



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**

**JÉSSICA CRISTINA CHAVES RAMALHO
SANDY EDUARDA P. SILVA NOVAIS**

***ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O ANEXO D DA
NBR 6123:1988, O PROGRAMA SISCALC E
PLANILHA CRIADA NO EXCEL, QUANTO AO
COEFICIENTE DE PRESSÃO INTERNA***

**OURO BRANCO-MG
JULHO-2023**



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAPEBA**

**JÉSSICA CRISTINA CHAVES RAMALHO
SANDY EDUARDA P. SILVA NOVAIS**

***ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O ANEXO D DA
NBR 6123:1988, O PROGRAMA SISCALC E
PLANILHA CRIADA NO EXCEL, QUANTO AO
COEFICIENTE DE PRESSÃO INTERNA***

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à
Coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Civil,
da Universidade Federal de São
João del-Rei, *Campus* Alto
Paraopeba, como requisito parcial
para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Hisashi Inoue

OURO BRANCO-MG
JULHO-2023

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R166a

Ramalho, Jéssica Cristina Chaves.

Análise comparativa entre o anexo D da NBR 6123:1988, o programa SISCALC e planilha criada no Excel, quanto ao coeficiente de pressão interna./ Jéssica Cristina Chaves Ramalho; Sandy Eduarda Pereira Silva Novais; orientador Hisashi Inoue. -- Ouro Branco, MG, 2023.

30 p. il.

Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia Civil) -
Universidade Federal de São João del-Rei, 2023.

1. Vento em edificações 2. Coeficientes de pressão 3. Pressão interna 4. NBR 6123:1988 5. Anexo D da NBR 6123:1988 I. Novais, Sandy Eduarda Pereira Silva. II. Inoue, Hisashi, orient. III. Título.

JÉSSICA CRISTINA CHAVES RAMALHO
SANDY EDUARDA P. SILVA NOVAIS

***ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O ANEXO D DA
NBR 6123:1988, O PROGRAMA SISCALC E
PLANILHA CRIADA NO EXCEL, QUANTO AO
COEFICIENTE DE PRESSÃO INTERNA***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____ / ____ / _____

COMISSÃO EXAMINADORA:

Hisashi Inoue
Professor Orientador de PFC

Ana Amélia Oliveira Mazon
Professor da Engenharia Civil da UFSJ

Carmem MirandaLage
Professor da Engenharia Civil da UFSJ

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Definição básica do vento	3
Figura 2 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular.....	5
Figura 3 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta regular.....	6
Figura 4 – Pressão interna em andar tipo de edifício	8
Figura 5 – Coeficiente interno do exemplo 01 obtido utilizando o SisCalc.	9
Figura 6 - Curva Cpi x Erro	11
Figura 7 - Pressão interna em pavilhão industrial	12
Figura 8 - Coeficiente interno do exemplo 02 obtido utilizando o SisCalc.	14
Figura 9 - Curva CPi x Erro.....	15
Figura 10 - Coeficiente interno do exemplo 03 obtido utilizando o SisCalc.	17
Figura 11 - Curva CPi x Erro.....	18
Figura 12 - Coeficiente interno do exemplo 04 obtido utilizando o SisCalc.	20
Figura 13 - Curva CPi x Erro.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular.....	4
Tabela 2 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta regular.....	6
Tabela 3 – Coeficiente interno calculado, conforme instrução da normativa.....	9
Tabela 4 - Coeficiente interno do exemplo 01 obtido utilizando a planilha em Excel...	10
Tabela 5 - Coeficiente interno calculado, conforme instrução da normativa.....	12
Tabela 6 - Verificação do cálculo da norma.	13
Tabela 7 - Coeficiente interno do exemplo 02 obtido utilizando a planilha em Excel...	15
Tabela 8 - Coeficiente interno calculado, conforme instrução da normativa.....	16
Tabela 9 - Coeficiente interno do exemplo 03 obtido utilizando a planilha em Excel...	17
Tabela 10 - Coeficiente interno calculado, conforme instrução da normativa.....	19
Tabela 11 - Coeficiente interno do exemplo 04 obtido utilizando a planilha em Excel.	20

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. O VENTO	Erro! Indicador não definido.
3. COEFICIENTES DE PRESSÃO	3
4. EXEMPLO 1 DO ANEXO D DA NBR 6123.....	8
5. EXEMPLO 2 DO ANEXO D DA NBR 6123.....	Erro! Indicador não definido.
6. EXEMPLO 3 DO ANEXO D DA NBR 6123.....	Erro! Indicador não definido.
7. EXEMPLO 4 DO ANEXO D DA NBR 6123.....	Erro! Indicador não definido.
8. CONCLUSÃO.....	22
9. REFERÊNCIAS	23

1. INTRODUÇÃO

É de fundamentalmente importante, para o cálculo estrutural de edifícios, a consideração das ações de vento atuantes. Segundo Blessmann (1986) o vento não era problema em construções baixas e pesadas de grossas paredes, mas passou a ser desde a modernização das construções, tornando-as mais esbeltas e esteticamente minimalista.

As ações estáticas e dinâmicas dos ventos de edificações comuns são analisadas pela NBR 6123:1988. Em edificações de formas, dimensões ou localizações incomuns, a norma recomenda a utilização dos túneis de vento.

A atuação do vento nas edificações ocorre de forma perpendicular, gerando diversos efeitos. O cálculo e o conhecimento das implicações dos coeficientes de pressão interna e externa é de fundamental importância, pois podem evitar os efeitos de sobrepressão e sucção.

Adotando-se os quatros exemplos de possíveis edifícios apresentados no Anexo D da NBR 6123:1988, esse trabalho apresentará um comparativo entre os cálculos de coeficientes de pressão interna calculados conforme instrução da normativa, programa SisCalc e com a planilha desenvolvida no Excel.

O programa SisCalc foi desenvolvido na linguagem de programação C#, pelo Professor Hisashi Inoue. E a planilha utilizada foi elaborada pelas autoras desse trabalho com o auxílio do Professor Orientador.

