

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS UNI – ANHANGUERA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CONCEPÇÃO DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS UTILIZANDO
ESTRUTURAS DE AÇO**

MATHEUS MRUK DE CARVALHO

GOIÂNIA, GOIÁS

2019

MATHEUS MRUK DE CARVALHO

**CONCEPÇÃO DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS UTILIZANDO
ESTRUTURAS DE AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário de Goiás – Uni – ANHANGUERA, sob orientação do Professor Engº Ms. Eduardo Mariano Cavalcante de Castro, como requisito para obtenção do bacharelado em Engenharia Civil.

GOIÂNIA, GOIÁS

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

MATHEUS MRUK DE CARVALHO

CONCEPÇÃO DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS UTILIZANDO ESTRUTURAS DE AÇO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a banca examinadora como requisito parcial para obtenção do bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás - UniANHANGUERA, defendido e aprovado em 13 de NOVEMBRO de 2019 pela banca examinadora constituída por:



Prof. Ms. Eduardo Mariano Cavalcante de Castro

Orientador



Prof(a). Lilian Rocha Caldeira

Membro



Prof(a). Heloísa Procópio Moraes

Membro

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, por ser a razão da minha existência, aos meus pais, irmã e amigos que sempre me apoiaram na minha caminhada.

RESUMO

Com o desafio de atingir os atuais níveis de qualidade e máxima produtividade, a construção em estrutura metálica é uma alternativa interessante devido a industrialização, onde as peças a serem utilizadas foram otimizadas no projeto de arquitetura, e assim montadas “in loco”. Ainda que não seja comum o pré-dimensionamento nos projetos arquitetônicos, a precisão deve ser considerada, já que a estrutura metálica oferece um sistema construtivo que exige perfeição no encaixe, e os demais elementos devem acompanhar esse pré-requisito. Assim o projeto arquitetônico não pode ser concebido de forma isolada dos demais projetos complementares, considerando as soluções estruturais, métodos construtivos e a industrialização dos elementos. O presente estudo tem o intuito de auxiliar o profissional da arquitetura em sua elaboração de projeto, apresentando roteiros de pré-dimensionamento de elementos estruturais. Tendo como prova, a resolução do roteiro com o auxílio de softwares. Assim o arquiteto pode identificar e adequar seu projeto, evitando assim retrabalhos, o que significa em economia de tempo e recursos.

PALAVRAS CHAVE: Estrutura Metálica. Pré-dimensionamento. Roteiro. Galpão. Edifício.

1 INTRODUÇÃO

Segundo MANCINI (2003), a arquitetura do aço está relacionada à ideia de modernidade, inovação e vanguarda. Esse conceito é retratado em obras de grande expressão arquitetônica, garantida pela flexibilidade e resistência desse material, que proporciona a liberdade de formas e maior ousadia nos projetos, desenvolvidos no sentido de agregar o máximo de eficiência tecnológica e racionalização construtiva, atendendo as exigências de desempenho e funcionalidade da edificação e assegurando o sucesso do empreendimento. As etapas de trabalho que constituem a concepção do projeto devem ser bem definidas, assim como o conteúdo de cada uma de suas partes.

A construção industrializada baseia-se na aplicação dos elementos pré-fabricados que chegam no canteiro de obras prontos para serem acoplados, vinculada a fatores de organização, desempenho e incremento da produtividade.

Conforme OLIVEIRA (2004), diante da construção industrializada, várias são as formas com que o aço pode ser utilizado. Cabe ao arquiteto identificar e destacar a melhor aplicação para cada caso, assim como a ordem de grandeza dos elementos estruturais devem ser apresentados pelo arquiteto ainda na fase de anteprojeto.

O pré-dimensionamento de elementos estruturais estabelece uma importante iniciativa para obter uma referência das dimensões dos perfis a serem especificados, assim como sua relação com os espaços arquitetônicos. Este procedimento não deve interferir na fase de cálculo estrutural, mas permitirá que o arquiteto trabalhe de modo mais realista as soluções de compatibilização de projetos complementares.

Com o intuito de auxiliar o profissional da arquitetura em sua elaboração de projeto, este trabalho tem o objetivo de apresentar roteiros, fornecendo conhecimentos do pré-dimensionamento de diversos elementos estruturais. Desta forma o arquiteto pode identificar e adequar seu projeto, evitando retrabalhos, o que colabora com a economia de tempo e de recursos.

Segundo BORSATO (2009), as soluções adotadas durante a concepção arquitetônica têm grandes consequências em todo o processo de projeto, e a falta de conhecimento dos fundamentos mínimos na concepção da estrutura metálica pelo arquiteto, é um dos fatores que interferem na pouca utilização do aço.

O diferencial deste trabalho em relação aos demais modelos de pré-dimensionamento encontrados nas bibliografias, é que está sendo proposto a utilização de alguns softwares de livre distribuição, deste modo alguns cálculos que deveriam ser realizados a mão livre nas demais bibliografias, serão executados pelos softwares indicados.

Segundo MANCINI (2003), existem inúmeros softwares que auxiliam a análise do comportamento e o pré-dimensionamento estrutural. Essas ferramentas proporcionam economia de tempo e permitem que os profissionais consigam testar diversas alternativas até atingir o modelo estrutural ideal, sendo assim tecnicamente viável, com segurança, durabilidade e custos aprimorados para cada obra.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo é apresentado por meio de pesquisa bibliográfica, sendo elaborado roteiros para pré-dimensionamento estrutural, onde são considerados um galpão e um edifício.

Desta forma será reunido um conjunto de fundamentos do pré-dimensionamento de diversas bibliografias, sendo utilizada a fórmula mais adequada para cada caso em um único roteiro, assim irá servir de orientação para arquitetos durante o processo de elaboração do projeto de arquitetura.

Juntamente com o roteiro apresentado, foi realizado a exemplificação dos elementos estruturais com a ajuda dos Softwares de livre distribuição: Visual Ventos, Visual Metal e DimPerfil, e demonstrado uma representação básica de uma viga bi-apoiada, pelo Ftool. Assim, todas as dimensões necessárias das vigas e pilares metálicos foram retratadas por capturas de tela dos softwares citados.

3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UM GALPÃO

Todo o pré-dimensionamento dos elementos estruturais do galpão, serão aqui exemplificados para o melhor entendimento do processo.

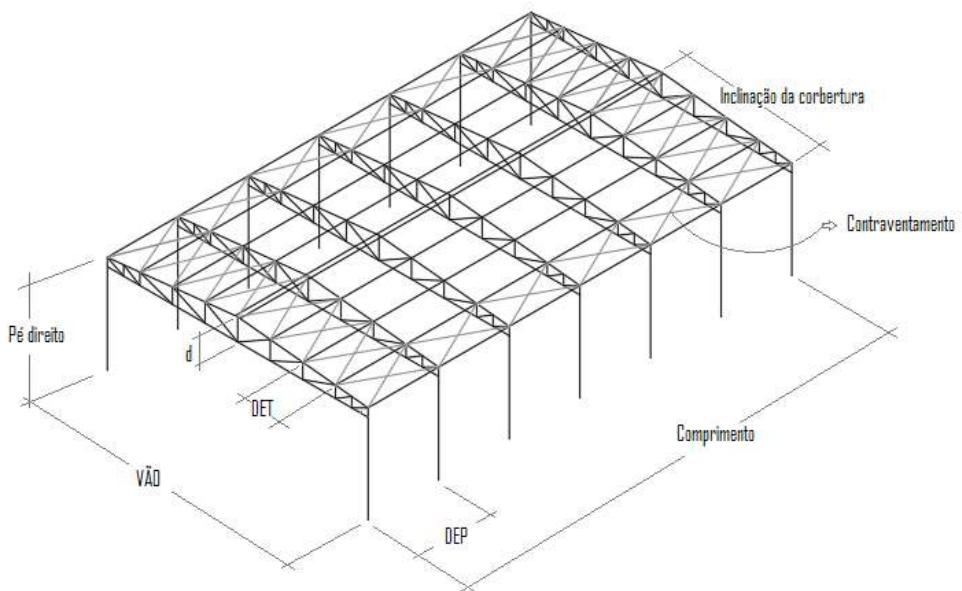


Figura 1: Esquema de um galpão com cobertura em duas águas.

3.1 MEDIDAS A SEREM CONSIDERADOS PARA O PRÉ DIMENSIONAMENTO

- Comprimento (a)
- Vão (L)
- Pé direito (h)
- Inclinação da cobertura (β)
- Distância entre pórticos (DEP)
- Altura diagonal inicial sobre o pilar

Os pilares do galpão serão contraventados no eixo de menor inércia, tais contraventamentos deverão ocorrer sempre entre o primeiro e o segundo pórtico, e entre o penúltimo e último pórtico. O contraventamento consiste em adicionar barras a estrutura, com o propósito de reduzir ou impedir deslocamentos horizontais, utilizados para proporcionar maior estabilidade às estruturas que sofrem ação do vento.

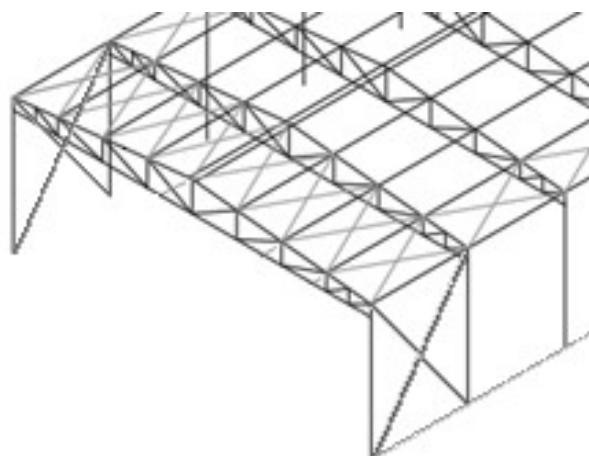


Figura 2: Representação de um contraventamento em X.

3.2 CÁLCULO DO h'

Esta medida é a altura que a treliça terá, referente a sua porcentagem de inclinação.

$$h' = \frac{b}{2 * \beta}$$

3.3 SOBRECARGA DO VENTO

Para encontrar os valores referentes a carga de vento na estrutura, é utilizado neste, o software Visual Ventos. Dentro do software é necessário indicar os fatores topográfico, de rugosidade e estatístico, afim de definir parâmetros para os cálculos realizados pelo Software Visual Ventos.

A tabela a seguir foi desenvolvida a partir do software, para indicar o valor da pressão média do vento. Todos os valores de velocidade básica do vento, foram feitos a partir da representação das Isopletas de vento, adequando o valor médio para cada estado.

Tabela 1: Tabela de cargas de pressão dinâmica na estrutura.

Estado	V₀ (m/s)	Pressão Média (KN/m²)
Acre (AC)	30	0,43
Alagoas (AL)	30	0,43
Amapá (AP)	30	0,43
Amazonas (AM)	35	0,59
Bahia (BA)	30	0,43
Ceará (CE)	30	0,43
Distrito Federal (DF)	35	0,59
Espírito Santo (ES)	35	0,59
Goiás (GO)	35	0,59
Maranhão (MA)	30	0,43
Mato Grosso (MT)	30	0,43
Mato Grosso do Sul (MS)	45	0,97
Minas Gerais (MG)	35	0,59
Pará (PA)	30	0,43
Paraíba (PB)	30	0,43
Paraná (PR)	45	0,97
Pernambuco (PE)	30	0,43
Piauí (PI)	30	0,43
Rio de Janeiro (RJ)	35	0,59
Rio Grande do Norte (RN)	30	0,43
Rio Grande do Sul (RS)	45	0,97
Rondônia (RO)	30	0,43
Roraima (RR)	35	0,59
Santa Catarina (SC)	45	0,97
São Paulo (SP)	40	0,77
Sergipe (SE)	30	0,43
Tocantins (TO)	30	0,43

O processo será demonstrado a partir de capturas de tela, retiradas do software Visual Ventos, como pode ser visto nas próximas figuras.

