acordo com o item 4.2 (c) da NBR 6123:1988 pela Equação 2.

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (2)$$

Os resultados obtidos a partir dessa análise são descritos na Tabela 2. Os coeficientes de pressão e de forma externos para paredes serão determinados com base nas relações dada por

$$\frac{H}{B} = \frac{3,5}{20,4} = 0,17 \therefore < \frac{1}{2} \text{ e } \frac{A}{B} = \frac{40,4}{20,4} = 1,98 \approx 2,00$$

Tabela 2 – Pressão dinâmica.

V_o (m/s)	V_k (m/s)	q (N/m ²)
52	51,376	1618

Fonte: os autores (2017).

De acordo com os valores obtidos foram extraídos os coeficientes da Tabela 4 da NBR 6123:1988, que permitiram sua sumarização na Tabela 3 apresentando os coeficientes de forma das paredes e os coeficientes de pressão (C_{pe}). Como $\frac{A}{B} = 2,00$ adota-se $C_e = -0,2$, para vento a 0° nas partes A_3 e B_3 .

A Figura 3 ilustra as regiões e os valores de coeficiente de forma e de pressão externos para paredes e para o vento incidindo a 0° e 90° . As letras (A1, B1, A2, B2, A3, B3, C, D, A, B, C1, D1, C2 e D2) indicam as faixas onde cada coeficiente irá atuar.

Os coeficientes de pressão e forma externos para o telhado foi determinado com base na relação geométrica:

$$\frac{H}{B} = \frac{3,5}{20,4} = 0,17 \therefore < \frac{1}{2}$$

De acordo com os valores obtidos foram extraídos coeficientes da Tabela 5 da NBR 6123:1988,

Tabela 3 – Coeficientes de forma e de pressão externos para paredes.

Altura relativa	Valores de C_e para								Cpe médio 
	$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
	A1 e B1	A2 e B2	C	D	A	B	C1 e D1	C2 e D2	
$2 \leq a/b \leq 4$	-0,8	-0,4	0,7	-0,3	0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1

Fonte: os autores (2017) adaptado da NBR 6123:1988.

sendo realizada a interpolação linear, quando necessária para os valores intermediários de inclinação do telhado, e assim sumarizada na Tabela 4, a qual apresenta os coeficientes de pressão e os de forma C_e , em função da relação h/b e das inclinações da cobertura θ variando de 0° a 60° , para cada região destacada na Figura 4. Como $\frac{A}{B} = 2,00$ adota-se $C_e = -0,2$, para vento a 0° nas partes I e J.

Como mais desfavoráveis, dentre os valores obtidos para cada direção, foi adotado os extremos correspondentes à máxima sucção interna e à máxima sobrepressão interna.

Portanto, para $\alpha = 0^\circ$, adota-se: $C_{pi} = -1,0$ e $C_{pi} = +0,8$ e para $\alpha = 90^\circ$ adota-se: $C_{pi} = -1,0$ e $C_{pi} = +0,8$. A pressão estática do vento P será determinada

de acordo com o item 4.2.1 e 4.2.2 da NBR6123:1988 pelas expressões

$$P = q (C_e - C_i) \quad (3)$$

$$P = q (C_{pe} - C_{pi}) \quad (4)$$

Foram determinadas as pressões estáticas para as regiões indicadas na Figura 4. Nas regiões EG, FH e IJ atuarão as pressões estáticas para os coeficientes de forma para vento a 0° , e nas regiões EFI e GHJ para vento a 90° . As regiões EG-1, EG-2, EG-3, FH-1 e FH-2 correspondem às zonas de alta sucção, onde atuarão as pressões estáticas para os coeficientes de pressão para vento a 0° , e as regiões EI-1, EI-2, FI e GHJ para vento a 90° .