2. OBJETIVO

É importante destacarmos que, para a análise completa da influência do vento em uma estrutura de aço, deve-se atentar a todos fatores: velocidade características do vento, coeficientes aerodinâmicos e a pressão interna.

Além do estudo das influências dos fatores do vento garantir segurança a vida útil de uma edificação, é necessário que a execução seja fidedigna ao projeto.

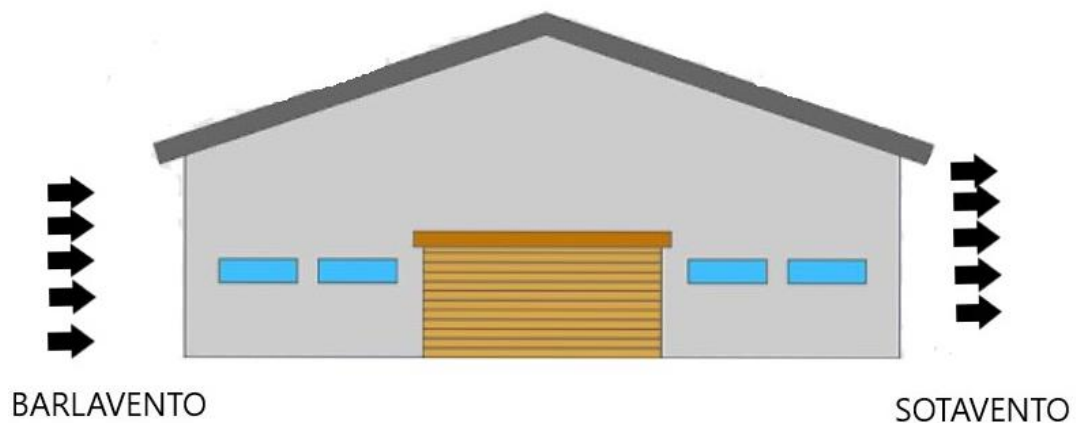
Sendo assim, esse estudo visa simplificar e garantir maior assertividade no cálculo da pressão interna de estruturas metálicas. E pretende comprovar a eficácia do programa desenvolvido pelo Professor Hisashi.

3. COEFICIENTES DE PRESSÃO

Os coeficientes de pressão fazem parte da ação estática do vento e são calculados para as superfícies internas e externas das edificações. Seus valores dependem da diferença de pressão nas faces opostas da parte da edificação em estudo.

A região onde sopra o vento é chamada barlavento e a direção oposta a ela é chamada sotavento, conforme a figura 1. A sobrepressão ocorre quando a pressão efetiva fica acima da pressão atmosférica. Já na sucção, a pressão efetiva fica abaixo da pressão atmosférica.

Figura 1 – Definição básica do vento



FONTE: Autoras.


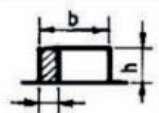
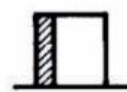
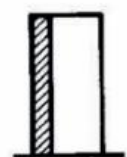
Os coeficientes que apresentam coeficientes positivos, correspondem a sobrepressão. Os que apresentam convencionalmente o sinal negativo, correspondem a sucções. Quando a pressão efetiva, definida como a diferença entre a pressão efetiva externa e a pressão efetiva interna, é positiva, indica uma sobrepressão externa. Quando negativa, indica uma pressão efetiva com sentido de uma sucção externa.

3.1- Coeficiente de pressão externa (Cpe)

A NBR 6123 define os valores do coeficiente de pressão externa para casos simples, como edificações com base retangular, telhado de uma ou duas águas e outros. Nos casos não normatizados, o uso de túneis de vento é

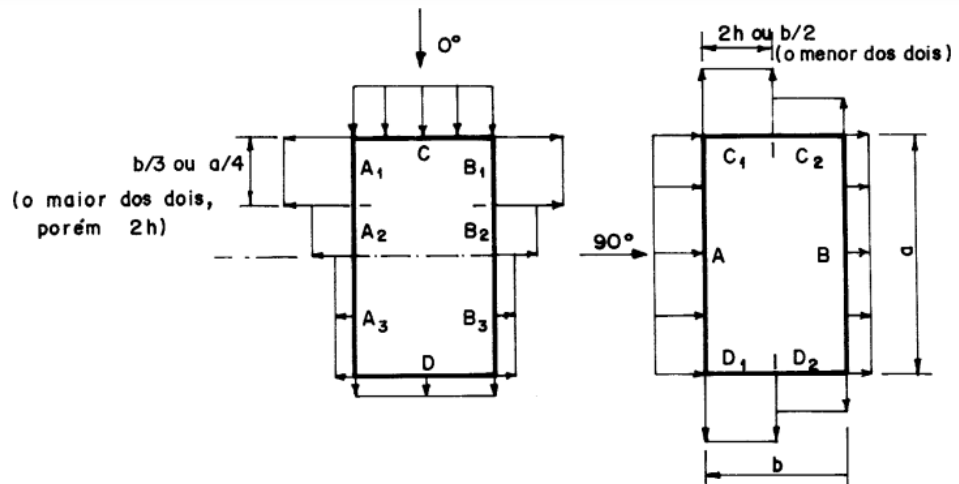
recomendado. Retirada da NBR 6123, a tabela 1 contém os dados para cálculo desse coeficiente para as paredes da edificação.

Tabela 1 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular

Altura relativa		Valores de C_{pe} para								c_{pe} médio 
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
		A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2	
 0,2 b ou h (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-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: NBR 6123:1988.

Figura 2 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular



Notas: a) Para a/b entre $3/2$ e 2 , interpolar linearmente.

b) Para vento a 0° , nas partes A_3 e B_3 , o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:

- para $a/b = 1$: mesmo valor das partes A_2 e B_2 ;
- para $a/b \geq 2$: $C_e = -0,2$;
- para $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente.

c) Para cada uma das duas incidências do vento (0° ou 90°), o coeficiente de pressão médio externo c_{pe} médio, é aplicado à parte de barlavento das paredes paralelas ao vento, em uma distância igual a $0,2b$ ou h , considerando-se o menor destes dois valores.

d) Para determinar o coeficiente de arrasto, C_a , deve ser usado o gráfico da Figura 4 (vento de baixa turbulência) ou da Figura 5 (vento de alta turbulência - ver 6.5.3).

