

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Matheus José Hermes

**ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE O PROGRAMA CYPE 3D E O
DIMENSIONAMENTO MANUAL DE ESTRUTURAS EM AÇO**

Porto Alegre
Outubro de 2020

MATHEUS JOSÉ HERMES

**ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE O PROGRAMA CYPE 3D E O
DIMENSIONAMENTO MANUAL DE ESTRUTURAS EM AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Enio Carlos Mesacasa Júnior

Porto Alegre
Outubro de 2020

MATHEUS JOSÉ HERMES

**AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE ESTRUTURAS EM AÇO
CONCEBIDOS POR PROGRAMA COMERCIAL DE
DIMENSIONAMENTO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, outubro de 2020

Prof. Enio Carlos Mesacasa Júnior
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.Sc. Enio Carlos Mesacasa Júnior
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. D.Sc. Ruy Carlos Ramos de Menezes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. M.Sc. Gilnei Artur Drehmer
Grid Engenharia Estrutural

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Enio Carlos Mesacasa Júnior pelo suporte prestado na elaboração desse trabalho incluindo a paciência e incentivo constante. Sem dúvidas seus ensinamentos foram fundamentais para a minha formação profissional.

Agradeço aos demais professores da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo conhecimento transmitido durante a graduação.

Agradeço aos meus pais José e Cristina pelo incentivo e apoio durante todos os anos de dedicação e estudo para a conclusão do curso.

*“Se você quiser descobrir os segredos do universo,
pense em termos de energia, frequência e vibração.”*

Nikola Tesla

RESUMO

Este trabalho versa sobre a avaliação de um programa comercial de dimensionamento de estrutura de aço quanto a análise estrutural e ao dimensionamento de perfis e de ligações. Na etapa de análise estrutural são empregados vários tipos de pórticos para avaliar o método de análise não-linear disponibilizado pelo programa. Diversos métodos de análises são confrontados para validar o método de análise não-linear do programa e definir qual o grau de influência de eventuais simplificações e peculiaridades. Na segunda etapa, é verificado o dimensionamento de perfis e de ligações. Para tal, são comparados os resultados obtidos em planilhas eletrônicas, que atendem as predisposições da ABNT NBR 8800:2008, com os resultados obtidos no dimensionamento do programa comercial. Foi possível demonstrar que o programa utiliza uma metodologia simplificada de análise de segunda ordem, entretanto para os exemplos analisados não houve diferenças significativas nas análises em termos de dimensionamento com base na relação do peso da estrutura. Em contrapartida no dimensionamento das ligações o programa apresenta resultados bastante conservadores.

Palavras-chave: Relatório Técnico. Programa Comercial. Dimensionamento de Estruturas de Aço. Análise Estrutural. Efeitos de segunda ordem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Soma dos momentos de todas as forças horizontais em relação à base da estrutura	16
Figura 2 - Soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura	17
Figura 3 – Coeficiente multiplicar de deslocamentos	18
Figura 4 – Modelo de análise estrutural para cálculo de M_{nt} e M_{lt}	21
Figura 5- Pilar em balanço sob compressão centrada.....	22
Figura 6 – Análise dos momentos solicitantes de segunda ordem do pilar em balanço.....	23
Figura 7 – Pórtico regular com um pavimento	25
Figura 8 - Análise dos momentos de segunda ordem do pórtico regular de um pavimento. ...	26
Figura 9 – Pórtico irregular e assimétrico com 5 pavimentos	28
Figura 10 - Relação u_2/u_1 na combinação $1,4g+1,4q+FHF$ ($\xi =0,002$).....	29
Figura 11 - Relação u_2/u_1 na combinação $1,4g+1,5(0,7q) + 1,4v +FHF$ ($\xi=0,002$).....	30
Figura 12 - Ação do vento e perfis dos pórticos de extremidade	32
Figura 13 – Pórtico rígido.....	33
Figura 14 – Deslocamentos da análise geometricamente não linear do pórtico rígido	34
Figura 15 – Momentos solicitantes da análise geometricamente não linear do pórtico rígido	35
Figura 16 – Pórtico com ligações centrais articuladas	36
Figura 17 - Deslocamentos da análise geometricamente não linear do pórtico articulado	37
Figura 18 - Momentos solicitantes da análise geometricamente não linear do pórtico articulado	38
Figura 19 - Deslocamentos de segunda ordem do pórtico articulado com redução do módulo de elasticidade.....	40
Figura 20 - Momentos solicitantes de segunda ordem com redução do módulo de elasticidade do pórtico articulado.....	41
Figura 21 – Pórtico com cobertura inclinada.....	43
Figura 22 – Momentos solicitantes de segunda ordem do pórtico inclinado	43
Figura 23 - Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados.....	52
Figura 24 – Carregamentos de peso próprio, sobrecarga e vento característicos no pórtico ..	59
Figura 25 - Pórtico com cobertura inclinada	67
Figura 26 – Ligação flexível soldada	69
Figura 27 - Ligação flexível parafusada	70
Figura 28 - Ligação rígida soldada	70
Figura 29 - Ligação rígida parafusada	70
Figura 30 – Pórtico de ligação flexível parafusada	71
Figura 31 - Ligação flexível parafusada	72
Figura 32 - Pórtico de ligação rígida parafusada	74
Figura 33 – Ligação rígida parafusada	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades do perfil I 203 x 27,3	22
Tabela 2 – Análise dos esforços e deslocamentos do pilar em balanço	22
Tabela 3 - Propriedades dos perfis utilizados no pórtico regular de um pavimento	25
Tabela 4 - Análise Cype 3D do pórtico regular de um pavimento	26
Tabela 5 - Propriedades dos perfis utilizados no pórtico irregular e assimétrico.....	29
Tabela 6 - Parâmetros necessários para a classificação quanto à deslocabilidade	29
Tabela 7 – Análise geometricamente não linear do pórtico irregular.....	30
Tabela 8 - Propriedades dos perfis utilizados no edifício de 15 pavimentos	33
Tabela 9 - Deslocamentos da análise geometricamente não linear do pórtico rígido	34
Tabela 10 – Análise de momentos solicitantes do pórtico rígido.....	35
Tabela 11 - Deslocamentos da análise geometricamente não linear do pórtico articulado	37
Tabela 12 - Análise de momentos solicitantes no pórtico articulado	38
Tabela 13 - Deslocamentos do pórtico articulado da análise com redução do módulo de elasticidade	39
Tabela 14 - Momentos solicitantes do pórtico articulado da análise com redução do módulo de elasticidade	40
Tabela 15 - Propriedades dos perfis do pórtico de cobertura inclinada.....	43
Tabela 16 – Momentos solicitantes e deslocamentos do pórtico de cobertura inclinada	44
Tabela 17 - Comparativo entre deslocamentos e momentos solicitantes	60
Tabela 18 – Comparativo entre coeficientes de aproveitamento.....	60
Tabela 19 - Comparativo entre deslocamentos e momentos solicitantes	62
Tabela 20 – Comparativo entre deslocamentos a partir da análise não linear elástica.....	63
Tabela 21 – Comparativo entre momentos solicitantes a partir da análise não linear elástica.....	63
Tabela 22 – Comparativo entre deslocamentos a partir da análise não linear elástica com redução do módulo de elasticidade do material.....	64
Tabela 23 - Comparativo entre momentos solicitantes a partir da análise não linear elástica com redução do módulo de elasticidade do material.....	65
Tabela 24 – Carregamentos no pórtico de ligação flexível	71
Tabela 25 – Verificações utilizadas no dimensionado da ligação flexível no Cype 3D	72
Tabela 26 - Verificações utilizadas no dimensionado da ligação flexível na planilha eletrônica	72
Tabela 27 – Comparativo entre dimensionamentos no pórtico de ligação flexível.....	73
Tabela 28 - Carregamentos no pórtico de ligação rígida.....	75
Tabela 29 - Verificações utilizadas no dimensionado da ligação rígida no Cype 3D	75
Tabela 30 – Verificações utilizadas no dimensionado da ligação rígida na planilha eletrônica	76
Tabela 31 - Comparativo entre dimensionamentos no pórtico de ligação rígida	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	ANÁLISE ESTRUTURAL	15
2.1	Métodos de análises	16
2.1.1	Cype 3D.....	16
2.1.2	Mastan2	18
2.1.3	Análises descritas em Dória (2007)	18
2.2	Modelo 1	21
2.3	Modelo 2	25
2.4	Modelo 3	28
2.5	Modelo 4	32
2.6	Modelo 5	42
2.7	Considerações da análise estrutural	45
3	DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS	47
3.1	Tração	47
3.2	Compressão.....	48
3.3	Flexão.....	53
3.4	Cisalhamento	55
3.5	Esforços Combinados	56
4	EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO DE PERFIS.....	58
4.1	Exemplo 1	58
4.1.1	Análise linear elástica considerando todos os perfis W 310 x 44,5	59
4.1.2	Análise linear elástica considerando perfis otimizados	61
4.1.3	Análise não linear elástica considerando perfis otimizados	62
4.2	Exemplo 2	66
5	EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES.....	69
5.1	Exemplo 1 - Ligação flexível.....	71
5.2	Exemplo 2 - Ligação rígida.....	74
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	APÊNDICE A – Nomenclatura dos elementos	83
	APÊNDICE B – Dimensionamento de 1º ordem no Mastan2 com perfis W310 x 44,5	84
	APÊNDICE C – Dimensionamento de 1º ordem no Cype 3D com perfis W 310 x 44,5 ...	88
	APÊNDICE D – Dimensionamento de 1º ordem no Mastan2 com perfis otimizados	91

APÊNDICE E – Dimensionamento de 1° ordem no Cype 3D com perfis otimizados.....	95
APÊNDICE F – Comparativo entre o dimensionamento de 1° ordem com perfis otimizados.....	98
APÊNDICE G – Dimensionamento de 2° ordem no Mastan2 com perfis otimizados	100
APÊNDICE H – Dimensionamento de 2° ordem no Cype 3D com perfis otimizados	104
APÊNDICE I – Comparativo entre o dimensionamento de 2° ordem com perfis otimizados.....	107
APÊNDICE J – Dimensionamento do pórtico de vigas inclinadas no Mastan2.....	109
APÊNDICE K – Dimensionamento do pórtico de vigas inclinadas no Cype 3D.....	110
APÊNDICE L – Dimensionamento da ligação flexível na planilha eletrônica	111
APÊNDICE M – Dimensionamento da ligação flexível no Cype 3D	123
APÊNDICE N – Dimensionamento da ligação rígida na planilha eletrônica	127
APÊNDICE O – Dimensionamento da ligação rígida no Cype 3D.....	142

1 INTRODUÇÃO

O emprego de programas e rotinas computacionais para o dimensionamento de estruturas de aço exige, normalmente, o emprego de inúmeras simplificações pontuais afim de permitir a automatização dos processos de análise e verificação das estruturas. Tais programas permitem uma redução drástica no tempo de trabalho em um projeto, uma vez que fazem uso da grande capacidade de processamento de informações estruturadas pelo projetista conforme metodologias de uso específicas. Contudo, é natural que essas ferramentas ainda exijam dos profissionais uma qualificação adequada na área, afinal, não substituem os conhecimentos teóricos necessários à elaboração de um projeto de estruturas seguro e eficiente. O discernimento quanto as informações e resultados, aliado a um código computacional que permita clareza das informações, são premissas importantes neste assunto.

A intenção desse relatório é auxiliar estudantes e profissionais que utilizam softwares comerciais de dimensionamento de estruturas metálicas a compreenderem que os programas atuais são de grande valia, pois o mercado de trabalho é muito competitivo e requer que a entrega de projetos seja feita em um curto prazo, todavia é necessário que o profissional tenha conhecimento teórico prévio para utilizar o programa de maneira correta. Além disso, tem-se por premissa alertar os usuários desses programas sobre os perigos que incorrem de utiliza-los de maneira equivocada, pois ao mesmo tempo que podem auxiliar os usuários diminuindo a carga de trabalho também podem produzir erros de dimensionamento.

Neste relatório é proposta a avaliação de um programa comercial e dos resultados de análise e dimensionamento oriundos de suas sugestões mais padronizadas, que poderiam ser aplicadas de forma deliberada em projetos. Evidentemente, trata-se de uma avaliação muito particular de apenas um programa comercial conhecido no mercado, mas que pode representar uma parcela significativa de engenheiros que trabalham na área. Além disso, muitas das decisões automáticas do programa a serem investigadas são tratadas de forma semelhante na maioria dos programas. Ainda nesse contexto, é importante mencionar que muitas implementações existentes em pacotes computacionais não são destinadas a um único país, e sofrem apenas pequenas adaptações, sem necessariamente atenderem a todas as premissas normativas da região a que se destinam. Assim, esse relatório pretende explorar tais problemas e comparar com uma análise rigorosa, com a ajuda de programas acadêmicos baseados no método dos elementos finitos, e também com procedimentos de dimensionamento detalhados manualmente, afim de se avaliar todas as etapas do projeto.

O programa utilizado para esse estudo será o Cype 3D, desenvolvido pela empresa espanhola Cype Ingenieros, um programa reconhecido mundialmente e amplamente utilizado no Brasil. O trabalho é dividido em duas etapas, sendo a primeira voltada para a etapa de análise estrutural, e a aplicação dos requisitos da norma brasileira de projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios – ABNT NBR8800:2008, quanto à análise e determinação de esforços. Dentre os requisitos, estão a realização da análise não linear geométrica, ou a aplicação de um método simplificado para obtenção dos esforços aproximados de segunda ordem. Tal análise exige, conseqüentemente, o emprego de um programa computacional adequado. Neste caso, serão estudadas estruturas cujos resultados de análise estejam disponíveis na literatura, afim de que se possam validar as implementações feitas através do programa computacional de uso gratuito Mastan2, que permite a análise de estruturas considerando a não linearidade física (que não é de interesse neste trabalho) e geométrica com a ajuda de elementos finitos de barra. Todos os resultados obtidos com o programa comercial são comparados com os resultados obtidos de forma rigorosa com o programa Mastan2 e os resultados da literatura, e comentados sobre eventuais diferenças.

A segunda etapa do trabalho consiste no dimensionamento da estrutura, os esforços resistentes serão executados seguindo as recomendações da ABNT NBR8800:2008, as verificações serão feitas manualmente em uma planilha eletrônica e após os resultados do dimensionamento serão comparados com os valores fornecidos pelo processo automatizado do programa Cype 3D.

Portanto, esse relatório tem por premissa validar o método de análise não-linear geométrica do Cype 3D e definir qual o grau de influência de eventuais simplificações e peculiaridades do programa no dimensionamento de edificações formadas por estruturas de aço, se o automatismo das rotinas computacionais do programa superdimensionam a edificação e desse modo permitem a otimização dos perfis através do cálculo manual e também se o programa atende as recomendações de segurança segundo a ABNT NBR 8800:2008.

2 ANÁLISE ESTRUTURAL

Conforme a ABNT NBR 8800:2008, o propósito da análise estrutural é determinar os efeitos das ações na estrutura, visando efetuar verificações de estados-limites últimos e de serviço. O tipo de análise estrutural pode ser classificado de acordo com considerações do regime linear ou não linear associado ao material ou à geometria da estrutura. Quanto aos materiais, os esforços internos podem ser determinados por análise elástica ou análise rígido-plástica. A análise elástica é sempre permitida, mesmo que os esforços resistentes da seção transversal sejam avaliados considerando-se a plasticidade, já a não-linearidade do material pode ser considerada em alguns casos, de forma indireta, efetuando-se uma análise elástica reduzindo-se a rigidez das barras. Quanto à análise dos deslocamentos, é possível empregar análise linear (com base na geometria indeformada da estrutura) ou análise não-linear (com base no equilíbrio da geometria deformada da estrutura).

O tipo de análise depende da classificação de deslocabilidade da estrutura. A edificação que apresenta relação entre o deslocamento do andar relativo à base obtido na análise de segunda ordem e aquele obtido na análise de primeira ordem (u_2/u_1) igual ou inferior a 1,1 é classificada como de pequena deslocabilidade e os efeitos globais de segunda ordem podem ser desconsiderados desde de que atendido o item 4.9.7.1.4 da ABNT NBR 8800:2008. A estrutura é classificada como de média deslocabilidade quando a máxima relação u_2/u_1 for superior a 1,1 e igual ou inferior a 1,4. Nesse caso os efeitos das imperfeições iniciais de material devem ser levados em conta na análise, reduzindo-se a rigidez à flexão e a rigidez axial das barras para 80% dos valores originais. Por último, a estrutura é classificada como de grande deslocabilidade quando a máxima relação u_2/u_1 for superior a 1,4, nesse caso deve ser feita uma análise rigorosa, levando-se em conta a não-linearidade geométrica e de material.

O objetivo da primeira parte do relatório é comparar a análise geométrica não linear do Cype 3D com modelos já estabelecidos na literatura de forma a validar a análise geométrica não linear desse programa buscando identificar e avaliar eventuais diferenças encontradas. A fim de corroborar com esse estudo, utilizou-se o programa Mastan2 e quatro modelos de análises descritos nos estudos comparativos de Dória (2007) como parâmetros de referência. O primeiro modelo consiste em um pilar em balanço sob compressão centrada, o segundo modelo em um pórtico regular com grande vão, o terceiro modelo em um pórtico irregular e assimétrico e o último modelo um edifício com 15 pavimentos.

2.1 Métodos de análises

A seguir são apresentados os métodos de análises de segunda ordem desenvolvidos no Cype 3D, no Mastan2 e nos estudos descritos em Dória (2007).

2.1.1 Cype 3D

O Cype 3D utiliza, majoritariamente, soluções baseadas em análise linear elástica, e oferece como solução para contabilizar os efeitos de segunda ordem o emprego de um método aproximado de amplificação dos esforços baseado no coeficiente γ_z . Segundo ABNT NBR 6118:20014 o valor do coeficiente é determinado pela equação 1. Nas Figuras 1 e 2 estão destacadas Figuras ilustrativas que facilitam a compreensão da equação 1.

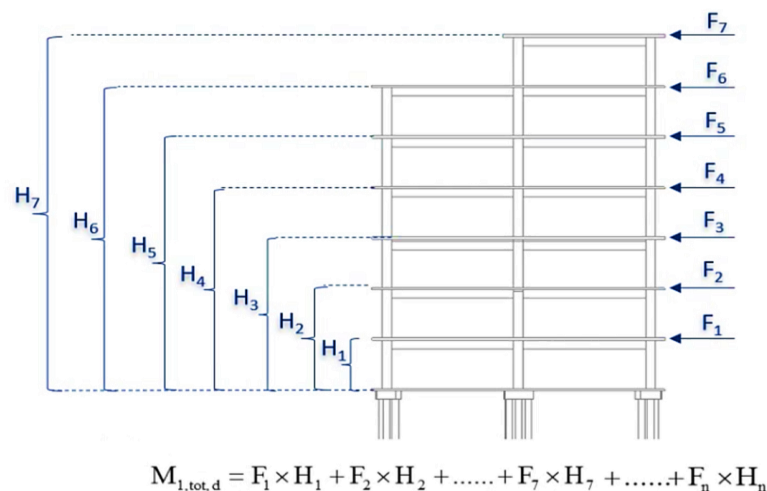
$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$M_{1,tot,d}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura.