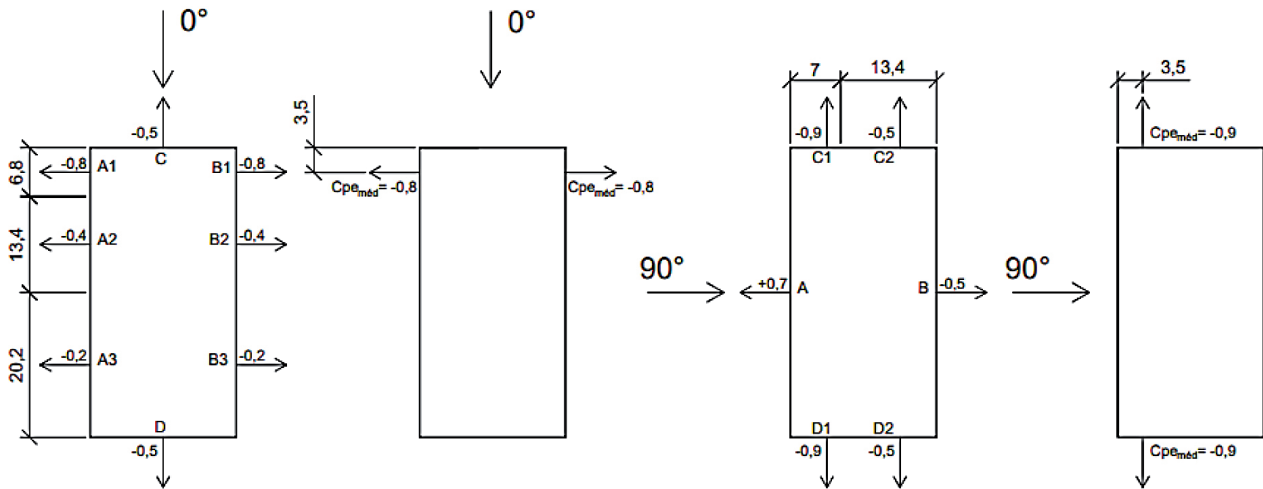


Figura 3 – Representação dos coeficientes de forma e pressão externos para a parede.

Fonte: os autores (2017).

Tabela 4 – Coeficientes de forma e de pressão externos para telhados.

Altura relativa	θ	Valores de C_e para				Cpe médio			
		A = 90°		A = 0°					
		EFI	GHJ	EG	FH				
$h/b \leq 1/2$	0	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2	-2	-2	-
	10	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4	-	-1,2
	20	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1	-	-	-1,2
	30	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8	-	-	-1,1
	40	+0,2	-0,47	-0,7	-0,6	-	-	-	-1,1
	50	+0,43	-0,53	-0,7	-0,6	-	-	-	-1,1
	60	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6	-	-	-	-1,1

Fonte: os autores (2017) adaptado da NBR 6123:1988.

Quadro 1 – Determinação dos coeficientes de pressão e de forma internos C_{pi}.

α	Quatro faces de igual permeabilidade	Abertura dominante em uma face e as outras faces de igual permeabilidade					
		Abertura dominante à barlavento	Abertura dominante à sotavento	Abertura dominante em uma face paralela ao vento			
				Fora da zona de alto C _{pe}			Na zona de alto C _{pe} médio
	Todas as aberturas fechadas	J1 e/ou J2 abertas, demais aberturas fechadas	J3 e/ou J4 abertas, demais aberturas fechadas	P2 aberta, demais aberturas fechadas	P3, P4 e/ou J6 abertas, demais aberturas fechadas	P5, P6, P7, P8, J7 e/ou J8 abertas, demais aberturas fechadas	J5 e/ou P1 abertas, demais aberturas fechadas
0°	-0,3 ou 0	+ 0,8 ou + 0,7*	- 0,3	- 0,8	- 0,4	- 0,2	- 0,9 ou 1,0*
	Todas as aberturas fechadas	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e/ou abertas, demais aberturas fechadas	J5, J6, J7 e/ou J8 abertas, demais aberturas fechadas	J2 e/ou J4 abertas, demais aberturas fechadas			J1 e/ou J3 abertas, demais aberturas fechadas
90°	- 0,3 ou 0	+ 0,8 ou + 0,7*	- 0,5	- 0,5			- 0,9 ou - 1,0*

*Conforme item 6.2.7 da NBR 6123:1988.