FONTE: NBR 6123:1988.

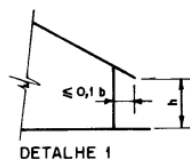
Para cálculo dos coeficientes de pressão externa nos telhados da edificação, é utilizada a tabela 2, também extraída da NBR 6123.

Tabela 2 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta regular.

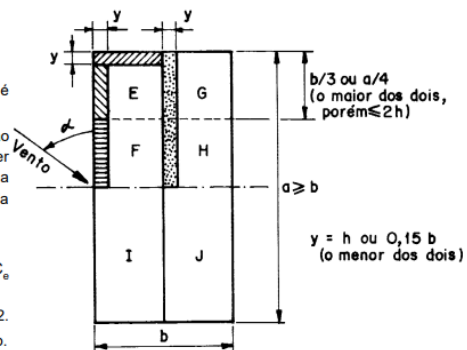
Altura relativa	θ	Valores de C_e para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ (A)$		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-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
	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				
	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			
	60°	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7				

FONTE: NBR 6123:1988.

Figura 3 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta regular.



- Notas: a) O coeficiente de forma C_e na face inferior do beiral é igual ao da parede correspondente.
 b) Nas zonas em torno de partes de edificações salientes ao telhado (chaminés, reservatórios, torres, etc.), deve ser considerado um coeficiente de forma $C_e = 1,2$, até uma distância igual à metade da dimensão da diagonal da saliência vista em planta.
 c) Na cobertura de lanternins, c_{pe} médio = - 2,0.
 d) Para vento a 0° , nas partes I e J o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:
 $a/b = 1$: mesmo valor das partes F e H; $a/b \geq 2$: $C_e = - 0,2$.
 Interpolarm linearmente para valores intermediários de a/b .



FONTE: NBR 6123:1988.

3.2- Coeficiente de pressão interna (Cpi)

Os coeficientes de pressão interna são definidos no Anexo D da NBR 6123: 1988. O conhecimento desses coeficientes é de extrema importância para as edificações. Com ele é possível avaliar o equilíbrio entre as pressões internas e externas. Além disso, é fundamental que as edificações não se tornem estanque de ar, fator importante para o conforto dos usuários e manutenção estrutural.

“A consideração da pressão interna correta torna-se particularmente importante no caso de grandes recintos, tais como pavilhões para exposição e indústria, hangares, estações ferroviárias cobertas, etc.” (BLESSMANN, Joaquim, 1986, p.14).

Para cálculo de pressão interna é necessário o conhecimento da distribuição das aberturas da edificação e das suas respectivas áreas. Além disso, o conhecimento do coeficiente de pressão externa também é necessário. A pressão interna é calculada pela Equação abaixo:

$$\sum_1^n \pm A \sqrt{|C_{pe} - C_{pi}|} = 0$$

Onde:

A é a área da abertura;

C_{pe} é o coeficiente de pressão externa, obtida das tabelas 1 e 2;

C_{pi} é o coeficiente de pressão internas (incógnita);

4. EXEMPLOS DO ANEXO D DA NBR 6123

Para fins didáticos, iremos exemplificar e comparar os três possíveis modos de cálculo: exemplos da NBR, program SisCalc e planilha em excel.

Para o cálculo da planilha em excel, compararemos o valor obtido com a planilha de valores arbitrados os gráficos obtidos pela curva.

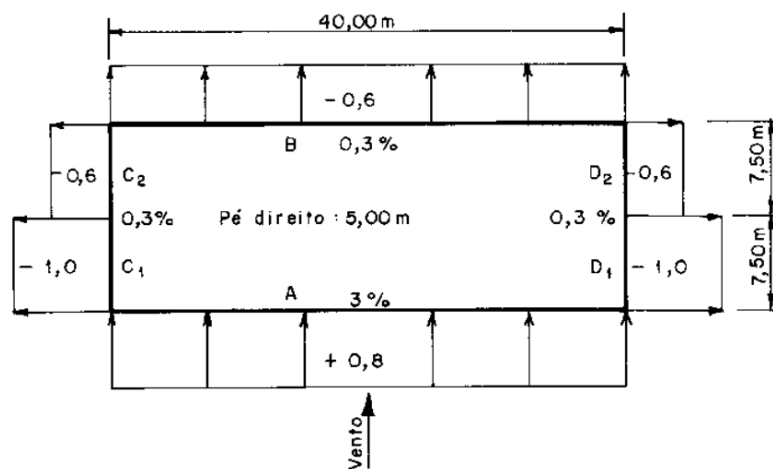
Informamos que devido a equívoco ao conceber o programa SisCals, onde lê-se sotavento deve-se considerar barlavento.

4.1. Exemplo 01

- **Cálculo pela NBR 6123**

Determinação de C_{pi} em um andar intermediário de um edifício de dimensões $a \times b \times h = 40 \times 15 \times 60$ m. Os coeficientes médios externos estão dados na Figura 4.

Figura 4 – Pressão interna em andar tipo de edifício



FONTE: NBR 6123:1988

Na tabela 3 constam os resultados do cálculo do coeficiente de pressão interna segundo a NBR 6123.

Tabela 3 – Coeficiente interno calculado, conforme instrução da normativa.

Local	Área abert. (m ²)	C _e	C _i					
			+ 0,4		+ 0,7		+ 0,75	
			C _e - C _i	± A √.	C _e - C _i	± A √.	C _e - C _i	± A √.
A	6,00	+0,8	+0,4	+3,79	+0,1	+1,90	+0,05	+1,34
B	0,60	-0,6	-1,0	-0,60	-1,3	-0,68	-1,35	-0,70
C ₁ e D ₁	0,23	-1,0	-1,4	-0,27	-1,7	-0,30	-1,75	-0,30
C ₂ e D ₂	0,23	-0,6	-1,0	-0,23	-1,3	-0,26	-1,35	-0,27
Σ =			-	+2,69	-	+0,66	-	+0,07

FONTE: NBR 6123:1988.

