

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA
ENGENHARIA CIVIL

LUCAS ALVES FERREIRA DE SOUZA

**DETERMINAÇÃO DE PRESSÃO DE VENTO EM GALPÕES NÃO
ISOLADOS**

GOIÂNIA
2022

LUCAS ALVES FERREIRA DE SOUZA

**DETERMINAÇÃO DE PRESSÃO DE VENTO EM GALPÕES NÃO
ISOLADOS**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Alberto Vilela Chaer.

GOIÂNIA

2022

**DETERMINAÇÃO DE PRESSÃO DE VENTO EM GALPÕES NÃO
ISOLADOS**

LUCAS ALVES FERREIRA DE SOUZA

Monografia defendida e aprovada em 15 de dezembro de 2022 pela banca examinadora a seguir:

Alberto Vilela Chaer

Luiz Álvaro de Oliveira Junior

Marco Antônio de Oliveira

A Deus, todo-poderoso e misericordioso pela minha vida, saúde e sabedoria.

Aos meus pais, que me apoiaram ininterruptamente durante todo o Curso.

Ao meu orientador, sem o qual não teria conseguido concluir esta difícil tarefa.

A meu irmão, familiares, amigos e professores que me acompanharam nesta etapa da vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela conclusão de mais uma etapa da minha vida.

À PUC Goiás que proporcionou as ferramentas necessárias para que eu pudesse chegar ao final desse ciclo.

Aos professores do curso de engenharia civil que contribuíram através dos conhecimentos transmitidos com um adequado aprendizado.

Em especial a meu orientador deste trabalho e professor de duas disciplinas, Professor Alberto Vilela Chaer pela atenção, disposição e orientação no curso e neste trabalho.

Aos colegas do curso pela vivência compartilhada e enriquecedora.

A meus amigos que fizeram parte desta etapa decisiva na minha vida.

E a toda minha família que sempre fez de tudo para que eu chegasse a esta fase da minha vida da forma mais satisfatória possível, apoiando e incentivando-me a cada momento durante todo o curso.

RESUMO

As ações do vento são importantes a fim de dimensionar adequadamente estruturas, como galpões, que é o objeto de estudo deste trabalho, prédios e outras edificações. A respeito de galpões, coeficientes de pressão aerodinâmicos, internos e externos, apresentam valores que remetem ao teor de ações dominantes, ou seja, são de alta relevância. Estes coeficientes carregam uma pressão dinâmica (relacionada a velocidade característica do vento) que ao incidir na estrutura sejam elevadas, em comparação com as cargas de peso próprio e sobrecarga de utilização. Este trabalho faz uma revisão bibliográfica sobre os conceitos principais sobre as ações de vento com ênfase em galpões simétricos de duas águas. As estruturas analisadas foram metálicas, porém, as ações de vento podem incidir com a mesma pressão dinâmica em qualquer estrutura. No presente trabalho, foi feita uma análise paramétrica de dois modelos diferentes de galpões com relação a suas aberturas, o que caracteriza a permeabilidade; analisaram-se três modelos diferentes propostos de alturas de pé direito e três modelos de inclinações distintas de telhado. Os produtos do trabalho, que são a monografia em si e as rotinas de cálculos de esforços dinâmicos dos ventos em treliças metálicas de galpões se constituem em um material didático a ser utilizado para o processo ensino-aprendizagem do assunto.

Palavras- chaves: ações do vento, coeficientes de pressão aerodinâmicos, galpões de duas águas, esforços dinâmicos do vento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1 – MAPA DAS ISOPLETAS	14
FIGURA 2.2 – CATEGORIAS DE RUGOSIDADE DO TERRENO	15
FIGURA 2.3 – CLASSIFICAÇÃO POR CLASSE DA EDIFICAÇÃO	15
FIGURA 2.4 – PARÂMETROS PARA DETERMINAR O FATOR S_2	16
FIGURA 2.5 – VALORES MÍNIMOS DO FATOR ESTATÍSTICO S_3	17
FIGURA 2.6 - LINHAS DE FLUXO REPRESENTANDO A TRAJETÓRIA DO VENTO	17
FIGURA 2.7 – LEGENDA PARA TABELA 2.1.....	19
FIGURA 2.8 - LEGENDA PARA TABELA 2.2	21
FIGURA 2.9 - AÇÃO EXTERNA DO VENTO EM EDIFICAÇÕES.....	23
FIGURA 3.1 – CORTES DO PROJETO; PLANTA BAIXA (À ESQ.) E VISTA FRONTAL (À DIR.).....	25
FIGURA 3.2 – VISTA FRONTAL (PARTE C).....	25
FIGURA 3.3 – VISTA FRONTAL (PARTE D).....	25
FIGURA 3.4 – VISTA LATERAL.....	26
FIGURA 3.5 – PERSPECTIVA ISOMÉTRICA	26
FIGURA 3.6 – PERSPECTIVA ISOMÉTRICA	27
FIGURA 3.7 – OPÇÃO ESCOLHIDA PARA A EFETUAÇÃO DOS CÁLCULOS NO SOFTWARE	30
FIGURA 3.8 – CPE NAS PAREDES	31
FIGURA 3.9 – CPI (MODELO 1; H= 1,0M; EDIFICAÇÕES EFETIVAMENTE ESTANQUES).....	32
FIGURA 3.10 – CPI (MODELO 2; H= 1,5M; EDIFICAÇÕES EFETIVAMENTE ESTANQUES).....	32
FIGURA 3.11 – CPI (MODELO 3; H= 2,0M; EDIFICAÇÕES EFETIVAMENTE ESTANQUES).....	33
FIGURA 3.12 – CPI (MODELO 1; H= 1,0M; EDIFICAÇÕES EFETIVAMENTE ESTANQUES).....	33
FIGURA 3.13 – CPI (MODELO 2; H= 1,5M; EDIFICAÇÕES EFETIVAMENTE ESTANQUES).....	34
FIGURA 3.14 – CPI (MODELO 3; H= 2,0M; EDIFICAÇÕES EFETIVAMENTE ESTANQUES).....	34
FIGURA 3.15 – OPÇÃO ESCOLHIDA PARA A EFETUAÇÃO DOS CÁLCULOS NO SOFTWARE	35
FIGURA 3.16 – CORTES DO PROJETO; PLANTA BAIXA (À ESQ.) E VISTA FRONTAL (À DIR.).....	36
FIGURA 3.17 – VISTA FRONTAL (PARTE C).....	36
FIGURA 3.18 – VISTA FRONTAL (PARTE D).....	37

FIGURA 3.19 – VISTA LATERAL	37
FIGURA 3.20 – PERSPECTIVA ISOMÉTRICA	37
FIGURA 3.21 – PERSPECTIVA ISOMÉTRICA	38
FIGURA 3.22 – CPE NAS PAREDES	39
FIGURA 3.23 – CPI (MODELO 1; H= 1,0M; DUAS FACES OPOSTAS PERMEÁVEIS E DUAS IMPERMEÁVEIS)	39
FIGURA 3.24 – CPI (MODELO 2; H= 1,5M; DUAS FACES OPOSTAS PERMEÁVEIS E DUAS IMPERMEÁVEIS)	40
FIGURA 3.25 – CPI (MODELO 3; H= 2,0M; DUAS FACES OPOSTAS PERMEÁVEIS E DUAS IMPERMEÁVEIS)	40
FIGURA 3.26 – CPI (MODELO 1; H= 1,0M; DUAS FACES OPOSTAS PERMEÁVEIS E DUAS IMPERMEÁVEIS)	41
FIGURA 3.27 – CPI (MODELO 2; H= 1,5M; DUAS FACES OPOSTAS PERMEÁVEIS E DUAS IMPERMEÁVEIS)	41
FIGURA 3.28 – CPI (MODELO 3; H= 2,0M; DUAS FACES OPOSTAS PERMEÁVEIS E DUAS IMPERMEÁVEIS)	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – COEFICIENTES DE PRESSÃO E DE FORMA, EXTERNOS, PARA PAREDES DE EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR	18
TABELA 2.2 – COEFICIENTES DE PRESSÃO E DE FORMA, EXTERNOS, PARA TELHADOS COM DUAS ÁGUAS, SIMÉTRICOS, EM EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR.....	20
TABELA 2.3 – COEFICIENTES DE PRESSÃO E DE FORMA INTERNOS EM EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR	22
TABELA 3.1 – VALORES DE DADOS DO PROJETO NOS TRÊS MODELOS PROPOSTOS: EM AZUL (MODELO 1); EM ROSA (MODELO 2); EM VERDE (MODELO 3);	28
TABELA 3.2 – VALORES DE DADOS DAS RELAÇÕES DIMENSIONAIS (H/ B E A/ B).....	28
TABELA 3.3 – INTERPOLAÇÃO DO CPE	29
PARA A3 E B3.....	29
TABELA 3.4 – VALORES DE CE (CPE) PARA O PROJETO EM QUESTÃO	29
TABELA 3.5 – VALORES DE CE NOS TRÊS MODELOS PROPOSTOS CALCULADOS POR INTERPOLAÇÃO: EM AZUL (MODELO 1); EM ROSA (MODELO 2); EM VERDE (MODELO 3);	30

LISTA DE SÍMBOLOS

A ou a: maior dimensão da edificação

a1: dimensão correspondente a face A1 e B1 da edificação

a2: dimensão correspondente a face A2 e B2 da edificação

B ou b: menor dimensão da edificação

b1: dimensão correspondente a face C e D da edificação

d: altura dos taludes ou morros para cálculo de S1

h: altura até o beiral da edificação

h1: altura da cobertura da edificação

p: distância entre pórticos

q: pressão dinâmica do vento

z: altura pressão do vento para cálculo de S1 para taludes ou morros

β : ângulo de inclinação da cobertura

\emptyset : ângulo de inclinação dos taludes ou morros para cálculo de S1

Cpe: coeficiente de pressão externo

Cpi: coeficiente de pressão interno

S1: fator topográfico

S2: fator de rugosidade

S3: fator estatístico

Vk: velocidade característica do vento

Vo: velocidade básica do vento

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	HISTÓRICO	12
1.1.	JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1.	FUNDAMENTOS DA ABNT NBR6123:1988	13
2.1.1.	PRESSÃO DINÂMICA DO VENTO	13
2.1.2.	FATOR TOPOGRÁFICO S1	14
2.1.3.	FATOR DE RUGOSIDADE S2	15
2.1.4.	FATOR ESTATÍSTICO S3	16
2.1.5.	DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES AERODINÂMICOS	17
2.1.6.	COEFICIENTES DE PRESSÃO EXTERNOS (C _E)	18
2.1.7.	COEFICIENTES DE PRESSÃO INTERNOS (C _{PI})	21
2.1.8.	COEFICIENTES RESULTANTES	23
2.1.9.	INFLUÊNCIA DA PERMEABILIDADE NAS PRESSÕES	24
3.	ANÁLISE PARAMÉTRICA	24
4.	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
	APÊNDICES	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 Histórico

As ações de pressão do vento influenciam na determinação dos dimensionamentos de estruturas treliçadas. Portanto, é de suma importância para o Engenheiro Civil adquirir conhecimento a respeito das dinâmicas de pressão dos ventos para ter ciência do máximo de situações possíveis com relação à elaboração de projeto de estruturas de obras como galpões metálicos e suas respectivas estruturas de tesouras.

A norma NBR ABNT 6123:1988 fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações. Segundo Ching, Onouye e Zuberbuler (2014 apud Nascimento et al., 2016, p. 5):

Os principais efeitos que o vento pode causar a uma estrutura são as solicitações laterais. Esses efeitos são a combinação da pressão direta, pressão de sucção e esforços de fricção. A pressão direta ocorre quando a superfície esta perpendicular a direção do vento. Já a pressão de sucção acontece quando a superfície é “puxada”, o que pode levar a danos principalmente em coberturas e fachadas. Por fim, as forças de fricção longitudinal surgem, devido às forças de atrito que são geradas pelo fenômeno da fricção, que ocorre quando o ar em movimento não para ao atingir a edificação e o fluxo se distribui em torno da mesma. (Ching, Onouye e Zuberbuler (2014 apud NASCIMENTO et al., 2016, p. 5)).

Os galpões ou edifícios industriais são construções, normalmente estruturadas em aço, geralmente de um único pavimento, constituídos de sistemas estruturais compostos por pórticos planos regularmente espaçados, com cobertura superior apoiada em sistemas de terças e vigas ou tesouras e treliças, com grandes áreas cobertas e destinadas para uso comercial (lojas, estacionamentos, centros de distribuição, centro de convenções, entre outros), uso industrial, agrícola ou outras aplicações (PRAVIA; DREHMER; JÚNIOR, 2010, p.10).

1.1. Justificativa e Objetivos

O presente trabalho, estimulado por aprofundar estudos com relação ao assunto de esforços em estruturas de galpões não isolados, conduziu os objetivos para a redação de

um material com análise paramétricas, para avaliar as influências da altura do galpão, bem como a inclinação do telhado na geração de coeficientes para pressão externa e pressão interna em paredes e telhados.

A parametrização dos dados serve de investigação para compreender como funcionam as influências das dimensões (relações dimensionais) das estruturas nos cálculos dos coeficientes aerodinâmicos (nos ventos de distintas direções) e como se comportam perante as regiões críticas, onde há maiores ações de vento ou maior comutação de valores de coeficientes comparadas as demais regiões, que também são observadas.