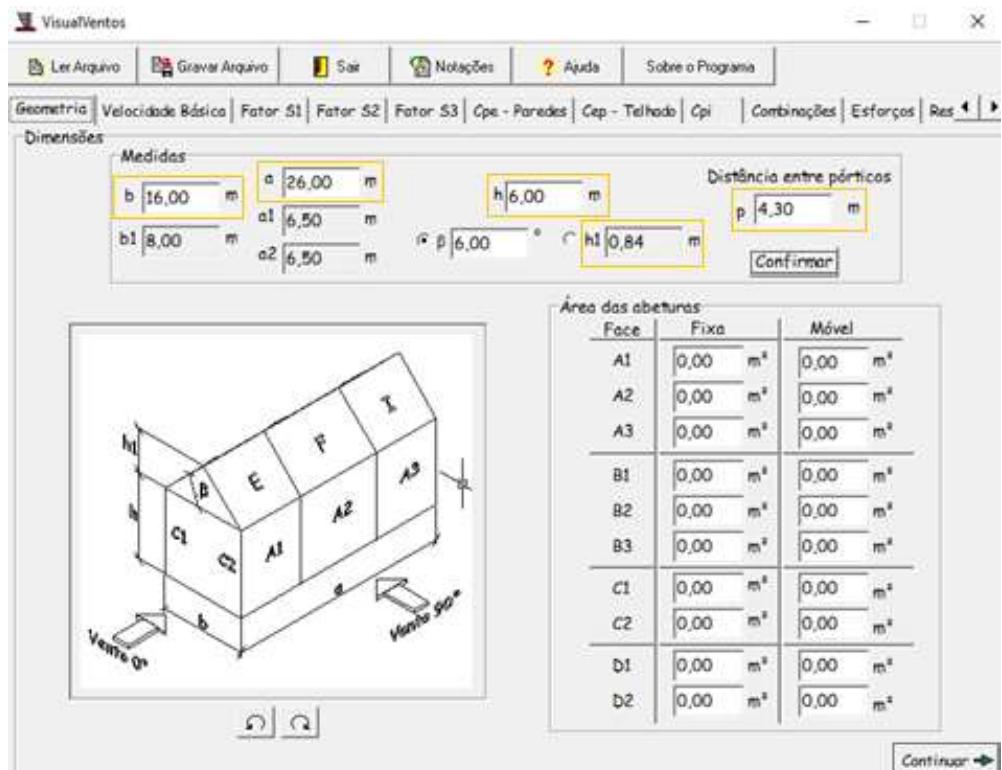


Figura 3: Valores devidamente inseridos no software Visual Ventos.

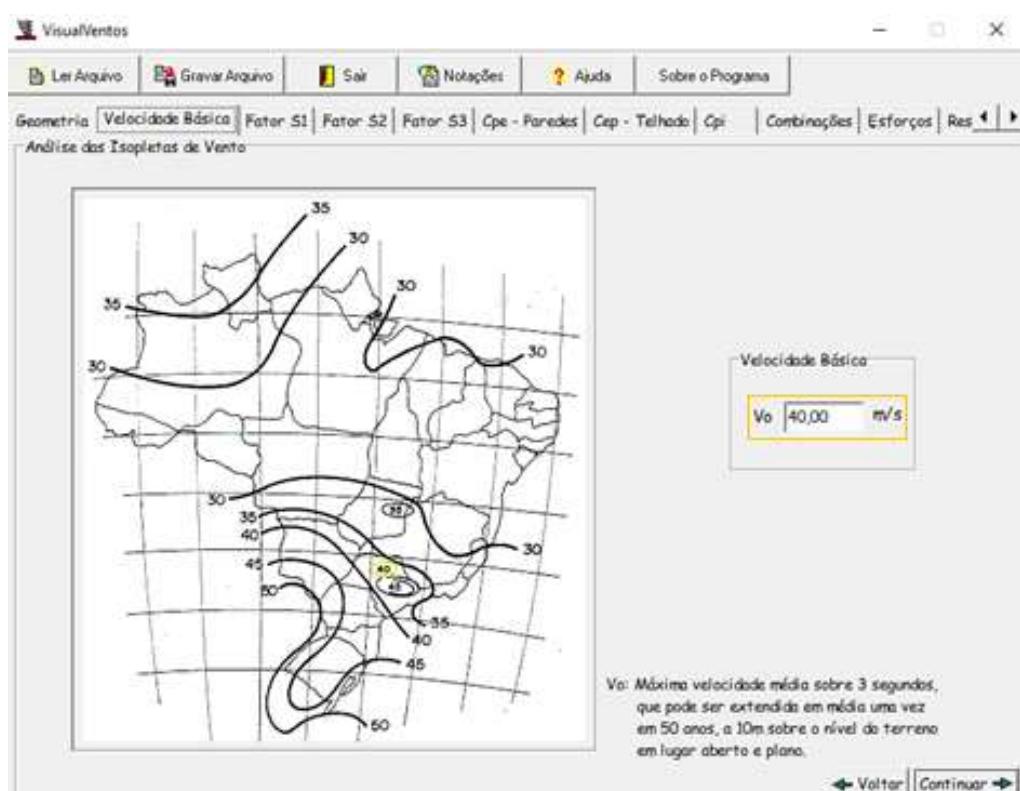


Figura 4: Escolha da velocidade básica do vento.

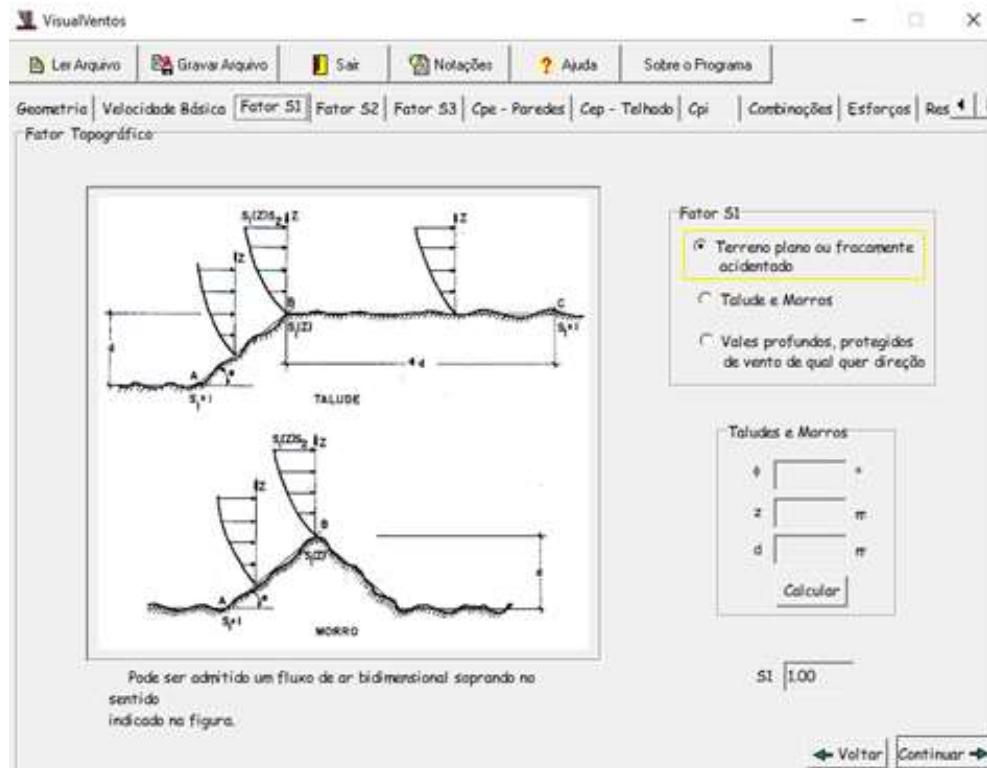


Figura 5: Seleção do fator topográfico (S1).

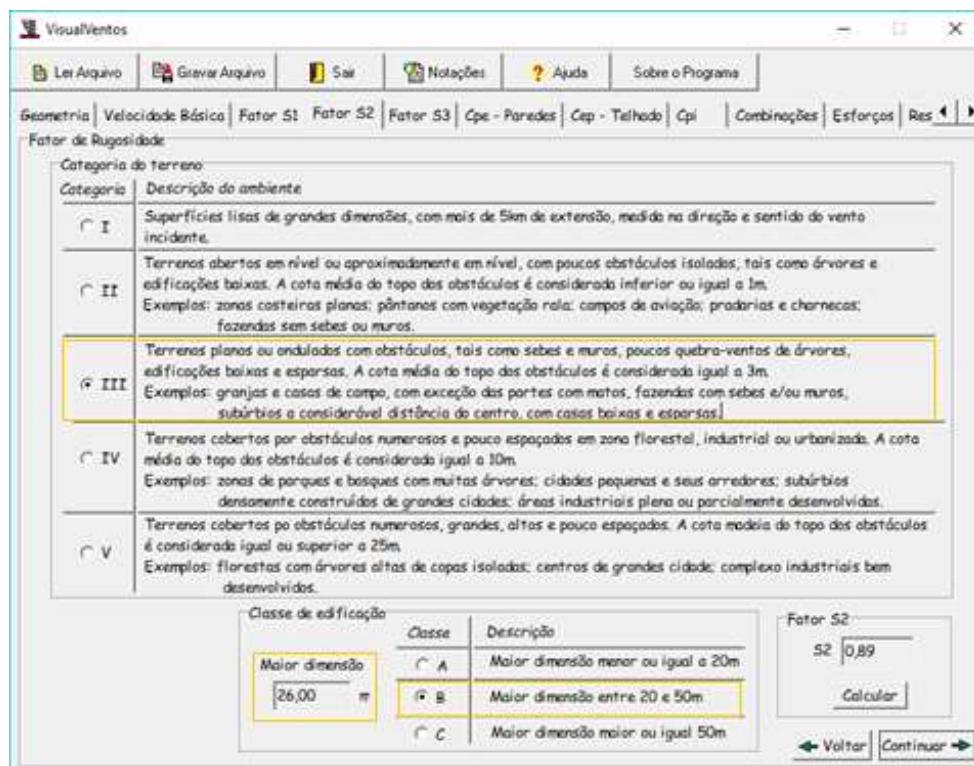


Figura 6: Seleção do fator de rugosidade (S2).



Figura 7: Seleção do fator estatístico (S3).

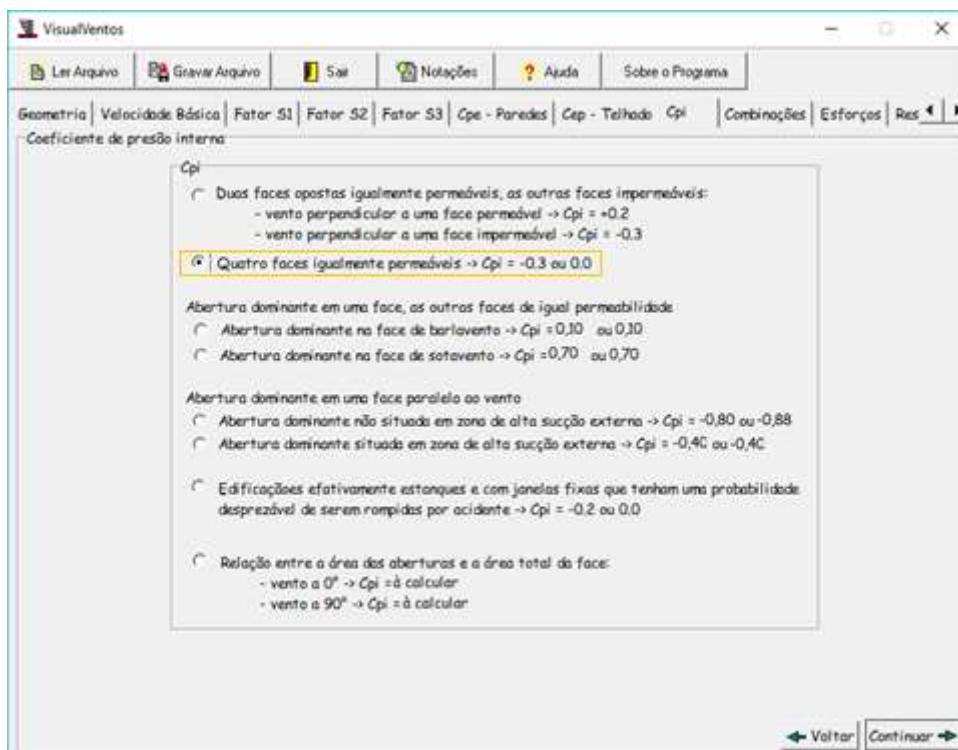


Figura 8: Coeficiente de pressão interna (Cpi).