Fonte: os autores (2017).

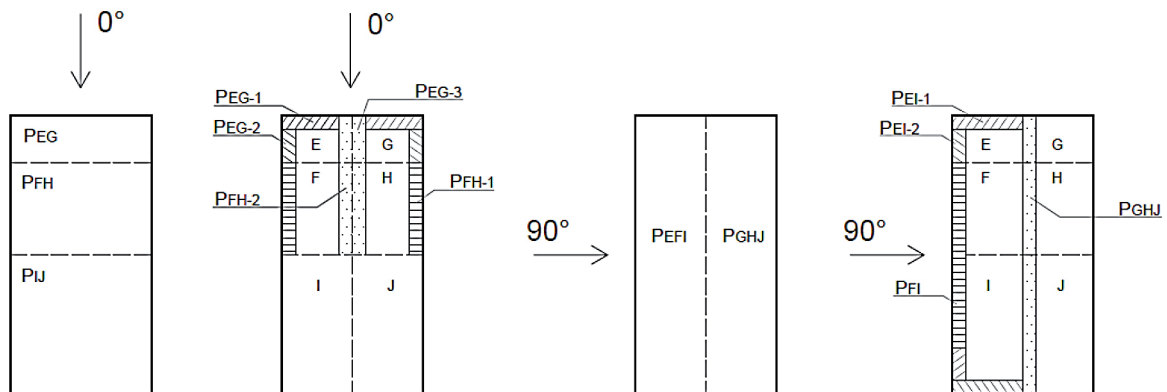


Figura 4 – Representação das pressões estáticas por regiões.

Fonte: os autores (2017).

5 Análises e Resultados

Os resultados obtidos no estudo realizado do galpão modelo estão representados nas Figuras de 5 a 12 em forma de gráficos variando-se as inclinações e para

cada envoltória (representando cada região) tem-se os esforços de vento em N/m², sofrendo variação devido à incidência do vento α , coeficientes de pressão e de forma internos C_{pi} e a inclinação do telhado θ .

Conforme a Figura 5 na região EG os maiores

valores de sucção foram de $-2588,82 \text{ N/m}^2$ para as inclinações de $\Theta = 0^\circ$ e $\Theta = 10^\circ$, e os menores valores obtidos foram de $-2427,01 \text{ N/m}^2$ da faixa de inclinação de $\Theta = 20^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$. Na região **FH** a faixa de inclinação de $\Theta = 10^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$ levou aos maiores valores de sucção de $-2265,21 \text{ N/m}^2$ e o menor valor foi de $-1941,61 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$. Para a região **IJ** todas as inclinações resultaram no mesmo valor de sucção de $-1618,01 \text{ N/m}^2$.

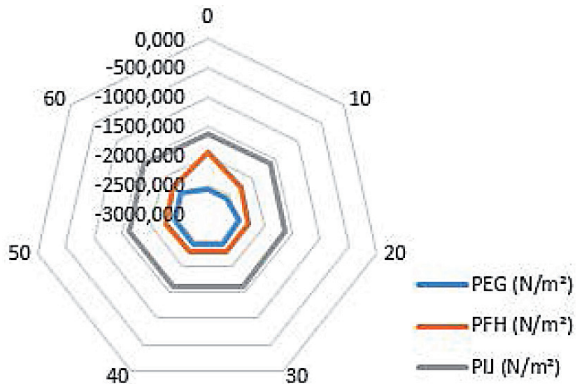


Figura 5 – Pressão estática para $C_e, \alpha = 0^\circ$ e $C_{pi} = +0,8$.

Fonte: os autores (2017).

Conforme a Figura 6 na região **EG** para faixa de inclinação de $\Theta = 20^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$ foram obtidos os maiores valores de sobrepressão de $485,40 \text{ N/m}^2$, e para $\Theta = 0^\circ$ e $\Theta = 10^\circ$ foram encontrados os menores valores de $323,60 \text{ N/m}^2$. Na região **FH** o maior valor de sobrepressão foi de $970,81 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$, e os menores valores foram de $647,20 \text{ N/m}^2$ para faixa de inclinação de $\Theta = 10^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$. Para a região **IJ** todas as inclinações resultaram no mesmo valor de sobrepressão de $1294,41 \text{ N/m}^2$.