A base teórica principal foi a ABNT NBR 6123:1988 (salienta-se que este trabalho foi realizado antes da vigência da nova norma a ABNT NBR 6123:2019) e referências bibliográficas relativas ao tema. Foram sistematizados cálculos por meio de *softwares*, como por exemplo planilhas eletrônicas, confirmando e validando os resultados fornecidos pelo software educacional VisualVentos. assegurando que a referida implementação computacional é uma ferramenta confiável para a determinação das combinações de esforços nos pórticos que formam a estrutura edificada.

VisualVentos é um programa que determina as forças devidas ao vento em edificações de planta retangular e cobertura de duas águas, de acordo com a NBR6123 de 1988 em galpões não isolados.

Os desenhos de estrutura metálica, neste trabalho, têm apenas o intuito de exemplificação, afinal as análises de ações do vento que serão apresentadas servem para qualquer material de que seja feita a estrutura.

O material didático produzido contribui para o processo ensino-aprendizagem do assunto estudado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

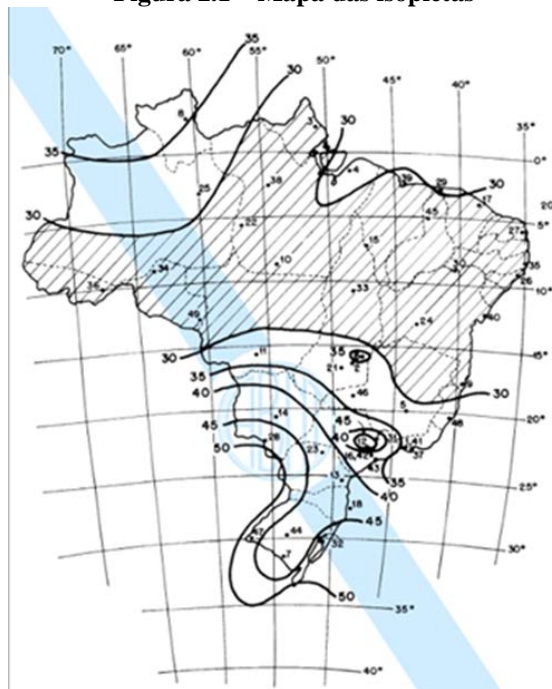
2.1. Fundamentos da ABNT NBR6123:1988

2.1.1. Pressão dinâmica do vento

Segundo a ABNT NBR 6123:1988, para a análise das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento para efeitos de cálculo de galpões com estrutura treliçada e metálica, o procedimento para a determinação das forças devidas ao vento parte da definição da

velocidade básica do vento (V_0), como sendo a velocidade de uma rajada de três segundos de duração, a dez metros de altura, em campo aberto e plano, ultrapassada em média, uma vez a cada 50 anos, obtida a partir do mapa de isopletras, conforme a figura 2.1 a seguir.

Figura 2.1 – Mapa das isopletras



Fonte – ABNT NBR 6123:1988

Esta velocidade multiplicada pelos fatores de S_1 , S_2 e S_3 , definidos adiante, resultam na velocidade característica do vento.

O item 4.2 b da ABNT NBR 6123:1988, define que V_k é a velocidade do vento (em m/s) ajustada ao local da construção, denominada velocidade característica e definida conforme a equação: $V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$. A pressão dinâmica em condições normais de pressão (1 atm = 101325 Pa) e de temperatura (15°C) é relacionada à velocidade característica V_k do vento. Para definir a ação do vento, a pressão dinâmica do mesmo é definida conforme a equação (8), retirada do item 4.2.c da ABNT NBR 6123:1988: $q = 0,613 \cdot V_k^2$.

2.1.2. Fator topográfico S_1

ABNT NBR 6123:1988, item 3.2, define que S_1 corresponde ao fator topográfico, leva em consideração as variações do relevo do terreno. Considera que:

- Terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1$;
- Taludes e morros $S_1 > 1$;

- Vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção: $S1 = 0,9$.

2.1.3. Fator de rugosidade $S2$

O item 5.3 - Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno da ABNT NBR6123:1988, define que $S2$ é o fator que considera as dimensões da edificação, a rugosidade média geral do terreno e a altura sobre o terreno. A referida norma classifica o terreno em cinco categorias (Figura 2.2) e a edificação em três classes (Figura 2.3).

Figura 2.2 – Categorias de rugosidade do terreno

Categoria	Descrição	Exemplos
I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.	mar calmo; lagos e rios; pântanos sem vegetação.
II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m.	zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; pradarias e charnecas; fazendas sem sebes ou muros
III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes ou muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0 m.	granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos; fazendas com sebes e/ou muros; subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.
IV	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 m. Esta categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser consideradas na categoria V.	zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.
V	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 m.	florestas com árvores altas de copas isoladas; centros de grandes cidades; complexos industriais bem desenvolvidos.

Fonte – ABNT NBR 6123:1988

Figura 2.3 – Classificação por classe da edificação

CLASSE A: Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m.

CLASSE B: Toda edificação ou parte da edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

CLASSE C: Toda edificação ou parte da edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

Fonte – ABNT NBR 6123:1988

Definida a categoria do terreno e a classe da edificação, extraem-se os parâmetros b, p e Fr da tabela 2.4. Conforme a altura sobre o terreno (z em metro), os valores de b, p e Fr devem ser substituídos na equação 1:

$$S_2 = b \cdot Fr \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (1)$$

Figura 2.4 – Parâmetros para determinar o fator S₂

Categoria	Z _g (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 NBR 6123:1988

2.1.4. Fator estatístico S3

A ABNT NBR 6123:1988, item 3.4, define que S3 está relacionado com a segurança da edificação, após tempestade destrutiva, utiliza conceitos probabilísticos e o tipo de ocupação da mesma. O parâmetro S3 é classificado por grupos, conforme a figura 2.5 deste trabalho.

Figura 2.5 – Valores mínimos do fator estatístico S_3

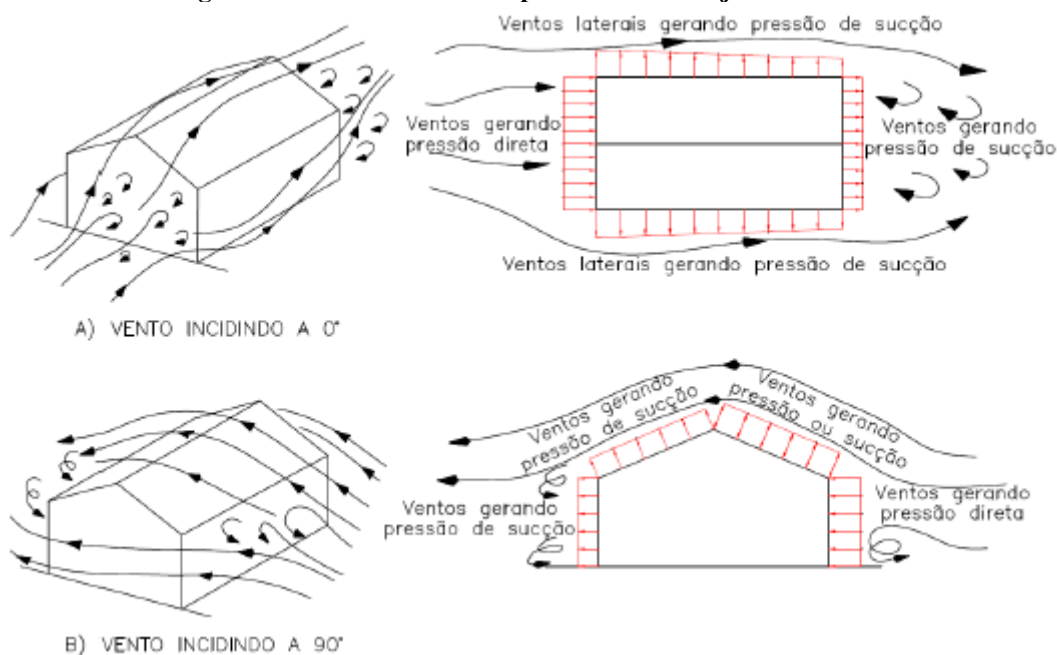
Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações 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

Fonte – ABNT NBR 6123:1988

2.1.5. Determinação dos coeficientes aerodinâmicos

Os Coeficientes Aerodinâmicos são divididos em duas categorias: Coeficientes de Pressão e de Forma Externos (C_e) e Coeficientes de Pressão Interno (C_{pi}). E é a partir destes, que a pressão dinâmica do vento, age na estrutura da edificação. Sendo, seus valores determinados através de tabelas específicas (ver tabela 2.1,2.2 e 2.3).

Figura 2.6 - Linhas de fluxo representando a trajetória do vento



Fonte: Adaptado de GONÇALVES et al (2004) e de SANTOS, N.S; BOLANDIM, E.A. (2018).

2.1.6. Coeficientes de pressão externos (Ce)

Devido as características da edificação, para definição dos coeficientes externos, serão utilizadas as tabelas que apresentam os coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular; e os coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular, respectivamente – vide Tabelas 2.1 e 2.2.

Tabela 2.1 – Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular

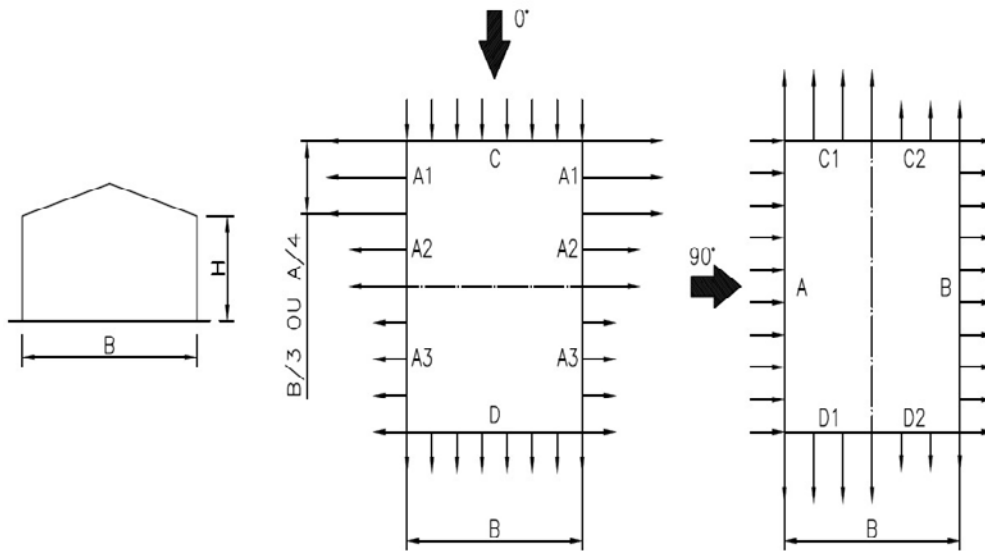
Altura relativa		Valores de C_e para								C_{pe} médio
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
		A1 e B1	A2 e B2	C	D	A	B	C1 e D1	C2 e D2	
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2

Fonte: ABNT NBR 6123:1988 (1988) e de SANTOS, N.S; BOLANDIM, E.A. (2018).

Para vento incidindo a 0° , nas partes A₃ e B₃ da Figura 2.6, a NBR 6123 (1988) recomenda que o coeficiente de forma C_e tenha:

- Para $a/b = 1$: mesmo valor das partes A₂ e B₂;
- Para $a/b \geq 2$: $C_e = -0,2$;
- E para $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente.

Figura 2.7 – Legenda para Tabela 2.1



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6123:1988 (1988) e de SANTOS, N.S; BOLANDIM, E.A. (2018).

Tabela 2.2 – Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular

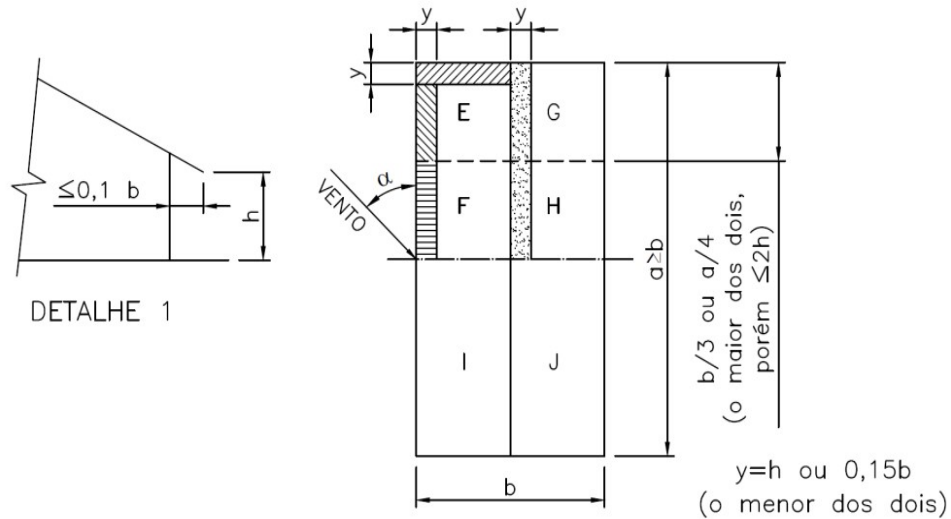
Altura relativa	θ	Valores de C_e para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	-
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4	-	-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2	-	-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0	-	-	-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8	-	-	-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6	-	-	-	-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6	-	-	-	-1,1
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	0°	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	-
	5°	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-1,0	-0,6	-0,8	-0,6	-1,8	-1,5	-1,5	-1,2
	20°	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	30°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0	-	-	-1,0
	45°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-	-	-	-
	60°	+0,6	-0,5	-0,8	-0,8	-	-	-	-
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	0°	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	-
	5°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,8	-1,8	-1,5	-1,2
	20°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30°	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5	-	-	-
	40°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1,0	-	-	-
	50°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-	-	-	-
	60°	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7	-	-	-	-

Fonte: ABNT NBR 6123:1988 (1988) e de SANTOS, N.S; BOLANDIM, E.A. (2018).