O valor a seguir foi encontrado no relatório de cálculo do software:

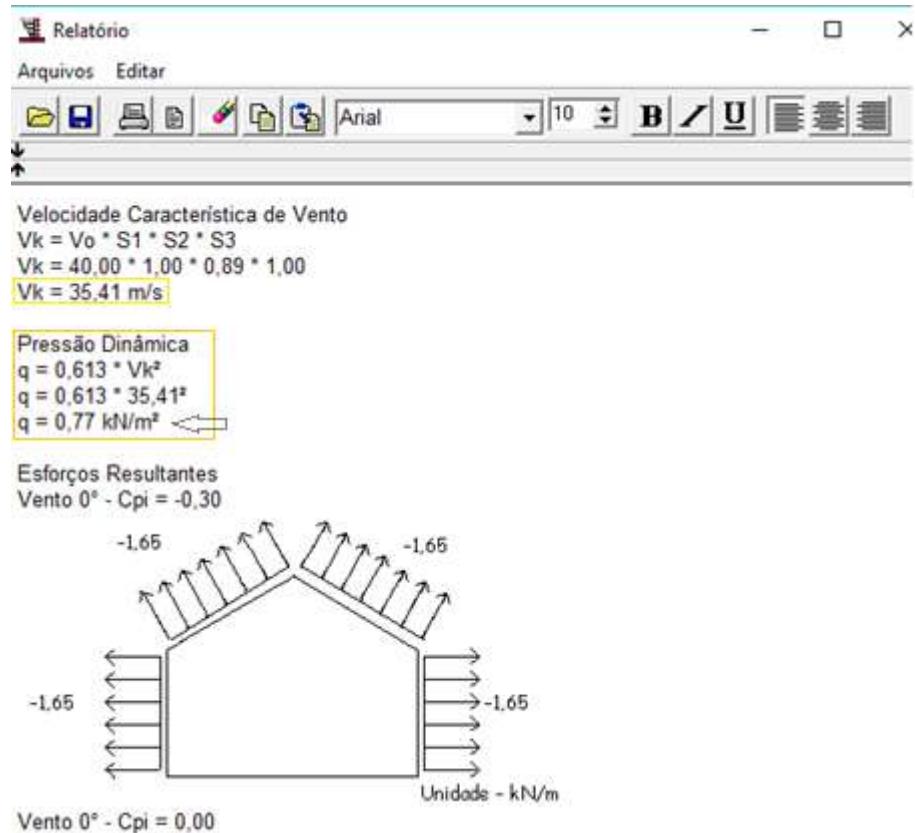


Figura 9: Captura de tela do software Visual Ventos, relatório final.

3.4 CÁLCULO DA DIVISÃO DAS TESOURAS

Com o valor da diagonal esquerda do banzo superior, retirado do AutoCad, divide-se pelo vão máximo da telha. A medida da extremidade da treliça pode variar entre 20 e 70 centímetros, no exemplo abaixo foi utilizado 50 centímetros. A unidade de medida da figura está em metros.

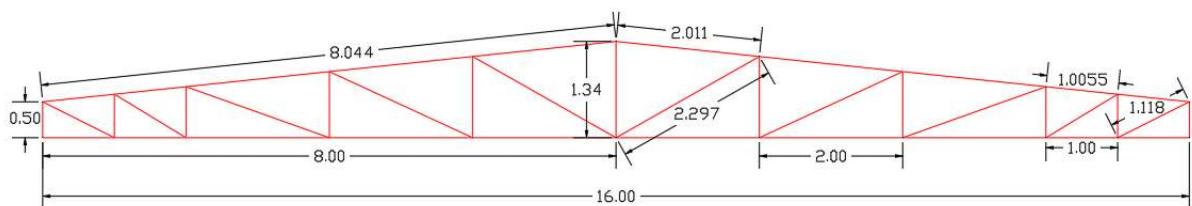


Figura 10: Divisão e medidas da treliça, captura de tela do AutoCad.

De acordo com a tabela do catálogo da Telha termo acústica Isoeste – acabamento aço/aço – isolamento EPS com espessura 50 mm, encontramos o valor do vão máximo e o peso da telha.

Tabela 2: Catálogo telha termo acústica Isoeste.

Nº de Apoços	Espessura isolante (mm)	Espessura revestimento (mm)	Peso próprio (kg/m²)		VR. Cof. global de tensão de corte (kN/mm²°C)	Comprimento máximo (m)	Vão máximo entre apoços (mm)	
			Aço/Aço	Aço/Filme			Aço/Aço	Aço/Filme
	30	0,43 0,50	9,50 4,80	0,84	12	7,5	2750	1800
	50	0,43 0,50	10,00 5,10	0,54	12	7,5	3500	1800
	100	0,43 0,50	11,00 5,70	0,28	12	7,5	4500	1800

Fonte: Catálogo Isoeste.

A partir da tabela apresentada, foi especificada os seguintes parâmetros:

- Vão máximo com 3 apoios = 3,50 metros
- Peso da telha = 0,1 kN / m²

Assim,

$$\frac{8,044}{3,50} = 2,298$$

- 2,298 aponta para a quantidade mínima de divisões que a treliça pode ter;
- Comumente atende por 3 apoios, mas o comprimento é variável.

Então, foi realizada 4 divisões em cada metade da treliça.

$$\frac{8,044}{4,0} = 2,011 \text{ metros}$$

Portanto, a metade da treliça tem 4 divisões de 2,011 metros. A inclinação das barras das diagonais deve variar entre 15 e 75 graus para garantir uma melhor eficiência, e caso após a divisão das tesouras isto não aconteça, o adequado seria a implementação de um montante intermediário, como mostrado no exemplo.

3.5 CÁLCULO DO PESO DAS TESOURAS

Para uma estrutura soldada, a qual será considerada como exemplo, usa-se o sistema:

$$gt = 0,04 + 0,0012 (L - 15)$$

- Valores considerados em KN/m²
- Onde “L” é o vão entre pilares.

3.6 CÁLCULO DAS CARGAS GRAVITACIONAIS

3.6.1 PESO PRÓPRIO DA ESTRUTURA METÁLICA:

$$PP = ESTRUTURA DE COBERTURA + MISCELÂNEAS$$

2.6.2 CARGA PERMANENTE:

São constituídas por todos os pesos de todos os materiais aplicados, direta ou indiretamente nesses elementos estruturais principais, mesmos os seus pesos próprios.

Para determinar a carga permanente de cobertura, primeiro deve-se definir o tipo de telha/acabamento, o tipo de forro a se utilizar e se há equipamentos que forneçam algum tipo de carga adicional a estrutura. Para isso, pesquisar o fornecedor ideal da região que será efetuada a obra, o qual oferece o catálogo com os tipos de telhas, acabamentos, forros e demais informações necessárias para a construção como: espessura, peso próprio, comprimento máximo e vão máximo entre apoios.

$$CP = PESO DA TELHA + PESO DO FORRO + CARGA ADICIONAL$$

A tabela a seguir, demonstra alguns valores sugeridos e comumente utilizados:

Tabela 3: valores para se adotar de acordo com o material utilizado.

MATERIAL	CARGA (KN/m ²)	ESPESSURA (mm)
Telha metálica ou alumínio	0,048	0,5
Telha termo acústica	0,1	50
Telho Fibrocimento	0,18	6
Telha cerâmica	0,4	10
Telha de vidro	0,15	5
Lanternim	0,06	
Instalações elétricas especiais	0,1	
Tubulações: água, óleo, ar condicionado	0,1	

MATERIAL	CARGA (KN/m ²)	ESPESSURA (mm)
Sprinkler	0,15	
Ar condicionado	0,1	
Forro PVC	0,05	
Forro Gesso	0,25	
Forro Madeira	0,1	

Caso tenha equipamentos especiais suspensos a cobertura (monovia, ponte rolante, transportador, etc.), consultar o fornecedor.

3.6.3 SOBRECARGA DA COBERTURA

Segundo o anexo B da NBR 8800 estabelece que “nas coberturas comuns, não sujeitas a acúmulos de quaisquer materiais e, na ausência de especificação em contrário, deve ser prevista uma carga nominal mínima de **0,25 kN / m²**, em projeção horizontal. Em casos especiais a sobrecarga deve ser determinada de acordo com a finalidade da mesma”.

3.6.4 COEFICIENTE DE SEGURANÇA

Deve-se majorar a carga total para trabalhar de acordo com as normas e com os softwares a serem utilizados nesta proposta. No exemplo foi considerada uma margem de segurança de 50%.

3.6.5 CÁLCULO DO CARREGAMENTO TOTAL NA TRELIÇA

$$\text{Carregamento Total} = (PP + CP + SC) * CS$$

3.6.6 CARGA POR METRO LINEAR

Como até agora os carregamentos foram calculados para uma certa área de influência (m²), agora deve-se multiplicar a carga já multiplicada pelo coeficiente de segurança, pela distância entre os pórticos.

$$Q = CT * DEP$$

3.7 CÁLCULO DO DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR E DAS REAÇÕES DE APOIO PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA TRELIÇA

3.7.1 DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR NA TRELIÇA:

$$M_{máx} = \frac{Q * L^2}{8}$$

3.7.2 CÁLCULO DA FORÇA ESTIMADA NO BANZO DA TRELIÇA:

A altura máxima da treliça (d), é determinado a partir do cálculo do h'.

- $d = h' + Altura\ diagonal\ inicial\ sobre\ o\ pilar$

$$F = \frac{M_{máx}}{d}$$

3.7.3 REAÇÕES DE APOIO NA TRELIÇA

$$DEC_{máx} = \frac{Q * L}{2}$$

“Força estimada na última diagonal da treliça.”

3.8 PRÉ DIMENSIONAMENTO DOS BANZOS

É necessário determinar qual tipo de aço e qual tipo de perfil adotar para o banzo. Ao escolher a melhor opção, procurar um fornecedor adequado para sua obra e definir a partir do catálogo todos os valores necessários.

Neste caso foi adotado os seguintes parâmetros:

Tabela 4: Perfil “U” simples, PERFINASA.



PERFINASA

1.2 – Perfil “U” Simples Estrutural (UST)
(Parte 1 de 2)

Legenda

- e - Espessura
- A - Área de seção
- m - Peso estimado por metro
- I_x - Momento de inércia eixo x
- W_x - Módulo de resistência eixo x
- r_x - Raio de giro do eixo x
- X_g - Distância da linha neutra
- I_y - Momento de inércia eixo y
- W_y - Módulo de resistência eixo y
- r_y - Raio de giro do eixo y
- I_t - Momento de inércia à torção
- C_w - Constante de empenamento

COMPRIMENTO PADRÃO DE 6000 mm POR BARRA (considerando e=espessura - mm)

	Dimensão (mm)		A cm ²	m kg/m	I_x cm ⁴	W_x cm ³	r_x cm	X_g cm	I_y cm ⁴	W_y cm ³	r_y cm	I_t cm ⁴	C_w cm
	h x b	e											
UST-06	150x50	2,00	4,87	3,82	158,88	21,18	5,71	1,09	10,93	2,79	1,50	0,065	430,47
		2,25	5,46	4,28	177,32	23,64	5,70	1,10	12,20	3,13	1,49	0,092	479,10
		2,65	6,39	5,02	206,17	27,49	5,68	1,12	14,18	3,65	1,49	0,150	554,61
		3,00	7,20	5,66	230,76	30,77	5,66	1,13	15,87	4,10	1,48	0,216	618,42
		3,35	8,01	6,28	254,76	33,97	5,64	1,15	17,52	4,55	1,48	0,299	680,15
		3,75	8,91	7,00	281,45	37,53	5,62	1,16	19,35	5,04	1,47	0,417	748,21
		4,25	10,03	7,87	313,74	41,83	5,59	1,19	21,57	5,66	1,47	0,603	829,62
		4,75	11,13	8,74	344,84	45,98	5,57	1,21	23,70	6,25	1,46	0,836	907,06

Fonte: Catálogo Perfinasa.