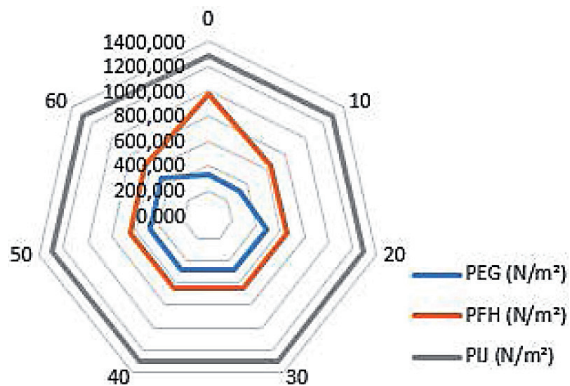


Figura 6 – Pressão estática para $C_e, \alpha = 0^\circ$ e $C_{pi} = -1,0$.

Fonte: os autores (2017).

Conforme a Figura 7 na região **EFI** o maior valor de sucção obtido foi de $-3236,02 \text{ N/m}^2$ para a

inclinação de $\Theta = 10^\circ$, e o menor valor obtido foi de $-161,80 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 60^\circ$. Na região **GHJ** o maior valor de sucção obtido foi de $-2265,21 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 60^\circ$, e o menor valor foi para faixa de inclinação de $\Theta = 0^\circ$ a $\Theta = 30^\circ$ de $-1941,61 \text{ N/m}^2$.

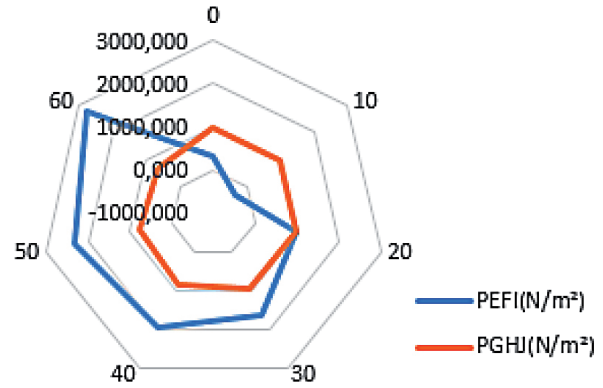


Figura 7 – Pressão estática para $C_e, \alpha = 90^\circ$ e $C_{pi} = +0,8$.

Fonte: os autores (2017).

Conforme a Figura 8 na região **EFI** o maior valor de sobrepressão foi de $2750,62 \text{ N/m}^2$ para inclinação de $\Theta = 60^\circ$, e o menor valor foi de $323,60 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$, e para a inclinação de $\Theta = 10^\circ$ foi encontrado um valor de sucção de $-323,60 \text{ N/m}^2$. Para a região de **GHJ** os maiores valores de sobrepressão foram para faixa de inclinação de $\Theta = 0^\circ$ a $\Theta = 30^\circ$ de $970,81 \text{ N/m}^2$, e o menor valor foi de $647,20 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 60^\circ$.

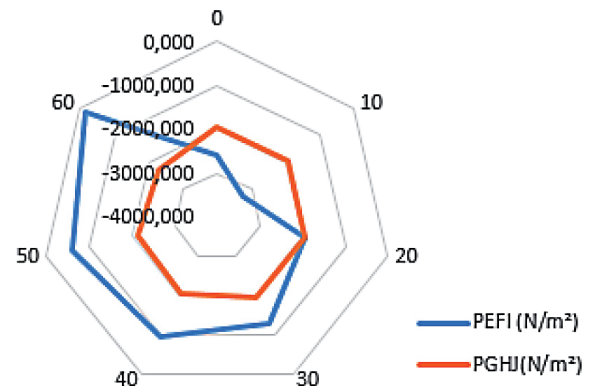


Figura 8 – Pressão estática para $C_e, \alpha = 90^\circ$ e $C_{pi} = -1,0$.