Conforme a NBR 6123 (1988), para vento incidindo a 0° , nas partes I e J da Figura 2.6, o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:

- Para $a/b = 1$: mesmo valor das partes F e H;
- Para $a/b \geq 2$: $C_e = -0,2$;
- E para $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente.

Figura 2.8 - Legenda para Tabela 2.2



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6123:1988 (1988) e de SANTOS, N.S; BOLANDIM, E.A. (2018).

2.1.7. Coeficientes de pressão internos (C_{pi})

Já para os coeficientes de pressão interna a Norma considera que se a edificação for totalmente impermeável ao ar, a pressão no seu interior será invariável no tempo e independente da velocidade da corrente de ar externa. Porém, usualmente as paredes e/ou a cobertura normais de serviço ou como consequência de acidentes, permitem a passagem do ar, modificando-se as condições ideais supostas nos ensaios. Para a determinação dos coeficientes de pressão interna vide a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Coeficientes de pressão e de forma internos em edificações de planta retangular

CASO	DESCRIÇÃO OU CONDIÇÃO	C _{pi}
A	Duas faces opostas igualmente permeáveis, as outras faces impermeáveis	-
A.1	Vento perpendicular a uma face permeável	+0,2 -0,3
A.2	Vento perpendicular a uma face impermeável	
B	Quatro faces igualmente permeáveis	-0,3 ou 0
C	Abertura dominante em uma face, as outras de igual permeabilidade	-
C.1	Abertura dominante na face de barlavento	- +0,1
	As = 1	+0,3
	As = 1,5	+0,5
	As = 2	+0,6
	As = 3	
	As ≥ 6	+0,8
C.2	Abertura dominante na face de sotavento	Adotar o valor de C _e correspondente a esta face
C.3	Abertura dominante em uma face paralela ao vento	Adotar o valor de C _e correspondente a esta face
C.4	Abertura dominante não situada em zona de alta sucção externa	Adotar o valor de C _e correspondente a esta face
C.5	Abertura dominante situada em zona de alta sucção externa	-
	Ad = 0,25	-0,4
	Ad = 0,50	-0,5
	Ad = 0,75	-0,6
	Ad = 1,0	-0,7
	Ad = 1,5	-0,8
	Ad ≥ 3	-0,9

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6123:1988 (1988) e de SANTOS, N.S; BOLANDIM, E.A. (2018).

Segundo a ABNT NBR 6123:1988, entende-se por:

- **Impermeáveis:** elementos construtivos e de vedação: lajes e cortinas de concreto armado ou protendido; paredes de alvenaria, de pedra, de tijolos, de blocos de concreto e afins, sem portas, janelas ou quaisquer outras aberturas,

- **Permeáveis:** todos os demais elementos construtivos são considerados permeáveis e deve-se à presença de aberturas tais como juntas entre painéis de vedação e entre telhas, frestas em portas e janelas, ventilações em telhas e telhados, vãos abertos de portas e janelas, chaminés, lanternins, etc.
- **Barlavento:** região de onde sopra o vento, em relação à edificação.
- **Sotavento:** região oposta àquela de onde sopra o vento, em relação à edificação.

E para o presente trabalho, foi adotada a nomenclatura:

- **As:** proporção entre a área de todas as aberturas na face de barlavento e a área total das aberturas em todas as faces submetidas a sucções externas.
- **Ad:** proporção entre a área da abertura dominante (ou área das aberturas situadas nesta zona) e a área total das outras aberturas situadas em todas as faces submetidas a sucções externas.

2.1.8. Coeficientes resultantes

Após os coeficientes externos e internos serem obtidos, o coeficiente resultante é calculado por meio da Equação 3 a seguir:

$$C = C_e - C_{pi} \quad (3)$$

Coeficientes resultantes com valores negativos correspondem a ventos de sucção, definido pela norma brasileira como uma pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência. Enquanto os valores positivos correspondem a ventos de sobrepressão, que conforme a norma, é uma pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência – vide Figura 2.9.



Fonte: LEÃO, M.; ARAGÃO, M. (2013) e de SANTOS, N.S; BOLANDIM, E.A. (2018).

2.1.9. Influência da permeabilidade nas pressões

Apenas a pressão interna é alterada pela permeabilidade. A fim de definir o índice de permeabilidade da edificação, deve-se calcular a relação entre a área das aberturas de a área total da mesma, encontrado valor menor que 30%, a pressão interna pode ser admitida como uniforme e calculada com a análise da quantidade de paredes permeáveis. Para isso, verifica-se o item 6.2.5 a 6.2.7 da ABNT NBR 6123/88.

A permeabilidade deve-se à presença de aberturas, tais como juntas entre painéis de vedação e entre telhas, frestas em portas e janelas, ventilações em telhas e telhados, vãos abertos de portas e janelas, chaminés, lanternins etc.

A norma define como impermeável os seguintes elementos construtivos e de vedação: lajes e cortinas de concreto armado ou protendido; paredes de alvenaria, de pedra, de tijolos, de blocos de concreto e afins, sem portas, janelas ou quaisquer outras aberturas.

Nas edificações onde há pelo menos uma parede interna permeável, onde o vento circula livremente, a pressão interna é considerada uniforme pela norma NBR 6123/88.

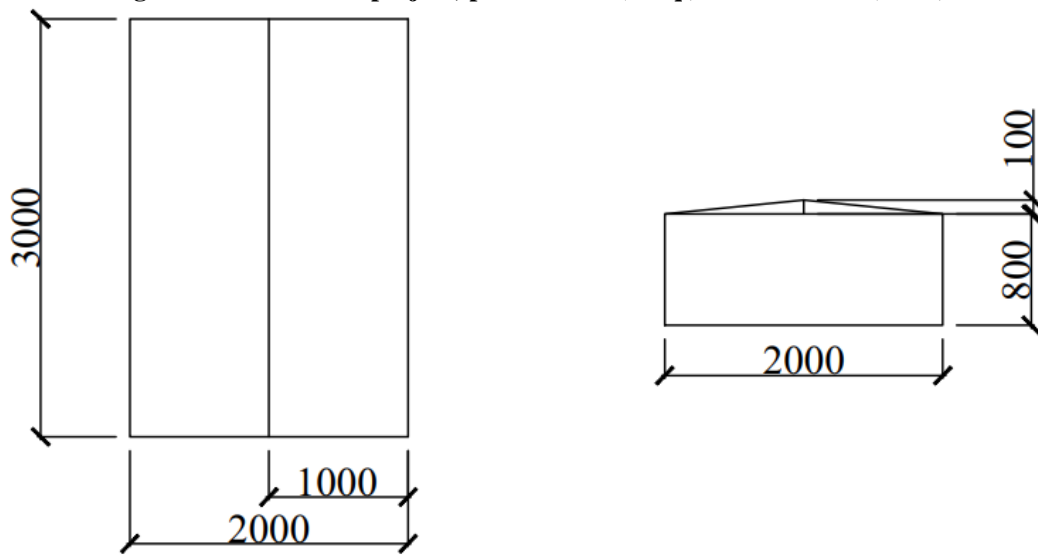
3. ANÁLISE PARAMÉTRICA

Para a análise paramétrica, foram selecionados dois galpões: um, com quatro faces permeáveis e outro, com duas faces permeáveis e duas faces impermeáveis. A seguir, cada estudo separadamente.

3.1. Galpão com quatro faces permeáveis

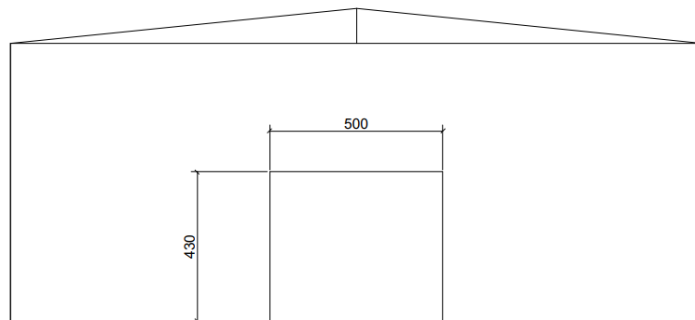
3.1.1. Arquitetura do Galpão

Figura 3.1 – Cortes do projeto; planta baixa (à esq.) e vista frontal (à dir.)



Fonte: Autores

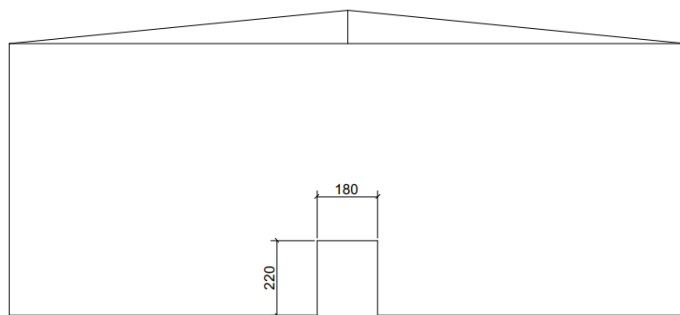
Figura 3.2 – Vista frontal (Parte C)



C

Fonte: Autores

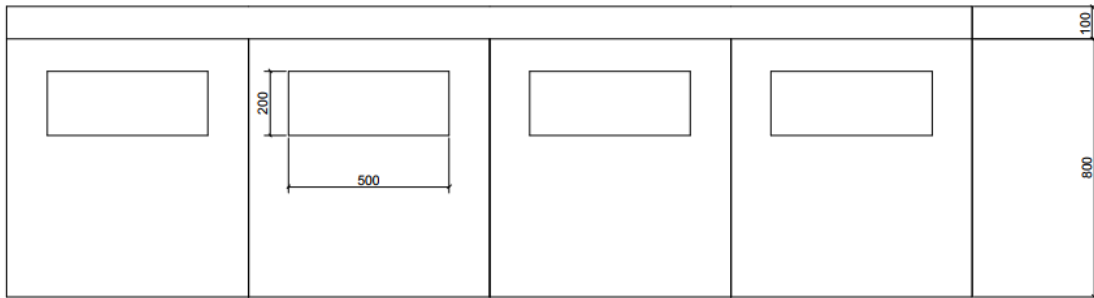
Figura 3.3 – Vista frontal (Parte D)