Utilizando o Software DimPerfil 3.0, deve-se inserir as medidas obtidas no catálogo, lembrando que este software trabalha com as medidas em centímetros, desta forma obtivemos os valores a seguir:

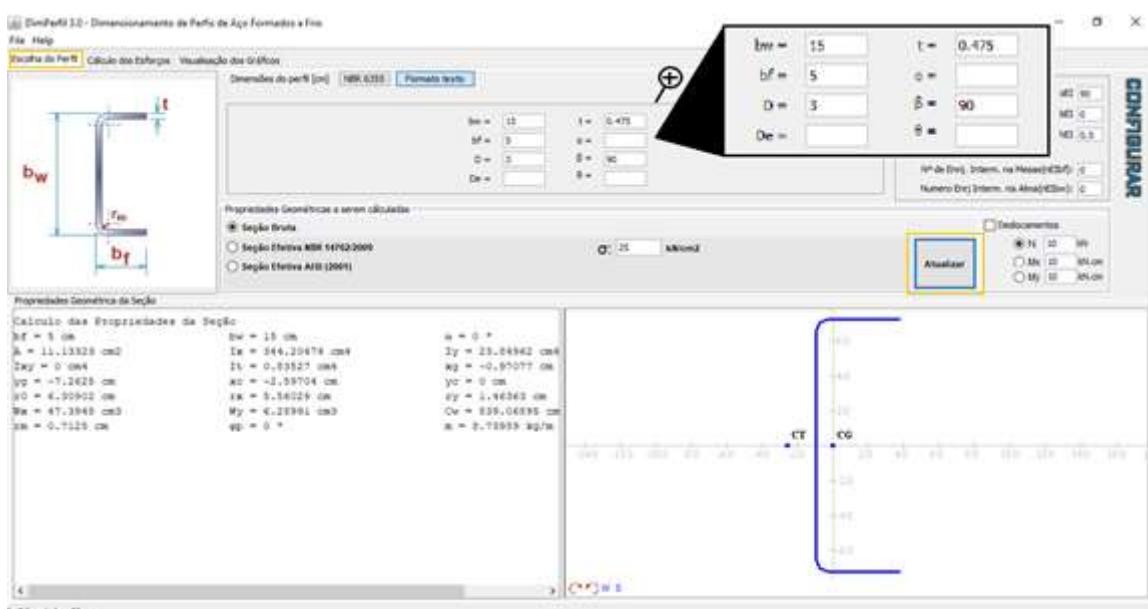


Figura 11: Captura de tela do software DimPerfil 3.0

Após informar tais medidas, clique em atualizar e na próxima aba de cálculo dos esforços, clique em Calcular, logo:

- Resistência limite = 85,076 KN

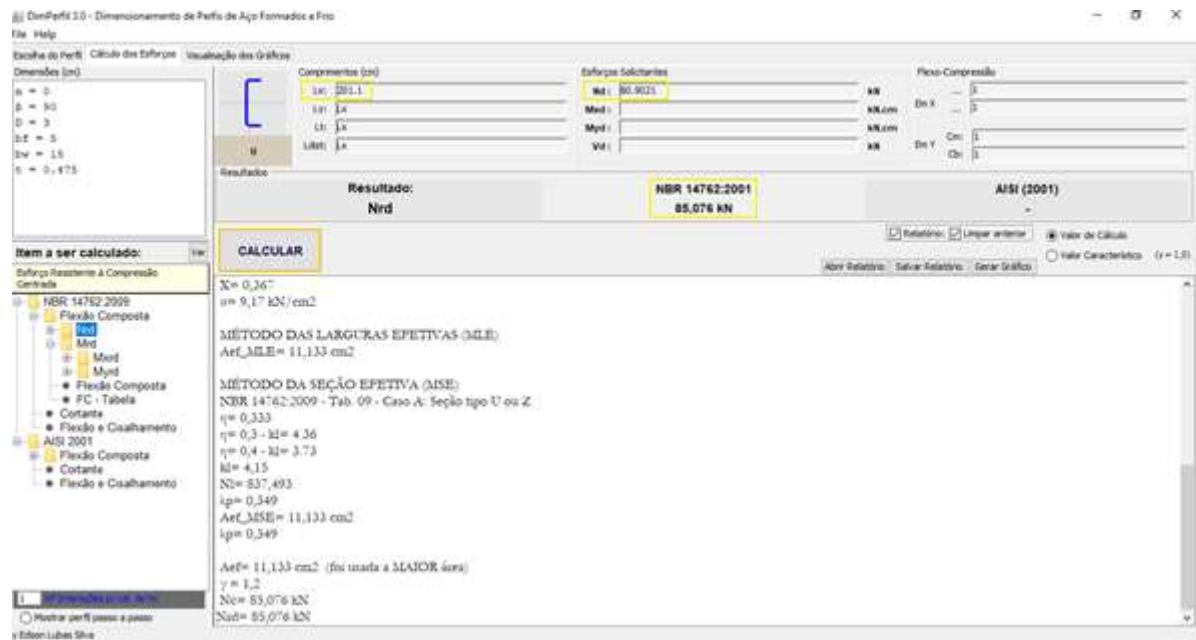


Figura 12: Captura de tela do software DimPerfil 3.0

3.9 PRÉ DIMENSIONAMENTO DAS DIAGONAIS

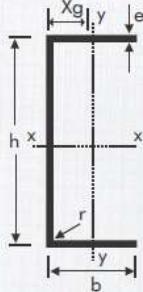
É necessário determinar qual tipo de aço e qual tipo de perfil adotar para as diagonais. Ao escolher a melhor opção, procurar um fornecedor adequado para sua obra e definir a partir do catálogo todos os valores necessários.

Para este estudo de caso, foi adotado:

Tabela 5: Perfil “U” simples estrutural diagonal, PERFINASA.



1.3 – Perfil “U” Simples Estrutural Diagonal (UDI)



Legenda

- e - Espessura
- A - Área de seção
- m - Peso estimado por metro
- I_x - Momento de inércia eixo x
- W_x - Módulo de resistência eixo x
- r_x - Raio de giro do eixo x
- X_g - Distância da linha neutra
- I_y - Momento de inércia eixo y
- W_y - Módulo de resistência eixo y
- r_y - Raio de giro do eixo y
- I_t - Momento de inércia à torção
- C_w - Constante de empenamento

COMPRIMENTO PADRÃO DE 6000 mm POR BARRA (considerando e=espessura - mm)

Ref.		Dimensão (mm)		A	m	Ix	Wx	rx	Xg	Iy	Wy	ry	It	Cw
		h x b	e											
UDI-01	68x30	2,00	2,43	1,91	16,88	4,96	2,64	0,79	2,08	0,94	0,93	0,032	16,16	
		2,25	2,71	2,13	18,68	5,49	2,62	0,81	2,31	1,05	0,92	0,046	17,81	
		2,65	3,16	2,48	21,42	6,30	2,60	0,82	2,65	1,22	0,92	0,074	20,30	
		3,00	3,54	2,78	23,68	6,97	2,59	0,84	2,94	1,36	0,91	0,106	22,33	
UDI-02	93x30	2,00	2,93	2,30	35,57	7,65	3,49	0,68	2,28	0,98	0,88	0,039	34,17	
		2,25	3,28	2,57	39,48	8,49	3,47	0,69	2,53	1,09	0,88	0,055	37,76	
		2,65	3,82	3,00	15,50	9,79	3,45	0,70	2,92	1,24	0,87	0,089	43,20	
		3,00	4,29	3,37	50,40	10,87	3,43	0,72	3,24	1,42	0,87	0,129	47,69	

Fonte: Catálogo Perfinasa.

Utilizando o software DimPerfil 3.0, após inserir as medidas, obtivemos o valor a seguir:

- Resistência limite = 29,055 KN

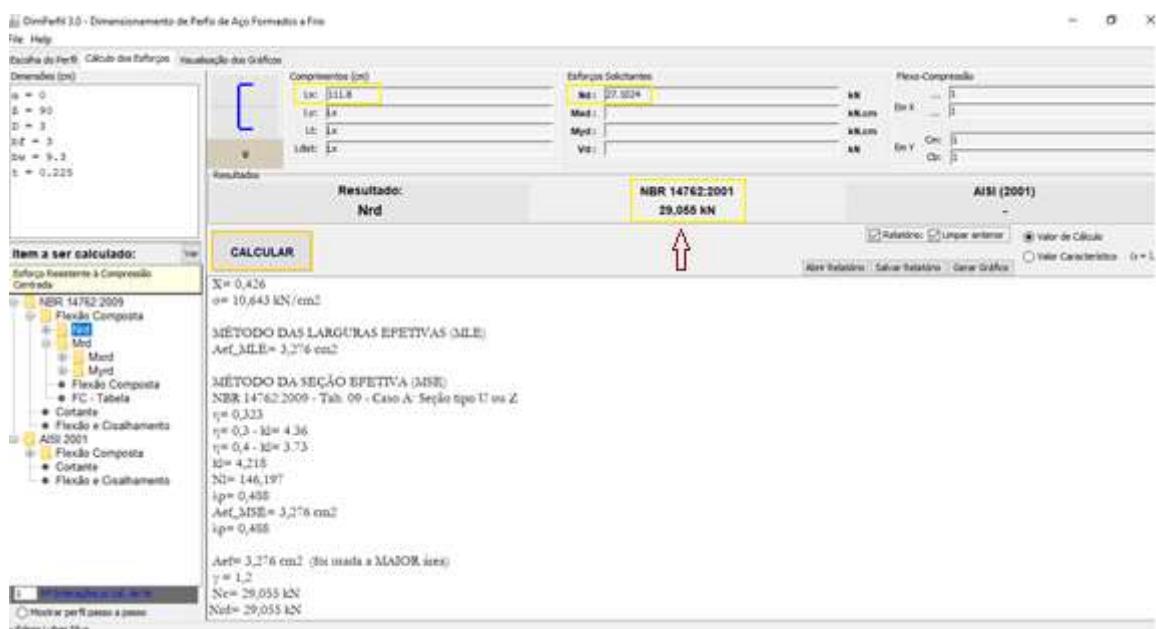


Figura 13: Captura de tela do software DimPerfil 3.0

3.10 PRÉ DIMENSIONAMENTO DOS PILARES

A partir dos esforços resultantes, calcula-se a sobrecarga de ventos para cada situação proposta pelo software Visual Ventos.

- $F = q * DEP * h$ - $Q = \text{Carga de vento (Visual Ventos)}$
- $M = F * h$

Deve-se multiplicar o valor do momento fletor ($\text{KN}*\text{m}$) por 100 para se obter a unidade de medida em centímetros ($\text{KN}*\text{cm}$), a qual é usada pelo software.

O coeficiente de segurança foi substituído pela opção de se colocar a carga para pré-dimensionamento do pilar em uma posição mais desfavorável, que seria no topo do pilar (6 metros) ao invés de ser no meio do pilar.

Com o resultado dos cálculos do Momento Fletor e Cortante, dimensiona-se o perfil estimado que os pilares devem resistir, a partir do Software Visual Metal.

Neste exemplo, iremos adotar para um perfil soldado. A figura a seguir da tela inicial, demonstra o local onde deve-se clicar para se utilizar o perfil soldado no software Visual Metal.

Na tela seguinte, deve-se inserir corretamente os valores e medidas, calcular e clicar no botão MAIS LEVE, para que o software faça seu papel.

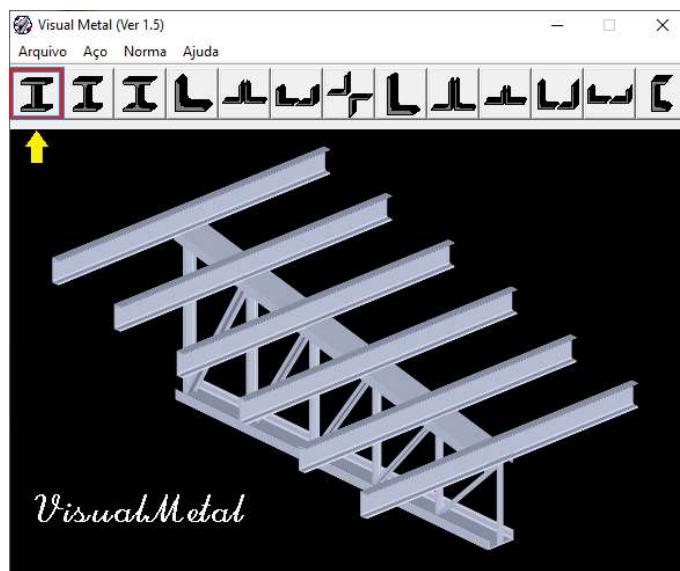


Figura 14: Captura de tela do software Visual Metal, escolhendo o perfil soldado.

É sugerido que trabalhe com o perfil CVS da tabela do software (VISUAL METAL).
Mas não existe restrição caso queira trabalhar com a família CS ou VS.

Para perfis laminados vale a mesma explicação.

Lembrando que na utilização do Software Visual Ventos, os valores a serem inseridos no espaço indicado por (Lflx, Lfly e Lb), é a medida da altura do pilar em centímetros.