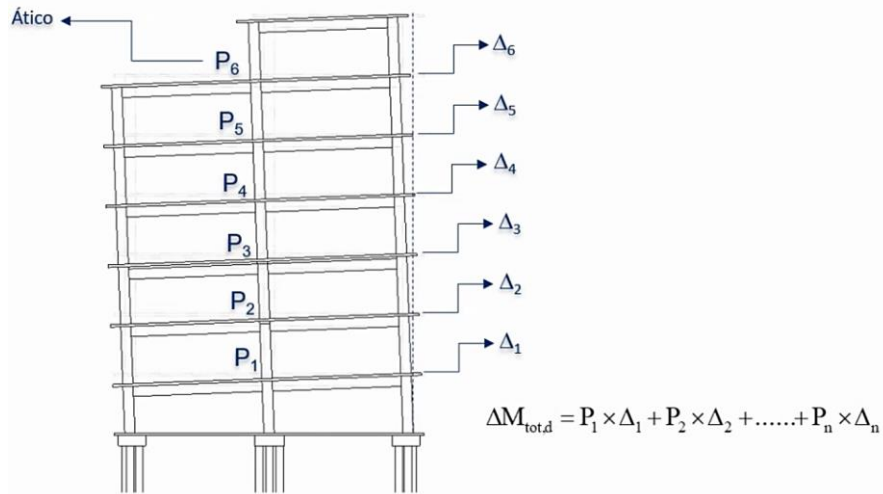
$\Delta M_{tot,d}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Figura 1 - Soma dos momentos de todas as forças horizontais em relação à base da estrutura



Fonte: <https://www.clubedaestrutura.com.br/concreto-armado-2>

Figura 2 - Soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura

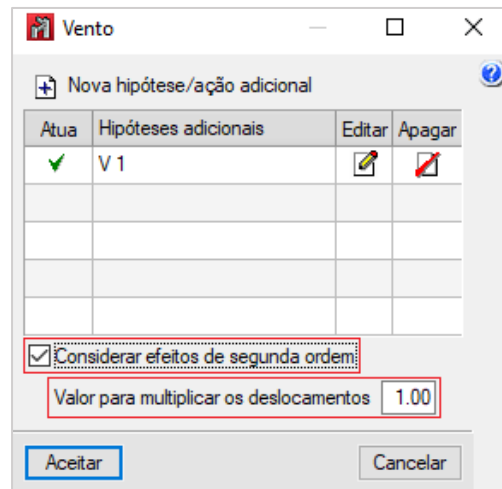


Fonte: <https://www.clubedaestrutura.com.br/concreto-armado-2>

O programa comercial só leva em consideração as imperfeições globais e não as locais e faz uso de um método aproximado oriundo de normas de concreto armado que é utilizado para amplificação dos esforços de primeira ordem. Esse método é uma estimativa de amplificação de esforços, logo seus resultados servem apenas a determinação dos esforços solicitantes e não dos deslocamentos.

“Nas estruturas de média deslocabilidade, os efeitos da não linearidade do devem ser levados em conta na análise, reduzindo-se a rigidez à flexão e a rigidez axial das barras para 80 % dos valores originais” (ABNT NBR 8800:2008). O Cype 3D considera indiretamente a não-linearidade física do material reduzindo o módulo de elasticidade do material por meio de um coeficiente multiplicador de deslocamentos, conforme ilustra a Figura 3. Caso se deseje reduzir a rigidez da estrutura em 80% deve-se aplicar um coeficiente amplificador de deslocamentos igual a $1/0,80 = 1,25$. O valor do coeficiente é utilizado para multiplicar os deslocamentos de primeira ordem e calcular o coeficiente γ_z . Ademais, o programa disponibiliza análise de segunda ordem apenas se uma força de vento for adicionada aos carregamentos, assim para uma análise correta quaisquer outros carregamentos horizontais como forças nocionais devem ser categorizados como forças de vento.

Figura 3 – Coeficiente multiplicar de deslocamentos



Fonte: Cype 3D 2019

2.1.2 Mastan2

O Mastan2 é um programa de análise estrutural gratuito que utiliza o método dos elementos finitos (MEF) e fornece vários tipos de soluções para a análise geométrica não linear. O programa disponibiliza rotinas de análise de primeira ou de segunda ordem elástica ou inelástica para um plano bidimensional ou tridimensional. As formulações teóricas e numéricas dos métodos de análises utilizados pelo programa estão descritas em McGuire, Gallagher, e Ziemian (2000).

2.1.3 Análises descritas em Dória (2007)

Em estudos descritos em Dória (2007) são apresentadas várias análises que comparam o método do comprimento efetivo de flambagem (não mais usado pela ABNT NBR8800:2008) com métodos de análise direta (baseados na obtenção de esforços de segunda ordem) e avaliam a efetividade desses métodos no que tange a estabilidade de pórticos planos de aço. Diversos modelos de análise são confrontados para permitir a modelagem explícita dos efeitos que contribuem para a instabilidade de pórticos como imperfeições geométricas da estrutura, não-linearidade física e geométrica. Entre as análises descritas em Dória (2007) destacam-se o método de amplificação dos esforços solicitantes (MAES) e a numérica avançada que são, também, objeto desse trabalho.

O MAES, conhecido popularmente como método B_1 e B_2 , está descrito no anexo D da ABNT NBR 8800:2008; nesse método se executa a análise elástica aproximada de segunda

ordem levando em conta os efeitos globais $P - \Delta$ e locais $P - \delta$. A norma disponibiliza esse método como uma alternativa para a indisponibilidade de programas comerciais que executem análise estrutural de segunda ordem; esse método é uma amplificação dos esforços solicitantes e é considerado pela norma como uma aproximação aceitável para análise de segunda ordem.

Segundo a ABNT NBR 8800:2008, em cada andar das estruturas analisadas, o momento fletor e a força axial solicitantes de cálculos, M_{Sd} e N_{Sd} , devem ser determinados por:

$$M_{Sd} = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (\text{Equação 2})$$

$$N_{Sd} = N_{nt} + B_2 N_{lt} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

M_{nt} e N_{nt} são, respectivamente, o momento fletor e a força axial solicitantes de cálculo, obtidos por análise elástica de primeira ordem, com os nós da estrutura impedidos de se deslocar horizontalmente (usando-se, na análise, contenções horizontais fictícias em cada andar – Estrutura nt - Figura 4-b);

M_{lt} e N_{lt} são, respectivamente, o momento fletor e a força axial solicitantes de cálculo, obtidos por análise elástica de primeira ordem, correspondente apenas ao efeito dos deslocamentos horizontais dos nós da estrutura (efeito das reações das contenções fictícias aplicadas em sentido contrário, nos mesmos pontos onde tais contenções foram colocadas – Estrutura lt - Figura 4-c);

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{N_{Sd1}}{N_e}} \geq 1,0 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

N_e é a força axial que provoca a flambagem elástica por flexão da barra no plano de atuação do momento fletor, calculada com o comprimento real da barra;

N_{Sd1} é a força axial de compressão solicitante de cálculo na barra considerada, em análise de primeira ordem ($N_{Sd1} = N_{nt} + N_{lt}$);

$$C_m = 0,60 - 0,40 \frac{M_1}{M_2} \quad (\text{Equação 5})$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1}{R_s} \frac{\Delta_h}{h} \frac{\Sigma N_{Sd}}{\Sigma H_{Sd}}} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

M_1 / M_2 a relação entre o menor e o maior dos momentos fletores solicitantes de cálculo na estrutura nt no plano de flexão, nas extremidades apoiadas da barra, tomada como positiva quando os momentos provocarem curvatura reversa e negativa quando provocarem curvatura simples ($M_1 = M_{nt1}; M_2 = M_{nt2}$);

ΣN_{Sd} é carga gravitacional total que atua no andar considerado, englobando as cargas atuantes nas subestruturas de contraventamento e nos elementos que não pertençam a essas subestruturas;

R_s é um coeficiente de ajuste, igual a 0,85 nas estruturas onde o sistema resistente a ações horizontais é constituído apenas por subestruturas de contraventamento formadas por pórticos nos quais a estabilidade lateral é assegurada pela rigidez à flexão das barras e pela capacidade de transmissão de momentos das ligações e igual a 1,0 para todas as outras estruturas;

Δ_h é o deslocamento horizontal relativo entre os níveis superior e inferior (deslocamento interpavimento) do andar considerado, obtido da análise de primeira ordem, na estrutura original ou na estrutura lt;

ΣH_{Sd} é a força cortante no andar, produzida pelas forças horizontais de cálculo atuantes, usadas para determinar Δ_h e obtida na estrutura original ou na estrutura lt;

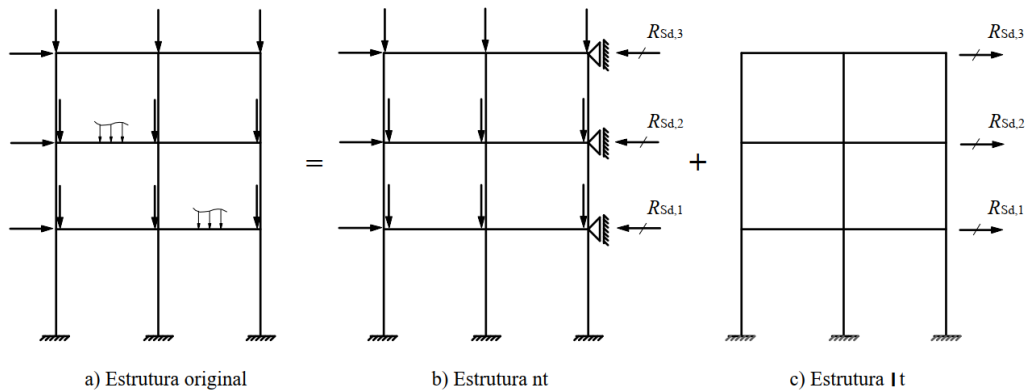
H é a altura do andar (distância entre eixos de vigas de dois andares consecutivos ou entre eixos de vigas e a base, no caso do primeiro andar).

A aplicação do MAES é relativamente simples de entender, embora possa parecer um pouco trabalhosa. O trabalho de Dória (2007) comenta o procedimento como segue.

A estrutura é entendida como a superposição de duas estruturas (Figura 4), as quais são empregadas para avaliação dos coeficientes B_1 e B_2 . Uma delas é contraventada por contenções nodais dispostas em cada nível (pavimento) e serve como modelo para o cálculo dos momentos fletores solicitantes N_{nt} (o índice nt significa no translation). Os momentos fletores M_{lt} (o índice lt significa lateral translation) são obtidos a partir da segunda estrutura, na qual

as contenções nodais são removidas e aplicam-se as respectivas reações obtidas na análise da primeira estrutura, em sentido contrário. (Dória, 2007, p.33)

Figura 4 – Modelo de análise estrutural para cálculo de M_{nt} e M_{lt}



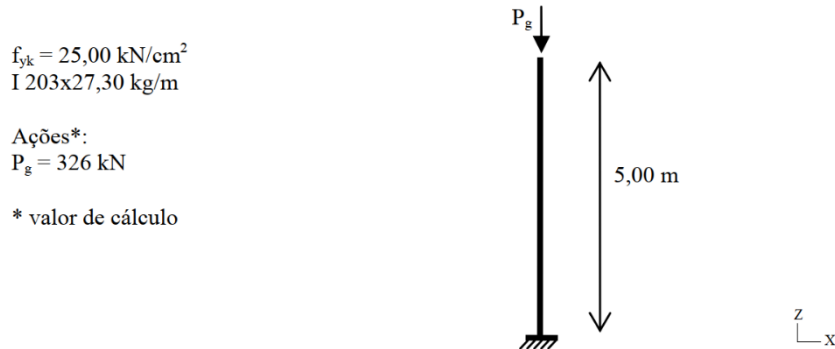
Fonte: (ANBT NBR 8800:2008, p.119)

A análise numérica avançada descrita em Dória (2007), utiliza o programa ABAQUS 6.5 e considera os efeitos desestabilizantes diretamente. A não-linearidade é avaliada por meio de procedimento incremental e iterativo com o controle de força empregando-se o algoritmo de Newton-Rapson. A não-linearidade física é considerada empregando-se um modelo constitutivo do tipo elastoplástico perfeito associado ao critério de escoamento de von Mises. A estrutura é discretizada empregando-se elementos finitos de pórticos tridimensionais com 6 graus de liberdade por nó – três rotações e três deslocamentos. As imperfeições geométricas iniciais são inseridas diretamente no modelo com valores de $L/1000$ e $L/500$, respectivamente, para as imperfeições locais e globais. As tensões residuais foram consideradas utilizando-se a proposta de Galambos e Ketter (1959) e incorporada ao processamento do modelo com o emprego de uma rotina computacional desenvolvida em linguagem FORTRAN (para mais detalhes ver Dória, 2007).

2.2 Modelo 1

No primeiro caso foi considerado um pilar em balanço. As características do perfil estão destacadas na Figura 5 e suas propriedades na Tabela 1. O aço utilizado é o A36 com módulo de elasticidade de 205 GPa e admite-se uma contenção adequada para o eixo de menor inércia que restringe a análise para o eixo de maior inércia.

Figura 5- Pilar em balanço sob compressão centrada



Fonte: (DÓRIA, 2007, p.74)

Tabela 1- Propriedades do perfil I 203 x 27,3

Perfil	h (mm)	bf (mm)	tw (mm)	tf (mm)	Ag (cm ²)	I _{zz} (cm ⁴)	I _{yy} (cm ⁴)	It (cm ⁴)	C _w (cm ⁶)	Z _{zz} (cm ³)	Z _{yy} (cm ³)
I 203x27,3	203	101,6	6,86	11	34,8	155,1	2400	15,5	14700	52	271

Na Tabela 2 estão destacados os resultados da análise do Cype 3D e do Mastan2, nela são avaliados os esforços solicitantes na base pilar, a razão entre deslocamentos de segunda e de primeira ordem (u_2/u_1), a razão entre momentos solicitantes de segunda e de primeira ordem (M_2/M_1) e o coeficiente γ_z .

Tabela 2 – Análise dos esforços e deslocamentos do pilar em balanço

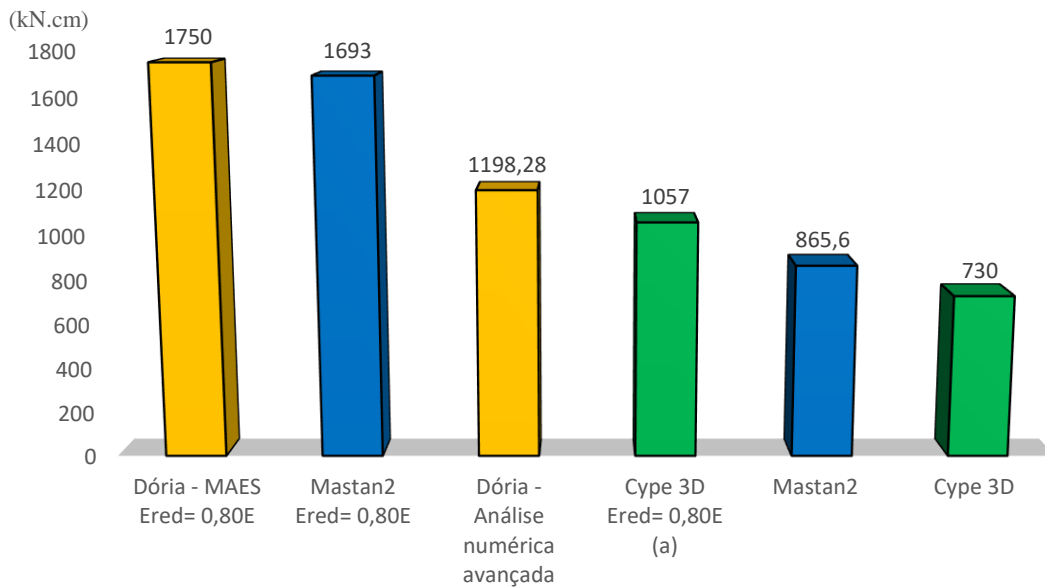
		R _x (kN)	Msd (kN.cm)	M ₂ /M ₁	u (mm)	u ₂ /u ₁	γ_z
Cype3D	1 ° ordem	-0,65	326		5,53		
	2 ° ordem	-1,46	730	2,24	12,39	2,24	2,24
	2 ° ordem Ered=0,80E ^(a)	-2,12	1057	3,24	17,95	3,24	3,24
Mastan2	1 ° ordem	-0,65	326		5,53		
	2 ° ordem	-0,65	865,6	2,66	16,55	2,99	
	2 ° ordem Ered=0,80E	-0,65	1693	5,19	41,94	7,58	
Dória	MAES Ered= 0,80E		1750				
	Análise numérica avançada		1198,28				

(a) Coeficiente multiplicador de deslocamentos 1,25

Fonte: elaborado pelo autor

Na Figura 6 é realizado um comparativo entre os momentos solicitantes da análise elástica geometricamente não linear do Cype 3D e do Mastan2 e dos métodos descritos em Dória (2007): MAES (Método de Amplificação dos Esforços Solicitantes) e a análise numérica avançada.

Figura 6 – Análise dos momentos solicitantes de segunda ordem do pilar em balanço.



(a) Coeficiente multiplicador de deslocamentos 1,25
 * Todas as análises são geometricamente não lineares

Fonte: elaborado pelo autor

Na análise geometricamente não linear do Cype 3D obteve-se momento solicitante igual a 730 kN.cm e a razão u_2/u_1 igual a 2,24, dessa forma a estrutura foi classificada como de alta deslocabilidade e foi necessário reduzir o módulo de elasticidade do material para 80% do valor original, assim obteve-se momento solicitante igual a 1057 kN.cm e u_2/u_1 igual a 3,24. O parâmetro γ_z obtido foi 2,24 para a análise geometricamente não linear e 3,24 para a análise com redução do módulo de elasticidade. A razão entre momentos de segunda e de primeira ordem (M_2/M_1) foi 2,24 para a análise geometricamente não linear e 3,24 para a análise com redução do módulo de elasticidade. A metodologia do coeficiente γ_z implementada no Cype 3D obtém os deslocamentos de segunda ordem multiplicando os deslocamentos de primeira ordem pelo parâmetro γ_z , da mesma forma que amplifica os momentos solicitantes de segunda ordem da mesma forma, visto que, conforme Tabela 2, os valores da razão M_2/M_1 e u_2/u_1 apresentaram os mesmos valores do coeficiente γ_z .