Fonte: os autores (2017).

Conforme a Figura 9 na região **EG-1** o maior valor de sucção foi de $-4530,43 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$, e para a inclinação de $\Theta = 30^\circ$ levou ao menor valor que foi de $-2588,82 \text{ N/m}^2$. A região **EG-2** também teve o maior valor de sucção para $\Theta = 0^\circ$ de $-4530,43 \text{ N/m}^2$, entretanto, o menor valor foi de $-3559,62 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 10^\circ$. Para a região **FH-1** o valor obtido foi de $-4530,43 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$.

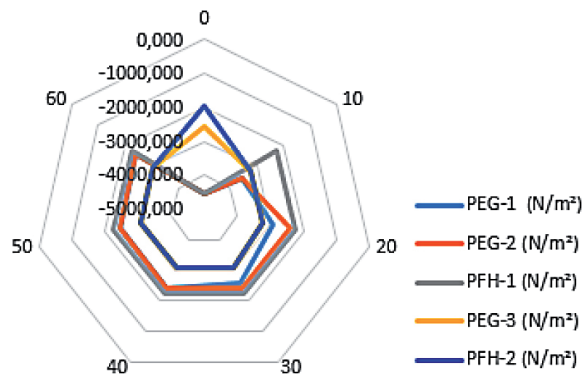


Figura 9 – Pressão estática para C_{pe} , $\alpha = 0^\circ$ e $C_{pi} = + 0,8$.

Fonte: os autores (2017).

A região **EG-3** apresentou os maiores valores de sucção para $\Theta = 10^\circ$ e $\Theta = 20^\circ$ de $-3236,02 \text{ N/m}^2$, e os menores valores foram de $-3074,22 \text{ N/m}^2$ para a faixa de inclinação de $\Theta = 30^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$. Para a região de **FH-2** os maiores valores de sucção foram de $-3236,02 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 10^\circ$ e $\Theta = 20^\circ$, e os menores valores de $-3074,22 \text{ N/m}^2$ para faixa de inclinação de $\Theta = 30^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$.

Conforme a Figura 10 na região **EG-1** apresentou para $\Theta = 0^\circ$ o maior valor de sucção de que foi de $-1618,01 \text{ N/m}^2$, e a melhor inclinação encontrada foi de $\Theta = 20^\circ$ que a solicitação foi nula. A região **EG-2** obteve o mesmo valor que **EG-1** de $-1618,01 \text{ N/m}^2$, porém, para a inclinação de $\Theta = 10^\circ$ e, o menor valor foi de $-647,20 \text{ N/m}^2$. A região **FH-1** o valor encontrado na zona de alta sucção foi de $-1618,01 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$.

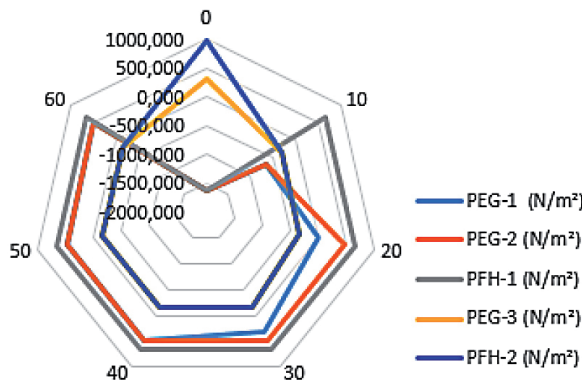


Figura 10 – Pressão estática para C_{pe} , $\alpha = 0^\circ$ e $C_{pi} = - 1,0$.

Fonte: os autores (2017).

Para a região **EG-3** o maior valor obtido foi de $-323,60 \text{ N/m}^2$ para inclinação de $\Theta = 10^\circ$ e $\Theta = 20^\circ$, e o menor valor foi de $-161,80 \text{ N/m}^2$ encontrado na faixa de inclinação de $\Theta = 30^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$. Na região **FH-2** os maiores valores de sucção foram de $-323,60 \text{ N/m}^2$,

nas inclinações de $\Theta = 10^\circ$ e $\Theta = 20^\circ$, e os menores valores foram de $-161,80 \text{ N/m}^2$ na faixa de inclinação de $\Theta = 30^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$.