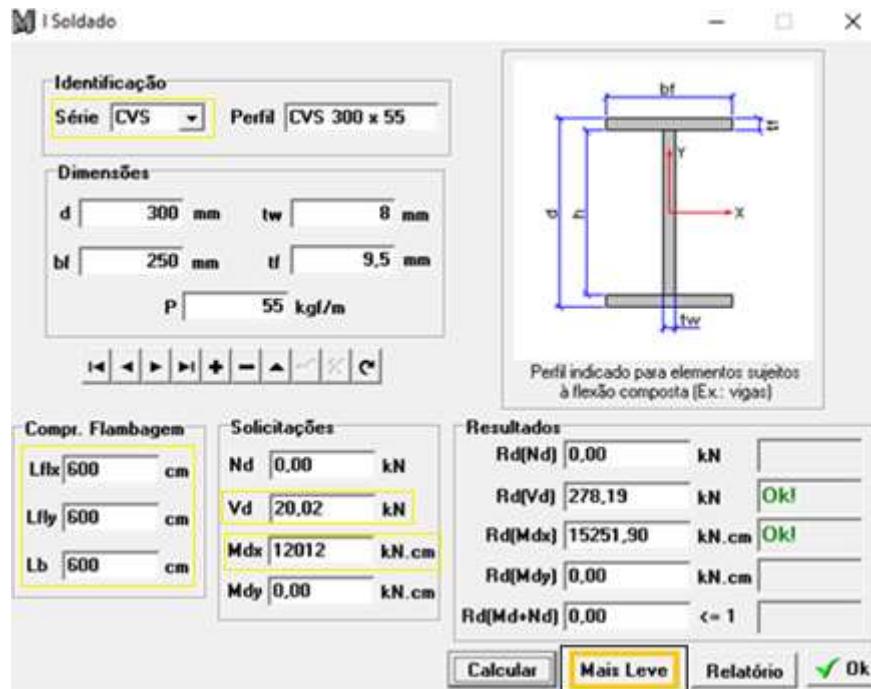


Figura 15: Captura de tela do software Visual Metal, Dimensões do pilar.

4 PRÉ DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UM EDIFÍCIO

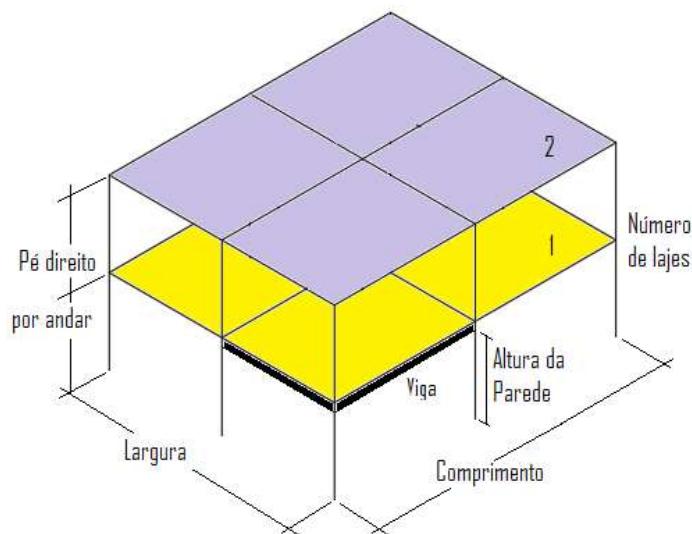


Figura 16: Esquema de um edifício.

4.1 MEDIDAS A SEREM CONSIDERADAS PARA O PRÉ DIMENSIONAMENTO

Para o nosso exemplo a ser executado, serão adotados os seguintes valores:

- Comprimento da estrutura
- Largura da estrutura
- Pé direito por andar
- Número de lajes incluindo a cobertura
- Sobrecarga nos pavimentos
- Espessura da laje maciça
- Espessura das paredes (Alvenaria)
- Altura das paredes
- Espessura do reboco

Para o edifício em questão, será realizado o contraventamento nas suas 4 faces, evitando assim o deslocamento da estrutura.

Também está sendo considerado no exemplo, que todas as vigas apresentadas possuem alvenaria sobre as mesmas.

4.2 PRÉ DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS

Para se pré-dimensionar as vigas, deve-se analisar as áreas de influência da laje em relação a cada viga. Como a viga metálica tem sua particularidade em relação a viga em concreto (onde cada viga é bi-apoiada e não contínua como as vigas em concreto), deverá ser feita a análise de uma por vez, levando em consideração também os deslocamentos máximos que a viga analisada pode suportar.

4.3 ÁREA DE INFLUÊNCIA:

São áreas de influência da laje, que determinam os esforços que serão aplicados em cada viga projetada. Levando em consideração que a nossa estrutura é de aço, dispõe aqui um exemplo a se seguir:

Considerando a imagem a seguir, que traz a “planta de forma” das lajes, vigas e pilares, onde está indicado cada área de influência atuante a sua determinada viga. Lembrando que a viga metálica será sempre bi-apoiada, pois suas extremidades são parafusadas ou soldadas.

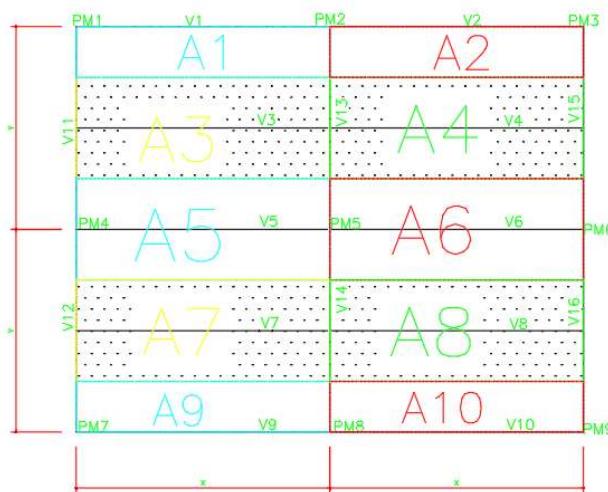


Figura 17: Representação das áreas de influência das lajes, em laje steel deck.

Definições das nomenclaturas:

- A_n : Área de influência da laje na viga;
- V_n : Viga
- PM_n : Pilar

Como demonstrado na figura acima, sendo mais explicativo, foi exemplificado quatro lajes igualmente espaçadas ($x = 5\text{m}$, $y = 4\text{m}$), porém foi empregada uma viga auxiliar no sentido horizontal da figura, representando que conforme os vãos máximos definidos no catálogo do fabricante da laje, esta seria a melhor disposição, tendo um maior custo benefício ao utilizá-las desta forma.

Sendo assim, ficou situada a seguinte disposição das áreas de influência em cada viga:

- Área 1 = A2, A9 e A10,

Atuam nas vigas: V1, V2, V9 e V10;

- Área 3 = A4, A5, A6, A7 e A8,

Atuam nas vigas: V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11, V12, V13, V14, V15;

Para demonstrar as áreas de influência também em laje de concreto, será realizado o exemplo, como demonstrado na figura abaixo, onde foi disposto que as vigas terão em $y = 4$ metros e $x = 5$ metros. Deste modo, as áreas de influência se dão da seguinte forma:

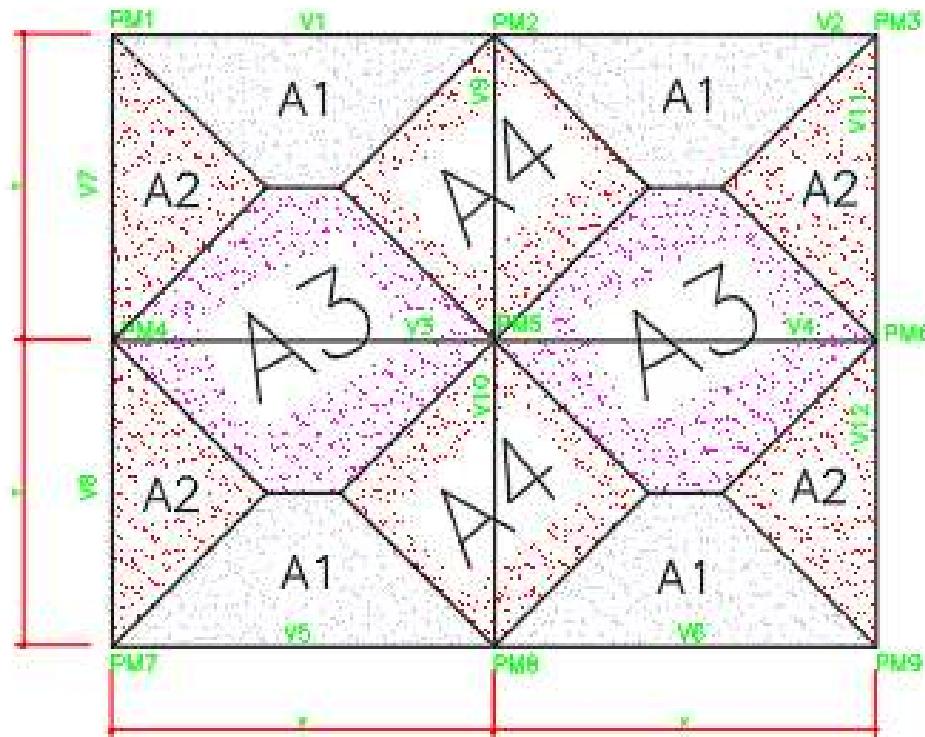


Figura 18: Representação das áreas de influência das lajes, em laje de concreto.

- Área 1: atua nas vigas V1, V2, V5 e V6;
- Área 2: atua nas vigas V7, V8, V11 e V12;
- Área 3: atua nas vigas V3 e V4;
- Área 4: atua nas vigas V9 e V10.

4.4 CARGAS NAS VIGAS:

Carga = peso próprio + carga permanente + sobre carga + peso da viga + peso alvenaria

Será desconsiderado o peso da viga de aço, pois sua carga não será relevante para o pré-dimensionamento.

Desta forma, vamos começar a calcular as vigas atuantes na área de influência 1.

4.4.1 PESO PRÓPRIO:

Carga da área de influência da laje.

Se a laje for de concreto, então:

$$PP = \frac{\gamma_{concreto} * espessura\ da\ laje * \text{área\ de\ influência}}{vão}$$

4.4.2 CARGA PERMANENTE:

Contra piso, revestimentos, reboco, instalações etc.

$$CP = \frac{(\gamma * e * \text{área\ de\ influência})}{vão}$$

4.4.3 SOBRECARGA:

De acordo com a utilização de cada ambiente (NBR-6120, tabela 2):

$$SC = \frac{(carga\ espe\ cific\ a * \text{\'area}\ de\ influ\ en\ cia)}{v\~ao}$$

4.4.4 PESO ALVENARIA:

O peso da alvenaria é dividido em duas etapas (peso do tijolo e peso do reboco), mas podem ser calculadas juntas sendo;

$$\text{Alvenaria} = \text{Peso do tijolo} + \text{Peso do Reboco}$$

$$\text{Alvenaria} = e \text{ tijolo} * \gamma \text{ tijolo} * H + 2 * rev * \gamma \text{ argamassa} * H$$

- **e tijolo** = espessura do tijolo
- **rev** : revestimento
- **γ** : peso específico
- **H**: altura da parede

4.5 CÁLCULO DO MOMENTO FLETOR MÁXIMO:

$$M_{máx} = \frac{q * l^2}{8}$$

Após obter o momento fletor máximo que irá atuar na viga, podemos então utilizar o software Visual Metal para estabelecer especificações da viga metálica. Desta forma obtivemos:

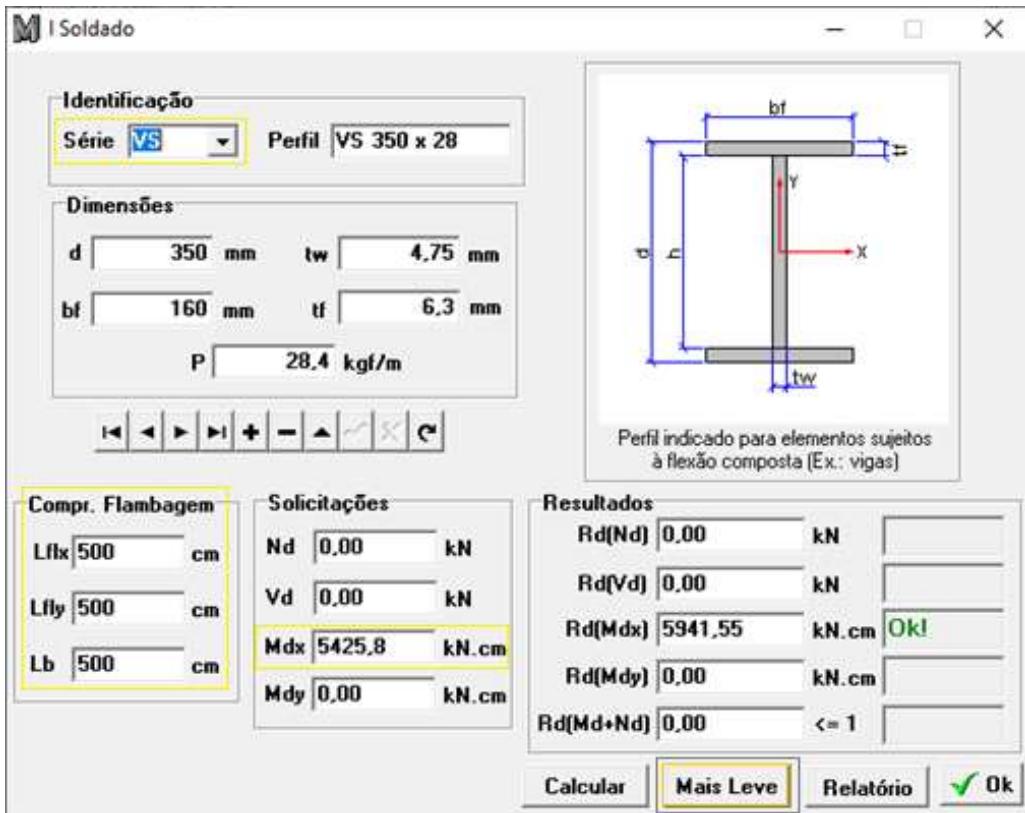


Figura 19: Captura de tela do software Visual Metal.