O valor adotado pela norma é C_{pi}=+0,8.

- **Cálculo pelo programa SisCalc**

Para cálculo do coeficiente de pressão interna através do programa SisCalc, é necessário o fornecimento de dados relacionados às áreas de abertura das entradas de ar. A figura 5 contém os dados de entrada e resultado apresentado pelo programa.

Figura 5 – Coeficiente interno do exemplo 01 obtido utilizando o SisCalc.

```

**** DETERMINAR CPI DE GALPÃO DE DUAS ÁGUAS ****

ATENÇÃO --> Separador decimal deve ser com vírgula (,)

Parede de sotavento - entrada de ar
  Área(m2): 6
  Cpe: +0,8

Paredes com saída de ar
Quantidade (máxima de 3): 3

Parede 1
  Área(m2): 0,6
  Cpe: -0,6

Parede 2
  Área(m2): 0,23
  Cpe: -1

Parede 3
  Área(m2): 0,23
  Cpe: -0,6

Resultado obtido Cpi= 0,7551
Quantidade de loops= 5

```

FONTE: Autoras.

- **Cálculo pela planilha do Excel**

Para cálculo do coeficiente de pressão interna através da planilha do Excel é necessário fornecer as áreas das entradas de ar. Além disso, deve-se arbitrar valores para o coeficiente de pressão interna, de modo que o erro seja o menor possível, ou seja, mais próximo de zero. A tabela 4 contém os dados de entrada e resultados. Na Figura 6, é possível observar o gráfico de C_{pi} x Erro.

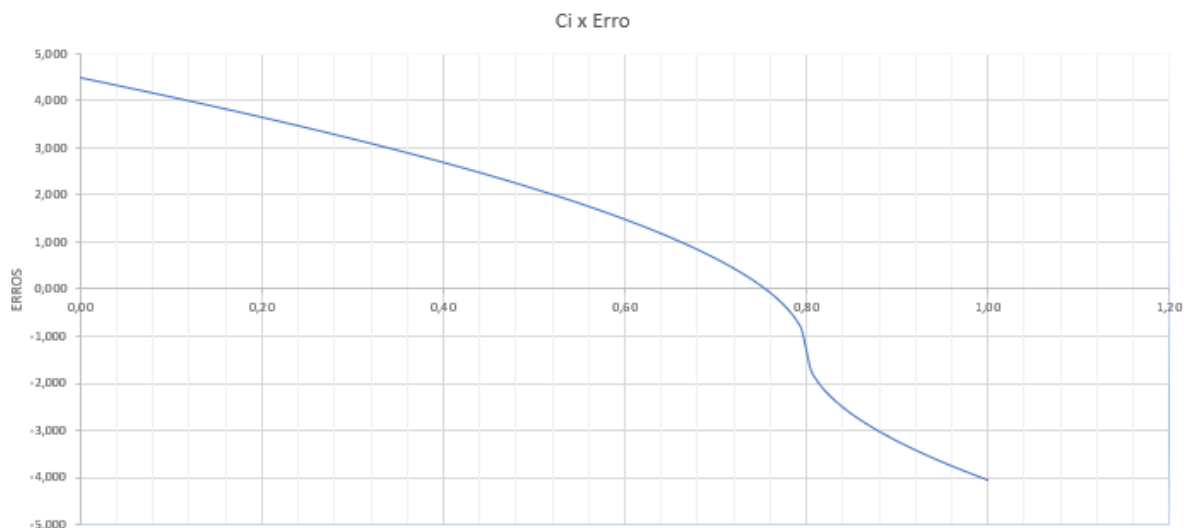
Tabela 4 - Coeficiente interno do exemplo 01 obtido utilizando a planilha em Excel.

Valores de C_i obtidos adotando dois métodos														
MÉTODO 1:			VALORES DE C_{pi} ADOTADOS POR TENTATIVAS											
Local	Área abertura (m ²)	C_e	C_i											
			0,400		0,700		0,750		0,755		0,749		0,756	
			$C_e - C_i$	+/-A...	$C_e - C_i$	+/-A...	$C_e - C_i$	+/-A...	$C_e - C_i$	+/-A...	$C_e - C_i$	+/-A...	$C_e - C_i$	+/-A...
A	6	0,8	0,4	3,79	0,1	1,90	0,1	1,34	0,0	1,27	0,1	1,35	0,0	1,26
B	0,6	-0,6	-1,0	-0,60	-1,3	-0,68	-1,4	-0,70	-1,4	-0,70	-1,3	-0,70	-1,4	-0,70
C1 e D1	0,23	-1	-1,4	-0,27	-1,7	-0,30	-1,8	-0,30	-1,8	-0,30	-1,7	-0,30	-1,8	-0,30
C2 e D2	0,23	-0,6	-1,0	-0,23	-1	-0,26	-1	-0,27	-1	-0,27	-1	-0,27	-1	-0,27
ERROS >>			2,69		0,65		0,07		0,00		0,09		0,01	
C_i >> >>			0,8											

FONTE: Autoras.