Conforme a Figura 11 na região **EI-1** foi encontrado o maior valor de sucção de $-4530,43 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$, e o menor valor obtido foi de $-2588,82 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 30^\circ$. Na região **EI-2** manteve-se o maior valor de sucção $-4530,43 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$, e o menor valor foi de $-3559,62 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 10^\circ$.

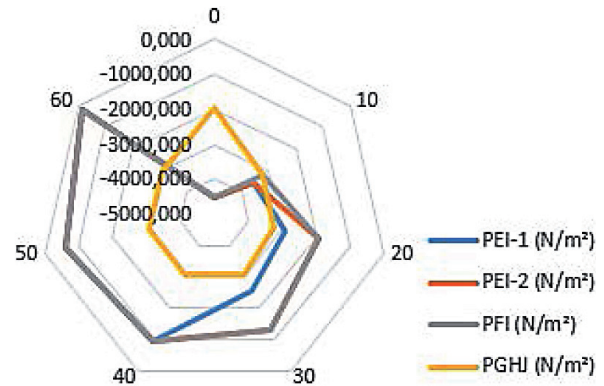


Figura 11 – Pressão estática para C_{pe} , $\alpha = 90^\circ$ e $C_{pi} = + 0,8$.

Fonte: os autores (2017).

Para a região **FI** o valor encontrado foi de $-4530,43 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$. Na região **GHJ** os maiores valores de sucção foram de $-3236,02 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 10^\circ$ e $\Theta = 20^\circ$ e, os menores valores foram de $-3074,22 \text{ N/m}^2$ encontrados na faixa de inclinação de $\Theta = 30^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$.

Conforme a Figura 12 na região **EI-1** apresentou o maior valor de sucção de $-1618,01 \text{ N/m}^2$ para a inclinação de $\Theta = 0^\circ$, e a inclinação de $\Theta = 20^\circ$ expressou o melhor resultado que foi nulo. A região **EI-2** obteve o maior valor de sucção de $-1618,01 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$, e para $\Theta = 10^\circ$ o menor valor de sucção de $-647,20 \text{ N/m}^2$.

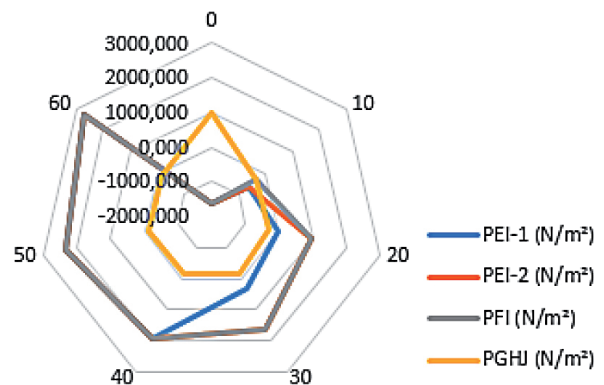


Figura 12 – Pressão estática para C_{pe} , $\alpha = 90^\circ$ e $C_{pi} = - 1,0$.

Fonte: os autores (2017).

Na região **FI** foi encontrado o valor de sucção de $-1618,01 \text{ N/m}^2$ para $\Theta = 0^\circ$. A região **GHJ** para $\Theta = 10^\circ$ e $\Theta = 20^\circ$ ocorreram os maiores valores de sucção de $-323,60 \text{ N/m}^2$, e para faixa de inclinação de $\Theta = 30^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$ os menores valores de $-161,80 \text{ N/m}^2$.

6 Conclusões

De acordo com o estudo realizado os valores mais nocivos de pressão estática dos C_e , para ventos incidindo a $\alpha = 0^\circ$ e $\alpha = 90^\circ$, foram os encontrados respectivamente, nas regiões EG e EFI. Os piores casos utilizaram $C_{pi} = +0,8$, isso se deu devido a soma da sobrepressão interna com a sucção externa, gerando valores maiores de sucção global.