Na análise geometricamente não linear do Mastan2 obteve-se momento solicitante igual a 865,6 kN.cm e a razão u_2/u_1 igual a 2,99, dessa forma foi necessário reduzir o módulo de elasticidade do material para 80% do valor original e obteve-se assim momento solicitante igual a 1693 kN.cm e u_2/u_1 igual a 7,58 (essa relação é citada apenas para fins ilustrativos, visto que a classificação da estrutura é feita apenas uma vez e sem considerar a redução de rigidez da estrutura).

Entre as análises descritas em Dória (2007) para esse modelo foram considerados o MAES (Método de Amplificação dos Esforços Solicitantes) e a análise numérica avançada. Avaliando o coeficiente B_2 para essa estrutura, obteve-se $B_2 = 2,85$ e a razão u_2/u_1 igual a 3,02. Portanto, a estrutura é classificada como de alta deslocabilidade e deve-se considerar a redução de rigidez para $E_{red} = 0,8E$. Analisando-se a estrutura com rigidez reduzida obtém-se $B_2 = 5,38$, esse coeficiente é utilizado como fator de amplificação do momento fletor de primeira ordem e se obtém o momento fletor de segunda ordem igual a 1750 kN.cm. Na análise avançada obteve-se o valor de momento solicitante igual a 1198,28 kN.cm.

Analisando os resultados da Tabela 2, percebe-se que Mastan2 comparado ao Cype 3D apresentou resultados mais conservadores de esforços solicitantes e de deslocamentos. Na análise geometricamente não linear o Mastan2 teve momento solicitante 18,6% maior que o Cype 3D e 60,2% maior na análise com redução do módulo elasticidade.

Os valores das reações “Rx” apresentaram diferenças significativas nas análises geometricamente não lineares do Cype 3D e do Mastan2, conforme Tabela 2. A princípio o Cype 3D divide o momento solicitante de segunda ordem da base do pilar pelo comprimento do perfil para calcular a reação “Rx”. No Mastan2 o esforço solicitante horizontal não é afetado pelos efeitos de segunda ordem, sendo assim é desnecessária a amplificação da reação “Rx” no Cype 3D.

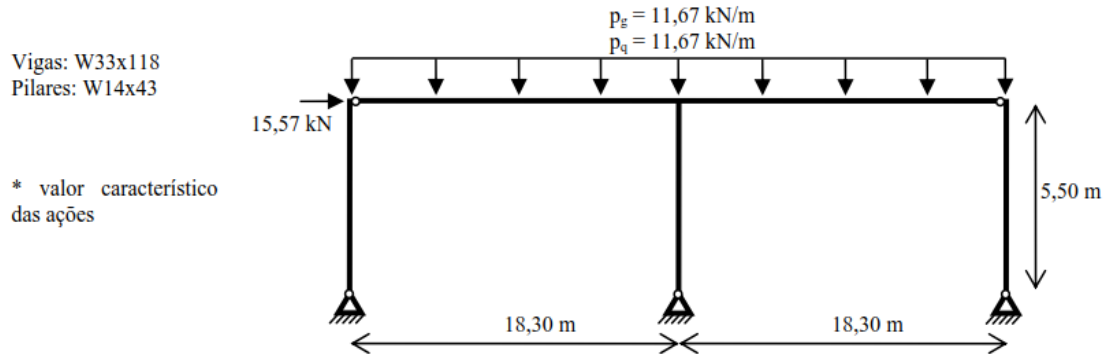
A análise numérica avançada descrita em Dória (2007) permite a modelagem explícita dos efeitos que contribuem para a instabilidade de pórticos e considera a não linearidade física e geométrica do modelo, sendo assim é uma análise mais rigorosa e supõem-se que ela seja mais precisa que as análises feitas no Mastan2 e no Cype 3D, visto que esses programas consideram indiretamente a não linearidade física através da redução do módulo de elasticidade do material.

Conforme Figura 6, o Mastan2 e o MAES apresentaram valores muito próximos entre si e conservadores em relação à análise numérica avançada realizada por Dória (2007). O Cype 3D com material elástico linear $E_{red} = 0,80E$ apresentou momento solicitante de segunda ordem com diferença percentual muito significativa comparado com as outras análises, posicionando-se contra a segurança para o exemplo analisado.

2.3 Modelo 2

O segundo modelo é constituído, conforme ilustra a Figura 7, por uma viga contínua apoiada nas extremidades e engastada no pilar central submetida a um carregamento distribuído devido ao peso próprio, sobrecarga e a uma força horizontal de vento.

Figura 7 – Pórtico regular com um pavimento



Fonte: (DÓRIA, 2007, p.74)

O aço utilizado é o A36 com módulo de elasticidade de 205 GPa. Na Tabela 3 estão destacadas as propriedades dos perfis. Nesse exemplo, empregaram-se coeficientes de ponderação das ações extraídos da ABNT NBR 8800:2008. Os métodos estudados nesse exemplo serão avaliados para a combinação de ações $1,4PP+0,7Q+1,4V+FHF$ ($\xi = 0,002$). As cargas permanentes são definidas pela simbologia PP, as cargas variáveis por Q (sobrecarga) e V (vento). Os efeitos das imperfeições geométricas iniciais são levados em conta diretamente na análise por meio aplicação uma FHF (Força horizontal fictícia) que corresponde a uma fração da força axial (ξP). Neste exemplo considera-se 0,2% para a FHF, embora a ABNT NBR 8800:2008 determine 0,3% para a força horizontal equivalente.

Tabela 3 - Propriedades dos perfis utilizados no pórtico regular de um pavimento

Perfil	h (mm)	bf (mm)	tw (mm)	tf (mm)	Ag (cm ²)	Izz (cm ⁴)	Iyy (cm ⁴)	It (cm ⁴)	Cw (cm ⁶)	Zzz (cm ³)	Zyy (cm ³)
W14x43	348	203,2	7,7	13,5	81,29	1881,4	17814,71	43,7	523644,94	283,5	1140,54
W33x118	835,7	292,1	14	18,8	223,87	7783,5	245576,5	220,6	12970282	840,66	6800,63

Na Tabela 4 estão destacados os resultados da análise do Cype 3D e do Mastan2 e das análises descritas em Dória (2007), nela são avaliados os esforços solicitantes do pilar central, a razão entre deslocamentos de segunda e de primeira ordem (u_2/u_1), a razão entre momentos solicitantes de segunda e de primeira ordem (M_2/M_1) e o coeficiente γ_z .

Na Figura 8 destaca-se em ordem decrescente os momentos solicitantes da análise elástica geometricamente não linear do Cype 3D e do Mastan2 e dos métodos descritos em

Dória (2007): MAES (Método de Amplificação dos Esforços Solicitantes) e a análise numérica avançada.

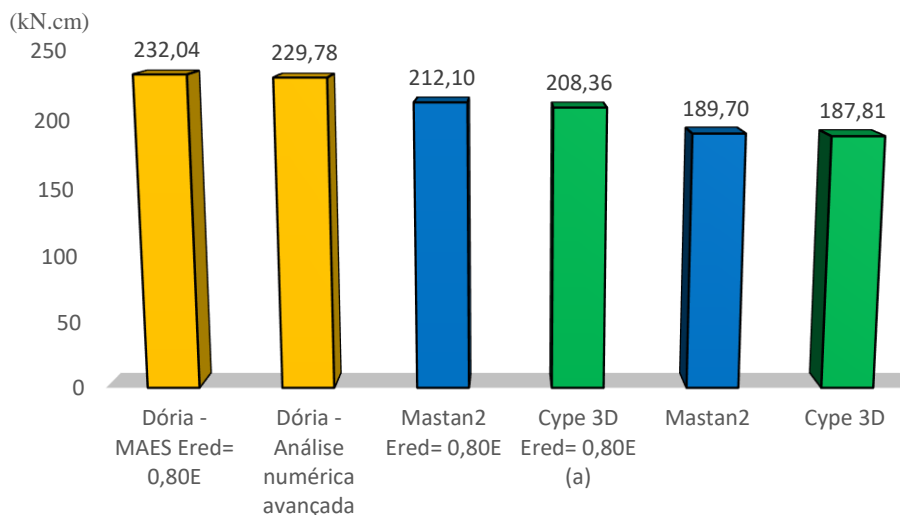
Tabela 4 - Análise Cype 3D do pórtico regular de um pavimento

		Msd (kN.cm)	M_2/M_1	u (mm)	u_2/u_1	γ_z
Cype3D	1 ° ordem	134,68		42,45		
	2 ° ordem	187,81	1,39	59,20	1,39	1,39
	2 ° ordem Ered=0,80E ^(a)	208,36	1,55	65,68	1,55	1,55
Mastan2	1 ° ordem	134,7		42,46		
	2 ° ordem	189,7	1,41	61,39	1,45	
	2 ° ordem Ered=0,80E	212,1	1,57	86,4	2,03	
Dória	MAES Ered= 0,80E	232,04				
	Análise numérica avançada	229,78				

(a) Coeficiente multiplicador de deslocamentos 1,25

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 8 - Análise dos momentos de segunda ordem do pórtico regular de um pavimento.



(a) Coeficiente multiplicador de deslocamentos 1,25

* Todas as análises são geomericamento não lineares

Fonte: elaborado pelo autor

Na análise geomericamente não linear do Cype 3D obteve-se momento solicitante igual a 187,81 kN.cm e a razão u_2/u_1 igual a 1,39, dessa forma a estrutura foi classificada como de média deslocabilidade e foi necessário reduzir o módulo de elasticidade do material para 80% do valor original, assim obteve-se momento solicitante igual a 208,36 kN.cm e relação u_2/u_1 igual a 1,55. O parâmetro γ_z obtido foi 1,39 para a análise geomericamente não linear e 1,55 para a análise com redução do módulo de elasticidade. A razão M_2/M_1 foi 1,39 para a análise geomericamente não linear e 1,55 para a análise com redução do módulo de elasticidade. Conforme Tabela 5, a razão u_2/u_1 , a relação M_2/M_1 e o coeficiente γ_z apresentaram o mesmo

valor tanto na análise geometricamente não linear quanto na análise com redução do módulo de elasticidade, essa característica se destacou no modelo anterior (pilar em balanço) e se repetiu na análise desse modelo, assim reitera-se uma relação intrínseca do coeficiente γ_z com razão u_2/u_1 e M_2/M_1 .

Na análise geometricamente não linear do Mastan2 obteve-se momento solicitante igual a 189,7 kN.cm e a razão u_2/u_1 igual a 1,45, assim a estrutura foi classificada como de grande deslocabilidade e foi necessário reduzir o módulo de elasticidade do material para 80% do valor original, obteve-se assim momento solicitante igual a 212,1 kN.cm e relação u_2/u_1 igual a 2,03.

Entre as análises descritas em Dória (2007) para esse modelo foram considerados o MAES (Método de Amplificação dos Esforços Solicitantes) e a análise numérica avançada. Ambos métodos foram apreciados para avaliar por meio da análise geometricamente não linear os momentos solicitantes no pilar central. O MAES é um método aproximado de amplificação dos esforços solicitantes para se considerar os efeitos de segunda ordem, supõem-se que esse método seja conservador, conforme destaca-se na Tabela 4, o MAES apresentou momento solicitante igual a 232,04 kN.cm, sendo o maior resultado entre os métodos avaliados. Na análise numérica avançada obteve-se momento solicitante igual a 229,78 kN.cm, presume-se que essa análise seja a mais precisa e que se aproxime melhor do resultado de uma análise experimental.

O Mastan2 utiliza o MEF (Método dos elementos finitos) e executa análise geometricamente não linear, dessa forma supõe-se que esse método seja mais preciso que a análise do Cype 3D, visto que esse último executa um método aproximado para considerar os efeitos de segunda ordem. Apesar disso, conforme Tabela 4, o Mastan2 e o Cype 3D apresentaram, na análise geometricamente não linear, esforços solicitantes e deslocamentos semelhantes e com diferença percentual pouco significativa. Entretanto, na análise com redução do módulo de elasticidade do material esses programas apresentaram diferença entre si de aproximadamente 32% nos deslocamentos do pilar central evidenciando grande influência dos fenômenos de segunda ordem.

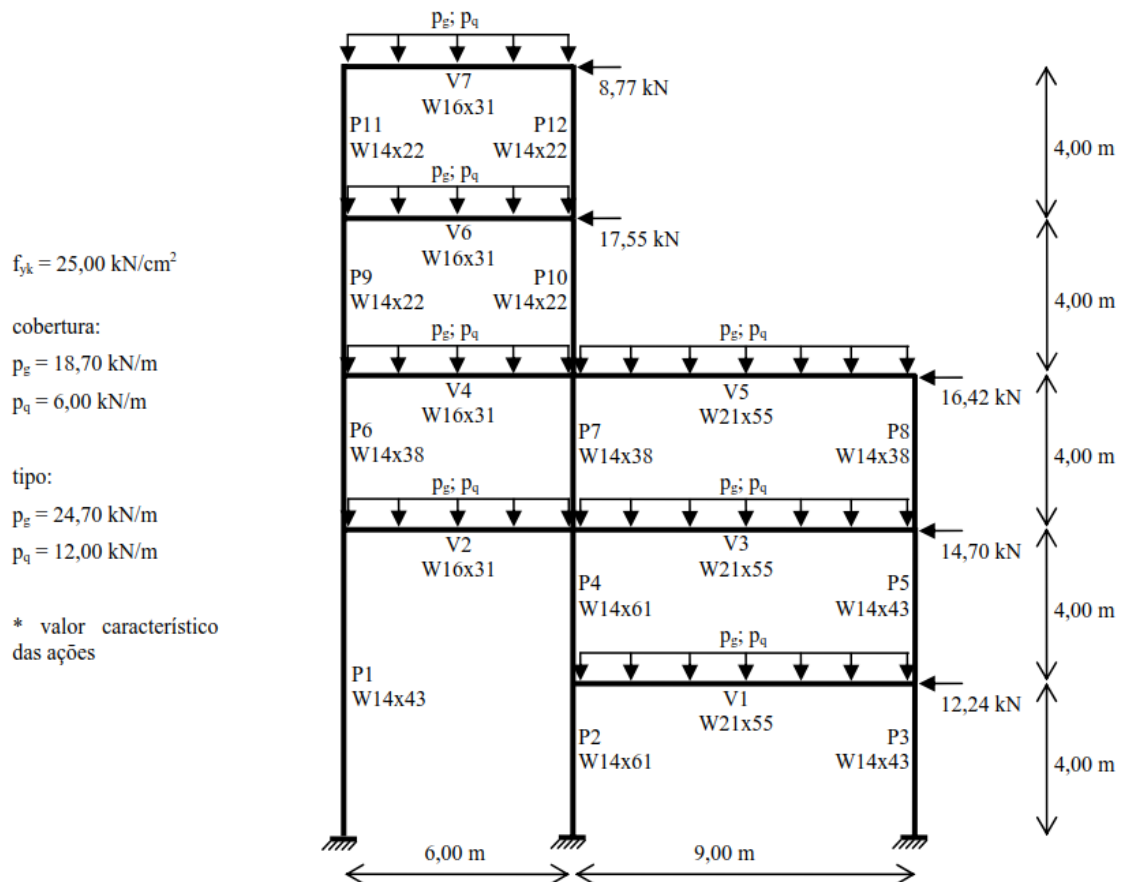
Conforme ilustra a Figura 8, o MAES apresentou o maior valor de momento solicitante na análise geometricamente não linear. A análise numérica avançada apresentou momento solicitante próximo do MAES. O Cype 3D e o Mastan2 apresentaram valores de momentos solicitantes semelhantes, sem discrepâncias significativas. Ambos programas apresentaram resultados inferiores ao MAES e a análise numérica avançada, todavia essa diferença não é tão

relevante, assim nesse contexto o método do coeficiente γ_z e o Mastan2 demonstram resultados satisfatórios de momentos solicitantes.

2.4 Modelo 3

Neste caso admite-se um pórtico irregular e assimétrico de cinco pavimentos apresentado na Figura 9 submetido a forças gravitacionais e à ação do vento.

Figura 9 – Pórtico irregular e assimétrico com 5 pavimentos



Fonte: (DÓRIA, 2007, p.88)

O aço utilizado é o A36 com módulo de elasticidade de 205 GPa. Na Tabela 5 estão destacadas as propriedades dos perfis. Nesse exemplo, empregaram-se coeficientes de ponderação das ações extraídos da ABNT NBR 8800:2008. Os métodos estudados nesse exemplo serão avaliados para as combinações: $1,4g+1,4q+FHF$ ($\xi=0,002$) e $1,4g+1,5(0,7q) + 1,4v +FHF$ ($\xi=0,002$). A simbologia utilizada nas combinações é definida por cargas permanentes (g), cargas variáveis de sobrecarga (q) e de vento (v). Os efeitos das imperfeições geométricas iniciais são levados em conta diretamente na análise por meio aplicação uma FHF (Força horizontal fictícia) que corresponde a uma fração da força axial (ξP). Neste exemplo considera-

se 0,2% para a FHF, embora a ABNT NBR 8800:2008 determine 0,3% para a força horizontal equivalente.