Figura 6 - Curva Cpi x Erro

MÉTODO 2:		CURVA CP ₁ X ERRO
Início=	0	<< LANÇAR O INÍCIO DE C ₁
Fim=	1	<< LANÇAR O FIM DE C ₁
Valor Ci >> >>	0,8	>> RESULTADO APROXIMADO BASEADO NA CURVA
Passos=	0,005	
Menor Erro=	0,002	



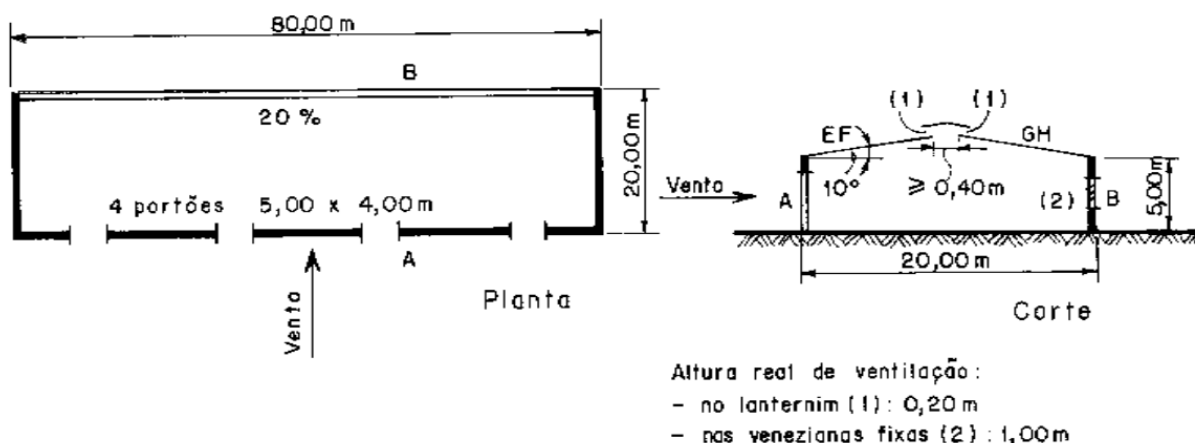
FONTE: Autoras.

4.2- Exemplo 02

- **Cálculo pela NBR 6123**

Determinação de Cpi, em um pavilhão industrial, com as características geométricas e aerodinâmicas indicadas na Figura 7. A cobertura é considerada impermeável.

Figura 7 - Pressão interna em pavilhão industrial



FONTE: NBR 6123:1988

Na tabela 5 constam os resultados do cálculo do coeficiente de pressão interna segundo a NBR 6123.

Tabela 5 - Coeficiente interno calculado, conforme instrução da normativa

Local	Área abert. (m ²)	C _e	C _i					
			0		- 0,2		0,15	
			C _e - C _i	± A √..	C _e - C _i	± A √..	C _e - C _i	± A √..
A	80	+0,7	+0,7	+66,9	+0,9	+75,9	+0,85	+73,8
B	80	-0,5	-0,5	-56,6	-0,3	-43,8	-0,35	-47,3
EF	16	-1,2	-1,2	-17,5	-1,0	-16,0	-1,05	-16,4
GH	16	-0,4	-0,4	-10,1	-0,2	-7,2	-0,25	-8,0
Σ =			-	-17,3	-	+8,9	-	+2,1

FONTE: NBR 6123:1988

O valor adotado pela norma para o C_{pi} é -0,1, entretanto identificamos um erro de cálculo para quando o coeficiente interno de 0,15. Não foi realizado subtração entre o coeficiente externo e o interno e sim soma entre esses coeficientes. A tabela 06, demonstra os valores corretos da subtração entre os coeficientes e o valor correto a ser adotado pela norma para o C_{pi} é -0,2.

Tabela 6 - Verificação do cálculo da norma.

Local	Área abertura (m ²)	C _e	C _i					
			0,000		-0,200		0,150	
			C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...
A	80	0,7	0,700	66,93	0,900	75,89	0,550	59,33
B	80	-0,5	-0,500	-56,57	-0,300	-43,82	-0,650	-64,50
EF	16	-1,2	-1,200	-17,53	-1,000	-16,00	-1,350	-18,59
GH	16	-0,4	-0,400	-10,12	-0,200	-7,16	-0,550	-11,87
ERROS >>				17,28		8,92		35,62
C_i >> >>			-0,2					

FONTE: Autoras.

- **Cálculo pelo programa SisCalc**

Para cálculo do coeficiente de pressão interna através do programa SisCalc, é necessário o fornecimento de dados relacionados às áreas de abertura das entradas de ar. Informamos que devido a equívoco ao conceber o programa SisCals, onde lê-se sotavento deve-se considerar barlavento. A figura 8 contém os dados de entrada e resultado apresentado pelo programa.

Figura 8 - Coeficiente interno do exemplo 02 obtido utilizando o SisCalc.

```
**** DETERMINAR CPI DE GALPÃO DE DUAS ÁGUAS ****  
ATENÇÃO --> Separador decimal deve ser com vírgula (,)  
Parede de sotavento - entrada de ar  
  Área(m2): 80  
  Cpe: 0,7  
  
Paredes com saída de ar  
Quantidade (máxima de 3): 3  
  
Parede 1  
  Área(m2): 80  
  Cpe: -0,5  
  
Parede 2  
  Área(m2): 16  
  Cpe: -1,2  
  
Parede 3  
  Área(m2): 16  
  Cpe: -0,4  
  
Resultado obtido Cpi= -0,1348  
Quantidade de loops= 2  
-
```

FONTE: Autoras.

- **Cálculo pela planilha do Excel**

Para cálculo do coeficiente de pressão interna através da planilha do Excel é necessário fornecer as áreas das entradas de ar. Além disso, deve-se arbitrar valores para o coeficiente de pressão interna, de modo que o erro seja o menor possível, ou seja, mais próximo de zero. A tabela 7 contém os dados de entrada e resultados. Na Figura 9, é possível observar o gráfico de Cpi x Erro.