D

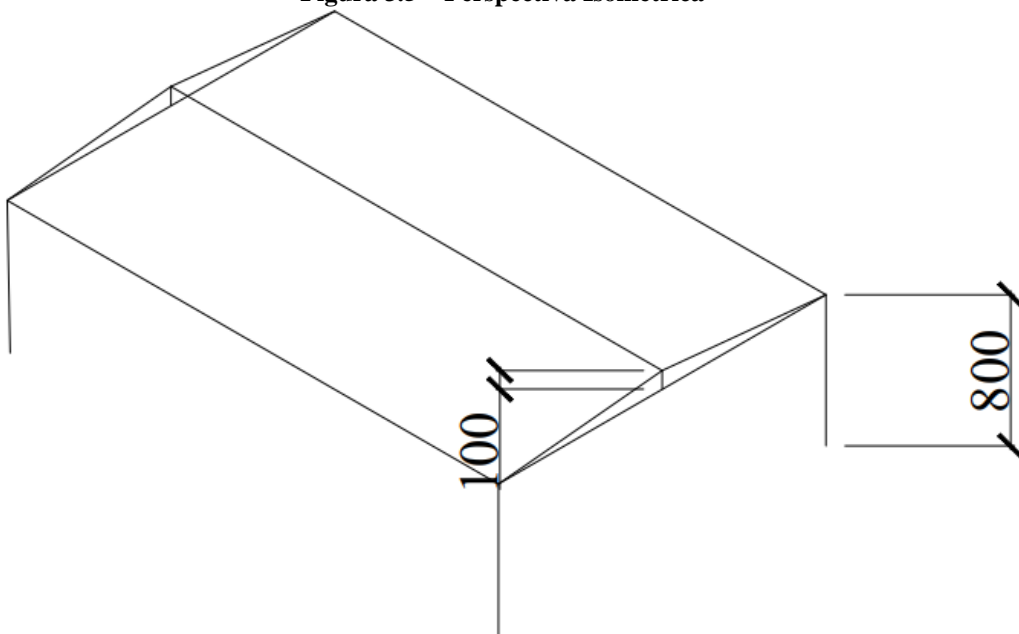
Fonte: Autores

Figura 3.4 – Vista lateral



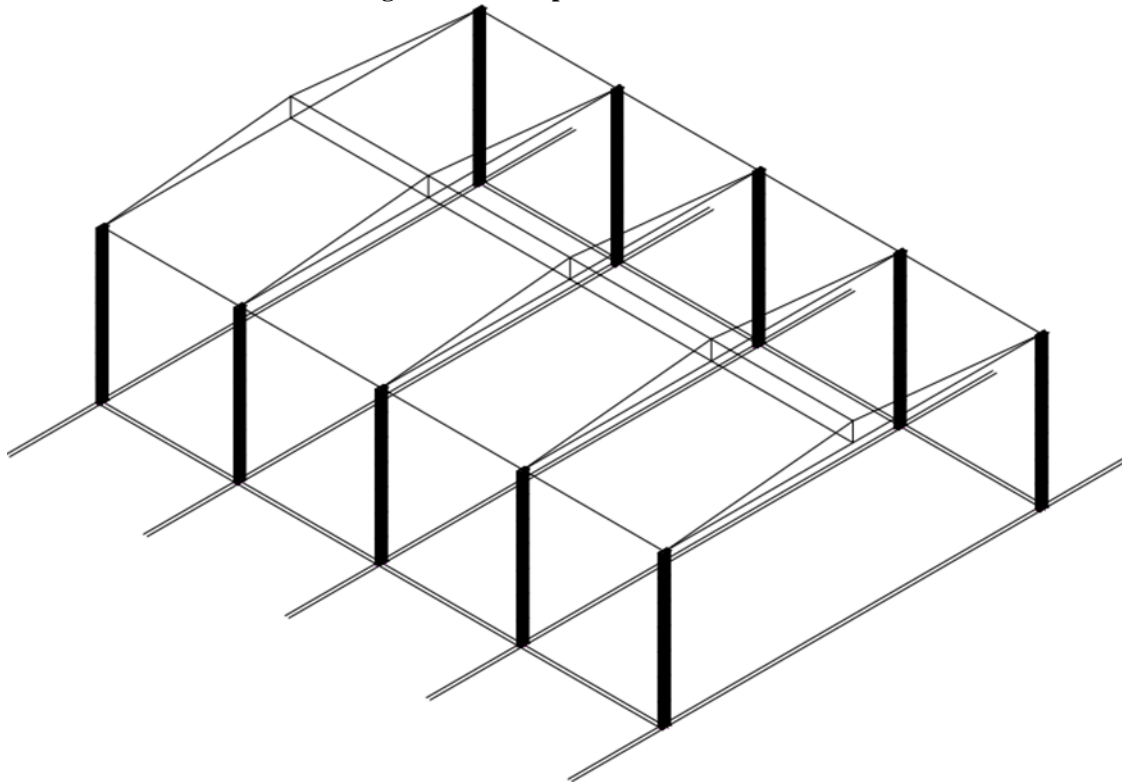
Fonte: Autores

Figura 3.5 – Perspectiva Isométrica



Fonte: Autores

Figura 3.6 – Perspectiva Isométrica



Fonte: Autores

3.1.2. Situações analisadas

Foram propostos e analisados os galpões para alturas $h=6\text{m}$, $h=7\text{m}$, $h=8\text{m}$; ou seja, mantendo o ângulo de inclinação do telhado constante. Foi encontrado que, sem alterações de inclinação das tesouras, não houve alterações nos esforços da estrutura no que se refere aos ventos: o C_{pe} será o mesmo e estará na primeira linha da tabela 2.1.

As relações dimensionais h/b sempre são menores que 0,5 (alturas: 6m, 7m e 8m) nas propostas e a relação a/b é 1,5, não foi alterada.

Com $h/b \leq 0,5$ e a/b entre 1 e 1,5, observamos a primeira linha da tabela 2.1 para retirar os valores de C_e para as faixas do galpão.

Neste caso a tabela 3.4 representou a solução: valores de C_e e C_{pe} médio para as secções do galpão em questão.

Tabela 3.1 – Valores de dados do Projeto nos três modelos propostos: em azul (Modelo 1); em amarelo (Modelo 2); em verde (Modelo 3);

DADOS DO PROJETO	
Beiral (m)	0,0
A (m)	30,0
B (m)	20,0
C (m)	8,0
Vão entre terças (m)	7,5
θ_1 (°)	5,7
incl. 1 (%)	10%
Altura da tesoura 1 (m)	1,0
θ_2 (°)	8,5
incl. 2 (%)	15%
Altura da tesoura 2 (m)	1,5
θ_3 (°)	11,3
incl. 3 (%)	20%
Altura da tesoura 3 (m)	2,0

Fonte: Autores

Na análise paramétrica em questão foram analisados três modelos de estrutura de mesmo beiral, comprimento (maior dimensão, A), largura (menor dimensão, B) e o pé direito (altura, C). O vão entre as terças escolhido foi de 7,5 metros.

Cada um dos três modelos tem seu θ (ângulo de inclinação do telhado), ou seja, respectiva incl. (inclinação percentual) e altura da tesoura do seu telhado.

As alturas do telhado (em metros) de 1,0; 1,5 e 2,0 é a diferença entre os modelos que influenciaram as inclinações.

Tabela 3.2 – Valores de dados das relações dimensionais (h/ b e a/ b)

RELAÇÕES DIMENSIONAIS	
0,4	h / b
1,5	a / b

Fonte: Autores

Tabela 3.3 – Interpolação do Cpe para A3 e B3

Cpe - A3 E B3	
a / b	Cpe
1	-0,5
2	-0,2
1,5	-0,35

Fonte: Autores

Tabela 3.4 – Valores de Ce (Cpe) para o projeto em questão

REGIÃO	VALOR DE Ce (A E B)	A	B	VALOR DE Ce (C E D)	C	D	VALOR DE Ce (A_x E B_x)	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Ce		0,7	-0,4		0,7	-0,4		-0,8	-0,5	-0,35	-0,8	-0,5	-0,35

Fonte: Autores

A obtenção do Ce (coeficientes de forma) está relacionada a tabela 2.1 retirada da NBR 6123 (1988), com as devidas relações dimensionais (h/ b e a/ b) aplicadas na tabela 2.1, temos os valores de Ce para cada faixa do galpão, ou seja, as formas que interagem com as paredes da construção analisada (telhado com duas águas, simétricos, em edificação de planta retangular).





A figura 2.7 representa as faixas do galpão de acordo com a NBR 6123 (1988): A, B, C, D, A1, A2, A3, B1, B2, B3.

Os valores de A3 e B3 precisaram ser interpolados pois, para vento incidindo a 0°, nas partes A3 e B3 da Figura 2.6, a NBR 6123 (1988) recomenda que o coeficiente de forma Ce tenha:

- Para $a/b = 1$: mesmo valor das partes A2 e B2;
- Para $a/b \geq 2$: $C_e = -0,2$;
- E para $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente.

Com a relação dimensional $a/ b = 1,5$, obtemos $C_{pe} = -0,35$, assim foi construída a tabela 3.3.

Tabela 3.5 – Valores de C_e nos três modelos propostos calculados por interpolação: em azul (Modelo 1); em amarelo (Modelo 2); em verde (Modelo 3);

Altura relativa	θ (°)	Valores de C_e para							
		$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 0^\circ$		Cpe Médio			
		EF	GH	EG	FH				
$1/2 < h/b < 3/2$	5	-0,90	-0,40	-0,80	-0,40	-1,40	-1,20	-1,20	-1,00
	5,71	-0,94	-0,40	-0,80	-0,43	-1,40	-1,23	-1,03	-1,03
	8,53	-1,11	-0,40	-0,80	-0,54	-1,40	-1,34	-0,35	-1,14
	10	-1,20	-0,40	-0,80	-0,60	-1,40	-1,40	0,00	-1,20
	11,31	-1,15	-0,40	-0,80	-0,60	-1,40	-1,35	0,00	-1,20
	15	-1,00	-0,40	-0,80	-0,60	-1,40	-1,20	0,00	-1,20

Fonte: Autores

Para os telhados do galpão obtemos os valores da tabela 3.5 para os três modelos de alturas diferentes (em metros) de 1,0; 1,5 e 2,0; ou seja; inclinações (θ) diferentes: 5,71; 8,53 e 11,31; respectivamente.

As direções $\alpha = 90^\circ$ e o $\alpha = 0^\circ$ representam os ventos da figura 2.7 incidindo nos telhados representados na figura 2.8 (espaços E, F, G, H geram as combinações: EF, GH, EG e FH).

O Cpe médio se refere ao vento que incide com as quatro representações de calhas da figura 2.7. Estas estão dispostas nas extremidades dos espaços E, F, G, H.

Com o auxílio do software VisualVentos (versão 2.0.1.0) foram calculados os esforços dos ventos nos três modelos com telhados de inclinações diferentes, ou seja, alturas (em metros) da cumeeira com relação ao topo do pilar: 1,0; 1,5 e 2,0. Para edificações efetivamente estanques e com janelas fixas que tenham uma probabilidade desprezável de serem rompidas por acidente, temos os resultados:

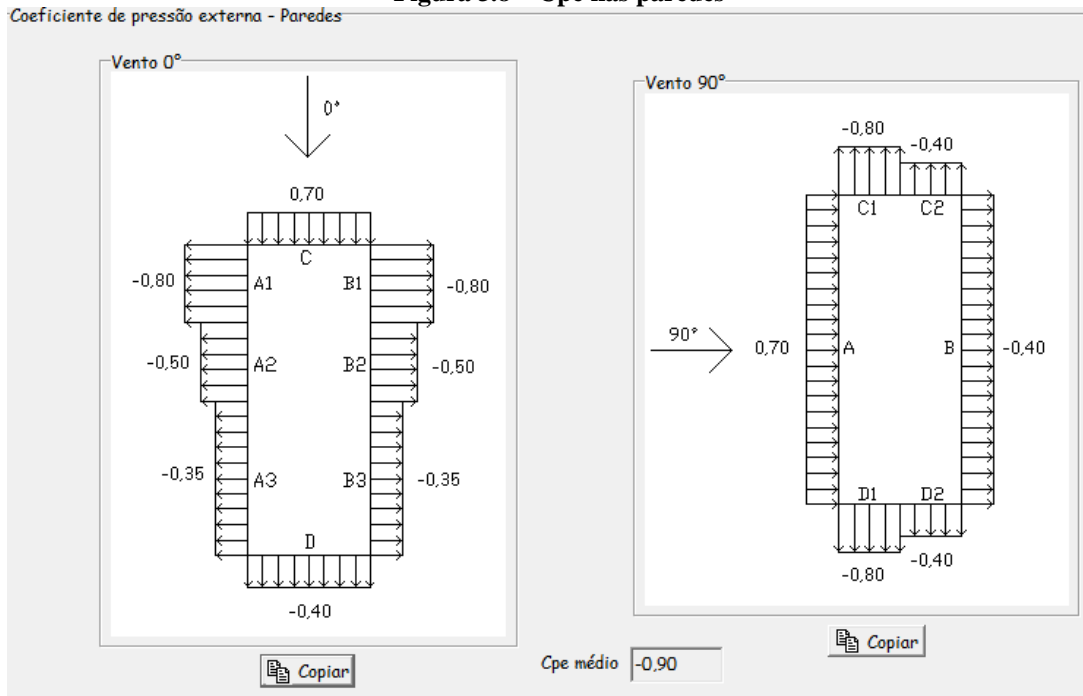
3.1.3. Resultados

Figura 3.7 – Opção escolhida para a efetuação dos cálculos no software

- Edificações efetivamente estanques e com janelas fixas que tenham uma probabilidade desprezável de serem rompidas por acidente -> $C_{pi} = -0.2$ ou 0.0