Tabela 5 - Propriedades dos perfis utilizados no pórtico irregular e assimétrico

Perfil	h (mm)	bf (mm)	tw (mm)	tf (mm)	Ag (cm ²)	Izz (cm ⁴)	Iyy (cm ⁴)	It (cm ⁴)	Cw (cm ⁶)	Zzz (cm ³)	Zyy (cm ³)
W14x22	348	127	5,8	8,5	41,87	291,36	8283,01	8,66	84320,26	71,94	544,05
W14x38	358,1	172	7,9	13,1	72,26	1111,3	16024,91	33,22	330299,1	198,28	1007,8
W14x43	348	203,2	7,7	13,5	81,29	1881,4	17814,71	43,7	523644,9	283,5	1140,54
W14x61	353,1	254	9,5	16,4	115,48	4453,7	26638,81	91,15	1264804	537,5	1671,48
W16x31	403,9	140,5	7	11,2	58,9	516,13	15608,68	19,19	198448	115,2	884,9
W21x55	528,3	208,8	9,5	13,3	104,52	2014,6	47450,38	51,61	1337309	301,52	2064,77

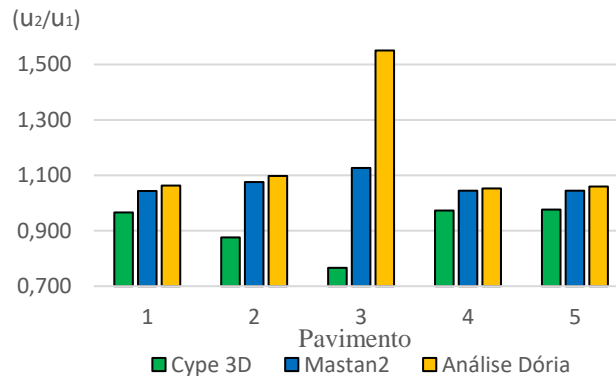
A Tabela 6 apresenta os valores de deslocamentos de primeira e de segunda ordem necessários para classificação da estrutura quanto à deslocabilidade. As Figuras 10 e 11 ilustram graficamente as relações u_2/u_1 apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros necessários para a classificação quanto à deslocabilidade

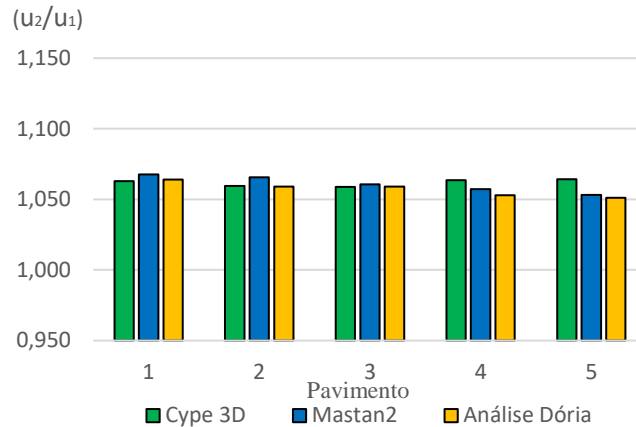
Combinação	Cype 3D				Mastan2			Dória		
	Pav	u ₁ (cm)	u ₂ (cm)	u ₂ /u ₁	u ₁ (cm)	u ₂ (cm)	u ₂ /u ₁	u ₁ (cm)	u ₂ (cm)	u ₂ /u ₁
1,4g+1,4q+FHF ($\xi=0,002$)	1	0,082	0,080	0,966	0,082	0,086	1,044	0,072	0,076	1,063
	2	0,049	0,043	0,876	0,049	0,053	1,076	0,042	0,046	1,098
	3	0,036	0,028	0,766	0,036	0,040	1,127	0,010	0,016	1,550
	4	0,410	0,399	0,973	0,410	0,428	1,045	0,380	0,400	1,053
	5	0,522	0,509	0,976	0,522	0,545	1,045	0,500	0,530	1,060
1,4g+1,5(0,7q)+1,4v +FHF ($\xi=0,002$)	1	0,938	0,995	1,060	0,947	1,011	1,068	0,940	1,000	1,064
	2	2,175	2,299	1,057	2,240	2,387	1,066	2,200	2,330	1,059
	3	3,165	3,343	1,056	3,254	3,451	1,061	3,230	3,420	1,059
	4	4,072	4,320	1,061	4,221	4,463	1,057	4,130	4,350	1,053
	5	4,626	4,910	1,062	4,932	5,194	1,053	4,690	4,930	1,051

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 10 - Relação u_2/u_1 na combinação 1,4g+1,4q+FHF ($\xi=0,002$)



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 11 - Relação u_2/u_1 na combinação 1,4g+1,5(0,7q) + 1,4v +FHF ($\xi=0,002$)

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 7 apresenta valores de momentos solicitantes de segunda e de primeira ordem (M_2/M_1) para as análises do Cype 3D, Mastan2 e para as análises descritas em Dória (2007). Adicionalmente foram avaliados o coeficiente γ_z que integra a análise geometricamente não linear do Cype 3D e o coeficiente B_2 que compõem o MAES (Método de amplificação dos esforços solicitantes). Ambos métodos avaliam de forma simplificada os efeitos de segunda ordem e dispõem desses coeficientes para classificar a deslocabilidade da estrutura.

Tabela 7 – Análise geometricamente não linear do pórtico irregular

Combinação	Pav	Cype 3D		Mastan2	Dória	
		M_2/M_1	γ_z	M_2/M_1	M_2/M_1	B_2
1,4g+1,4q+FHF ($\xi=0,002$)	1	1,00	1,062	1,00	1,057	
	2	1,00		1,00	0,959	
	3	1,00		1,005	1,000	
	4	1,00		1,047		
	5	1,00		1,000	1,084	
1,4g+1,5(0,7q) +1,4v+FHF ($\xi=0,002$)	1	0,93	1,056	0,92	1,044	1,074
	2	0,95		0,93	1,087	
	3	1,01		1,01	1,057	
	4	0,80		0,86	1,063	
	5	0,98		0,99	1,042	

Fonte: elaborado pelo autor

Na combinação 1,4g + 1,4q + FHF ($\xi = 0,002$) as análises apresentaram, conforme a Tabela 6, deslocamentos de primeira ordem muito pequenos, assim qualquer amplificação de deslocamentos devido aos efeitos de segunda ordem impacta consideravelmente a razão u_2/u_1 e consequentemente a classificação de deslocabilidade da estrutura. No terceiro pavimento evidenciou-se muito bem esse impacto, conforme ilustra a Figura 10, todas as análises apresentaram relações u_2/u_1 com discrepâncias significativas e classificação de

deslocabilidade diferentes. O modelo do Cype 3D foi classificado como de pequena deslocabilidade o do Mastan2 como de média deslocabilidade e a análise descrita em Dória (2007) como de alta deslocabilidade.

A classificação de deslocabilidade da estrutura efetuada por meio da relação u_2/u_1 induziu a falso indicativo de deslocabilidade na combinação sem carregamento de vento. Conforme ilustra a Tabela 7, foram avaliados os seguintes parâmetros: a razão M_2/M_1 , o coeficiente γ_z e o coeficiente B_2 do MAES. Todos esses indicadores apresentaram valores inferiores a 1,1, indicando assim a classificação da estrutura como de pequena deslocabilidade.

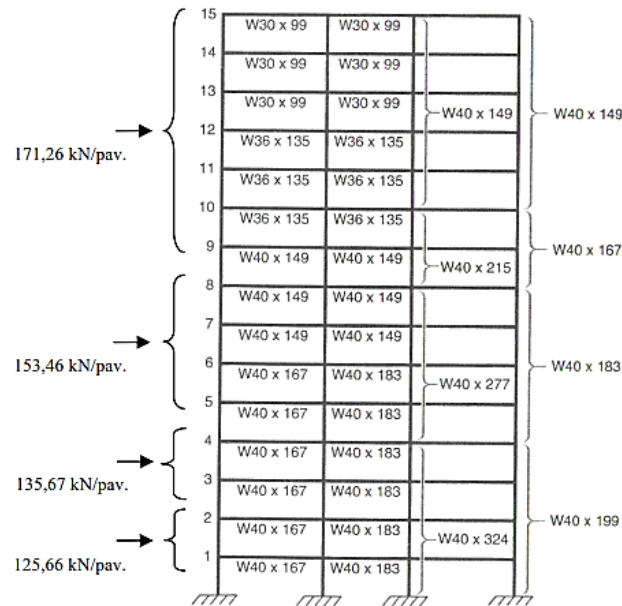
Na combinação $1,4g + 1,4v + 1,5(0,7q) + FHF$ ($\xi = 0,002$) as análises apresentaram, conforme a Tabela 6, deslocamentos de primeira ordem superiores as da combinação sem o carregamento de vento. Supõe-se que a aplicação da carga de vento ocasionou deslocamentos maiores e permitiu assim que fosse melhor avaliado os efeitos de segunda ordem na estrutura. Conforme ilustra Figura 11, não houve discrepâncias significativas entre os valores de u_2/u_1 , todas os métodos avaliados apresentaram relação u_2/u_1 inferior a 1,1 e classificação de pequena deslocabilidade. Na Tabela 7, foram avaliados a razão M_2/M_1 , o coeficiente γ_z e o coeficiente B_2 do MAES para a combinação com carregamento de vento. Todos esses indicadores apresentaram valores inferiores a 1,1, reforçando assim a classificação da estrutura como de pequena deslocabilidade.

Os métodos de análises avaliados no pórtico irregular e assimétrico permitiram inferir classificações de deslocabilidade uniformes e resultados coerentes quando se considera uma força horizontal significativa como é o caso da combinação com carregamento de vento. A combinação sem carregamento de vento apresentou resultados de classificação de deslocabilidade anômalos nas análises mais rigorosas enquanto nos métodos que simplificaradamente consideram os efeitos de segunda ordem como o coeficiente γ_z e o MAES os resultados foram mais pertinentes.

2.5 Modelo 4

Neste modelo admite-se um edifício com 15 pavimentos. Na Figura 12 são apresentados os valores característicos das forças de vento no plano do pórtico e os perfis empregados na análise.

Figura 12 - Ação do vento e perfis dos pórticos de extremidade



Fonte: (DÓRIA, 2007, p.94)

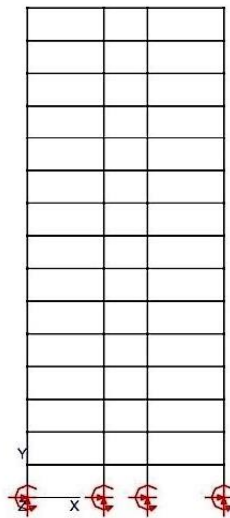
O aço utilizado é o A36 com módulo de elasticidade de 205 GPa. Na Tabela 8 são apresentadas as propriedades dos perfis. Nesse exemplo, empregaram-se coeficientes de ponderação das ações extraídos da ABNT NBR 8800:2008. Os métodos estudados nesse exemplo serão avaliados para a combinação de ações $1,4G + 1,4V + 1,5(0,5Q)$. A simbologia utilizada nas combinações é definida por cargas permanentes (G), cargas variáveis de sobrecarga (Q) e de vento (V). A distância entre os pilares externos é de 10,67 m e entre os pilares internos de 6,10 m. Admite-se uma altura entre pavimentos de 4,57 m, f_y igual a $34,5 \text{ kN/cm}^2$ e as ações características no pavimento de $4,30 \text{ kN/m}^2$ tanto para o peso próprio quanto para a sobrecarga. Considerou-se uma área de influência entre os pórticos de 7 metros resultando em uma carga distribuída de projeto de $0,64715 \text{ kN/cm}$ para cada pavimento.

Tabela 8 - Propriedades dos perfis utilizados no edifício de 15 pavimentos

Perfil	h (mm)	bf (mm)	tw (mm)	tf (mm)	Ag (cm ²)	Izz (cm ⁴)	Iyy (cm ⁴)	It (cm ⁴)	Cw (cm ⁶)	Zzz (cm ³)	Zyy (cm ³)
W40x167	980,4	299,7	16,5	26,2	318,06	11779,35	482828,45	582,72	26773025,89	1245,42	11356,24
W40x183	990,6	299,7	16,5	30,5	343,87	13777,26	549425,48	803,33	31687232,25	1446,98	12683,59
W40x199	983	401,3	16,5	27,2	379,35	28928,08	620184,82	761,7	66059823,17	2245,03	14240,36
W40x324	1021,1	403,9	25,4	46	614,84	50780,23	1065552,5	3304,88	120304068,2	3916,51	23925,11
W40x277	1008,4	401,3	21,1	40,1	525,81	43288,07	911546,82	2143,59	101775093,4	3342,96	20483,83
W40x149	970,3	299,7	16	21,1	282,58	9531,7	407906,8	389,59	21482869,32	1019,28	9799,46
W40x215	990,6	401,3	16,5	31	409,68	33423,38	695106,48	1032,25	76264186,1	2556,38	15797,13
W36x135	904,2	304,8	15,2	20,1	257,42	9365,21	324660,51	291,36	18287292,51	978,31	8341,02
W30x99	754,4	266,7	13,2	17	187,1	5327,76	166076,34	156,92	7196761,22	632,54	5112,76

O modelo 4 foi adaptado a partir de um modelo descrito em Dória (2007) e como sofreu modificações de acordo com os interesses desse trabalho, apenas os resultados obtidos com o programa Mastan2 são comparados com os resultados do programa comercial Cype 3D. Adicionalmente, foram estudadas duas condições para as ligações do pórtico em questão, a primeira com todas as ligações rígidas (Figura 13) e a segunda com as ligações dos pilares centrais articuladas (Figura 16).

Figura 13 – Pórtico rígido



Fonte: elaborado pelo autor

Na Tabela 9 são apresentados os deslocamentos da análise linear elástica (u_1) e da análise elástica geometricamente não linear (u_2) e as relações u_2/u_1 do Cype 3d e do Mastan2. Adicionalmente nas últimas colunas foram incluídas comparações de deslocamentos entre os programas nas diferentes análises. Na Figura 15 são ilustrados de forma comparativa os deslocamentos de segunda ordem do pórtico rígido.

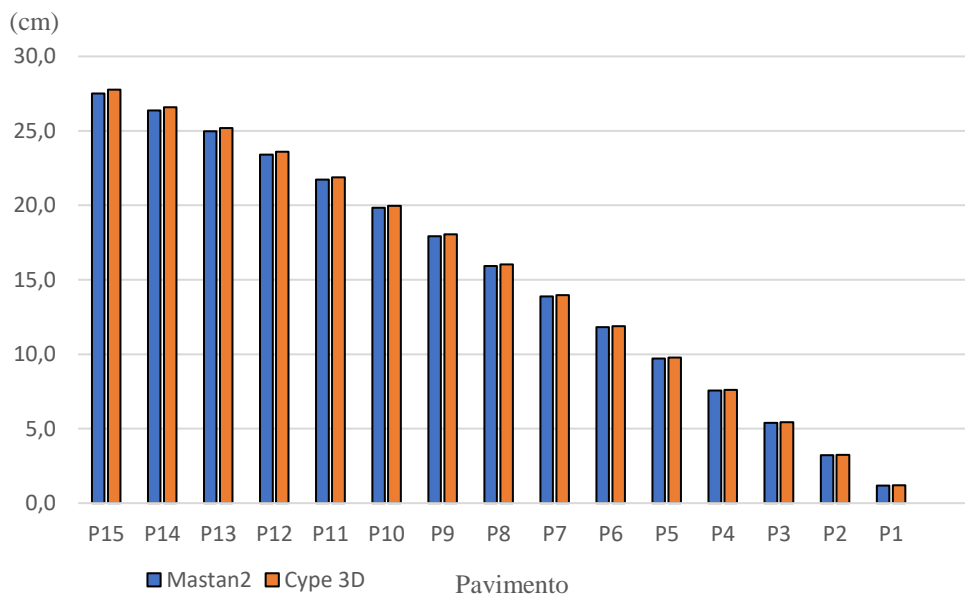
Tabela 9 - Deslocamentos da análise geometricamente não linear do pórtico rígido

	Mastan2			Cype 3D ^(a)			u ₁ Cype / u ₁ Mastan	u ₂ Cype / u ₂ Mastan
	u ₁ (cm)	u ₂ (cm)	u ₂ /u ₁	u ₁ (cm)	u ₂ (cm)	u ₂ /u ₁		
P15	26,7	27,5	1,03	26,67	27,76	1,04	1,00	1,01
P14	25,6	26,4	1,03	25,55	26,59	1,04	1,00	1,01
P13	24,2	25,0	1,03	24,20	25,19	1,04	1,00	1,01
P12	22,7	23,4	1,03	22,67	23,60	1,04	1,00	1,01
P11	21,0	21,7	1,03	21,03	21,89	1,04	1,00	1,01
P10	19,2	19,8	1,03	19,19	19,97	1,04	1,00	1,01
P9	17,3	17,9	1,03	17,34	18,04	1,04	1,00	1,01
P8	15,4	15,9	1,03	15,41	16,03	1,04	1,00	1,01
P7	13,4	13,9	1,03	13,43	13,98	1,04	1,00	1,01
P6	11,4	11,8	1,03	11,42	11,89	1,04	1,00	1,01
P5	9,4	9,7	1,03	9,40	9,79	1,04	1,00	1,01
P4	7,3	7,6	1,03	7,31	7,61	1,04	1,00	1,01
P3	5,2	5,4	1,03	5,22	5,44	1,04	1,00	1,01
P2	3,1	3,2	1,03	3,12	3,25	1,04	1,00	1,01
P1	1,2	1,2	1,03	1,16	1,20	1,04	1,00	1,01
	Maior Valor		1,03	Maior Valor		1,04		

(a) Coeficiente γ_z igual a 1,04

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 14 – Deslocamentos da análise geometricamente não linear do pórtico rígido



Fonte: elaborado pelo autor

Na Tabela 10 são apresentados os momentos solicitantes da análise linear elástica (M_1) e da análise elástica geometricamente não linear (M_2) e as relações M_2/M_1 do Cype 3d e do Mastan2. Adicionalmente nas últimas colunas foram incluídas comparações de momentos entre os programas nas diferentes análises. Na Figura 16 são ilustrados de forma comparativa os momentos solicitantes de segunda ordem do pórtico rígido.