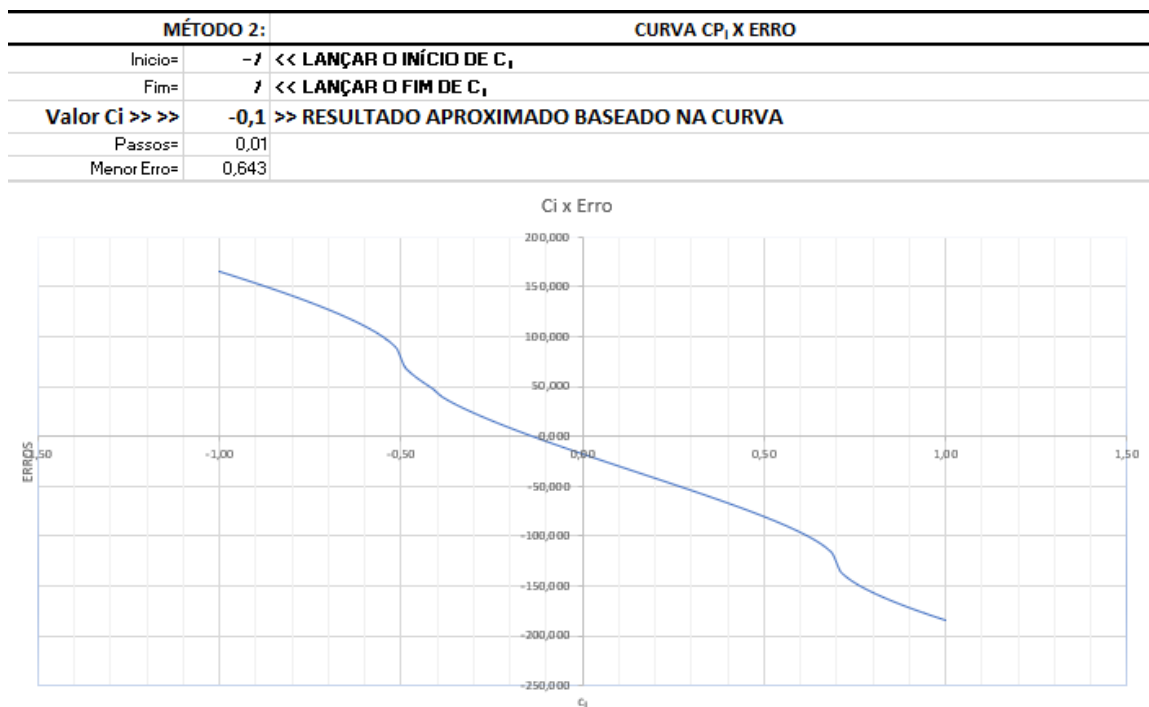
Tabela 7 - Coeficiente interno do exemplo 02 obtido utilizando a planilha em Excel.

Valores de C_i obtidos adotando dois métodos

MÉTODO 1:			VALORES DE C_i ADOTADOS POR TENTATIVAS											
Local	Área abertura (m ²)	C_e	C_i											
			0,000		-0,200		0,150		-0,150		-0,140		-0,135	
			$C_e - C_i$	+/-A...	$C_e - C_i$	+/-A...	$C_e - C_i$	+/-A...	$C_e - C_i$	+/-A...	$C_e - C_i$	+/-A...	$C_e - C_i$	+/-A...
A	80	0,7	0,7	66,93	0,9	75,89	0,6	59,33	0,9	73,76	0,8	73,32	0,8	73,09
B	80	-0,5	-0,5	-56,57	-0,3	-43,82	-0,7	-64,50	-0,4	-47,33	-0,4	-48,00	-0,4	-48,35
EF	16	-1,2	-1,2	-17,53	-1,0	-16,00	-1,4	-18,59	-1,1	-16,40	-1,1	-16,47	-1,1	-16,51
GH	16	-0,4	-0,4	-10,12	-0	-7,16	-1	-11,87	-0	-8,00	-0	-8,16	-0	-8,24
ERROS >>			17,28		8,92		35,62		2,03		0,69		0,00	
$C_i >>>$			-0,1											

FONTA: Autoras.

Figura 9 - Curva C_i x Erro



FONTA: Autoras.

4.3- Exemplo 03

- **Cálculo pela NBR 6123**

Cálculo do Cpi do mesmo pavilhão da Figura 07, porém com apenas um portão a barlavento.

Na tabela 8 constam os resultados do cálculo do coeficiente de pressão interna segundo a NBR 6123.

Tabela 8 - Coeficiente interno calculado, conforme instrução da normativa.

Local	Área abert. (m ²)	C _e	C _i							
			-0,4		-0,6		-0,5		-0,45	
			C _e - C _i	± A √ C _i	C _e - C _i	± A √ C _i	C _e - C _i	± A √ C _i	C _e - C _i	± A √ C _i
A	20	+0,7	+1,1	+21,0	+1,3	+22,8	+1,2	+21,9	+1,15	+21,4
B	80	-0,5	-0,1	-25,3	+0,1	+25,3	0	0	-0,05	-17,9
EF	16	-1,2	-0,8	-14,3	-0,6	-12,4	-0,7	-13,4	-0,75	-13,9
GH	16	-0,4	0	0	+0,2	+7,2	+0,1	+5,1	+0,05	+3,6
Σ =			-	-18,6	-	+42,9	-	+13,6	-	-0,8

FONTE: NBR 6123:1988

O valor adotado pela norma para o Cpi é -0,5.

- **Cálculo pelo programa SisCalc**

Para cálculo do coeficiente de pressão interna através do programa SisCalc, é necessário o fornecimento de dados relacionados às áreas de abertura das entradas de ar. A figura 10 contém os dados de entrada e resultado apresentado pelo programa.

Figura 10 - Coeficiente interno do exemplo 03 obtido utilizando o SisCalc.

```

**** DETERMINAR CPI DE GALPÃO DE DUAS ÁGUAS ****

ATENÇÃO --> Separador decimal deve ser com vírgula (,)

Parede de sotavento - entrada de ar
  Área(m2): 20
  Cpe: 0,7

Paredes com saída de ar
Quantidade (máxima de 3): 3

Parede 1
  Área(m2): 80
  Cpe: -0,5

Parede 2
  Área(m2): 16
  Cpe: -1,2

Parede 3
  Área(m2): 16
  Cpe: -0,4

Resultado obtido Cpi= -0,5019
Quantidade de loops= 11
    
```

FONTE: Autoras.