Lembrando que para obter os resultados esperados, deve-se indicar corretamente o comprimento de flambagem (Lflx, Lfly e Lb: comprimento total da viga bi-apoiada em centímetros) e também o momento fletor máximo (Mdx, como foi encontrado o valor em KN*m deve-se multiplicar por 100 o valor encontrado, para ficar na medida correta que pede o software, KN*cm). Após inserir os dados, é necessário que clique no botão indicado como *MAIS LEVE*, obtendo assim o perfil a se usar e suas medidas.

Como foi apresentado o esquema para determinar as cargas atuantes, momento fletor máximo e utilização do software para obter o perfil e medidas da viga, agora serão apresentados os perfis das demais vigas do edifício;

Tabela 6: Cargas e momentos em todas as vigas.

Área de influência	Vigas atuantes	PP (KN/m)	CP (KN/m)	SC (KN/m)	Alvenaria (KN/m)	Carga Total (KN/m)	Mmáx (KN*m)
Área 1	V1, V2, V5, V6	3	1	1,8	5,775	11,575	54,258
Área 2	V7, V8, V11, V12	2,5	1	1,5	5,775	10,775	32,325
Área 3	V3, V4	6	2	3,6	5,775	17,375	81,450
Área 4	V9, V10	5	2	3	5,775	15,775	47,325

4.6 REPRESENTAÇÃO DAS CARGAS E DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR:

Como as vigas metálicas exemplificadas são bi-apoiadas, a representação a seguir adequa-se para todas. Para obter este referencial foi utilizado o Software Ftool

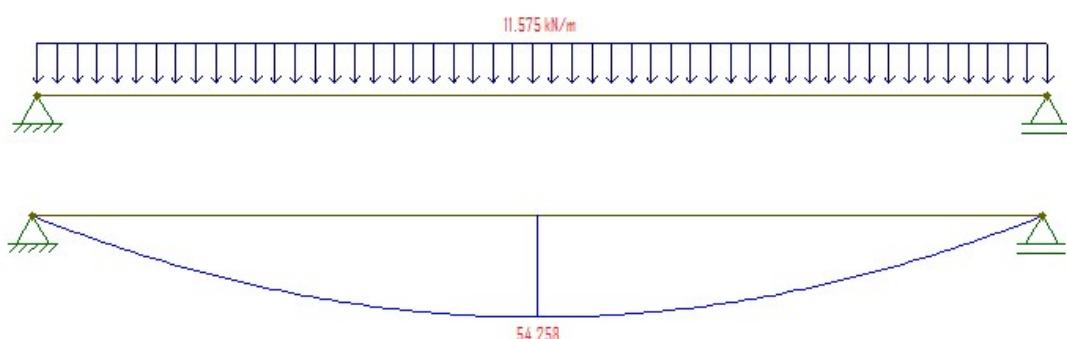


Figura 20: Captura de tela do software Ftool, demonstrando a viga bi-apoiada.

4.7 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS PILARES

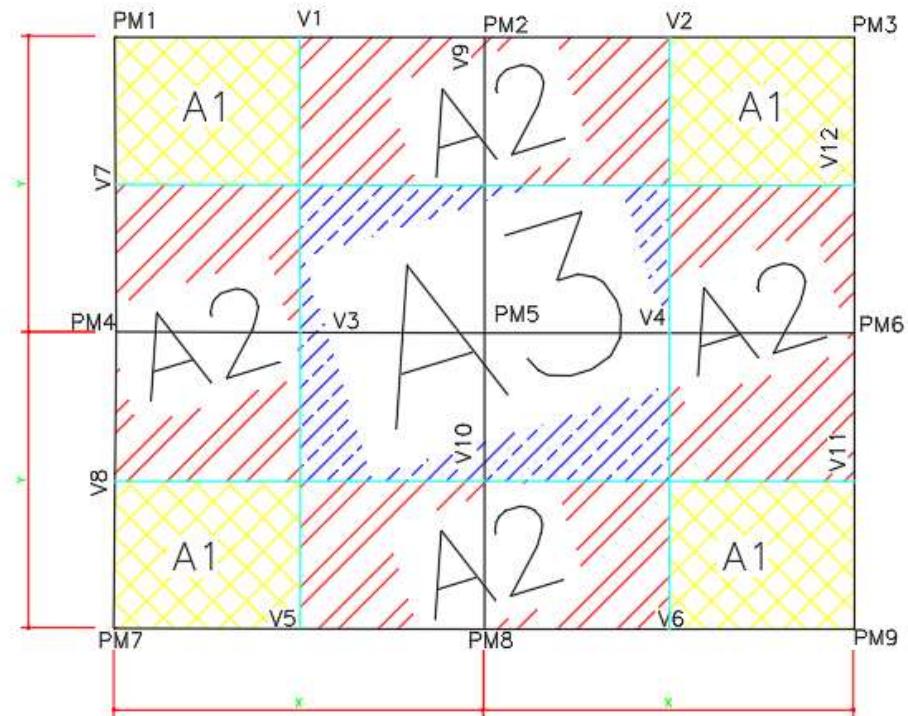


Figura 21: Arranjo das áreas de influência para cada pilar.

Para determinar a carga que atua em cada pilar, será proposto uma análise de mesmo modelo como nas vigas, por áreas de influência. Não podendo se esquecer que para determinar a carga total do pilar a ser pré-dimensionado, deve-se somar o esforço que todos os pavimentos do edifício proporcionam.

Como no exemplo proposto foi dado um edifício simples e de medidas iguais para cada laje, as áreas de influência serão iguais para todos os pilares. Porém a análise deverá ser feita individualmente, pois há pilares que recebem esforços de mais de uma área de influência, tendo de ser efetuada a devida proporção.

Lembrando que para calcular as cargas atuantes, deve-se levar em conta, que todas as vigas calculadas no exemplo, tem alvenaria em toda sua extensão.

Assim, podemos começar a encontrar a carga que cada pilar irá receber. Como previsto no esquema mostrado na figura, os pilares em questão receberam a nomenclatura $PM_{1,2,3\dots}$.

4.8 DETERMINANDO A CARGA DO PILAR POR ÁREA DE INFLUÊNCIA:

Para os pilares de canto PM1, PM3, PM7 e PM9, será feita a análise de apenas uma área de influência, no caso respectivamente A1(cada área de influência indicada tem 5m²).

A seguir será exemplificado em detalhes o pilar PM1:

4.8.1 PESO PRÓPRIO DA LAJE:

$$PP = \gamma_{concreto} * e_{laje} * \text{área de influência}$$

4.8.2 CARGA PERMANENTE

$$CP = (kN/m^2) * \text{Área de influência (5 m}^2)$$

4.8.3 SOBRE CARGA:

$$SC = (KN/m^2) * \text{Área de influência (m}^2)$$

4.8.4 ALVENARIA:

A carga de alvenaria no nosso exemplo vai mudar para cada pilar, pois os pilares de canto por exemplo recebem alvenaria de duas direções, e já o pilar central recebe carga da alvenaria de quatro direções. Lembrando que as medidas do comprimento da alvenaria nem sempre são iguais, devendo sempre ficar atento a este detalhe.

4.8.5 CARGA TOTAL NO PILAR

Levando em conta que nosso edifício de exemplo contém apenas duas lajes, ao somar a carga atuante no pilar, multiplicar o resultado pela quantidade de lajes que seu edifício possui.

$$CT = Soma das cargas atuantes * número de lajes$$

Após encontrar a carga total atuante nos pilares, deve-se majorar a carga com um coeficiente de segurança, no caso do exemplo foi de 50%.

Para os demais pilares da amostra, será apresentado na tabela a seguir, a carga total que cada pilar recebe.

Tabela 7: Cargas completa, Pilar.

PILAR	ÁREA DE INFLUÊNCIA (m ²)	CARGA GERADA				CARGA POR ANDAR		CARGA TOTAL MAJORADA (50%) (KN)	
		PP (kN)	CP (kN)	SC (kN)	ALV (kN)	1°	2°		
PM1	A1	5	12,5	5	7,5	25,99	50,99	50,99	152,97
PM2	A2, A5	10	25	10	15	40,43	90,43	90,43	271,29
PM3	A6	5	12,5	5	7,5	25,99	50,99	50,99	152,97
PM4	A3, A9	10	25	5	15	37,54	82,54	82,54	247,62
PM5	A4, A7, A10, A13	20	50	20	30	51,98	151,98	151,98	455,94
PM6	A8, A14	10	25	5	15	37,54	82,54	82,54	247,62
PM7	A11	5	12,5	5	7,5	25,99	50,99	50,99	152,97
PM8	A12, A15	10	25	10	15	40,43	90,43	90,43	271,29
PM9	A16	5	12,5	5	7,5	25,99	50,99	50,99	152,97

4.9 DIMENSÕES DOS PILARES

- PM1, PM3, PM7 e PM9:

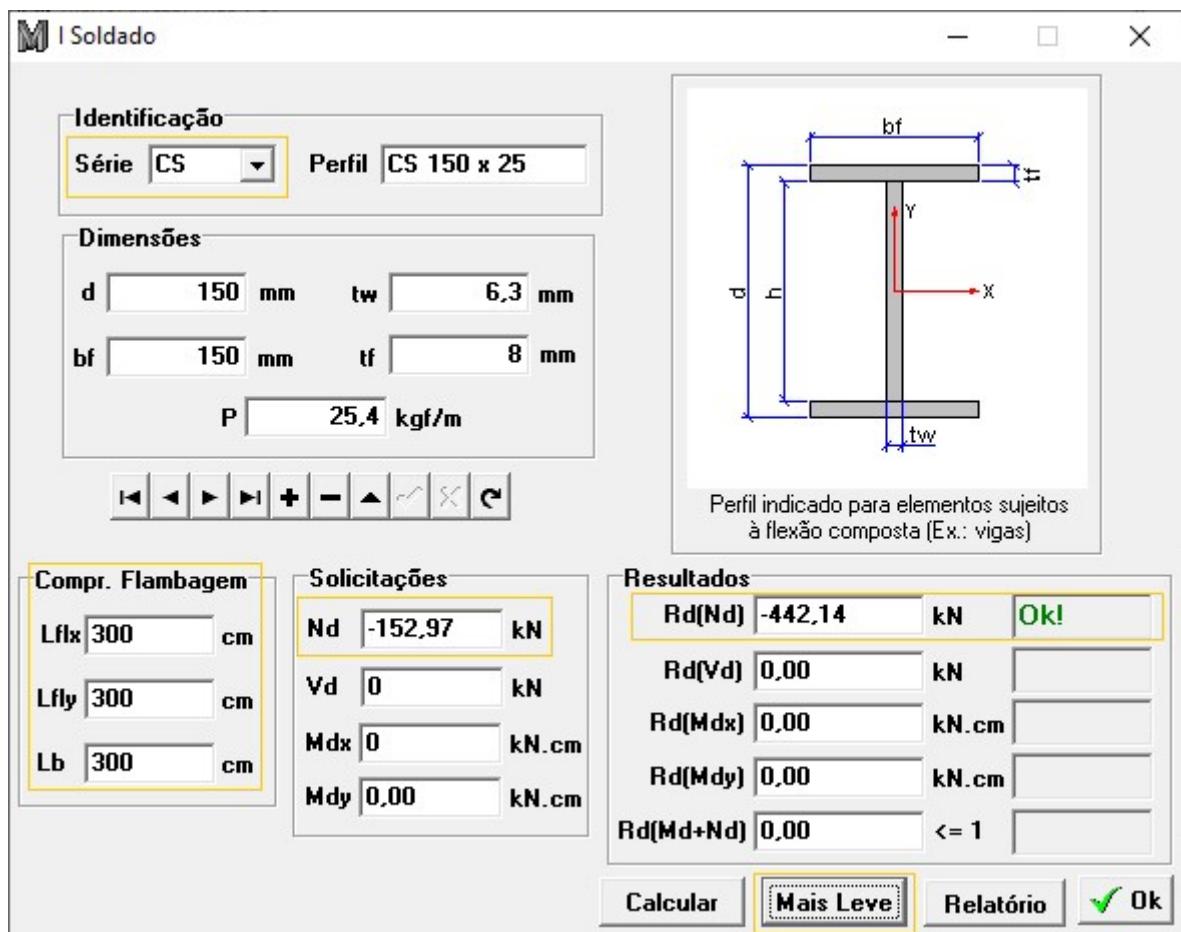


Figura 22: Captura de tela do software Visual Metal.