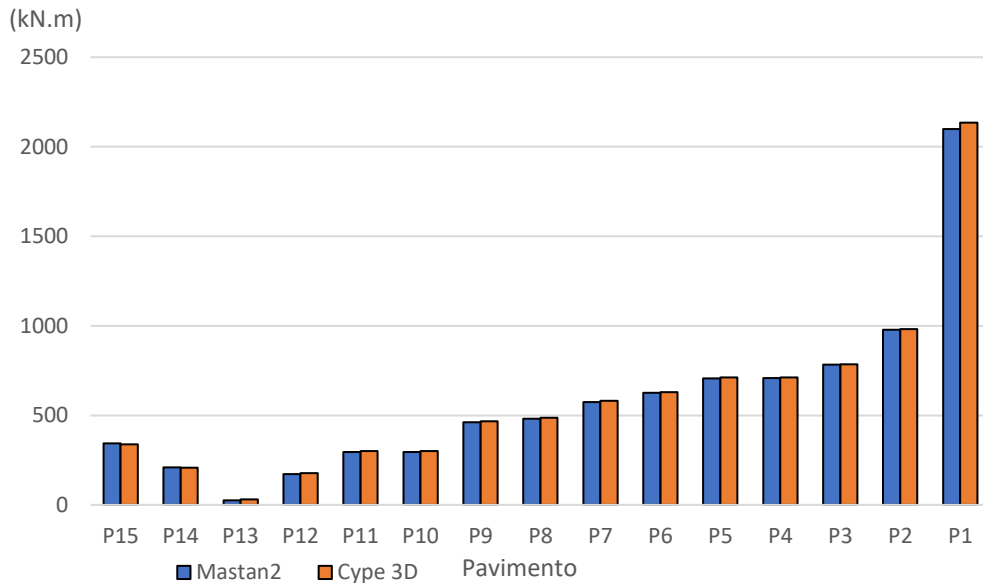
Tabela 10 – Análise de momentos solicitantes do pórtico rígido

	Mastan2			Cype 3D ^(a)			M ₁ Cype / M ₁ Mastan	M ₂ Cype / M ₂ Mastan
	M ₁ (kN.m)	M ₂ (kN.m)	M ₂ /M ₁	M ₁ (kN.m)	M ₂ (kN.m)	M ₂ /M ₁		
P15	348	343	0,99	347,97	339,05	0,97	1,00	0,99
P14	212	210	0,99	212,21	207,75	0,98	1,00	0,99
P13	18	26	1,42	18,04	31,45	1,74	1,00	1,23
P12	158	172	1,09	157,99	176,92	1,12	1,00	1,03
P11	278	296	1,07	277,62	301,04	1,08	1,00	1,02
P10	278	295	1,06	278,18	301,26	1,08	1,00	1,02
P9	439	462	1,05	438,57	467,81	1,07	1,00	1,01
P8	456	482	1,06	456,33	486,61	1,07	1,00	1,01
P7	547	574	1,05	547,35	580,84	1,06	1,00	1,01
P6	595	625	1,05	594,76	630,09	1,06	1,00	1,01
P5	673	707	1,05	673,06	711,52	1,06	1,00	1,01
P4	673	708	1,05	673,18	712,05	1,06	1,00	1,01
P3	744	783	1,05	743,53	785,15	1,06	1,00	1,00
P2	931	978	1,05	931,19	981,03	1,05	1,00	1,00
P1	2047	2099	1,03	2046,78	2134,99	1,04	1,00	1,02
	Maior Valor		1,42	Maior Valor		1,74		

(a) Coeficiente γ_z igual a 1,04

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 15 – Momentos solicitantes da análise geometricamente não linear do pórtico rígido



Fonte: elaborado pelo autor

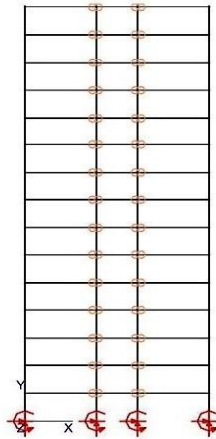
O coeficiente γ_z é empregado como fator de multiplicação do momento solicitante de primeira ordem para obtenção do momento solicitante de segunda ordem conforme equação 7 da ABNT NBR 6118:2014. Como o Cype 3D utiliza o coeficiente γ_z como método aproximado de amplificação dos efeitos de segunda ordem esperava-se que esse programa efetua-se cálculo semelhante ao da norma, entretanto na Tabela 10 percebe-se que não há relação linear do coeficiente γ_z com a razão M_2/M_1 . Ademais, o Cype 3D não demonstra explicitamente de que

forma o coeficiente é introduzido no cálculo do momento solicitante de segunda ordem. A princípio, conforme apresentado na Tabela 9, o programa utiliza o coeficiente γ_z para obtenção do deslocamento de segunda ordem a partir da multiplicação do deslocamento de primeira ordem por esse coeficiente.

$$M_2 = M_1 0,95 \gamma_z \quad (\text{Equação 7})$$

No pórtico rígido os deslocamentos da análise linear elástica (u_1) e da análise elástica geometricamente não linear (u_2) do Cype 3D e do Mastan2 apresentaram diferença percentual pouco significativa conforme Tabela 9. Ambos programas apresentaram relações u_2/u_1 inferiores a 1,1 e classificação de pequena deslocabilidade. Conforme ilustra a Figura 16, os momentos solicitantes da análise geometricamente não linear apresentaram discrepâncias pouco expressivas. Supõem-se que os efeitos de segunda ordem tiveram pouca influência na classificação de deslocabilidade do pórtico devido aos perfis serem robustos e dessa forma a estrutura apresentar rigidez elevada. Adicionalmente, o fato de o pórtico não ter variações de carregamento e geometria significativos ao longo da altura (estrutura tipicamente regular) sugere um bom desempenho do método aproximado de amplificação dos esforços baseado no coeficiente γ_z , fato que contribui para o bom desempenho do modelo no programa comercial Cype 3D.

Figura 16 – Pórtico com ligações centrais articuladas



Fonte: elaborado pelo autor

Na Tabela 11 são apresentados os deslocamentos da análise linear elástica (u_1) e da análise elástica geometricamente não linear (u_2) e as relações u_2/u_1 do pórtico articulado. Na Figura 17 são ilustrados de forma comparativa os deslocamentos de segunda ordem do pórtico articulado.

Tabela 11 - Deslocamentos da análise geometricamente não linear do pórtico articulado

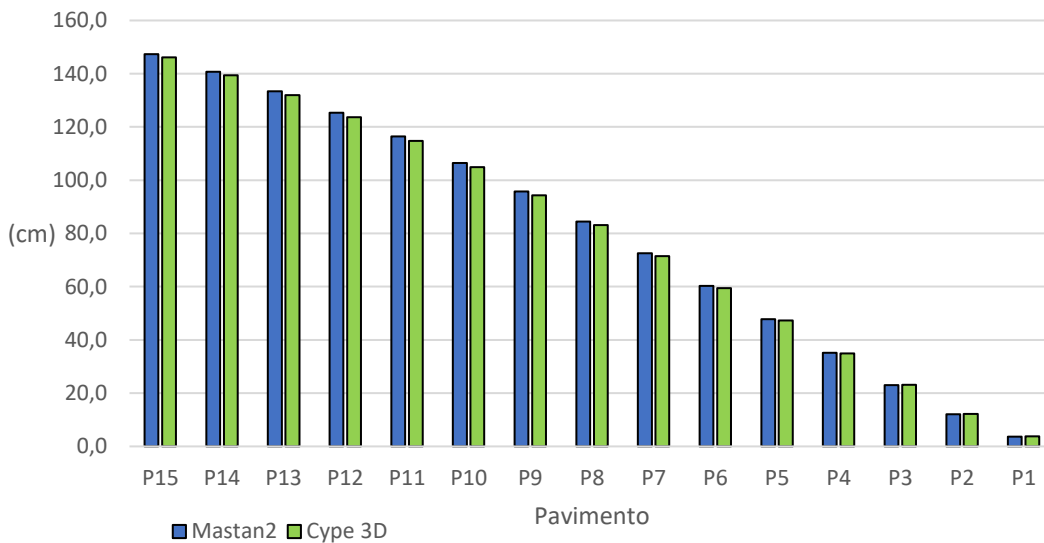
	Mastan2			Cype 3D ^(a)			u ₁ Cype / u ₁ Mastan	u ₂ Cype / u ₂ Mastan
	u ₁ (cm)	u ₂ (cm)	u ₂ /u ₁	u ₁ (cm)	u ₂ (cm)	u ₂ /u ₁		
P15	125,1	147,3	1,18	125,1	146,1	1,17	1,00	0,99
P14	119,4	140,7	1,18	119,4	139,4	1,17	1,00	0,99
P13	113,0	133,4	1,18	113,0	131,9	1,17	1,00	0,99
P12	105,9	125,3	1,18	105,9	123,7	1,17	1,00	0,99
P11	98,3	116,4	1,18	98,3	114,8	1,17	1,00	0,99
P10	89,8	106,5	1,19	89,8	104,8	1,17	1,00	0,98
P9	80,7	95,8	1,19	80,7	94,3	1,17	1,00	0,98
P8	71,2	84,5	1,19	71,2	83,1	1,17	1,00	0,98
P7	61,2	72,6	1,19	61,2	71,4	1,17	1,00	0,98
P6	50,9	60,3	1,18	50,9	59,4	1,17	1,00	0,99
P5	40,5	47,8	1,18	40,5	47,3	1,17	1,00	0,99
P4	30,0	35,2	1,18	30,0	35,0	1,17	1,00	0,99
P3	19,8	23,1	1,17	19,8	23,1	1,17	1,00	1,00
P2	10,5	12,1	1,16	10,5	12,2	1,17	1,00	1,01
P1	3,2	3,7	1,14	3,2	3,8	1,17	1,00	1,03
	Maior Valor		1,19	Maior Valor		1,17	1,00*	0,99*

(a) Coeficiente γ_z igual a 1,17

* Média entre todos os pavimentos

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 17 - Deslocamentos da análise geometricamente não linear do pórtico articulado



Fonte: elaborado pelo autor

Ambos programas de análise apresentaram relações u_2/u_1 maiores que 1,1 e classificação de média deslocabilidade.

Na Tabela 12 são apresentados os momentos solicitantes da análise linear elástica (M_1) e da análise elástica geometricamente não linear (M_2) e as relações M_2/M_1 do pórtico articulado. Adicionalmente, na Figura 16 são ilustrados de forma comparativa os momentos solicitantes de segunda ordem destacados na Tabela 12.

Tabela 12 - Análise de momentos solicitantes no pórtico articulado

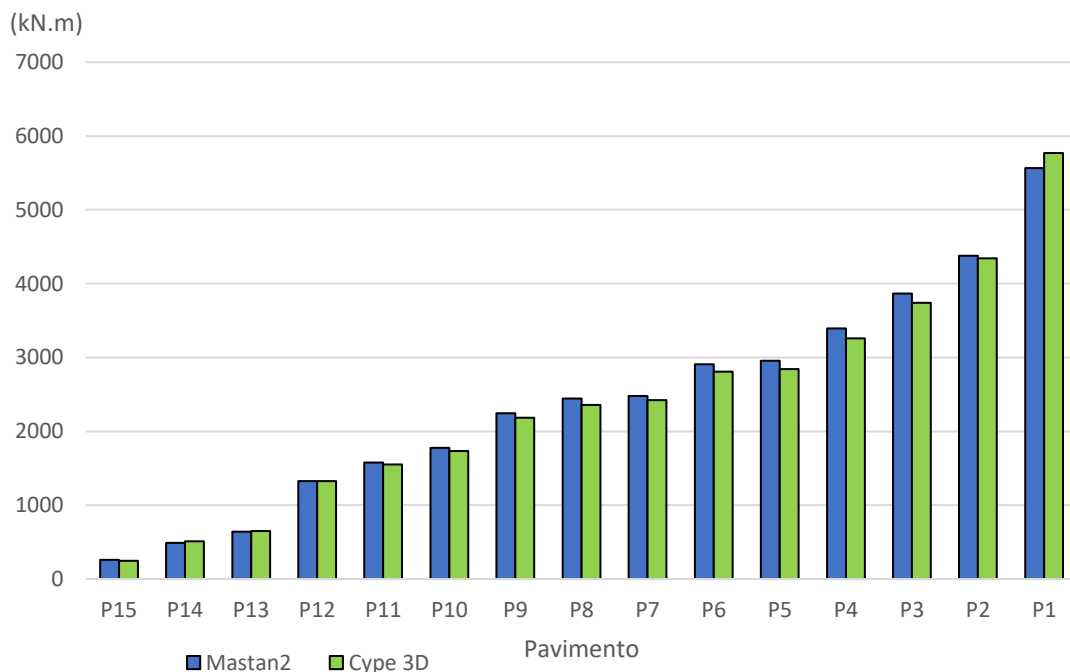
	Mastan2			Cype 3D ^(a)			M ₁ Cype / M ₁ Mastan	M ₂ Cype / M ₂ Mastan
	M ₁ (kN.m)	M ₂ (kN.m)	M ₂ /M ₁	M ₁ (kN.m)	M ₂ (kN.m)	M ₂ /M ₁		
P15	268	258	0,96	268	246	0,92	1,00	0,95
P14	377	491	1,30	377	510	1,35	1,00	1,04
P13	499	639	1,28	499	649	1,30	1,00	1,01
P12	1084	1326	1,22	1084	1325	1,22	1,00	1,00
P11	1278	1576	1,23	1278	1552	1,21	1,00	0,98
P10	1431	1779	1,24	1431	1734	1,21	1,00	0,97
P9	1820	2247	1,23	1820	2183	1,20	1,00	0,97
P8	1969	2446	1,24	1969	2360	1,20	1,00	0,96
P7	2023	2479	1,23	2023	2421	1,20	1,00	0,98
P6	2356	2908	1,23	2356	2809	1,19	1,00	0,97
P5	2385	2955	1,24	2385	2844	1,19	1,00	0,96
P4	2736	3395	1,24	2736	3258	1,19	1,00	0,96
P3	3146	3867	1,23	3146	3739	1,19	1,00	0,97
P2	3660	4379	1,20	3660	4343	1,19	1,00	0,99
P1	4918	5566	1,13	4918	5771	1,17	1,00	1,04
	Maior Valor		1,30	Maior Valor		1,35	1,00*	0,98*

(a) Coeficiente γ_z igual a 1,17

* Média entre todos os pavimentos

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 18 - Momentos solicitantes da análise geometricamente não linear do pórtico articulado



Fonte: elaborado pelo autor

Os deslocamentos da análise linear elástica (u_1) e da análise elástica geometricamente não linear (u_2) do Cype 3D e do Mastan2 apresentaram diferenças pouco significativas conforme ilustra Figura 17. A relação u_2 Cype / u_2 Mastan apresentou diferença média entre todos os pavimentos de 1%, sendo o programa Mastan2 o que demonstrou resultados mais

conservadores. Tal como no exemplo anterior (pórtico rígido), o Cype 3D permanece utilizando o coeficiente γ_z obtido na análise geometricamente não linear como fator de multiplicação do deslocamento de primeira ordem para obtenção do deslocamento de segunda ordem, conforme Tabela 11. Adicionalmente, o coeficiente γ_z não demonstra comportamento linear na relação M_2/M_1 . Os momentos solicitantes da análise linear elástica (M_1) e da análise elástica geometricamente não linear (M_2) do Cype 3D e do Mastan2, conforme ilustra a Figura 18, apresentaram diferenças pouco significativas. Conforme Tabela 12 a relação M_2 Cype / M_2 Mastan apresentou diferença média entre todos os pavimentos de 2%.

Como em ambos programas o pórtico articulado apresentou relação u_2/u_1 maior que 1,1 e classifica-se a estrutura da como de média deslocabilidade sendo necessário que se reduza o módulo de elasticidade do material para 80% do valor original.

Na Tabela 13 são apresentados os deslocamentos da análise linear elástica (u_1) e da análise elástica geometricamente não linear com redução do módulo de elasticidade (u_2 red) e as relações u_2/u_1 do pórtico articulado. Na Figura 18 são ilustrados de forma comparativa os deslocamentos de segunda ordem com redução do módulo de elasticidade do pórtico articulado.

Tabela 13 - Deslocamentos do pórtico articulado da análise com redução do módulo de elasticidade

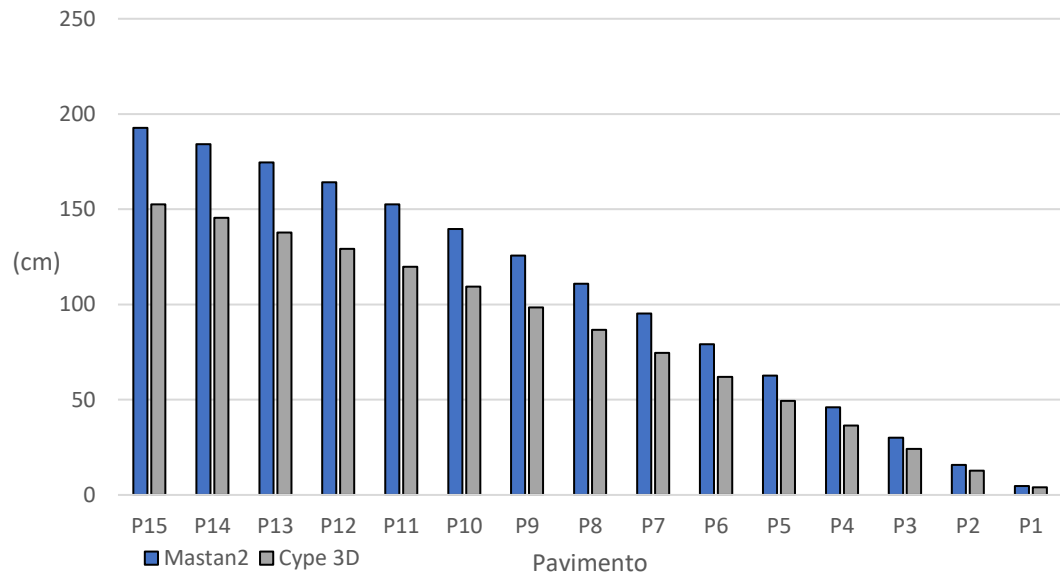
	Mastan 2			Cype 3D ^(a)			u_1 Cype / u_1 Mastan	u_2 red Cype / u_2 red Mastan
	u_1 (cm)	u_2 red (cm)	u_2/u_1	u_1 (cm)	u_2 red (cm)	u_2/u_1		
P15	125,1	192,7	1,54	125,1	152,49	1,22	1,00	0,79
P14	119,4	184,2	1,54	119,4	145,51	1,22	1,00	0,79
P13	113	174,6	1,55	113,0	137,70	1,22	1,00	0,79
P12	105,9	164,1	1,55	105,9	129,12	1,22	1,00	0,79
P11	98,29	152,5	1,55	98,3	119,78	1,22	1,00	0,79
P10	89,8	139,6	1,55	89,8	109,43	1,22	1,00	0,78
P9	80,73	125,6	1,56	80,7	98,39	1,22	1,00	0,78
P8	71,18	110,8	1,56	71,2	86,75	1,22	1,00	0,78
P7	61,19	95,18	1,56	61,2	74,57	1,22	1,00	0,78
P6	50,91	79,04	1,55	50,9	62,05	1,22	1,00	0,79
P5	40,48	62,61	1,55	40,5	49,33	1,22	1,00	0,79
P4	29,96	46,06	1,54	30,0	36,52	1,22	1,00	0,79
P3	19,78	30,13	1,52	19,8	24,10	1,22	1,00	0,80
P2	10,48	15,76	1,50	10,5	12,77	1,22	1,00	0,81
P1	3,215	4,748	1,48	3,2	3,92	1,22	1,00	0,83
	Maior Valor		1,56	Maior Valor		1,22	1,00*	0,79*

(a) Coeficiente γ_z igual a 1,22

* Média entre todos os pavimentos

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 19 - Deslocamentos de segunda ordem do pórtico articulado com redução do módulo de elasticidade



Fonte: elaborado pelo autor

Na Tabela 14 são apresentados os momentos solicitantes da análise linear elástica (M_1) e da análise elástica geometricamente não linear com redução do módulo de elasticidade ($M_{2\ red}$) e as relações $M_{2\ red} / M_1$ do pórtico articulado. Adicionalmente, na Figura 20 são ilustrados de forma comparativa os momentos solicitantes de segunda ordem com redução do módulo de elasticidade.