- **Cálculo pela planilha do Excel**

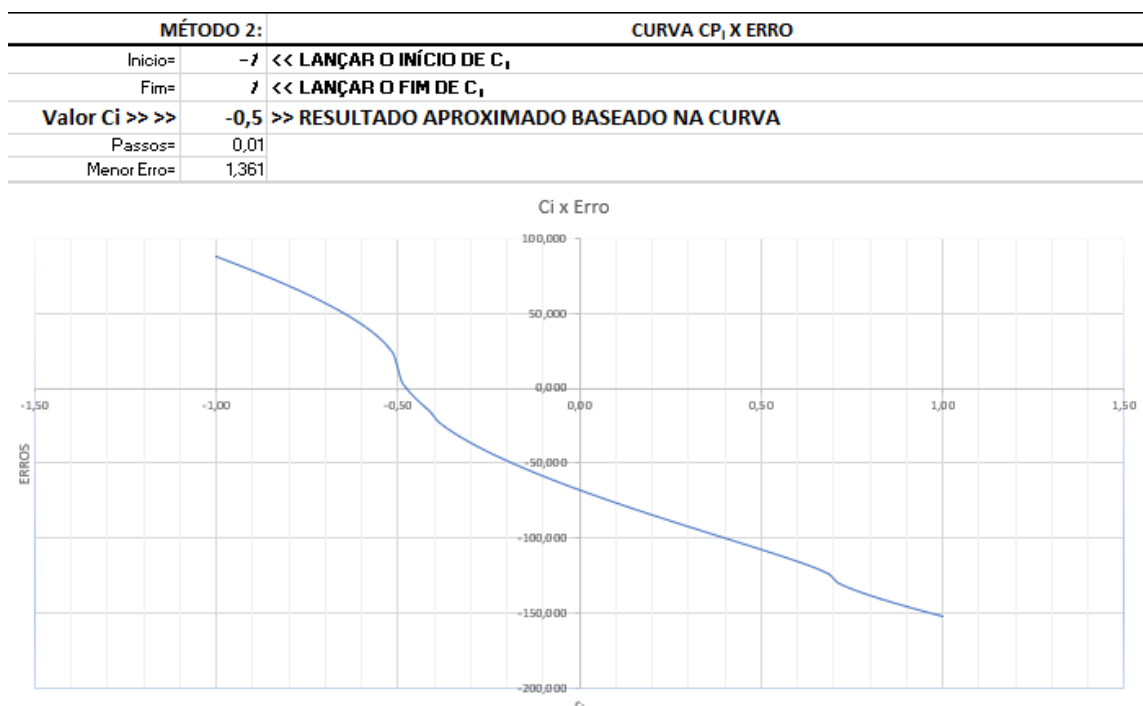
Para cálculo do coeficiente de pressão interna através da planilha do Excel é necessário fornecer as áreas das entradas de ar. Além disso, deve-se arbitrar valores para o coeficiente de pressão interna, de modo que o erro seja o menor possível, ou seja, mais próximo de zero. A tabela 9 contém os dados de entrada e resultados. Na Figura 11, é possível observar o gráfico de Cpi x Erro.

Tabela 9 - Coeficiente interno do exemplo 03 obtido utilizando a planilha em Excel.

MÉTODO 1:			VALORES DE CP _i ADOTADOS POR TENTATIVAS											
Local	Área abertura (m ²)	C _e	C _i											
			<i>-0,400</i>		<i>-0,600</i>		<i>-0,500</i>		<i>-0,450</i>		<i>-0,440</i>		<i>-0,502</i>	
			C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...
A	20	0,7	1,1	20,98	1,3	22,80	1,2	21,91	1,2	21,45	1,1	21,35	1,2	21,93
B	80	-0,5	-0,1	-25,30	0,1	25,30			-0,1	-17,89	-0,1	-19,60	0,0	3,49
EF	16	-1,2	-0,8	-14,31	-0,6	-12,39	-0,7	-13,39	-0,8	-13,86	-0,8	-13,95	-0,7	-13,37
GH	16	-0,4			0	7,16	0	5,06	0	3,58	0	3,20	0	5,11
ERROS >>			18,63		42,86		13,58		6,72		8,99		17,15	
C _i >>>			-0,5											

FONTE: Autoras.

Figura 11 - Curva CPi x Erro



FONTE: Autoras.

4.4- Exemplo 04

- **Cálculo pela NBR 6123**

Cálculo do Cpi do mesmo pavilhão da Figura 07, porém a fachada com venezianas fixas, situadas a barlavento.

Na tabela 10 constam os resultados do cálculo do coeficiente de pressão interna segundo a NBR 6123.

Tabela 10 - Coeficiente interno calculado, conforme instrução da normativa.

Local	Área abert. (m ²)	C _e	C _i			
			+0,4		+0,5	
			C _e - C _i	± A √ C _i	C _e - C _i	± A √ C _i
A	80	+0,7	+0,3	+43,8	+0,2	+35,8
EF	16	-1,2	-1,6	-20,2	-1,7	-20,9
GH	16	-0,4	-0,8	-14,3	-0,9	-15,2
		Σ =	-	+9,3	-	-0,3

FONTE: NBR 6123:1988

O valor adotado pela norma para o Cpi é +0,5.

- **Cálculo pelo programa SisCalc**

Para cálculo do coeficiente de pressão interna através do programa SisCalc, é necessário o fornecimento de dados relacionados às áreas de abertura das entradas de ar. A figura 12 contém os dados de entrada e resultado apresentado pelo programa.

Figura 12 - Coeficiente interno do exemplo 04 obtido utilizando o SisCalc.

```

**** DETERMINAR CPI DE GALPÃO DE DUAS ÁGUAS ****

ATENÇÃO --> Separador decimal deve ser com vírgula (,)

Parede de sotavento - entrada de ar
  Área(m2): 80
  Cpe: 0,7

Paredes com saída de ar
Quantidade (máxima de 3): 2

Parede 1
  Área(m2): 16
  Cpe: -1,2

Parede 2
  Área(m2): 16
  Cpe: -0,4

Resultado obtido Cpi= 0,4975
Quantidade de loops= 4
    
```

FONTE: Autoras.