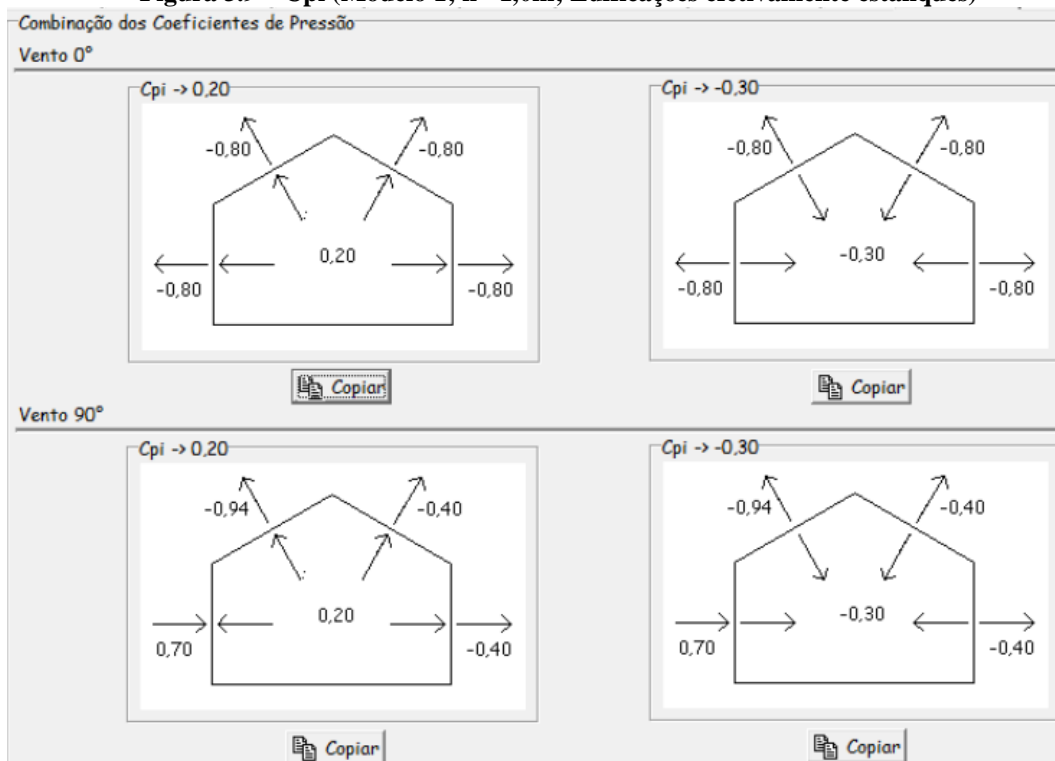
Fonte: Autores

Figura 3.8 – Cpe nas paredes



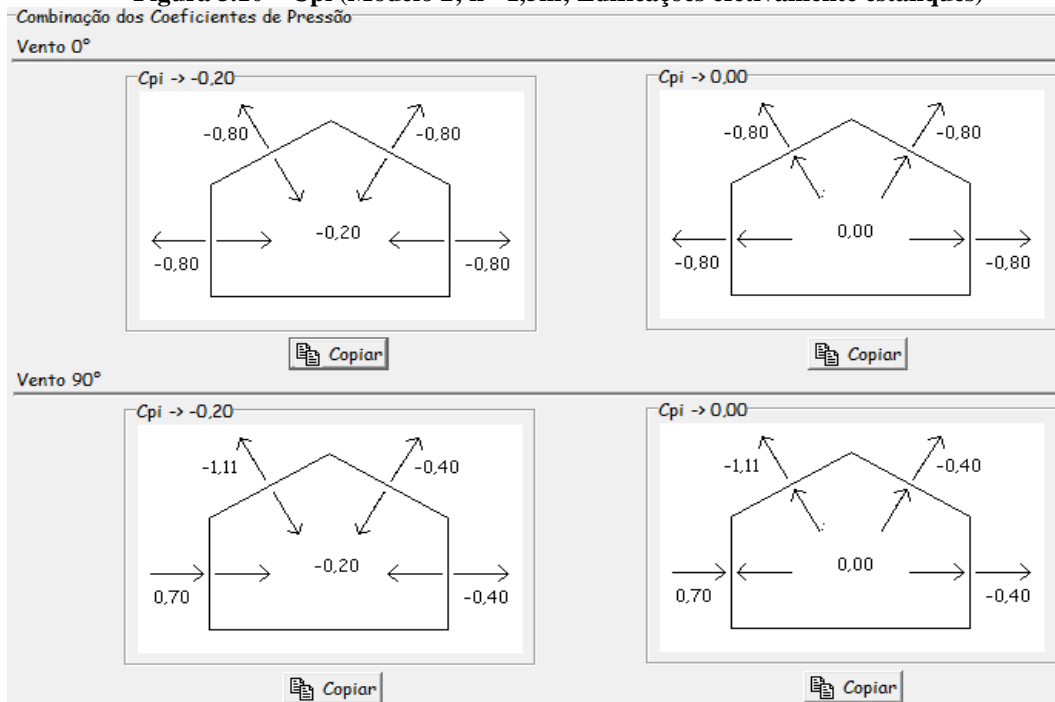
Fonte: Autores

Figura 3.9 – Cpi (Modelo 1; h= 1,0m; Edificações efetivamente estanques)



Fonte: Autores

Figura 3.10 – Cpi (Modelo 2; h= 1,5m; Edificações efetivamente estanques)

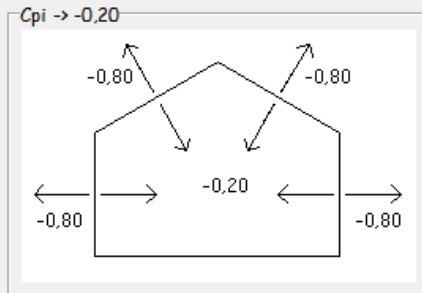


Fonte: Autores

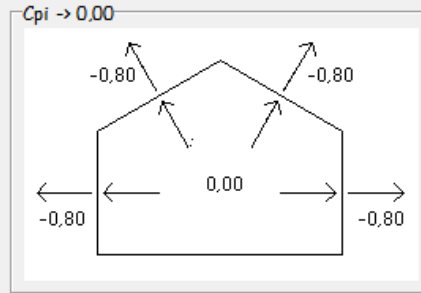
Figura 3.11 – Cpi (Modelo 3; h= 2,0m; Edificações efetivamente estanques)

Combinação dos Coeficientes de Pressão

Vento 0°

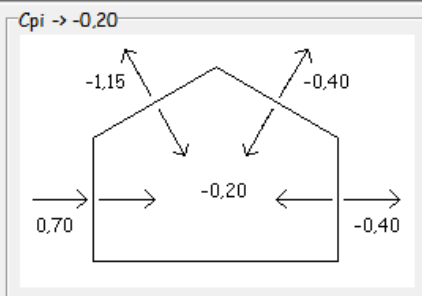


Copiar

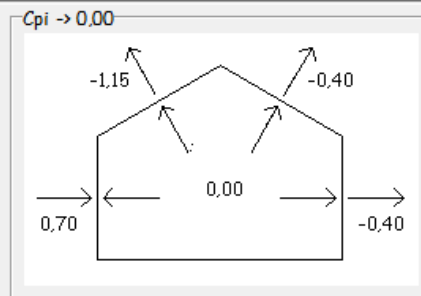


Copiar

Vento 90°



Copiar



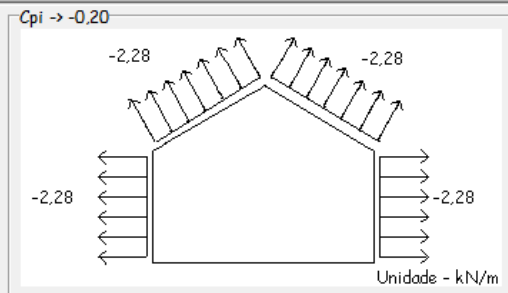
Copiar

Fonte: Autores

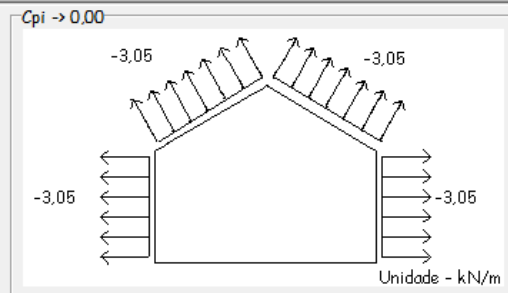
Figura 3.12 – Cpi (Modelo 1; h= 1,0m; Edificações efetivamente estanques)

Esforços resultantes

Vento 0°

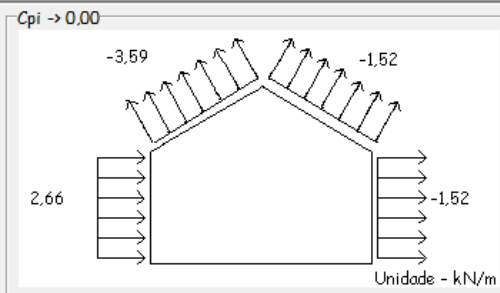
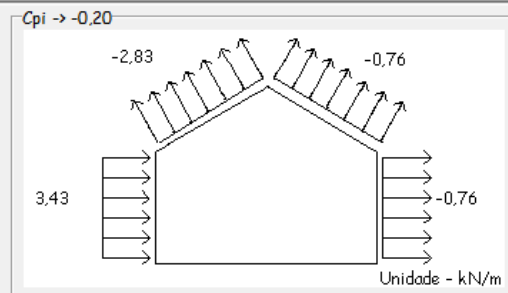


Copiar



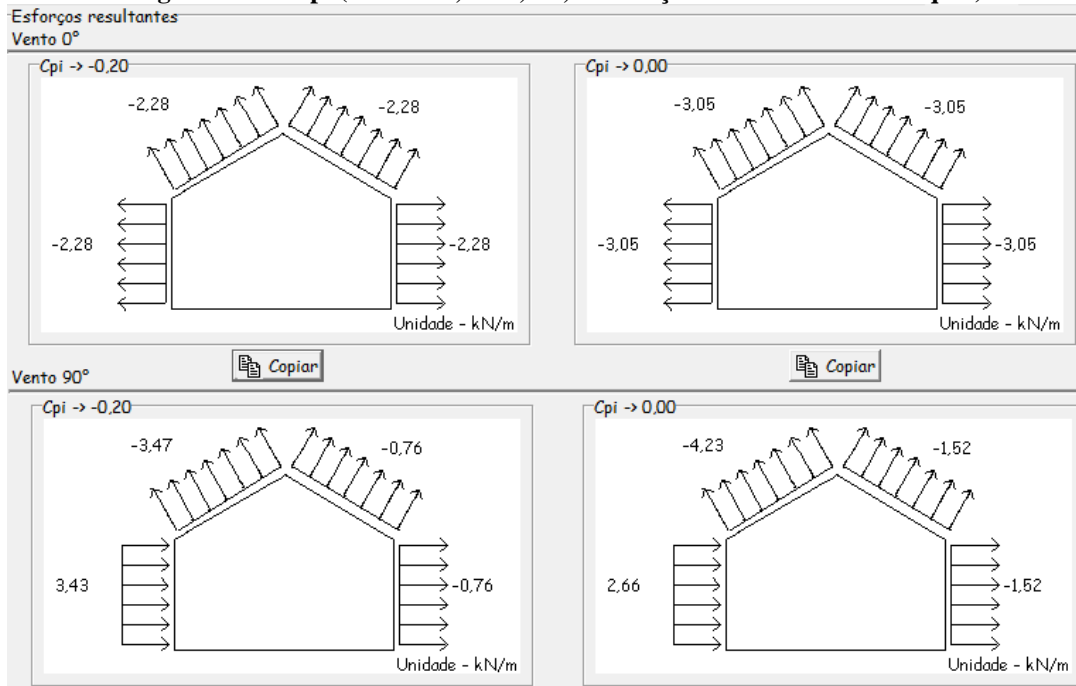
Copiar

Vento 90°



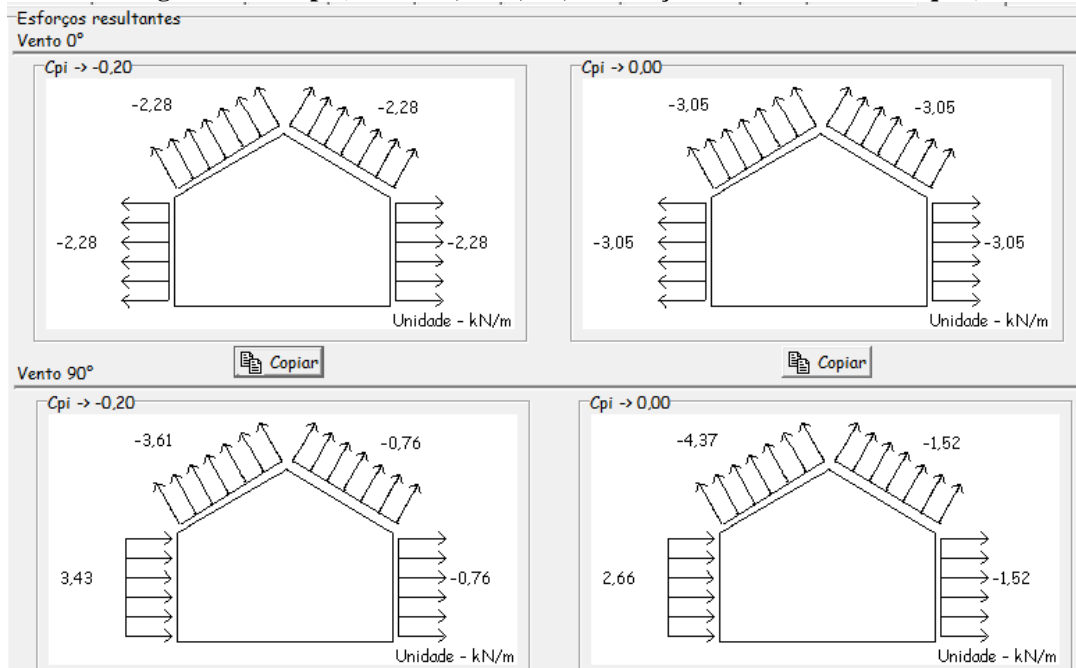
Fonte: Autores

Figura 3.13 – Cpi (Modelo 2; h= 1,5m; Edificações efetivamente estanques)



Fonte: Autores

Figura 3.14 – Cpi (Modelo 3; h= 2,0m; Edificações efetivamente estanques)



Fonte: Autores

Os resultados apresentados referem-se ao Galpão 1 com proposta de quatro faces permeáveis: edificações efetivamente estanques e com janelas fixas que tenham uma

probabilidade desprezável de serem rompidas por acidente ($c_{pi} = -0,2$ ou 0) com dados das tabelas 3.1; 3.2; 3.3 e 3.4. Com o auxílio do software VisualVentos(versão 2.0.1.0) foram plotadas estas situações. O *software* retornou os cálculos representados nestas figuras. Observando a figura 3.8 é perceptível a queda decrescente do valor em módulo de C_{pe} das faixas A1 até A3 e B1 até B3 no vento 0° , isso acontece porque o efeito de sucção se torna cada vez menor na estrutura. O mesmo efeito existe no vento 90° com outras faixas, no caso: C1 até C2 e D1 para D2.

Ação dominante do vento sempre gera uma sobrepressão na estrutura, logo, será representada por valores positivos de C_{pe} . Este efeito sempre tornará estas faixas citadas como ventos de sucção, representada por valores negativos, independentemente da origem das ações.

Sobre as figuras que representam os três modelos propostos de diferentes inclinações de tesoura (vide tabela 3.1) temos duas figuras representando cada modelo: 3.9, 3.10 e 3.11 associadas as figuras 3.12,3.13 e 3.14, respectivamente.

Analisando-as é possível concluir que o C_{pi} se torna maior na região da faixa E (ver figura 2.8) à medida que o parâmetro da inclinação aumenta entre os modelos. As demais faixas não tiveram alterações, mas se as tesouras tivessem grandes inclinações seria possível a representação de diferentes resultados, afinal a tabela 2.2, demonstra estas possibilidades. O C_{pe} permanece o mesmo, afinal este coeficiente não é alterado pela mudança de altura da tesoura.

A faixa E está circundada pela calha na figura 2.8, por isso os valores foram alterados, também podemos observar a razão da modificação numericamente devido a tabela 2.2, referente a obtenção do C_{pe} , onde EF é uma faixa de maior comutação de resultados.