Tais dimensões foram apresentadas para o pilar 1 e seus similares, os demais pilares são dimensionados igualmente ao apresentado anteriormente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a conclusão do roteiro de pré-dimensionamento apresentado, foi realizada exemplificação por completo do pré-dimensionamento de um galpão e de um edifício simples.

Apresentado no APÊNDICE A, o pré-dimensionamento do galpão foi realizado a partir de algumas informações e medidas iniciais necessárias como mostrado. Assim, foi executado o passo a passo do roteiro, obtendo as forças solicitantes e algumas medidas encontradas nos catálogos dos fornecedores, necessárias para a aplicação dos softwares.

Apresentado no APÊNDICE B, o pré-dimensionamento do edifício de dois pavimentos realizado também a partir das medidas iniciais necessárias. Desse modo, foi executado o passo a passo do roteiro, obtendo as cargas atuantes e demais forças solicitantes necessárias para a utilização do software, o qual apresenta a medida necessária das vigas e pilares.

6 CONCLUSÃO

Foi apresentado nas páginas anteriores, todo o roteiro e exemplificação de elementos estruturais de um galpão e edifício, ambos em estrutura metálica. A elaboração deste artigo, foi realizado a partir de referências bibliográficas para o estudo mais aprofundado do conteúdo e principalmente pelas orientações recebidas, e concluída a partir do uso dos softwares Visual Ventos, DimPerfil, Visual Metal e Ftool, os quais forneceram e definiram as informações e dimensões finais de cada elemento estrutural estudado.

Este roteiro de pré-dimensionamento possibilita que o arquiteto possa planejar corretamente seu projeto de arquitetura, evitando futuros retrabalhos em função de medidas usadas incorretamente de acordo com os demais projetos complementares.

Deste modo, o presente artigo contribui para a aplicação dos softwares no momento da concepção de projetos, garantindo a agilidade e rapidez que é proporcionada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BORSATO, K.T. **Arquitetura em aço e o processo de projeto.** 2009. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil (na área de concentração de arquitetura e Construção) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. 166p.

CASTRO, E.M.C. de. **Patologia dos edifícios em estruturas metálicas.** Ouro Preto: Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, UFOP, 1999. 190p. (Dissertação de Mestrado).

CALLEGARI, S. **Análise da compatibilização de projetos em três edifícios residenciais multifamiliares.** 2007. 18 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CRASTO, R.C.M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing.** Ouro Preto: Dissertação de Mestrado (Construções metálicas). Escola de Minas, UFOP, 2005. 211p.

ENGEL, H. **Sistemas de Estructuras.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 2001.

MANCINI, L.C. **Pré-dimensionamento de estruturas metálicas em fase de concepção arquitetônica.** 2003. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2003. 240p.

OLIVEIRA, D.R.A. **Desenvolvimento do projeto arquitetônico em estruturas aço.** 2004. 12 f. Manografia (Especialização em Construção Civil) -Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2004.

REBELLO, Y.C.P. **A concepção estrutural e a arquitetura.** São Paulo: Zigurate Editora, 2000.

SILVA, V.P. **Dimensionamento de estruturas de aço.** 2012. Apostila para a disciplina de estruturas metálicas e de madeira – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. 150p.

TEIXEIRA, R. B. **Análise de gestão do processo de projeto estrutural de construções metálicas.** 2007. 22 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) -Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

APÊNDICE A. Resolução do roteiro de cálculo do Galpão.

PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UM GALPÃO MEDIDAS A SEREM CONSIDERADOS PARA O PRÉ DIMENSIONAMENTO

- $a = 26$ metros;
- $L = 16$ metros ;
- $h = 6,0$ metros;
- β ou $h' = 10,5\%$;
- Altura Diagonal Inicial sobre o pilar: 0,5 metro;
- DEP = 4,3 metros;
- $V_0: 40$ m/s (São Paulo)
- CP telha: Telha termo acústica isoeste – acabamento em aço/aço – isolamento EPS com espessura 50mm – (3 ou 4) apoios;
- CP Forro: PVC = 0,05 KN/m²
- CPI: 4 Faces Igualmente Permeáveis;
-

CÁLCULO DO h'

$$h' = \frac{16}{2 * (\frac{10,5}{100})} = 0,84\text{m}$$

SOBRECARGA DO VENTO

Tabela 1: Tabela de cargas de pressão dinâmica na estrutura.

Estado	V_0 (m/s)	Pressão Média (KN/m ²)
São Paulo (SP)	40	0,77

CÁLCULO DA DIVISÃO DAS TESOURAS

- Vão máximo com 3 apoios = 3,50 metros
- Peso da telha = 0,1 kN / m²

Assim,

$$\frac{8,044}{3,50} = 2,298$$

Então, foi realizada 4 divisões em cada metade da treliça.

$$\frac{8,044}{4,0} = 2,011 \text{ metros}$$

CÁLCULO DO PESO DAS TESOURAS

$$gt = 0,04 + 0,0012 (16 - 15)$$

$$gt = 0,0412 \text{ KN/m}^2$$

CÁLCULO DAS CARGAS GRAVITACIONAIS

PESO PRÓPRIO DA ESTRUTURA METÁLICA:

Adotando o peso das miscelâneas como 0,08 KN/m², temos que:

$$PP = 0,0412 + 0,08$$

$$PP = 0,1212 \text{ KN/m}^2$$

CARGA PERMANENTE:

- Telha termo acústica isoeste – aço/aço – 50 mm;
- Forro PVC;
- Sem carga adicional.

$$CP = 0,1 + 0,05$$

$$CP = 0,15 \text{ KN/m}^2$$

SOBRECARGA DA COBERTURA

$$SC = 0,25 \text{ KN/m}^2$$

COEFICIENTE DE SEGURANÇA

$$CS = 50\%$$

CÁLCULO DO CARREGAMENTO TOTAL NA TRELIÇA

$$CT = (0,1212 + 0,15 + 0,25) * 1,5$$

$$CT = 0,5212 * 1,5$$

$$CT = 0,7818 \text{ KN/m}^2$$

CARGA POR METRO LINEAR

$$Q = 0,7818 * 4,3333$$

$$Q = 3,3878 \text{ KN/m}$$

CÁLCULO DO DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR E DAS REAÇÕES DE APOIO PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA TRELIÇA

DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR NA TRELIÇA:

$$M_{máx} = \frac{3,378 * 16^2}{8}$$

$$M_{máx} = 108,4088 \text{ KN*m}$$

CÁLCULO DA FORÇA ESTIMADA NO BANZO DA TRELIÇA:

$$d = 0,84 + 0,5$$

$$d = 1,34 \text{ metros}$$

Desta forma,

$$F = \frac{108,4088}{1,34}$$

$$F = 80,9021 \text{ KN}$$

REAÇÕES DE APOIO NA TRELIÇA

$$DEC_{máx} = \frac{3,3878 * 16}{2}$$

$$DEC_{máx} = 27,1024 \text{ KN}$$

Portanto adotar o maior esforço de tração e compressão:

- Banzos = 80,9021 KN
- Diagonais = 27,1024 KN

PRÉ DIMENSIONAMENTO DOS BANZOS

Utilizando o software Dim Perfil 3.0

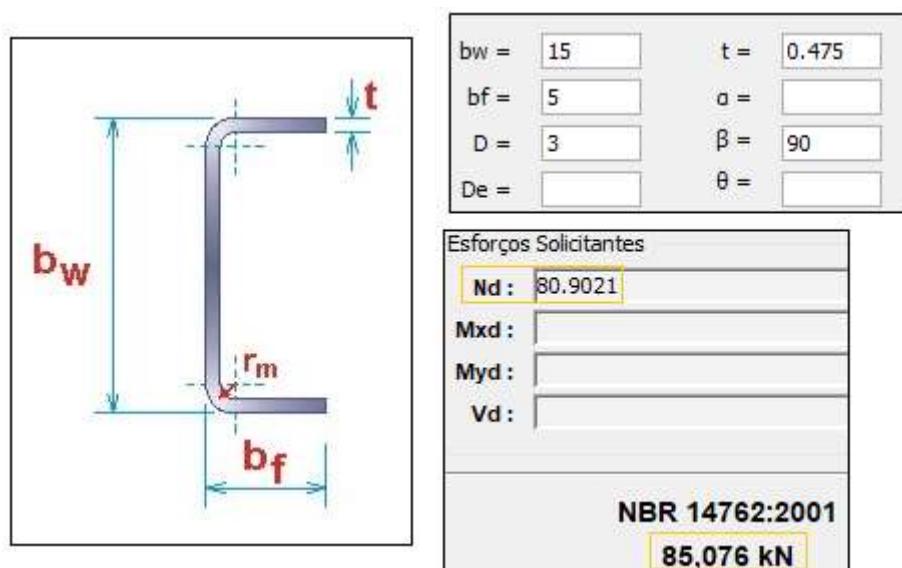
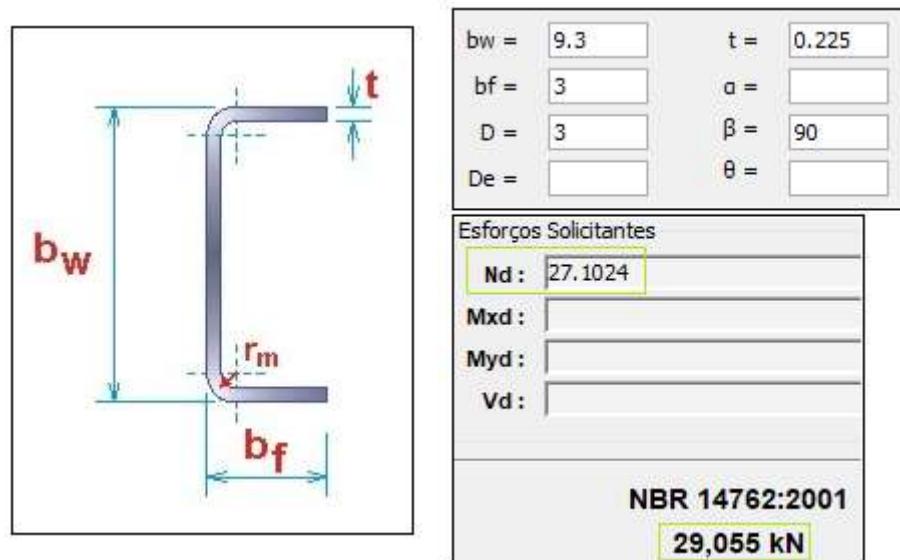


Figura 23: Dimensões e resistência limite dos banzos, Software Dim Perfil 3.