- **Cálculo pela planilha do Excel**

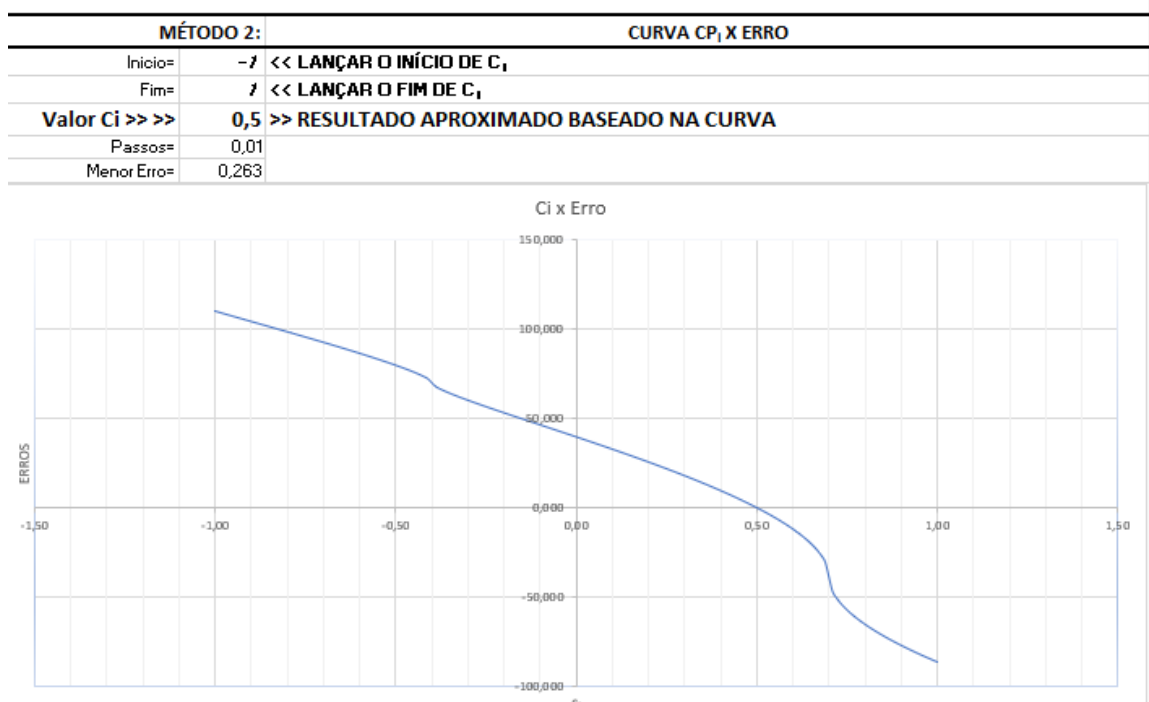
Para cálculo do coeficiente de pressão interna através da planilha do Excel é necessário fornecer as áreas das entradas de ar. Além disso, deve-se arbitrar valores para o coeficiente de pressão interna, de modo que o erro seja o menor possível, ou seja, mais próximo de zero. A tabela 11 contém os dados de entrada e resultados. Na Figura 13, é possível observar o gráfico de Cpi x Erro.

Tabela 11 - Coeficiente interno do exemplo 04 obtido utilizando a planilha em Excel.

MÉTODO 1:			VALORES DE C _P ADOTADOS POR TENTATIVAS											
Local	Área abertura (m ²)	C _e	C _i											
			0,400		0,500		0,450		0,460		0,480		0,490	
			C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...	C _e -C _i	+/-A...
A	80	0,7	0,3	43,82	0,2	35,78	0,3	40,00	0,2	39,19	0,2	37,52	0,2	36,00
EF	16	-1,2	-1,6	-20,24	-1,7	-20,86	-1,7	-20,55	-1,7	-20,61	-1,7	-20,74	-1,7	-20,85
GH	16	-0,4	-0,8	-14,31	-0,9	-15,18	-0,9	-14,75	-0,9	-14,84	-0,9	-15,01	-0,9	-15,16
ERROS >>			9,27		0,26		4,70		3,74		1,78		0,00	
C_i >>>			0,5											

FONTE: Autoras.

Figura 13 - Curva CPi x Erro



FONTE: Autoras.

5. CONCLUSÃO

A NBR 6123: 1988 oferece no seu anexo D, a equação de cálculo do coeficiente de pressão interna. Apesar de ter sido elaborada há muitos anos, o método do cálculo de pressão interna apresentado pela norma ainda é eficiente para os casos analisados. Em casos excepcionais, ou seja, casos não incluídos pela norma, a análise deverá ser realizada pelos túneis de vento ou softwares que se baseiam no Método dos Elementos Finitos, como o Autodesk Robot. Entretanto, nos exemplos exibidos, encontrou-se maior eficiência de cálculo na planilha do Excel e no programa SisCalc.

A metodologia de cálculo apresentada na norma é a base para os métodos apresentados. Porém o cálculo manual é mais demorado e suscetível erros.

Dentre os artifícios de cálculos apresentados, o programa SisCalc, cujo procedimento de cálculo foi desenvolvido pelo Professor Hisashi Inoue, apresentou maior precisão e facilidade de utilização. Com uma estrutura baseada no método numérico de Newton-Raphson, o programa consegue oferecer excelente precisão no cálculo dos coeficientes de pressão interna da estrutura.

A planilha criado no Excel, apesar de oferecer uma boa precisão, tem a utilização um pouco mais complexa, dependendo da tentativa e erro, ou seja, o usuário deve arbitrar valores de modo que eles aproximem do menor erro possível. Porém, pode ser uma boa alternativa para um cálculo ágil e preciso desse coeficiente.

6.REFERÊNCIAS

Construção em aço e sustentabilidade. **CBCA**. Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/vantagens-e-sustentabilidade/>>. Acesso em: 01 de maio de 2023;

Blessmann, J. **Acidentes causados pelo vento**. 3. ed. Porto Alegre, RS.. FURG, 1986;

Blessmann, J. **Ação do vento em edifícios**. 2. ed. Porto Alegre, RS: FURG, 1978;

Blessmann, J. **Pressão interna**. 3. ed. Porto Alegre, RS: FURG, 1976;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.