Tabela 14 - Momentos solicitantes do pórtico articulado da análise com redução do módulo de elasticidade

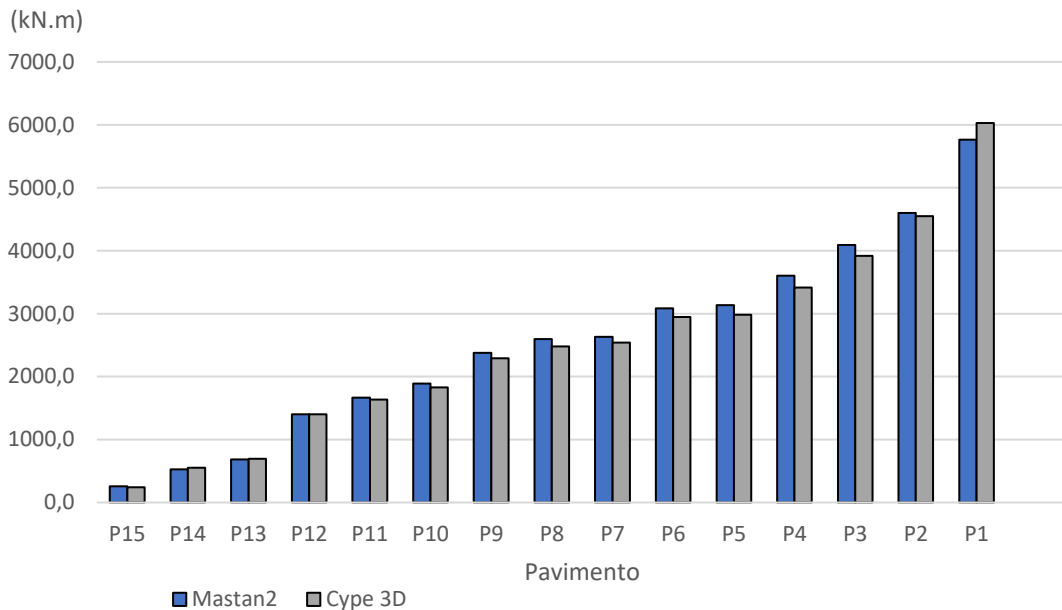
	Mastan2			Cype 3D ^(a)			M_1 Cype / M_1 Mastan	$M_{2\ red}$ Cype / $M_{2\ red}$ Mastan
	M_1 (kN.m)	$M_{2\ red}$ (kN.m)	M_2/M_1	M_1 (kN.m)	$M_{2\ red}$ (kN.m)	M_2/M_1		
P15	268,4	255,1	0,95	268	239,1	0,89	1,00	0,94
P14	377,1	524,8	1,39	377	550,7	1,46	1,00	1,05
P13	499,2	682,1	1,37	499	694,0	1,39	1,00	1,02
P12	1084,0	1400,0	1,29	1084	1398,5	1,29	1,00	1,00
P11	1278,0	1668,0	1,31	1278	1635,9	1,28	1,00	0,98
P10	1431,0	1887,0	1,32	1431	1825,8	1,28	1,00	0,97
P9	1820,0	2380,0	1,31	1820	2293,1	1,26	1,00	0,96
P8	1969,0	2595,0	1,32	1969	2478,6	1,26	1,00	0,96
P7	2023,0	2631,0	1,30	2023	2542,0	1,26	1,00	0,97
P6	2356,0	3082,0	1,31	2356	2946,6	1,25	1,00	0,96
P5	2385,0	3134,0	1,31	2385	2983,5	1,25	1,00	0,95
P4	2736,0	3601,0	1,32	2736	3416,8	1,25	1,00	0,95
P3	3146,0	4091,0	1,30	3146	3919,2	1,25	1,00	0,96
P2	3660,0	4601,0	1,26	3660	4551,1	1,24	1,00	0,99
P1	4918,0	5765,0	1,17	4918	6031,0	1,23	1,00	1,05
	Maior Valor		1,39	Maior Valor		1,46	1,00*	0,97*

(a) Coeficiente γ_z igual a 1,22

* Média entre todos os pavimentos

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 20 - Momentos solicitantes de segunda ordem com redução do módulo de elasticidade do pórtico articulado



Fonte: elaborado pelo autor

Na análise geometricamente não linear com redução do módulo de elasticidade os deslocamentos obtidos apresentaram discrepâncias significativas entre o Cype 3D e o Mastan2 conforme ilustra a Figura 19. A relação $u_{2\text{ red}} \text{ Cype} / u_{2\text{ red}} \text{ Mastan}$ apresentou diferença média entre todos os pavimentos de aproximadamente 21%, sendo os deslocamentos do Mastan2 os mais maiores. A relação $u_{2\text{ red}} / u_1$ permanece conforme exemplos anteriores tendo uma relação direta com o coeficiente γ_z e salienta-se que a classificação de deslocabilidade da estrutura é feita apenas uma vez e sem considerar a redução de rigidez da estrutura, assim a relação $u_{2\text{ red}} / u_1$ é citada apenas para fins comparativos com o coeficiente γ_z .

O coeficiente γ_z tal como nos exemplos anteriores não apresenta relação linear com o momento solicitante de segunda ordem. Nas análises dos momentos solicitantes com redução do módulo de elasticidade conforme a Figura 20 os resultados não apresentaram diferenças significativas entre ambos programas. A relação $M_{2\text{ red}} \text{ Cype} / M_{2\text{ red}} \text{ Mastan}$ apresentou diferença média entre todos os pavimentos de aproximadamente 1%.

Foram analisados os deslocamentos e os momentos solicitantes do pórtico rígido e do pórtico articulado. Quanto a análise dos deslocamentos, o Cype 3D demonstrou resultados aceitáveis nas estruturas de pequena deslocabilidade, já nas análises de média deslocabilidade, que se faz necessário reduzir o módulo de elasticidade do material, foram encontradas diferenças significativas. A princípio esse resultado não impacta a análise da estrutura, visto que a ABNT NBR 8800:2008 permite que seja feita análise elástica de primeira ordem na

consideração dos estados limites de serviço para as estruturas de pequena e média deslocabilidade restringindo apenas para as estruturas de grande deslocabilidade a consideração dos efeitos globais e locais de segunda ordem. Dessa forma, o Cype 3D apresenta resultados satisfatórios de deslocamentos para estruturas de pequena e de média deslocabilidade.

Quanto as análises dos momentos solicitantes, o Cype 3D apresentou resultados que se aproximam dos valores do Mastan2. Ambos programas apresentaram resultados sem discrepâncias significativas, a diferença percentual não foi significativa tanto nas análises de pequena deslocabilidade quanto nas de média deslocabilidade. Supõe-se que o fato de os pórticos analisados terem geometria e distribuição de carregamentos regulares contribuiu para um bom desempenho do método aproximado de amplificação dos esforços baseado no coeficiente γ_z .

2.6 Modelo 5

Em Silvestre e Camotim (2006) são avaliados os efeitos de segunda ordem tipo $P - \Delta$ em estruturas de coberturas inclinadas e comparadas a estruturas ortogonais do tipo viga-coluna. Nesse estudo sugere-se que o comportamento da análise geometricamente não linear de uma estrutura viga-coluna ortogonal e uma estrutura com cobertura inclinada são quantitativamente diferentes. Em particular é claramente mostrado que o comportamento geometricamente não linear de um pórtico, quando formado apenas por elementos ortogonais, é diferente daquele observado quando há elementos inclinados.

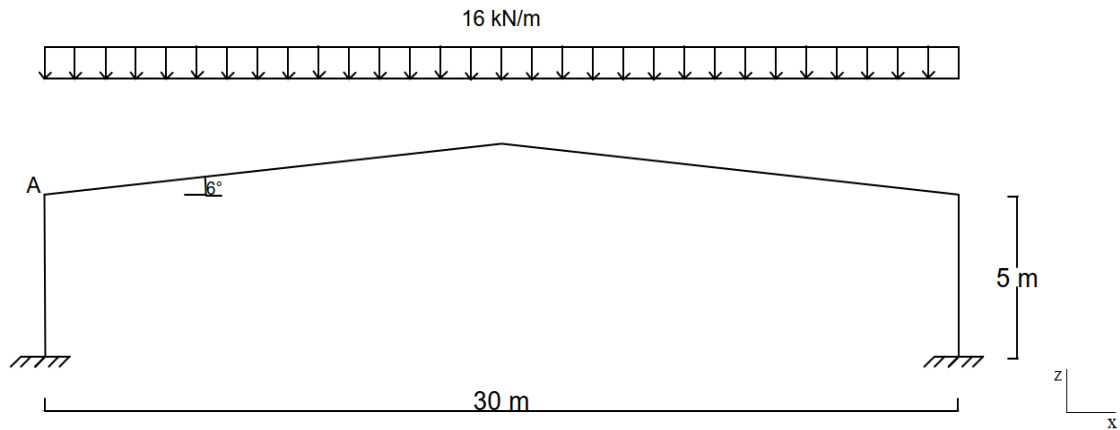
Nesse modelo é proposta a análise de um pórtico de cobertura inclinada descrita em Silvestre e Camotim (2006). Os resultados da análise geometricamente não linear do Cype 3D e do Mastan2 para esse pórtico são comparados com os apresentados em Silvestre e Camotim (2006) a fim de verificar a ocorrência de problemas relacionados a estruturas de cobertura inclinadas nesses programas.

Na Figura 21 são apresentados o pórtico de cobertura inclinada e os carregamentos verticais. O aço utilizado tem módulo de elasticidade de 210 GPa. Os perfis utilizados são HEB280 para as colunas e HEB240 para as vigas de cobertura. Na Tabela 15 são apresentadas as propriedades dos perfis.

Tabela 15 - Propriedades dos perfis do pórtico de cobertura inclinada

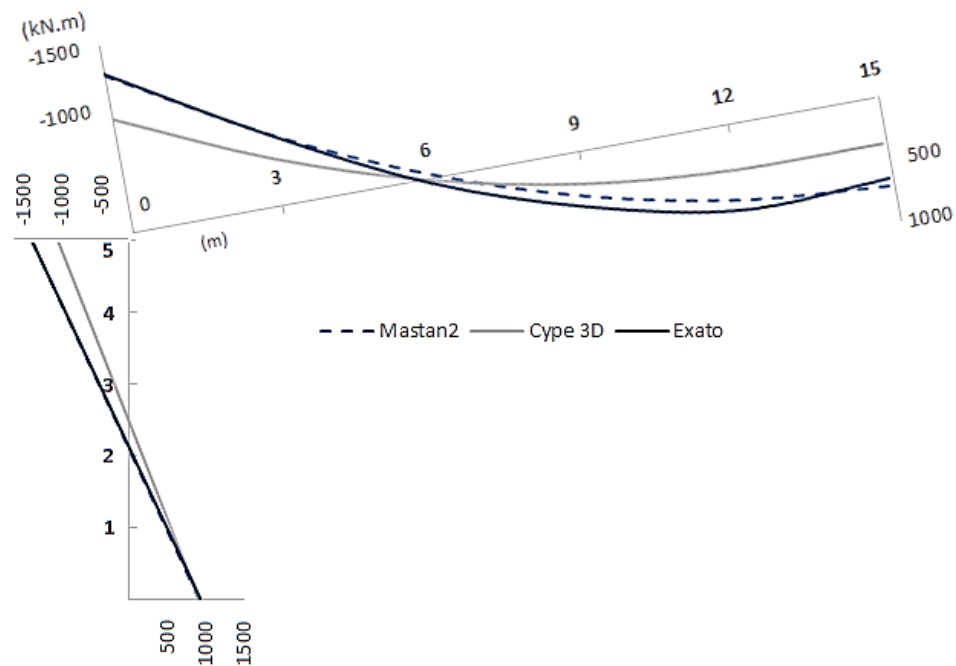
Perfil	h (mm)	bf (mm)	tw (mm)	tf (mm)	Ag (cm ²)	Izz (cm ⁴)	Iyy (cm ⁴)	It (cm ⁴)	Cw (cm ⁶)	Zzz (cm ³)	Zyy (cm ³)
HE 240B	240	240	10	17	106	3923	11260	102,7	486900	498,4	1053
HE 280B	280	280	10,5	18	131,4	6595	19270	143,7	1130000	717,6	1534

Figura 21 – Pórtico com cobertura inclinada



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 22 – Momentos solicitantes de segunda ordem do pórtico inclinado



Fonte: elaborado pelo autor

Na Figura 22 são ilustrados de forma comparativa os momentos solicitantes de segunda ordem do nó A. Na Tabela 16 são apresentados os deslocamentos e os momentos solicitantes da análise linear elástica e da análise não linear elástica do nó A.

Tabela 16 – Momentos solicitantes e deslocamentos do pórtico de cobertura inclinada

		Msd (kN.m)	M_2/M_1	u (cm)	u_2/u_1
Cype3D	1 ° ordem	917,7		-10,14	
	2 ° ordem	917,6	1,00	-10,14	1,00
Mastan2	1 ° ordem	918,7		-10,21	
	2 ° ordem	1270	1,38	-7,834	0,77
Camotim	1 ° ordem	920,4			
	2 ° ordem	1271	1,38		

Fonte: elaborado pelo autor

O Cype 3D, para contabilizar os efeitos de segunda ordem, emprega um método aproximado de amplificação dos esforços baseado no coeficiente γ_z . Esse método requer a aplicação de uma força horizontal para completar a sua rotina de cálculo, desse modo considerou-se na análise do Cype 3D imperfeição equivalente igual a 0,3% das ações gravitacionais enquanto os outros modelos não possuem. Foram feitos testes no Cype variando a força horizontal fictícia e foi possível observar que mesmo variando-a para 1% e 2% das ações gravitacionais os resultados não apresentam mudanças significativas e inclusive a relação M_2/M_1 tende a apresentar resultados inferiores a 1 à medida que a força horizontal fictícia é incrementada. Sendo assim, considerou-se razoável definir a imperfeição equivalente igual 0,3% das ações gravitacionais, pois o aumento dessa força horizontal não provoca discrepâncias significativas e dessa forma permite que o modelo seja comparado com os outros métodos de análises que não possuem força horizontal fictícia.

Nesse modelo foram avaliados os deslocamentos e os momentos solicitantes do pórtico de cobertura inclinada. Os momentos solicitantes na análise linear elástica (M_1) e na análise elástica geometricamente não linear (M_2) obtidos no Mastan2 e no estudo descrito em Silvestre e Camotim (2006) apresentaram diferença percentual entre eles pouco significativa conforme ilustra a Figura 22 e a Tabela 16. Já na análise do Cype 3D o resultado obtido para a relação M_2/M_1 apresentou diferença de aproximadamente 38% com relação aos outros métodos avaliados. Quanto aos deslocamentos foram avaliados comparativamente somente os programas Cype 3D e Mastan2. Ambos programas apresentaram relação u_2/u_1 menor que 1,1 e, portanto, classificação de pequena deslocabilidade. Segundo a ABNT NBR 8800:2008 não seria necessário nesse caso considerar os efeitos de segunda ordem, todavia é evidente que as relações M_2/M_1 apresentadas evidenciam a relevância da consideração dos efeitos de segunda ordem no pórtico avaliado.

Conforme previsto em Silvestre e Camotim (2006) o método aproximado não conseguiu captar os efeitos de segunda ordem tipo $P - \Delta$ para a estrutura de cobertura inclinada. Nesse modelo foi possível observar que o método de amplificação dos esforços baseados na norma

européia (EUROCODE 3 Parte 1), e, conseqüentemente, também aqueles baseados no coeficiente γ_z utilizado pelo programa Cype 3D, têm suas limitações. Logo, muitos outros casos e tipologias de estruturas também podem apresentar problemas. Portanto, fica o alerta com base no que foi descrito que pórticos com coberturas inclinadas podem exigir uma necessidade de maior atenção na consideração dos efeitos de segunda ordem para métodos de análise aproximados.

2.7 Considerações da análise estrutural

Diversos modelos de análise foram considerados para avaliar a influência dos efeitos desestabilizantes em estruturas no programa comercial Cype 3D. A partir da comparação com o Mastan2 e com análises descritas em Dória (2007) foi possível constatar o desempenho do programa comercial quanto a análise dos efeitos globais de segunda ordem.

O Cype 3D não apresentou resultados satisfatórios na análise de elementos isolados, como no caso do pilar em balanço (modelo 1). Na análise do pórtico ortogonal tipo viga-coluna de grandes vãos (modelo 2) os momentos solicitantes e os deslocamentos obtidos no programa foram mais compatíveis com os resultados apresentados pelos outros métodos. Na verificação do pórtico assimétrico (modelo 3) constatou-se deslocamentos e momentos solicitantes satisfatórios na combinação com carregamento de vento e classificação de deslocabilidade da estrutura equivocada na combinação sem carregamento de vento devido ao pórtico apresentar deslocamentos muito pequenos, contudo, esse tipo de comportamento refletiu-se em todos os métodos de análise, logo, não é uma questão particular do Cype 3D, mas sim da tipologia e dos carregamentos do pórtico.

Na avaliação do pórtico de 15 pavimentos (modelo 4) verificou-se que os momentos solicitantes de segunda ordem apresentados pelo Cype 3D são conservadores e se aproximam satisfatoriamente dos resultados do Mastan2. Entretanto, verificou-se na análise geometricamente não linear com redução do módulo de elasticidade que os deslocamentos obtidos no Cype 3D por meio da utilização do coeficiente multiplicador de deslocamentos apresentaram discrepâncias significativas em comparação aos deslocamentos obtidos no Mastan2. Destaca-se que embora a utilização do coeficiente multiplicador apresente resultados de deslocamentos a princípio contra a segurança na consideração dos estados limites de serviço, a ABNT NBR 8800:2008 permite que seja feita análise elástica linear nessa condição, dessa forma o Cype 3D não apresentaria problemas nesse contexto, todavia salienta-se que esse

assunto requer atenção pois normas estrangeiras podem vir a exigir tratamento diferente nessa questão. Avaliando o desempenho do método quanto a aplicação em edificações de múltiplos pavimentos com geometria e carregamentos regulares percebe-se que o programa fornece resultados satisfatórios e compatíveis com os apresentados pelo Mastan2. Presumia-se que nessa configuração o método apresentasse resultados conservadores visto que a ABNT NBR 6118:2014 recomenda a utilização do coeficiente γ_z para a análise estrutural de edificações de pelo menos 4 pavimentos. Adicionalmente, estudos descritos em Dória (2007) sugerem que o parâmetro γ_z coincide com o valor médio do parâmetro B_2 e pode ser empregado satisfatoriamente para classificação quanto à deslocabilidade em estruturas com geometria e distribuição de carregamentos regulares.

No modelo 5 o método aproximado utilizado pelo programa Cype 3D não conseguiu captar os efeitos de segunda ordem tipo $P - \Delta$ para a estrutura de cobertura inclinada. A análise desse modelo comprovou que o método tem suas limitações e que existem muitos casos e tipologias que o método não abrange. Logo estruturas que possuem geometria e carregamentos irregulares requerem mais atenção quanto a utilização de métodos aproximados para a consideração de efeitos de segunda ordem.

Portanto, o Cype 3D apesar de utilizar um método que é recomendado por uma norma de concreto armado (coeficiente γ_z) na consideração dos efeitos de segunda ordem, apresenta resultados razoáveis no que tange a classificação de deslocabilidade da estrutura e na determinação dos esforços solicitantes em estruturas com geometria e distribuição de carregamentos regulares. No entanto, estruturas com geometria e carregamentos irregulares requerem mais atenção na consideração dos efeitos de segunda ordem, pois o Cype 3D, no que se refere a análise geométrica não linear, não utiliza o processo iterativo $P - \Delta$, mas sim um método simplificado que é baseado no efeito $P - \Delta$, dessa forma, por ser um método aproximado, o coeficiente γ_z tem suas limitações e não abrange todas tipologias e carregamentos possíveis.

Adicionalmente, salienta-se que todas análises feitas nesse trabalho seguiram recomendações da ABNT NBR 8800:2008, porém outras normas podem ter critérios normativos diferentes. Logo é fundamental conhecer quais são as limitações impostas tanto pela norma empregada quanto pelo método de análise utilizado na consideração dos efeitos de segunda ordem, visto que programas comerciais de dimensionamento apresentam muitas simplificações e peculiaridades e simplesmente assentir ao automatismo do software pode induzir a resultados contra a segurança da estrutura.