Para o caso que se utilizou o $C_{pi} = -1,0$ ocorreu sobrepressão em todo o telhado para ventos incidindo a $\alpha = 0^\circ$, devido ao coeficiente interno atuar em um sentido oposto ao coeficiente de forma externo do telhado, e também apresentar um valor maior que os coeficientes de forma externos.

Em comparação com o estudo realizado por Blessmann para ventos incidindo a $\alpha = 90^\circ$, onde a água de sotavento está sempre sujeito a sucções, houve um resultado diferente, pois para o caso que se utilizou o $C_{pi} = -1,0$, ocorreu sobrepressão na água de sotavento, isso se deve devido ao C_{pi} ter um valor elevado, ocasionando uma sucção interna maior que a sucção externa.

Dentre todas as regiões analisadas, para as pressões estáticas referentes aos C_e , a região EFI correspondente a $\alpha = 90^\circ$ e $C_{pi} = +0,8$ apresentou o maior valor de sucção global para $\Theta = 10^\circ$, e também o menor valor de sucção para $\Theta = 60^\circ$. O maior valor de sobrepressão global foi encontrado na região EFI, à $\alpha = 90^\circ$ e $C_{pi} = -1,0$ para $\Theta = 0^\circ$. O menor valor de sobrepressão global foi da região EFI, à $\alpha = 90^\circ$ para $\Theta = 0^\circ$ e também da região EG, à $\alpha = 0^\circ$ para $\Theta = 0^\circ$ e $\Theta = 10^\circ$.

Para as pressões estáticas referentes aos C_{pe} , a região EG-1 correspondente à $\alpha = 0^\circ$ e $C_{pi} = +0,8$ apresentou o maior valor de sucção global para $\Theta = 0^\circ$ e à $\alpha = 90^\circ$ e $C_{pi} = +0,8$ as regiões EI-1 e EI-2 para $\Theta = 0^\circ$. O menor valor de sucção global correspondente a $\alpha = 0^\circ$ e $C_{pi} = -1,0$ ocorreu nas regiões EG-3 e FIJ-2 para $\Theta = 30^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$, e à $\alpha = 90^\circ$ e $C_{pi} = -1,0$ ocorreu na região GHJ para $\Theta = 30^\circ$ a $\Theta = 60^\circ$.

Com os resultados obtidos nas regiões analisadas cada uma apresentou diferentes faixas de inclinações ideais, sendo assim conclui-se que para determinação de uma faixa de inclinação ideal é necessário levar em consideração cada região separadamente.

Para trabalhos futuros sugerimos que seja realizada uma análise variando as velocidades, os coeficientes de forma e pressão interna e utilizando-se outros fatores de correção da velocidade básica do vento. Outra oportunidade de investigação para comprovação dos resultados é a simulação com protótipos em túnel de vento.

7 Referências Bibliográficas

- ABRANTES, C. A. **Forças Devidas ao Vento nas Edificações de Planta Retangular, Segundo NBR 6123:88**. Apostila da Disciplina: Estruturas de Madeira e Metálicas, Universidade São Judas Tadeu, USJT, São Paulo, 2016. 48 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6123:88. **Forças Devidas ao Vento em Edificações**. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1988. 66 p.
- BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das Construções**. Porto Alegre, Ed. SAGRA, 1990. 264 p.
- BLESSMANN, J. **Ação do Vento em Telhados**. Porto Alegre, Ed. SAGRA, 1991. 215 p.
- BLESSMANN, J. **Acidentes Causados Pelo Vento**. Porto Alegre, Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 144 p.
- BLESSMANN, J. **Ação do Vento em Telhados**. Porto Alegre, Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 368 p.
- MANFRIM, S. T. **Estudo Numérico para a Determinação das Pressões Devidas à Ação do Vento em Edifícios Industriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Estruturas) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, 2006. 114 p.
- PITTA, J. A. A. **Ações Devidas ao Vento em Edifícios de Andares Múltiplos, Edifícios com Coberturas do Tipo Shed e do Tipo Duas Águas com Lanternim**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 1987. 158 p.