Foram encontrados os seguintes valores distintos para cada modelo: $-0,94$; $-1,11$ e $-1,15$; respectivamente.

3.2. Galpão com duas faces permeáveis e duas faces impermeáveis

Figura 3.15 – Opção escolhida para a efetuação dos cálculos no software

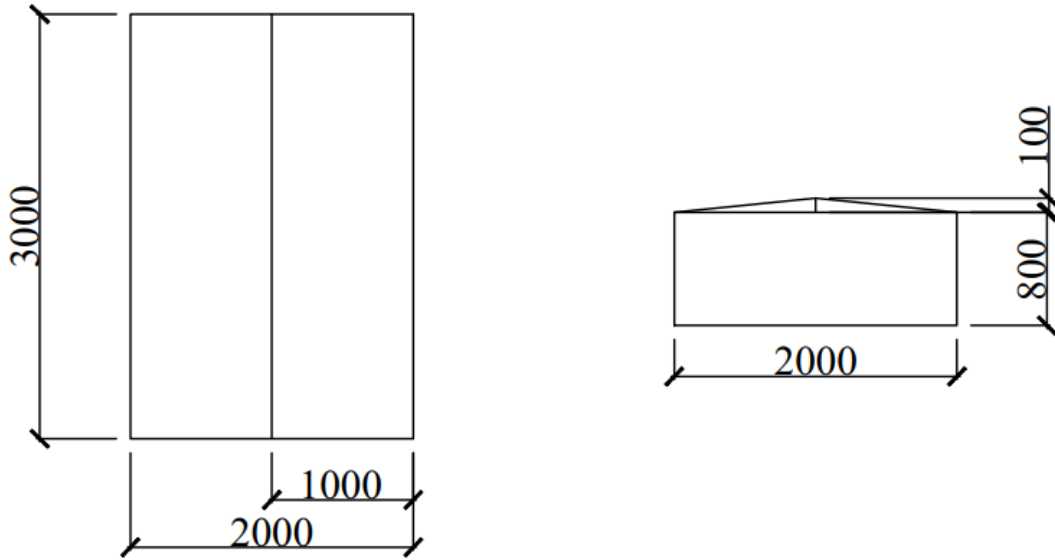
- Duas faces opostas igualmente permeáveis, as outras faces impermeáveis:
 - vento perpendicular a uma face permeável $\rightarrow C_{pi} = +0,2$
 - vento perpendicular a uma face impermeável $\rightarrow C_{pi} = -0,3$

Fonte: Autores

Com o auxílio do software VisualVentos (versão 2.0.1.0) foram calculados os esforços dos ventos nos três modelos com inclinações diferentes, ou seja, alturas (em metros) da cumeeira com relação ao topo do pilar: 1,0; 1,5 e 2,0. Para galpão com duas faces, temos:

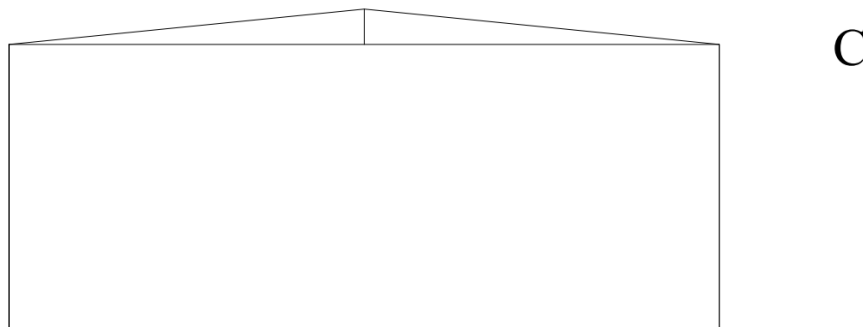
3.2.1. Arquitetura do Galpão

Figura 3.16 – Cortes do projeto; planta baixa (à esq.) e vista frontal (à dir.)



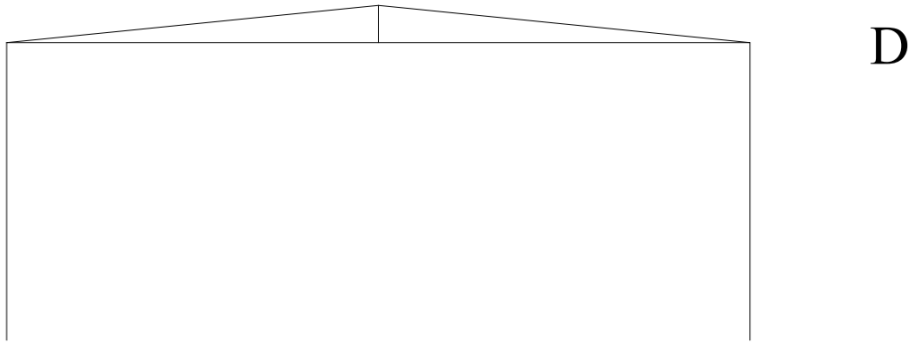
Fonte: Autores

Figura 3.17 – Vista frontal (Parte C)



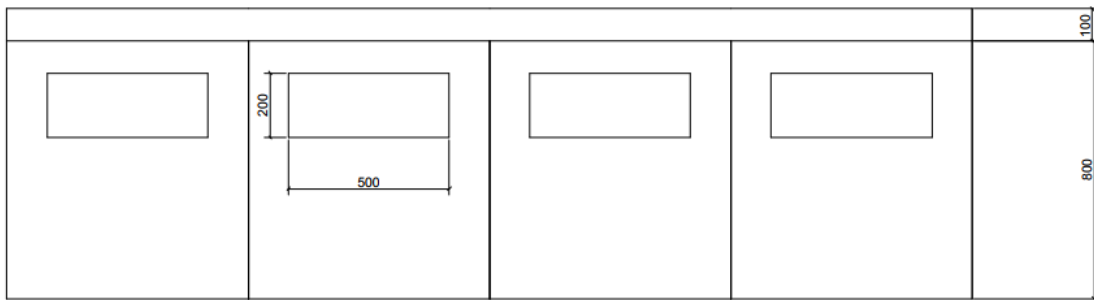
Fonte: Autores

Figura 3.18 – Vista frontal (Parte D)



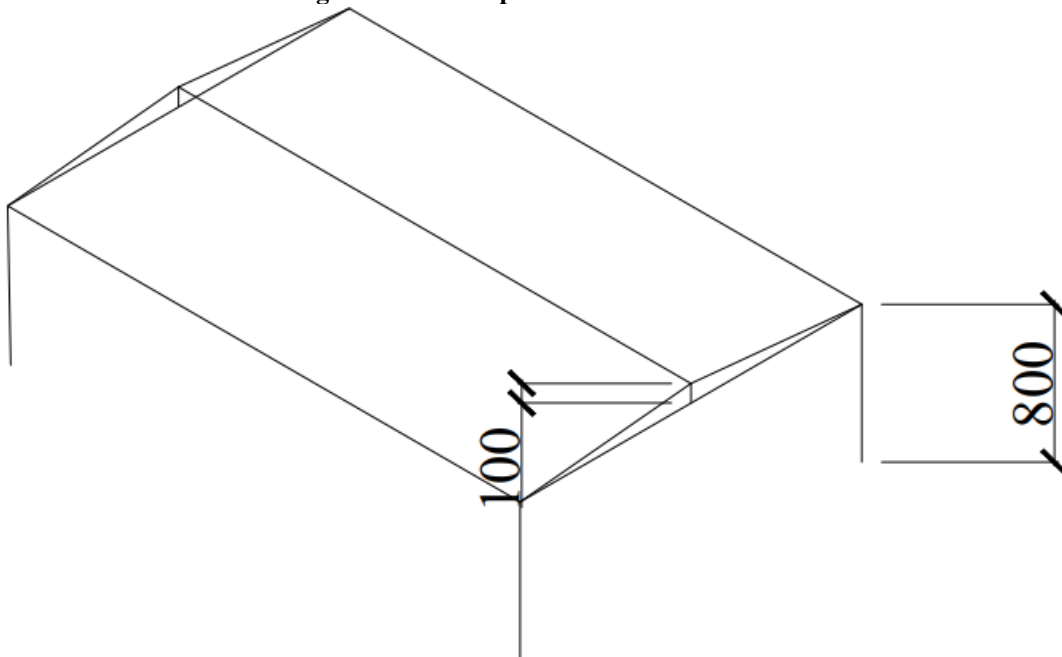
Fonte: Autores

Figura 3.19 – Vista lateral



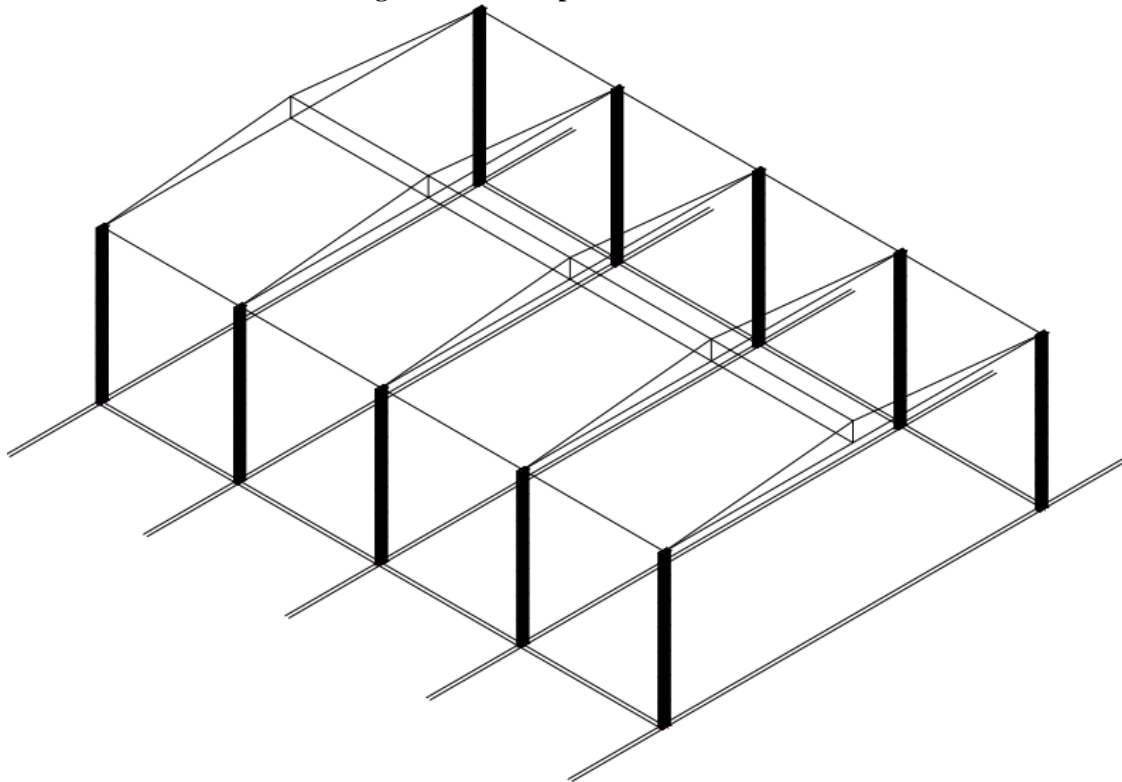
Fonte: Autores

Figura 3.20 – Perspectiva Isométrica



Fonte: Autores

Figura 3.21 – Perspectiva Isométrica



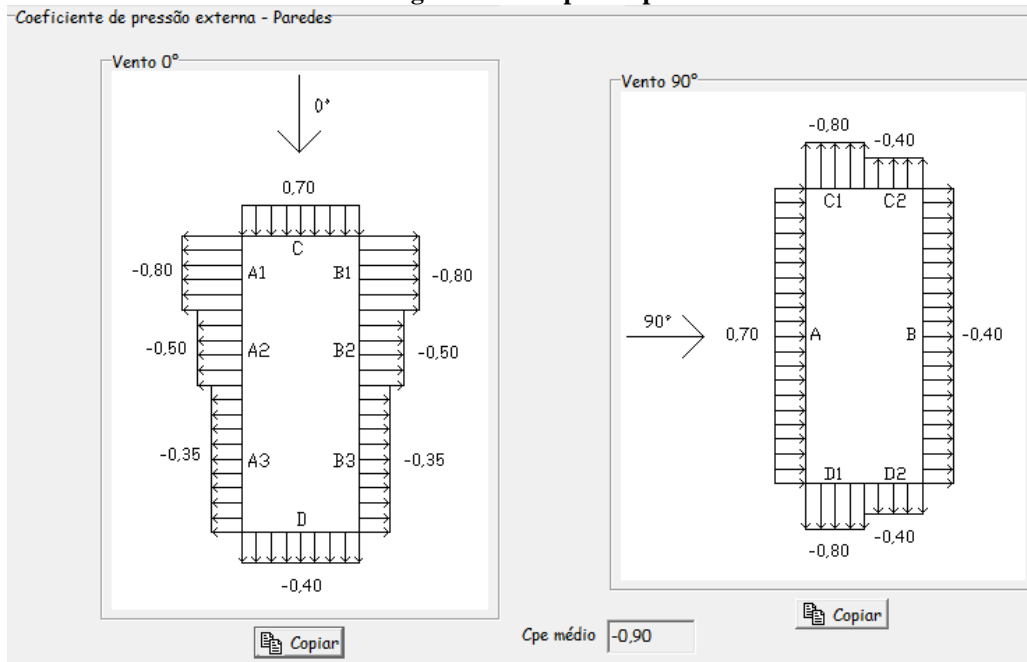
Fonte: Autores

3.2.2. Situações analisadas

Temos como diferença das situações analisadas nas situações 3.1.2 a arquitetura do galpão com duas fachadas totalmente abertas nas faixas C e D, logo, são duas faces permeáveis e duas faces impermeáveis para o “Galpão 2”.