3 DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS

O dimensionamento dos perfis metálicos tem como premissa comparar os esforços resistentes com os esforços solicitantes e determinar se as condições previstas nos instrumentos normativos são atendidas. A fim de avaliar esses parâmetros, serão seguidas as recomendações da ABNT NBR 8800:2008 para a determinação dos esforços resistentes de tração, de compressão, de flexão e de corte.

3.1 Tração

Segundo Chamberlain (2013), os elementos estruturais sujeitos a solicitações de tração axial ou tração simples são denominados elementos tracionados. Os elementos tracionados são elementos geralmente usados como:

- Tirantes ou pendurais;
- Contraventamentos;
- Tirantes de vigas armadas;
- Barras tracionadas de treliças (banzos, diagonais, montantes);

O dimensionamento será conforme ABNT NBR 8800:2008, na qual prescreve que deve ser atendida a seguinte condição:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ é a força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$ é a força axial de tração resistente de cálculo.

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, a ser usada no dimensionamento, exceto para barras redondas com extremidades rosqueadas e barras ligadas por pinos, é o menor dos valores obtidos, considerando-se os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, de acordo com as expressões indicadas a seguir :

Para escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{Equação 9})$$

Para ruptura da seção líquida:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

- A_g é a área bruta da seção transversal da barra;
- A_e é a área líquida efetiva da seção transversal da barra;
- f_y é a resistência ao escoamento do aço;
- f_u é a resistência à ruptura do aço;
- γ_{a1} e γ_{a2} são coeficientes de ponderação das resistências.

A área líquida efetiva de uma barra, A_e , é dada por:

$$A_e = C_t A_n \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

- A_n é a área líquida da barra;
- C_t é um coeficiente de redução da área líquida.

C_t será classificado de acordo com o item 5.2.5 da ABNT NBR 8800:2008 e a Área líquida determinada de acordo com o item 5.2.4 da mesma norma.

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), o índice de esbeltez é a relação entre o comprimento l entre pontos de apoio lateral e o raio de giração mínimo i_{\min} da seção transversal. Nas peças tracionadas, o índice de esbeltez não deve superar 300.

3.2 Compressão

Os elementos axialmente comprimidos apresentam distribuição constante de tensões quando solicitados. O colapso é caracterizado por instabilidade ou flambagem provocadas pela flexão. Elementos sujeitos à compressão são encontrados em sistemas de treliças, travejamentos e sistemas contraventados de edifícios, de acordo com Chamberlain (2013).

Conforme ABNT NBR 8800:2008, no dimensionamento de barras prismáticas submetidas à força axial de compressão, deve ser atendida a condição:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ é a força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$ é a força axial de compressão resistente de cálculo.

A força axial de compressão resistente de cálculo, $N_{c,Rd}$ de uma barra, associada aos estados-limites últimos de instabilidade por flexão, por torção ou flexo-torção e de flambagem local, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

χ é o fator de redução associado à resistência à compressão;

Q é o fator de redução total associado à flambagem local;

A_g é a área bruta da seção transversal da barra.

O fator de redução associado à resistência à compressão, χ , é dado por:

$$\text{Caso } \lambda_0 \leq 1,5 : \chi = 0,658 \lambda_0^2$$

$$\text{Caso } \lambda_0 > 1,5 : \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

Onde:

O índice de esbeltez reduzido, λ_0 , é dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

N_e é a força axial de flambagem elástica.

Os valores da força axial de flambagem elástica são determinados conforme anexo E da ABNT NBR 8800:2008. Nesse trabalho foram utilizados perfis com dupla simetria, sendo assim N_e é dado por:

a) para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad (\text{Equação 15})$$

b) para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (\text{Equação 16})$$

c) para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z:

$$N_{ez} = \frac{1}{(r_o)^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \quad (\text{Equação 17})$$

$$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2} \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

$K_x L_x$ é o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x;

I_x é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x;

$K_y L_y$ é o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo y;

I_y é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y;

$K_z L_z$ é o comprimento de flambagem por torção;

E é o módulo de elasticidade do aço;

C_w é a constante de empenamento da seção transversal;

G é o módulo de elasticidade transversal do aço;

J é a constante de torção da seção transversal;

r_o é o raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento;

r_x e r_y são os raios de giração em relação aos eixos centrais x e y, respectivamente;

x_o e y_o são as coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos centrais x e y, respectivamente, em relação ao centro geométrico da seção.

Segundo Pfeil e Pfeil (2009) define-se flambagem local a flambagem das placas componentes de um perfil comprimido. De acordo com a ABNT NBR 8800:2008, os elementos que fazem parte das seções transversais usuais, exceto as seções tubulares circulares, para efeito de flambagem local, são classificados em AA (duas bordas longitudinais vinculadas) e AL

(apenas uma borda longitudinal vinculada). Além disso, as barras submetidas à força axial de compressão, nas quais todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (relações b/t) que não superam os valores de $(b/t)_{\text{lim}}$ dados na Tabela F.1 da ABNT NBR 8800:2008, têm o fator de redução total Q igual a 1,00. Caso as barras submetidas à força axial de compressão, nas quais os elementos componentes da seção transversal possuem relações b/t maiores que os valores de $(b/t)_{\text{lim}}$ dados na Tabela F.1 da ABNT NBR 8800:2008 (elementos esbeltos), têm o fator de redução total Q dado por:

$$Q = Q_s Q_a \quad (\text{Equação 19})$$

onde Q_s e Q_a são fatores de redução que levam em conta a flambagem local dos elementos AL e AA, cujos valores devem ser determinados como mostrado em F.2 e F.3 (ABNT NBR 8800:2008), respectivamente. Deve-se ainda considerar que:

a) se a seção possuir apenas elementos AL:

$$Q = Q_s$$

b) se a seção possuir apenas elementos AA:

$$Q = Q_a$$

Segundo a ABNT NBR 8800:2008, os valores teóricos do coeficiente de flambagem por flexão, K_x ou K_y , para seis casos ideais de condições de contorno de elementos isolados nos quais a rotação e a translação das extremidades são totalmente livres ou totalmente impedidas estão destacados na Figura 9. Caso não se possa assegurar a perfeição do engaste, devem ser usados os valores recomendados apresentados.

Figura 23 - Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida, translação livre Rotação e translação livres					

Fonte: (ABNT NBR 8800:2008, p.125)

O coeficiente de flambagem por torção, K_z , deve ser determinado por análise estrutural, ou, simplificada, tomado igual a:

- 1,00, quando ambas as extremidades da barra possuírem rotação em torno do eixo longitudinal impedida e empenamento livre;
- 2,00, quando uma das extremidades da barra possuir rotação em torno do eixo longitudinal e empenamento livres e, a outra extremidade, rotação e empenamento impedidos.

Além disso, a ABNT NBR 8800:2008 determina que, considerando os métodos de análise apresentados na norma referentes a estabilidade e análise estrutural, permite-se, para barras prismáticas, o uso do comprimento de flambagem igual ao comprimento destravado da barra, ou seja, a adoção do coeficiente de flambagem K igual a 1,0 neste comprimento e que o uso de valores de K superiores a 1,0 é substituído por imperfeições geométricas e de material iniciais equivalentes.

O índice de esbeltez das barras comprimidas é tomado como a maior relação entre o produto KL e o raio de giração correspondente r , portanto $\frac{KL}{r}$, onde K é o coeficiente de flambagem e L é o comprimento destravado, e não deve ser superior a 200, conforme a ABNT NBR 8800:2008.

3.3 Flexão

No dimensionamento das barras submetidas a momento fletor, devem ser atendidas as seguintes condições, conforme ABNT NBR 8800:2008:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (\text{Equação 20})$$

Onde:

M_{Sd} é o momento fletor solicitante de cálculo;

M_{Rd} é o momento fletor resistente de cálculo.

Nos anexos G e H da ABNT NBR 8800:2008, estão definidas as instruções para determinação do momento fletor resistente de cálculo, M_{Rd} . Devem ser considerados, conforme o caso, os estados-limites últimos de flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa comprimida (FLM), flambagem local da alma (FLA), flambagem local da aba, flambagem local da parede do tubo e escoamento da mesa tracionada.

Segundo Chamberlain (2013), a resistência das vigas é definida pelo menor dos valores das verificações:

- Flambagem local da alma;
- Flambagem local da mesa;
- Flambagem lateral com torção.

Para a verificação do dimensional de vigas de alma cheia submetidas a esforços de flexão simples, deve-se verificar os parâmetros de esbeltez limites:

- Parâmetro de esbeltez para flambagem lateral com torção;
- Parâmetro de esbeltez correspondente a plastificação;
- Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

As seções de vigas em alma cheia podem ser divididas em três classes definidas pelas instabilidades locais possíveis de iniciarem do elemento em serviço:

- Seção compacta;
- Seção semcompacta;
- Seção esbelta.

A classificação para as classes apresentadas anteriormente e definida pelos parâmetros de esbeltez λ , λ_p e λ_r , com os seguintes critérios:

$$\lambda \leq \lambda_p : \text{seção compacta}$$

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$: seção semicompacta

$\lambda > \lambda_r$: seção esbelta

Conforme a ABNT NBR 8800:2008 o momento fletor resistente de cálculo para o estado-limite FLT é dado por:

$$a) \quad M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p \quad (\text{Equação 21})$$

$$b) \quad M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - \frac{(M_{pl} - M_r)(\lambda - \lambda_p)}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad (\text{Equação 22})$$

$$c) \quad M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda > \lambda_r \quad (\text{Equação 23})$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3M_A + 4M_b + 3M_C} R_m \leq 3,0 \quad (\text{Equação 24})$$

De acordo com a ABNT NBR 8800:2008, o momento fletor resistente de cálculo para estados-limites FLM e FLA é dado por:

$$a) \quad M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p \quad (\text{Equação 25})$$

$$b) \quad M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - \frac{(M_{pl} - M_r)(\lambda - \lambda_p)}{\lambda_r - \lambda_p} \right], \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad (\text{Equação 26})$$

$$c) \quad M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda > \lambda_r \quad (\text{Equação 27})$$

Onde:

M_{pl} é o momento fletor de plastificação;

γ_{a1} coeficiente de ponderação relacionado a escoamento;

C_b fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme,

M_r momento fletor correspondente ao início do escoamento, incluindo a influência das tensões residuais (exceto para flambagem local da mesa);

λ parâmetro de esbeltez da seção transversal;

λ_p parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação;

λ_r parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento;

M_{max} é o valor do momento fletor máximo solicitante de cálculo, em módulo, no comprimento destravado;

M_A é o valor do momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a um quarto do comprimento destravado, medido a partir da extremidade da esquerda;

M_b é o valor do momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção central do comprimento destravado;

M_C é o valor do momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a três quartos do comprimento destravado, medido a partir da extremidade da esquerda;

R_m é um parâmetro de monossimetria da seção transversal, igual a $0,5 + 2 \left(\frac{I_{yc}}{I_y} \right)^2$ para seções com um eixo de simetria, fletidas em relação ao eixo que não é de simetria, sujeitas à curvatura reversa, e igual a 1,00 em todos os demais casos;

I_{yc} é o momento de inércia da mesa comprimida em relação ao eixo de simetria (como a curvatura é reversa, esse momento de inércia refere-se à mesa de menor momento de inércia);

I_y é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo de simetria;

3.4 Cisalhamento

Segundo NBR 8800:2008, no dimensionamento das barras submetidas a força cortante, devem ser atendidas as seguintes condições:

$$V_{sd} \leq V_{Rd} \quad (\text{Equação 28})$$

Onde:

V_{sd} é a força cortante solicitante de cálculo;

V_{Rd} é a força cortante resistente de cálculo.

De acordo com a ABNT NBR 8800:2008, as seções I, H e U fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular à alma (eixo de maior momento inércia), a força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é dada por:

$$\text{a) } V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p \quad (\text{Equação 29})$$

$$\text{b) } V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad (\text{Equação 30})$$

$$\text{c) } V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda > \lambda_r \quad (\text{Equação 31})$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad (\text{Equação 32})$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \quad (\text{Equação 33})$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \quad (\text{Equação 34})$$

$k_v = 5,0$ para almas sem enrijecedores transversais, para $\frac{a}{h} > 3$ ou para $\frac{a}{h} > \left[\frac{260}{\left(\frac{h}{t_w}\right)} \right]^2$;

$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$, para todos os outros casos.

Onde:

V_{pl} é a força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento;

a é a distância entre as linhas de centro de dois enrijecedores transversais adjacentes;

h é a altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas nos perfis soldados e igual a esse valor menos os dois raios de concordância entre mesa e alma nos perfis laminados;

t_w é a espessura da alma.

A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada por:

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y \quad (\text{Equação 35})$$

Nessa equação, A_w é a área efetiva de cisalhamento, que deve ser tomada igual a:

$$A_w = d t_w \quad (\text{Equação 36})$$

Onde:

d é a altura total da seção transversal;

t_w é a espessura da alma.

3.5 Esforços Combinados

“A resistência de cálculo de elementos submetidos a esforços combinados de flexão, compressão e tração em normas de dimensionamento é definida pelas chamadas curvas de interação. Estas levam em consideração todos os estados-limites últimos que possivelmente os elementos possam vir a sofrer com a combinação de esforços solicitantes” (Chamberlain, 2013, p.77).

Conforme a ABNT NBR 8800:2008, para a atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores, é estabelecida a limitação fornecida pelas seguintes expressões de interação:

a) para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{Equação 37})$$

b) para $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{Equação 38})$$

Onde:

N_{Sd} é a força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

N_{Rd} é a força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

$M_{x,Sd}$ e $M_{y,Sd}$ são os momentos fletores solicitantes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal;

$M_{x,Rd}$ e $M_{y,Rd}$ são os momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal.

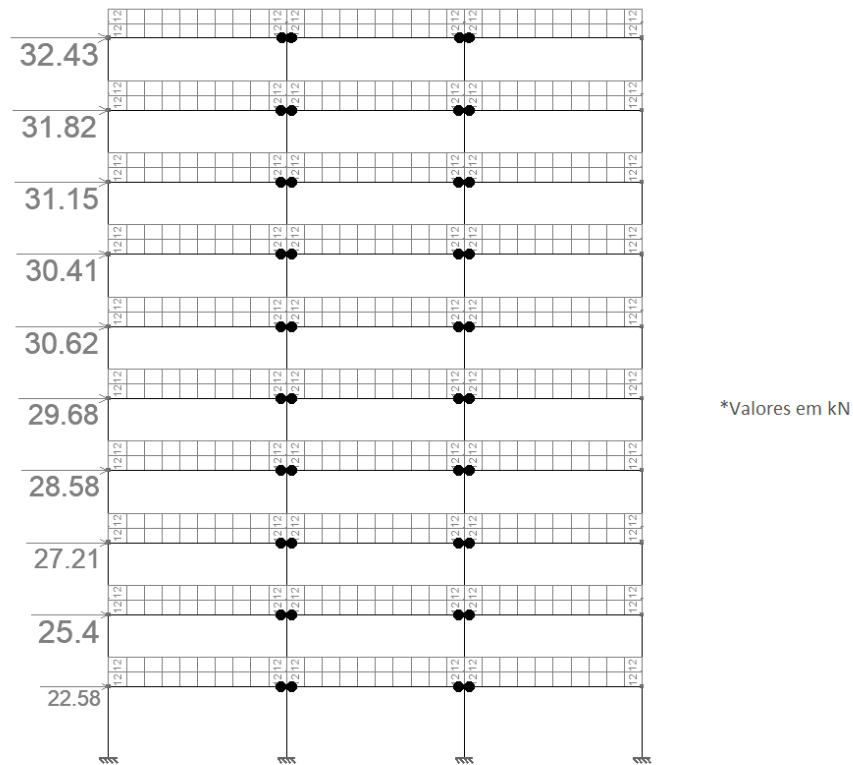
4 EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO DE PERFIS

Nessa seção realiza-se um comparativo entre o dimensionamento do Mastan2 e do Cype 3D considerando a influência dos efeitos de segunda ordem e o impacto desses efeitos no dimensionamento da estrutura. Avalia-se nessas análises os deslocamentos e os momentos solicitantes, a classificação de deslocabilidade da estrutura e se houve mudança significativas dos perfis e dessa forma no peso total da estrutura. Propõe-se nos seguintes exemplos avaliar um edifício de múltiplos pavimentos e em seguida um pórtico de vigas inclinadas. No Cype 3D os pórticos são dimensionados utilizando o automatismo do programa e no Mastan2 utiliza-se uma planilha eletrônica que atende as predisposições da ABNT NBR 8800:2008.

4.1 Exemplo 1

Neste exemplo admite-se um pórtico de 10 pavimentos. O aço utilizado é o ASTM A 572 Grau 50 com módulo de elasticidade de 200 GPa. Os perfis utilizados são da série W da Gerdau. Nesse exemplo, empregaram-se coeficientes de ponderação das ações extraídos da ABNT NBR 8800:2008. Os métodos estudados nesse exemplo serão avaliados para a combinação de ações $1,4G + 1,4V + 0,75Q$. A simbologia utilizada nas combinações é definida por cargas permanentes (G), cargas variáveis de sobrecarga (Q) e de vento (V). A distância entre os pilares interno e externos é de 6 metros. Admite-se altura entre pavimentos de 3 metros e as ações características no pavimento tanto de peso próprio quanto de sobrecarga são de 12 kN/m . Considerou-se uma área de influência entre os pórticos de 6 metros e uma carga distribuída vertical de projeto de $25,8 \text{ kN/m}$ para cada pavimento. Na Figura 24 são apresentados os valores característicos do peso próprio, da sobrecarga e das forças de vento no plano do pórtico como também as vinculações dos elementos empregados na análise. Os carregamentos de vento foram obtidos de acordo com a ABNT NBR 6123:1988 para uma edificação de 18 metros de largura e de 36 metros de comprimento.

Figura 24 – Carregamentos de peso próprio, sobrecarga e vento característicos no pórtico



Fonte: elaborado pelo autor

4.1.1 Análise linear elástica considerando todos os perfis W 310 x 44,5

Os métodos estudados nesse exemplo serão avaliados inicialmente estabelecendo-se os mesmos perfis e condições de travamentos tanto no Cype3D quanto no Mastan2 a fim de validar os resultados de dimensionamento da planilha eletrônica. Sendo assim, emprega-se o perfil W 310 x 44,5 para todos os elementos, admite-se uma contenção adequada para o eixo de menor inércia que restringe a análise para o eixo de maior inércia em todos os perfis, além disso os pilares não possuem travamento lateral e as vigas estão completamente travadas, pois considera-se que as lajes operam como diafragmas rígidos.