PRÉ DIMENSIONAMENTO DAS DIAGONAIS



PRÉ DIMENSIONAMENTO DOS PILARES

- $Q_{vento} = 0,77 \text{ KN/m}^2$
- $F = 0,77 * 4,3333 * 6$
- $F = 20,02 \text{ KN}$
- $V(\text{cortante}) = 20,02 \text{ KN}$

Logo,

- $M = 20,02 * 6$
- $M = 120,12 \text{ KN*m}$
- $M(\text{momento}) = 12012 \text{ KN*cm}$

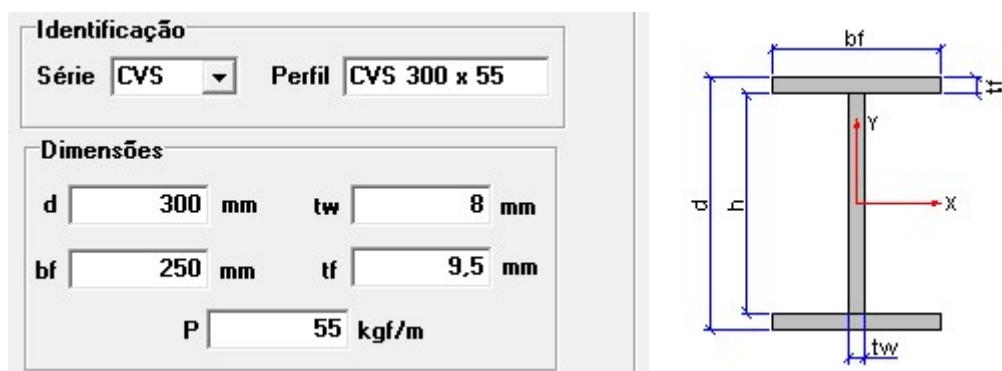


Figura 23: Perfil do pilar do galpão, Software Visual Metal.

APÊNDICE B. Resolução do roteiro de cálculo do Edifício.

PRÉ DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UM EDIFÍCIO

MEDIDAS A SEREM CONSIDERADAS PARA O PRÉ DIMENSIONAMENTO

- Comprimento da estrutura = 10 metros;
- Largura da estrutura = 8 metros;
- Pé direito por andar = 3 metros;
- Número de lajes incluindo a cobertura = 2 lajes;
- Sobrecarga nos pavimentos = 1,5 KN/m²;
- Espessura da laje maciça = 10 cm;
- Espessura das paredes (Alvenaria) = 15 cm;
- Altura das paredes = 2,5 metros;
- Espessura do reboco = 3 cm de cada lado da parede.

Para o edifício em questão, será realizado o contraventamento nas suas 4 faces, evitando assim o deslocamento da estrutura.

CARGAS NAS VIGAS:

PESO PRÓPRIO:

$$PP = \frac{25 * 0,1 * 6}{5}$$

$$PP = 3 \text{ KN/m}$$

CARGA PERMANENTE:

Para nosso exemplo de pré-dimensionamento, será adotado uma carga permanente de 100 KG/m ou 1 KN/m.

SOBRE CARGA:

$$SC = \frac{1,5*6}{5}$$

$$SC = 1,8 \text{ KN/m}$$

PESO ALVENARIA:

$$\text{Alvenaria} = 0,09 * 13 * 2,5 + 2 * 0,03 * 19 * 2,5$$

$$\text{Alvenaria} = 5,775 \text{ KN/m}$$

Carga nas vigas V1, V2, V5, V6:

$$CT = 3 + 1 + 1,8 + 5,775$$

$$CT = 11,575 \text{ KN/m}$$

CÁLCULO DO MOMENTO FLETOR MÁXIMO:

$$M_{máx} = \frac{11,575 * 5^2}{8} * CS$$

$$M_{máx} = 36,17 * 1,5$$

$$M_{máx} = 54,258 \text{ KN*m}$$

$$M_{máx} = 5425,8 \text{ KN*cm}$$

Tabela 6: Cargas e momentos em todas as vigas.

Área de influência	Vigas atuantes	PP (KN/m)	CP (KN/m)	SC (KN/m)	Alvenaria (KN/m)	Carga Total (KN/m)	Mmáx (KN*m)
Área 1	V1, V2, V5, V6	3	1	1,8	5,775	11,575	54,258
Área 2	V7, V8, V11, V12	2,5	1	1,5	5,775	10,775	32,325
Área 3	V3, V4	6	2	3,6	5,775	17,375	81,450
Área 4	V9, V10	5	2	3	5,775	15,775	47,325

DIMENSÕES DAS VIGAS:

- Vigas: V1, V2, V5 e V6.

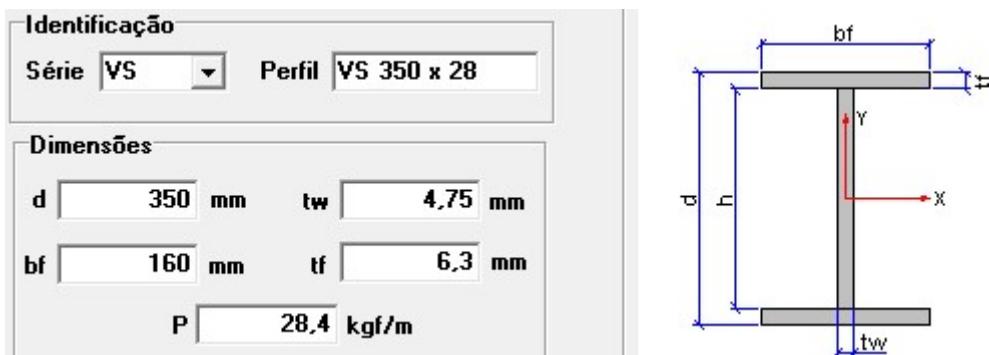


Figura 23: Perfil das vigas Área de Influência 1, Software Visual Metal.

- Vigas: V7, V8, V11 e V12.

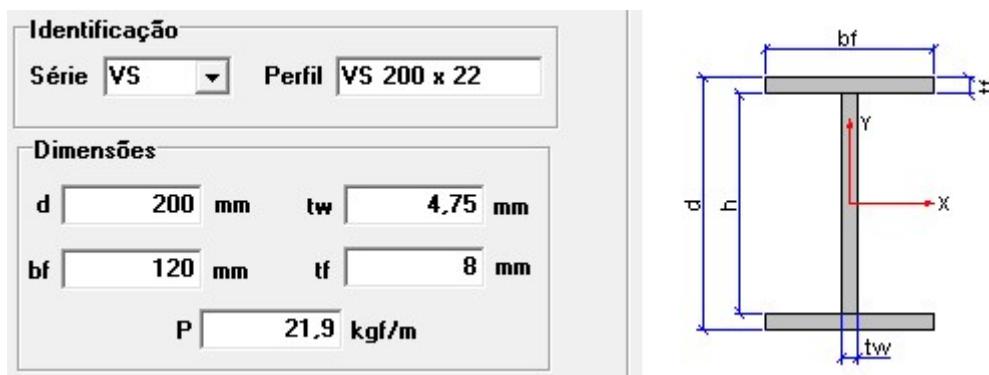


Figura 23: Perfil das vigas Área de Influência 2, Software Visual Metal.

- Vigas: V3 e V4.

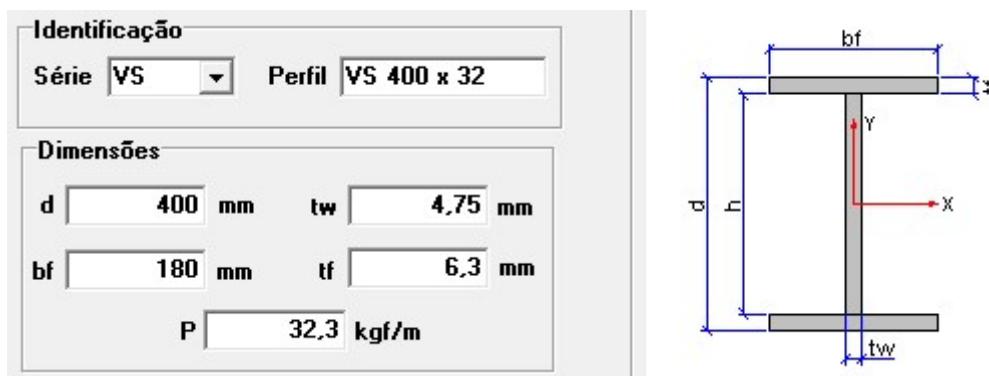


Figura 23: Perfil das vigas Área de Influência 3, Software Visual Metal.

- **Vigas: V9 e V10**

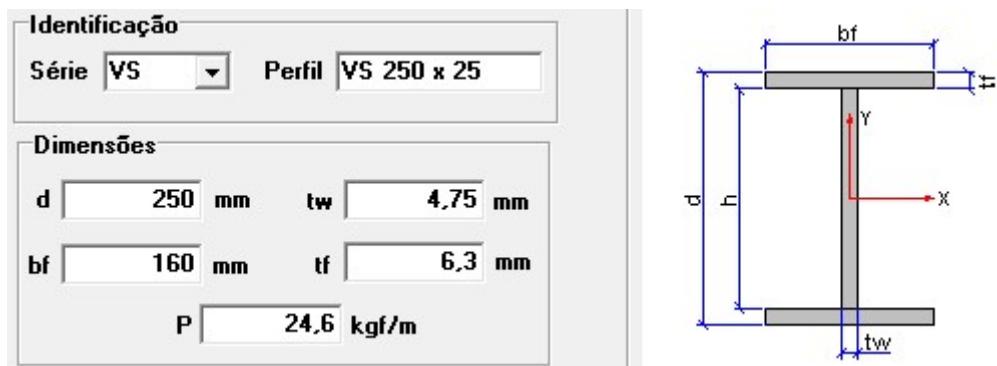


Figura 23: Perfil das vigas Área de Influência 4, Software Visual Metal.

PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS PILARES

DETERMINANDO A CARGA DO PILAR POR ÁREA DE INFLUÊNCIA

PESO PRÓPRIO DA LAJE:

$$PP = 25 * 0,1 * 5$$

$$PP = 12,5 \text{ KN}$$

CARGA PERMANENTE

$$CP = 1 (\text{kN/m}^2) * \text{Área de influência (5 m}^2)$$

$$CP = 5 \text{ KN}$$

SOBRE CARGA:

$$SC = 1,5 (\text{KN/m}^2) * \text{Área de influência (5 m}^2)$$

$$SC = 7,5 \text{ KN}$$

ALVENARIA:

$$\text{Alvenaria} = 5,775 * 2 + 5,775 * 2,5$$

$$\text{Alvenaria} = 25,9875 \text{ KN}$$

CARGA TOTAL NO PILAR

$$CT = (12,5 + 5 + 7,5 + 25,99) * 2$$

$$CT = 101,98 \text{ KN}$$

$$CT = 101,98 * 1,5$$

$$CT = 152,97 \text{ KN}$$

Tabela 7: Cargas completa, Pilar.

PILAR	ÁREA DE INFLUÊNCIA (m ²)	CARGA GERADA				CARGA POR ANDAR		CARGA TOTAL MAJORADA (50%) (KN)
		PP (kN)	CP (kN)	SC (kN)	ALV (kN)	1°	2°	
PM1	A1	5	12,5	5	7,5	25,99	50,99	50,99
PM2	A2, A5	10	25	10	15	40,43	90,43	90,43
PM3	A6	5	12,5	5	7,5	25,99	50,99	50,99
PM4	A3, A9	10	25	5	15	37,54	82,54	82,54
PM5	A4, A7, A10, A13	20	50	20	30	51,98	151,98	151,98
PM6	A8, A14	10	25	5	15	37,54	82,54	82,54
PM7	A11	5	12,5	5	7,5	25,99	50,99	50,99
PM8	A12, A15	10	25	10	15	40,43	90,43	90,43
PM9	A16	5	12,5	5	7,5	25,99	50,99	50,99

DIMENSÕES DOS PILARES

Para as solicitações de força Normal, que variam de 152,97 KN a 455,94 KN, o perfil demonstrado na figura 23 atende a todos os pilares aqui calculados.

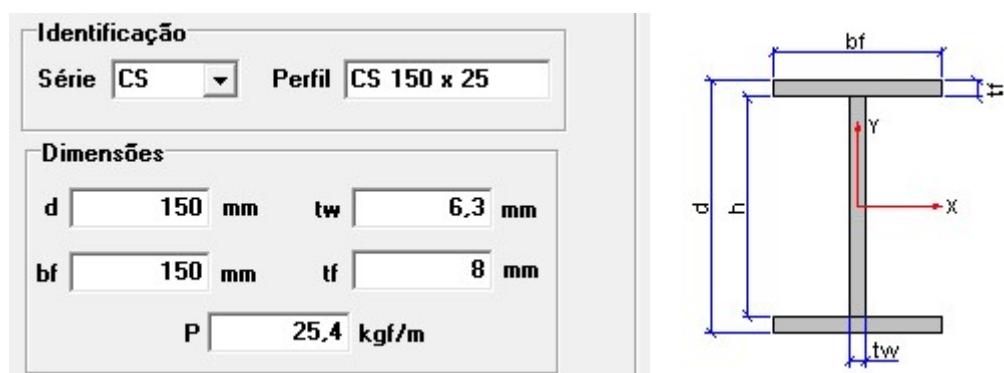


Figura 23: Perfil dos pilares do edifício exemplificado, Software Visual Metal.