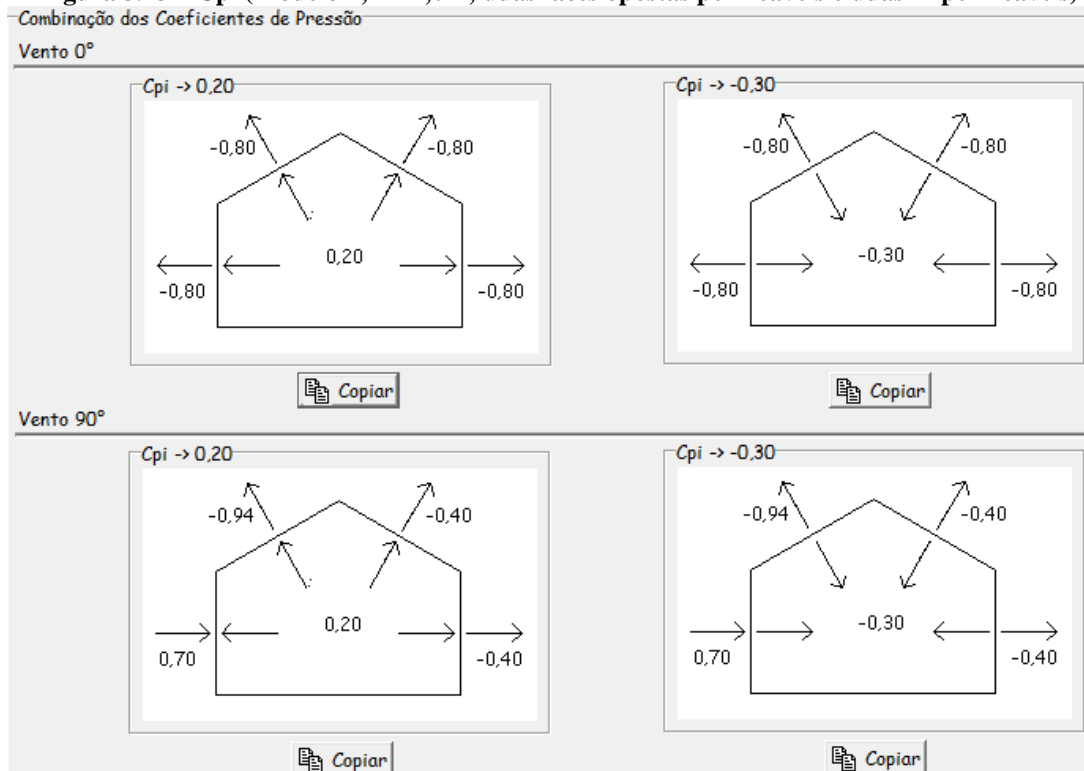
3.2.3. Resultados

Figura 3.22 – Cpe nas paredes



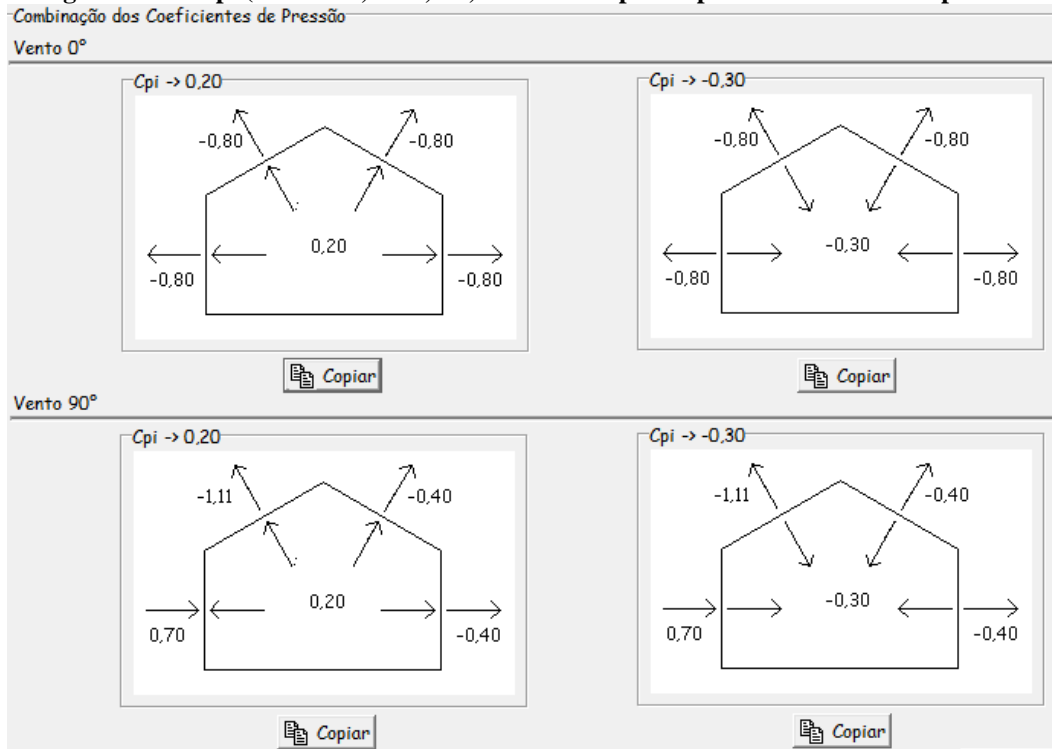
Fonte: Autores

Figura 3.23 – Cpi (Modelo 1; h= 1,0m; duas faces opostas permeáveis e duas impermeáveis)



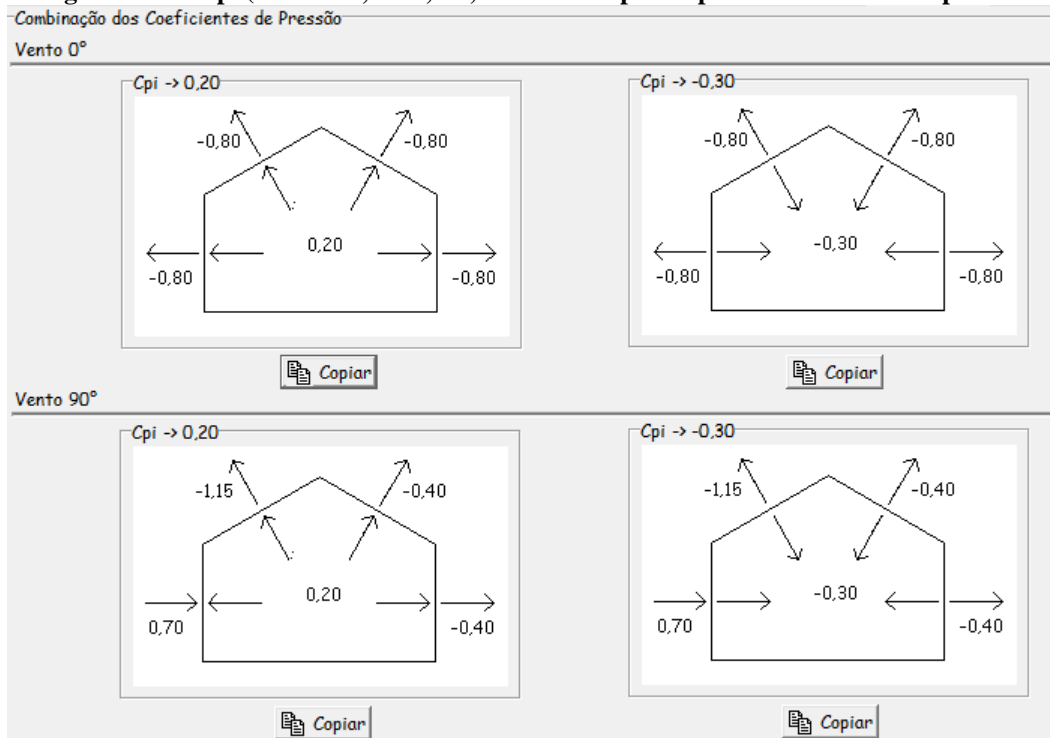
Fonte: Autores

Figura 3.24 – Cpi (Modelo 2; h= 1,5m; duas faces opostas permeáveis e duas impermeáveis)



Fonte: Autores

Figura 3.25 – Cpi (Modelo 3; h= 2,0m; duas faces opostas permeáveis e duas impermeáveis)



Fonte: Autores

Figura 3.26 – Cpi (Modelo 1; h= 1,0m; duas faces opostas permeáveis e duas impermeáveis)

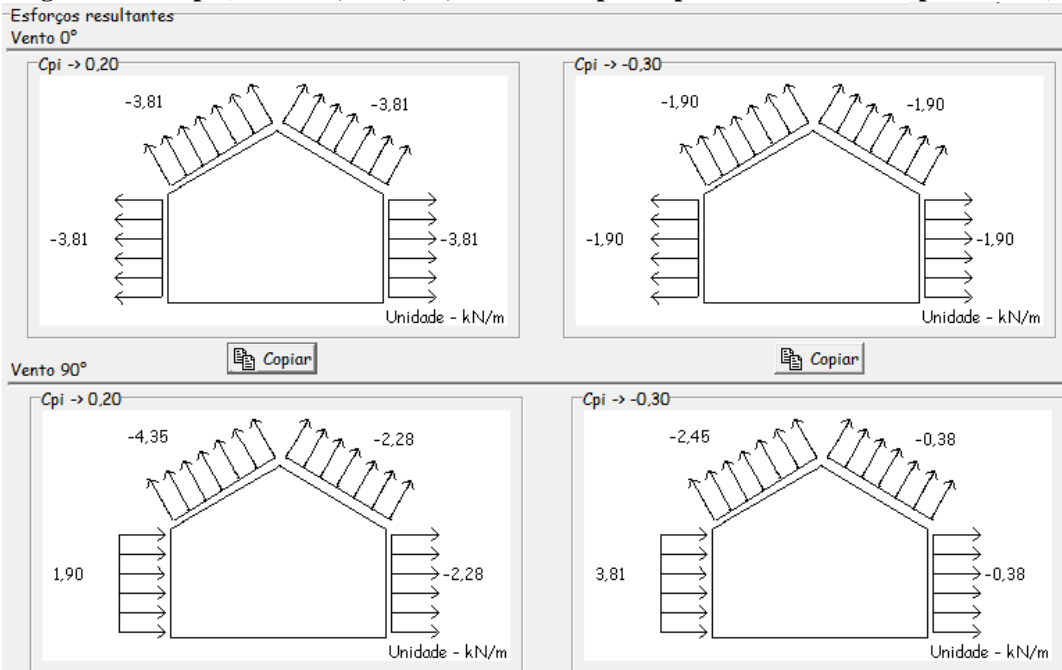


Figura 3.27 – Cpi (Modelo 2; h= 1,5m; duas faces opostas permeáveis e duas impermeáveis)

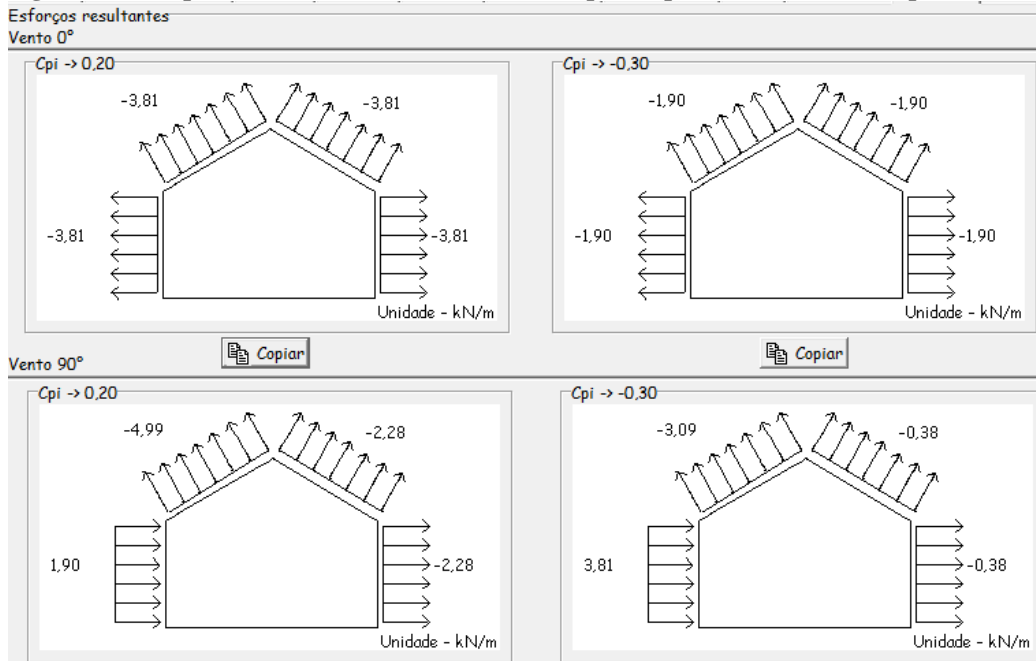
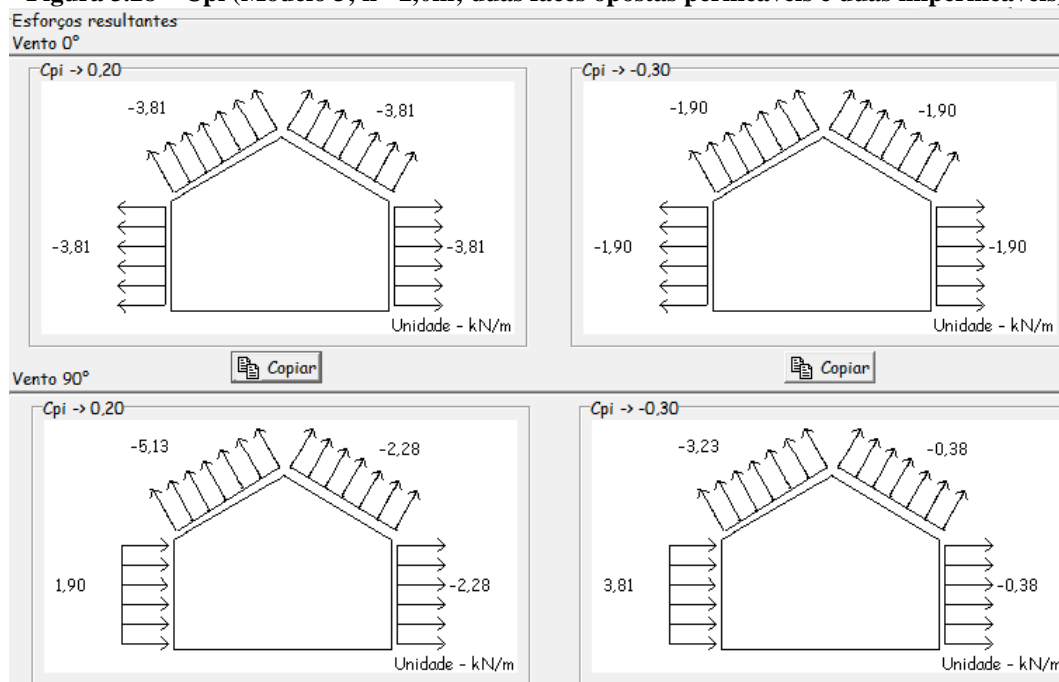


Figura 3.28 – Cpi (Modelo 3; h= 2,0m; duas faces opostas permeáveis e duas impermeáveis)



Fonte: Autores

Os resultados apresentados se referem ao Galpão 2 com a seguinte proposta a respeito de suas aberturas: galpão com duas faces opostas igualmente permeáveis e as outras faces impermeáveis, ou seja, de acordo com a NBR 6123 (1988): vento perpendicular a uma face permeável ($C_{pi} = + 0,2$) e vento perpendicular a uma face impermeável ($C_{pi} = - 0,3$) e dados das tabelas 3.1; 3.2; 3.3 e 3.4.

Com o auxílio do software VisualVentos (versão 2.0.1.0) foram plotadas estas situações. O software retornou os cálculos representados nestas figuras.

Assim, como no Galpão 1, o C_{pe} das faixas A1 até A3 e B1 até B3 no vento 0°, teve uma queda decrescente do valor em módulo. O Galpão 1 e o Galpão 2 têm os mesmos valores de C_{pe} , pois as relações dimensionais h/b e a/b são iguais entre eles.

Sobre as figuras que representam os três modelos propostos de diferentes inclinações de tesoura (vide tabela 3.1) temos duas figuras representando cada modelo: 3.23, 3.24 e 3.25 associadas as figuras 3.26, 3.27 e 3.28, respectivamente.

O C_{pi} demonstrado internamente, no centro das figuras 3.23, 3.24 e 3.25 é diferente do Galpão 1, no Galpão 2, o parâmetro “galpão com duas faces opostas igualmente permeáveis e as outras faces impermeáveis” proposto determina valores de C_{pi} diferentes para as duas propostas.

Estes novos valores de Cpi determinam ações linearmente distribuídas nos telhados e até nas paredes (apesar do Cpe ser idêntico ao Galpão 1, a combinação dos coeficientes de pressão retornam divergentes resultados).

A combinação dos coeficientes em questão constrói resoluções diversas para as ações dos ventos. A seguinte equação atesta esta conclusão:

$$\Delta p = [q * (C_{pe} - C_{pi}) * largura \text{ entre os vãos}] \quad (2)$$

Exemplo 1: no modelo 1 da figura 3.26 pertencente ao Galpão 2 temos:

$$\Delta p = 0,507 * (-0,8 - 0,2) * 7,5 = -3,81.$$

O valor “-3,81” é o resultado na faixa E, quadro superior à esquerda da figura 3.26, enquanto “-0,507” é o valor da pressão dinâmica, observar apêndice A; “-0,8” é o apuramento na faixa E, superior esquerda para Cpi na figura 3.23; “0,2” é a atribuição demonstrada internamente na figura 3.23 que remete a quantidade Cpi para vento perpendicular a uma face permeável e “7,5” é a distância entre os pórticos.

Exemplo 2: No modelo 1 da figura 3.12(quadro superior à esquerda) pertencente ao Galpão 1 temos:

$$\Delta p = 0,507 * (-0,8 - (-0,2)) * 7,5 = -2,28.$$

Houve uma substituição no Cpi entre o Galpão 1 e 2 (por causa da mudança de proposta a respeito das aberturas): de -0,2 para +0,2, respectivamente, resultando na resolução diversa do exemplo 1 para o 2. ou seja, existem modificações devido aos valores de Cpi que determinam ações linearmente distribuídas nos telhados e até nas paredes.

4. CONCLUSÃO

As investigações realizadas entre os modelos concluem que um galpão de grande largura e comprimento, como no caso de 20m x 30m, respectivamente, precisa de uma altura acima das sugestões de dimensão apresentadas, para que se tenham valores de Ce ou Cpe médio diferentes. No caso acima de 10 metros, ou seja, atingindo $h/b > 0,5$. O Cpi dos telhados é alterado pela altura da tesoura apenas nas regiões das calhas que circundam as regiões críticas E F. I e J mantém-se inalterados, enquanto as faixas EG

($\alpha = 0^\circ$) e GH ($\alpha = 90^\circ$) também não são influenciadas pelas mudanças nas alturas das tesouras dos diferentes modelos.

Por meio da utilização do *software* VisualVentos o Vento 0° não apresenta resultados distintos entre os modelos, justamente porque incide em regiões imunes a alterações: I e J. Enquanto segundo o Vento 90° os valores de Cpi se tornam maiores proporcionalmente à altura da tesoura na região à frente da faixa crítica “E”, que tem interação com a calha.

Cada uma das duas propostas de modelo de galpão apresentadas (Galpão 1 e 2) e as respectivas parametrizações indicaram mudanças significativas na região crítica (faixa E) graças a mudança dos valores Cpi associado a cada característica sobre aberturas, conforme a NBR 6123 (1988). A combinação dos coeficientes aerodinâmicos levou os dois tipos de estruturas a resoluções diversas para as ações dos ventos, apesar destas estruturas terem as mesmas dimensões de comprimento, largura e pé direito nesta análise paramétrica.

As regiões não críticas levaram os cálculos a resultados semelhantes, as relações dimensionais análogas foram relevadas neste tipo de análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro-RJ, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro-RJ, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro-RJ, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento**. Rio de Janeiro-RJ, 2001.

ANDREOLLA, M. **A ação do vento no dimensionamento de pavilhões de estrutura de aço.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso.

PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de Aço: **Dimensionamento Prático de acordo com a NBR 8800: 2008.** Grupo Gen-LTC, 2000.

SANTOS, G.E.T. **Desenvolvimento de um programa computacional para a determinação das forças devido ao vento em edificações segundo a norma NBR 6123/88.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso.

SANTOS, N.S; BOLANDIM, E.A. **A ação do vento em galpões industriais de duas águas conforme a ABNT NBR 6123: 1988.** 2018.

VISUALVENTOS. **Determinação das forças devidas ao vento.** Disponível em <http://www.ertools.upf.br/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=4>. Acesso em 02 de dezembro de 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Material Didático: exemplo de cálculo de esforços de ventos no Excel.

DADOS DO PROJETO	
8	Pé direito (h);
20	Largura (b);
30	Comprimento (a);
5,71	Declividade da cobertura (θ) ou
1,00	Altura da tesoura
PRESSÃO DINÂMICA	
35	Velocidade básica V_0 ;
1	Fator topográfico S_1 ;
0,98	Fr
0,85	b
0,13	p
9	z
0,82	Fator de rugosidade S_2 ;
1,00	Fator estatístico S_3 ;
28,77	Velocidade característica V_k ;
0,507	Pressão dinâmica (q);
RELAÇÕES DIMENSIONAIS	

0,4	Altura relativa do projeto: h (pé direito) / b (largura);
1,5	Proporção em planta do projeto: a (comprimento) / b (largura);
7,5	$A1 = \text{Máx} (b/3; a/4) \leq 2.h$;
7,5	$A2 = a/2 - A1$;
10	$C1 = \text{Min} (b/2; 2.h)$
15	A3 e B3
Cpi(Δp) - Vento 0° - Cpi = 0,20	
-0,8	Cpe
0,2	Cpi
1	Cpe- Cpi
0,507	Pressão dinâmica (q);
7,5	Largura entre os vãos
-3,81	$\Delta p = (q*[Cpe-Cpi]*largura)$
Cpi(Δp) - Vento 0° - Cpi = -0,30	
-0,8	Cpe
-0,3	Cpi
0,5	Cpe- Cpi
0,507	Pressão dinâmica (q);
7,5	Largura entre os vãos
-1,90	$\Delta p = (q*[Cpe-Cpi]*largura)$
Cpi(Δp) - Vento 90° - Cpi = 0,20	
-0,94	Cpe
0,2	Cpi
1,14	Cpe- Cpi
0,507	Pressão dinâmica (q);
7,5	Largura entre os vãos
4,34	$\Delta p = (q*[Cpe-Cpi]*largura)$
Cpi(Δp) - Vento 90° - Cpi = -0,30	
-0,94	Cpe
-0,3	Cpi
0,64	Cpe- Cpi
0,507	Pressão dinâmica (q);
7,5	Largura entre os vãos
2,44	$\Delta p = (q*[Cpe-Cpi]*largura)$

APÊNDICE B

Material Didático: exemplo de cálculo de esforços de ventos no *Smath Solver*.

☐—DADOS DO PROJETO - VÁRIÁVEIS—

1) Dados iniciais (da concepção do projeto):

$$A := 30 \text{ m} \quad B := 20 \text{ m} \quad C := 8 \text{ m} \quad h := 8 \text{ m} \quad \text{Vão_entre_as_terças} := 7,5 \text{ m}$$

2) Dados que podem ser obtidos com auxílio do software Visual Ventos(UPF):

2.1) Medidas da Geometria

$$h1 := 1 \text{ m} \quad \alpha := 5,7^\circ \quad \text{Inclinação} := (\sin(\alpha)) = 10 \%$$

$$\text{Inclinação} := 10 \%$$

$$\alpha := \text{asin}(\text{Inclinação}) = 5,7^\circ$$

2.2) Relações dimensionais (h/B e A/B)

Altura relativa do projeto:
h (pé direito) / b (largura);

$$\frac{h}{B} = \frac{2}{5}$$

Proporção em planta do projeto:
a (comprimento) / b (largura);

$$\frac{A}{B} = \frac{3}{2}$$

☐—DIMENSÕES CORRESPONDENTES AS FACES—

3) DIMENSÕES CORRESPONDENTES AS FACES

3.1) A1 E B1

$$\text{RAZÃO1} := \frac{B}{3} = 6,67 \text{ m} \quad \text{RAZÃO2} := \frac{A}{4} = 7,50 \text{ m}$$

$$A1 := \max([\text{RAZÃO1} \text{ RAZÃO2}]) = 7,50 \text{ m} \quad B1 := A1 = 7,50 \text{ m}$$

3.2) A2 E B2

$$A2 := \frac{A}{2} - A1 = 7,50 \text{ m}$$

$$B2 := A2 = 7,50 \text{ m}$$

3.3) C1

$$\text{RAZÃO1} := \frac{B}{2} = 10 \text{ m} \quad \text{RAZÃO2} := 2 \cdot h = 16 \text{ m}$$

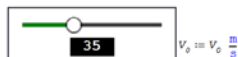
$$C1 := \min([\text{RAZÃO1} \text{ RAZÃO2}]) = 10,00 \text{ m}$$

3.4) A3 E B3

$$A3 := A - A1 - A2 = 15 \text{ m}$$

☐—VELOCIDADE BÁSICA - FATORES S - VARIÁVEIS—

4.1) VELOCIDADE BÁSICA - FATORES S - VARIÁVEIS



$$V_0 = 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$S_1 := 1$$

$$S_2 := 1$$

$$S_3 := 1$$

☐—VELOCIDADE CARACTERÍSTICA E PRESSÃO DINÂMICA—

4.2) VELOCIDADE CARACTERÍSTICA E PRESSÃO DINÂMICA

$$V_k := V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$q := 0,613 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot V_k^2 = 750,92 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

ANEXO I

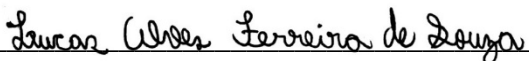
APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante **Lucas Alves Ferreira de Souza** do Curso de **ENGENHARIA CIVIL**, matrícula **2015.2.0025.0082-3**, telefone: **(62) 9-8532-5793**, e-mail: lucas.alves.fsm@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autorizam a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **DETERMINAÇÃO DE PRESSÃO DE VENTO EM GALPÕES NÃO ISOLADOS** gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 19 de dezembro de 2022.

Assinatura do autor:



Nome completo do autor:

LUCAS ALVES FERREIRA DE SOUZA

Assinatura do professor orientador:



Nome completo do professor-orientador:

ALBERTO VILELA CHAER