Na Tabela 17 são apresentados os deslocamentos da análise linear elástica (u_1) e os momentos solicitantes (M_1) do Cype 3D e do Mastan2. Adicionalmente foram incluídas comparações de deslocamentos e momentos solicitantes entre os programas nas diferentes análises.

Tabela 17 - Comparativo entre deslocamentos e momentos solicitantes

	Cype 3D	Mastan2	u ₁ Cype 3D/ u ₁ Mastan	Cype 3D	Mastan2	M ₁ Cype 3D / M ₁ Mastan
	u ₁ (cm)	u ₁ (cm)		M ₁ (kN.m)	M ₁ (kN.m)	
P10	101,0	101,0	1,00	173,0	173,0	1,00
P9	96,8	96,8	1,00	152,0	152,0	1,00
P8	91,0	91,0	1,00	194,2	194,2	1,00
P7	83,4	83,4	1,00	223,9	223,9	1,00
P6	73,7	73,7	1,00	251,6	251,6	1,00
P5	62,1	62,1	1,00	273,0	273,0	1,00
P4	48,8	48,8	1,00	284,0	284,0	1,00
P3	34,2	34,2	1,00	295,2	295,2	1,00
P2	19,3	19,3	1,00	363,3	363,30	1,00
P1	6,4	6,4	1,00	417,7	417,70	1,00

Os deslocamentos e momentos são referentes aos pilares externos que não estão sujeitos a aplicação da carga pontual de vento

Fonte: elaborado pelo autor

No Apêndice A está ilustrada a nomenclatura utilizada para cada elemento avaliado. No Apêndice B estão apresentadas as planilhas de dimensionamento da análise do Mastan2. No Apêndice C é apresentada a planilha resumo de dimensionamento obtida no memorial de cálculo do programa Cype 3D. A Tabela 18 destaca os coeficientes de aproveitamento (η), ou seja, a máxima relação entre os esforços solicitantes e resistentes avaliados para todas as condições previstas pelas ABNT NBR 8800:2008 como tração, compressão, cisalhamento, flexão e flexo-compressão.

Tabela 18 – Comparativo entre coeficientes de aproveitamento

Barra	Mastan2	Cype 3D	Diferença	Barra	Mastan2	Cype 3D	Diferença	Barra	Mastan2	Cype 3D	Diferença
	η (%)	η (%)			η (%)	η (%)			η (%)	η (%)	
P 1.1	223,6	224,1	0,5%	P 4.4	217,4	218,3	0,9%	V 7.3	153,1	153,1	0,0%
P 1.2	326,2	328,0	1,8%	V 4.1	136,6	136,6	0,0%	P 8.1	55,3	55,4	0,1%
P 1.3	244,9	245,8	0,9%	V 4.2	52,5	52,5	0,0%	P 8.2	63,4	63,8	0,5%
P 1.4	322,2	323,6	1,4%	V 4.3	223,0	223,0	0,0%	P 8.3	52,1	52,5	0,3%
V 1.1	107,5	107,4	0,1%	P 5.1	111,1	111,4	0,4%	P 8.4	122,7	123,1	0,3%
V 1.2	51,9	51,9	0,0%	P 5.2	109,8	110,8	1,0%	V 8.1	68,9	68,9	0,0%
V 1.3	178,7	178,7	0,0%	P 5.3	72,9	73,5	0,6%	V 8.2	52,6	52,6	0,0%
P 2.1	158,1	158,5	0,4%	P 5.4	198,2	199,0	0,8%	V 8.3	127,6	127,6	0,0%
P 2.2	206,4	208,0	1,6%	V 5.1	120,1	120,1	0,0%	P 9.1	34,7	34,8	0,1%
P 2.3	133,6	134,4	0,8%	V 5.2	52,5	52,5	0,0%	P 9.2	47,7	48,0	0,3%
P 2.4	283,8	285,0	1,2%	V 5.3	202,9	202,9	0,0%	P 9.3	41,2	41,5	0,2%
V 2.1	142,1	142,1	0,0%	P 6.1	97,1	97,4	0,3%	P 9.4	90,9	91,0	0,1%
V 2.2	52,5	52,5	0,0%	P 6.2	94,8	95,6	0,8%	V 9.1	56,0	55,9	0,0%
V 2.3	226,9	227,0	0,0%	P 6.3	68,0	68,5	0,5%	V 9.2	52,1	52,1	0,0%
P 3.1	128,0	128,4	0,4%	P 6.4	174,5	175,1	0,6%	V 9.3	106,4	106,4	0,0%
P 3.2	143,6	145,0	1,4%	V 6.1	101,9	101,9	0,0%	P 10.1	23,1	23,2	0,0%
P 3.3	83,1	83,8	0,7%	V 6.2	52,5	52,6	0,0%	P 10.2	27,3	27,4	0,1%

P 3.4	237,2	238,3	1,1%	V 6.3	178,7	178,7	0,0%	P 10.3	26,9	27,0	0,1%
V 3.1	146,9	146,8	0,1%	P 7.1	79,5	79,8	0,3%	P 10.4	96,9	97,0	0,1%
V 3.2	52,5	52,5	0,0%	P 7.2	78,8	79,5	0,6%	V 10.1	52,1	52,1	0,0%
V 3.3	234,2	234,2	0,0%	P 7.3	60,8	61,2	0,4%	V 10.2	54,0	54,1	0,0%
P 4.1	119,2	119,6	0,4%	P 7.4	148,6	149,1	0,5%	V 10.3	79,9	79,9	0,0%
P 4.2	123,0	124,2	1,2%	V 7.1	84,4	84,4	0,0%				
P 4.3	74,6	75,2	0,7%	V 7.2	52,5	52,6	0,0%				

Maior diferença do coeficiente de aproveitamento é de 1,8 %

O valor médio da diferença do coeficiente de aproveitamento é de 0,4 %

η : Coeficiente de aproveitamento

Fonte: elaborado pelo autor

Conforme a Tabela 17, ambos programas empregaram em suas análises o mesmo tipo de perfil, carregamentos e condições de vinculação, pois os deslocamentos e momentos solicitantes obtidos nas duas análises são idênticos. Na Tabela 18 observa-se que tanto o Mastan2 quanto o Cype 3D apresentaram coeficientes de aproveitamento muito similares e com diferenças percentuais poucos significativas, a maior diferença dos coeficientes de aproveitamento entre todos os elementos avaliados é de 1,8% e o valor médio é de 0,4%, dessa forma como a diferença entre as duas análises não é significativa, valida-se o dimensionamento feito por meio da planilha eletrônica e confirma-se que o Cype 3D não apresenta erros significativos de dimensionamento considerando as condições avaliadas.

4.1.2 Análise linear elástica considerando perfis otimizados

Nessa análise os perfis foram otimizados para se obter o melhor aproveitamento de cada elemento. Essa etapa requer que sejam feitos vários processos iterativos que exigem a modificação de perfis e, por conseguinte, dos esforços solicitantes em cada análise. No dimensionamento executado por planilha eletrônica em combinação com o Mastan2 foram necessários sete processos iterativos para se obter os resultados finais de dimensionamento. Além disso, o programa Octave (2020) foi utilizado para importar as propriedades dos perfis, pois o Mastan2 disponibiliza poucos recursos esse procedimento.

No Apêndice D estão apresentadas as planilhas de dimensionamento referentes a análise linear elástica no Mastan2. No Apêndice E é apresentada a planilha resumo de dimensionamento obtida no memorial de cálculo do programa Cype 3D. No Apêndice F é destacado um comparativo entre a análise linear elástica do Mastan2 e do Cype 3D avaliando para cada elemento seu respectivo perfil, coeficiente de aproveitamento e peso total. Na Tabela 19 são apresentados os deslocamentos da análise linear elástica (u_1) e os momentos solicitantes

(M_1) do Cype 3D e do Mastan2. Adicionalmente foram incluídas comparações de deslocamentos e momentos solicitantes entre os programas nas diferentes análises.

Tabela 19 - Comparativo entre deslocamentos e momentos solicitantes

	Cype 3D	Mastan2	u_1 Cype 3D/ u_1 Mastan	Cype 3D	Mastan2	M_1 Cype 3D / M_1 Mastan
	u_1 (cm)	u_1 (cm)		M_1 (kN.m)	M_1 (kN.m)	
P10	38,45	35,6	1,08	157,9	157,1	1,00
P9	35,01	32,4	1,08	158,5	174,4	0,91
P8	30,30	28,1	1,08	233,5	237,2	0,98
P7	25,42	23,6	1,08	285,4	290,1	0,98
P6	20,52	19,2	1,07	357,6	385,2	0,93
P5	16,12	15,3	1,05	472,4	451,5	1,05
P4	12,06	11,7	1,03	477,9	531,2	0,90
P3	8,37	8,3	1,01	573,4	632,1	0,91
P2	4,68	4,7	1,00	598,4	620,00	0,97
P1	1,43	1,4	0,99	947,8	949,10	1,00
			1,05*			0,96*

* Média entre todos os pavimentos

Deslocamentos e momentos são referentes aos pilares externos que não estão sujeitos a aplicação da carga pontual de vento

Fonte: elaborado pelo autor

Conforme o Apêndice F, os perfis definidos para o pórtico dimensionado a partir da análise linear elástica no Mastan2 e no Cype 3D diferiram em determinados elementos, entretanto comparando o peso total do pórtico se percebe diferença percentual pouco significativa. O Mastan2 apresentou peso total de 15858,1 kg e o Cype 3D 15810,1 kg representando dessa forma uma diferença 0,3% no peso total.

De acordo com a Tabela 19, o Cype 3D apresentou deslocamentos maiores e momentos solicitantes menores comparados ao Mastan2, todavia esses resultados obtidos na análise linear elástica apresentam diferenças percentuais pouco relevantes que não foram suficientes para produzir mudanças significativas no dimensionamento e conseqüentemente no peso total dos pórticos. Dessa forma, a partir dos resultados analisados percebe-se que tanto o Cype 3D quanto o Mastan2, apesar de apresentarem pórticos com perfis diferentes devido ao número de processos iterativos executados em cada análise, ambos programas apresentam pórticos com peso total muito semelhante.

4.1.3 Análise não linear elástica considerando perfis otimizados

Nessa análise os perfis foram otimizados seguindo o mesmo procedimento do item anterior, mas agora considerando análise não linear elástica. Na Tabela 20 são apresentados os deslocamentos da análise linear elástica (u_1) e da análise não linear elástica (u_2) e as relações

u_2/u_1 do Cype 3d e do Mastan2. Adicionalmente nas últimas colunas foram incluídas comparações de deslocamentos entre os programas nas diferentes análises. Tanto o Cype 3D quanto o Mastan2 apresentam relação u_2/u_1 igual a 1,16, logo classificação da estrutura como de média deslocabilidade.

Tabela 20 – Comparativo entre deslocamentos a partir da análise não linear elástica

	Mastan2			Cype 3D ^(a)			u_1 Cype 3D/ u_1 Mastan2	u_2 Cype 3D / u_2 Mastan2
	u_1 (cm)	u_2 (cm)	u_2/u_1	u_1 (cm)	u_2 (cm)	u_2/u_1		
P10	30,36	35,20	1,16	32,64	37,79	1,16	1,08	1,07
P9	27,52	31,82	1,16	29,63	34,24	1,16	1,08	1,08
P8	23,89	27,53	1,15	25,66	29,62	1,15	1,07	1,08
P7	20,05	23,00	1,15	21,49	24,77	1,15	1,07	1,08
P6	16,60	18,94	1,14	17,80	20,49	1,15	1,07	1,08
P5	13,45	15,28	1,14	14,28	16,41	1,15	1,06	1,07
P4	10,47	11,84	1,13	10,96	12,56	1,15	1,05	1,06
P3	7,54	8,49	1,13	7,76	8,87	1,14	1,03	1,05
P2	4,32	4,83	1,12	4,35	4,97	1,14	1,01	1,03
P1	1,36	1,50	1,10	1,34	1,53	1,14	0,98	1,02
	Maior Valor		1,16	Maior Valor		1,16	1,05*	1,06*

(a) Coeficiente γ_z igual a 1,14

* Média entre todos os pavimentos

Deslocamentos e momentos são referentes aos pilares externos que não estão sujeitos a aplicação da carga pontual de vento

Fonte: elaborado pelo autor

Na Tabela 21 são apresentados os momentos solicitantes da análise linear elástica (M_1) e da análise não linear elástica (M_2) e as relações M_2/M_1 . Nas últimas colunas foram incluídas comparações entre momentos solicitantes nas diferentes análises.

Tabela 21 – Comparativo entre momentos solicitantes a partir da análise não linear elástica

	Mastan2			Cype 3D ^(a)			M_1 Cype / M_1 Mastan	M_2 Cype / M_2 Mastan
	M_1 (kN.m)	M_2 (kN.m)	M_2/M_1	M_1 (kN.m)	M_2 (kN.m)	M_2/M_1		
P10	155,5	163,2	1,05	151,7	159,8	1,05	0,98	0,98
P9	180,8	200,5	1,11	167,5	184,8	1,10	0,93	0,92
P8	240,3	271,0	1,13	234,4	260,2	1,11	0,98	0,96
P7	307,9	347,6	1,13	314,4	351,8	1,12	1,02	1,01
P6	387,9	435,2	1,12	363,8	404,4	1,11	0,94	0,93
P5	436,1	486,9	1,12	446,4	503,3	1,13	1,02	1,03
P4	537,0	591,1	1,10	492,1	548,4	1,11	0,92	0,93
P3	656,7	726,8	1,11	587,2	656,6	1,12	0,89	0,90
P2	617,2	697,0	1,13	617,4	698,0	1,13	1,00	1,00
P1	1026,0	1122,0	1,09	1011,1	1149,9	1,14	0,99	1,02
	Maior Valor		1,13	Maior Valor		1,14	0,97*	0,97*

(a) Coeficiente γ_z igual a 1,14

* Média entre todos os pavimentos

Deslocamentos e momentos são referentes aos pilares externos que não estão sujeitos a aplicação da carga pontual de vento

Fonte: elaborado pelo autor

De acordo com a Tabela 20, Cype 3D apresentou na maioria dos pavimentos deslocamentos maiores que o Mastan2 com uma média entre todos os pavimentos 5 % maior na análise linear elástica e 6 % maior na análise não linear elástica. Adicionalmente, conforme a Tabela 21, os momentos solicitantes entre ambos programas não possuem diferenças percentuais significativa. O Cype 3D apresenta diferença média entre momentos solicitantes apenas 3% menor que o Mastan2 tanto na análise linear elástica quanto na análise não linear elástica.

Como nas análises de ambos programas, o pórtico apresentou relação u_2/u_1 maior que 1,1, classifica-se a estrutura da como de média deslocabilidade sendo necessário que se reduza o módulo de elasticidade do material para 80% do valor original. Na Tabela 22 são apresentados os deslocamentos da análise linear elástica (u_1) e da análise não linear elástica com redução do módulo de elasticidade ($u_2 red$).

Tabela 22 – Comparativo entre deslocamentos a partir da análise não linear elástica com redução do módulo de elasticidade do material

	Mastan 2			Cype 3D			u_1 Cype / u_1 Mastan	$u_2 red$ Cype / $u_2 red$ Mastan
	u_1 (cm)	$u_2 red$ (cm)	$u_2 red/u_1$	u_1 (cm)	$u_2 red$ (cm)	$u_2 red/u_1$		
P10	30,36	45,83	1,51	32,64	39,31	1,20	1,08	0,86
P9	27,52	41,4	1,50	29,63	35,60	1,20	1,08	0,86
P8	23,89	35,79	1,50	25,66	30,78	1,20	1,07	0,86
P7	20,05	29,85	1,49	21,49	25,74	1,20	1,07	0,86
P6	16,60	24,55	1,48	17,80	21,28	1,20	1,07	0,87
P5	13,45	19,77	1,47	14,28	17,03	1,19	1,06	0,86
P4	10,47	15,31	1,46	10,96	13,04	1,19	1,05	0,85
P3	7,54	10,95	1,45	7,76	9,20	1,19	1,03	0,84
P2	4,32	6,215	1,44	4,35	5,15	1,18	1,01	0,83
P1	1,36	1,928	1,41	1,34	1,58	1,18	0,98	0,82
	Maior Valor		1,51	Maior Valor		1,20	1,05	0,85

(a) Coeficiente γ_z igual a 1,18

* Média entre todos os pavimentos

Deslocamentos e momentos são referentes aos pilares externos que não estão sujeitos a aplicação da carga pontual de vento

Fonte: elaborado pelo autor

Na Tabela 23 são apresentados os momentos solicitantes da análise linear elástica (M_1) e da análise não linear elástica com redução do módulo de elasticidade ($M_2 red$). Nas últimas colunas foram incluídas comparações entre momentos solicitantes nas diferentes análises.

Tabela 23 - Comparativo entre momentos solicitantes a partir da análise não linear elástica com redução do módulo de elasticidade do material

	Mastan2			Cype 3D			M ₁ Cype / M ₁ Mastan	M ₂ red Cype / M ₂ red Mastan
	M ₁	M ₂ red	M ₂ red/M ₁	M ₁	M ₂ red	M ₂ red/M ₁		
P10	155,5	165,6	1,06	151,7	162,2	1,07	0,98	0,98
P9	180,8	206,6	1,14	167,5	189,9	1,13	0,93	0,92
P8	240,3	280,6	1,17	234,4	267,8	1,14	0,98	0,95
P7	307,9	359,9	1,17	314,4	362,8	1,15	1,02	1,01
P6	387,9	449,6	1,16	363,8	416,4	1,14	0,94	0,93
P5	436,1	502,3	1,15	446,4	520,0	1,16	1,02	1,04
P4	537,0	606,9	1,13	492,1	565,0	1,15	0,92	0,93
P3	656,7	747,2	1,14	587,2	677,1	1,15	0,89	0,91
P2	617,2	720,4	1,17	617,4	721,7	1,17	1,00	1,00
P1	1026,0	1149,0	1,12	1011,1	1190,8	1,18	0,99	1,04
		Maior Valor	1,17		Maior Valor	1,18	0,97*	0,97*

(a) Coeficiente γ_z igual a 1,18

* Média entre todos os pavimentos

Valores dos momentos solicitantes em kN.m

Deslocamentos e momentos são referentes aos pilares externos que não estão sujeitos a aplicação da carga pontual de vento

Fonte: elaborado pelo autor

De acordo com a Tabela 22, o Cype 3D apresenta na maioria dos pavimentos deslocamentos menores que os obtidos no Mastan2 considerando uma média entre todos os pavimentos 15 % menor na análise não linear elástica com redução do módulo de elasticidade. Adicionalmente, conforme a Tabela 23, os momentos solicitantes entre ambos programas não possuem diferenças percentuais significativa. O Cype 3D apresenta diferença média entre momentos solicitantes apenas 3% menor que o Mastan2 na análise não linear elástica com redução do módulo de elasticidade.

No Apêndice G estão apresentadas as planilhas de dimensionamento referentes a análise não linear elástica no Mastan2. No Apêndice H é apresentada a planilha resumo de dimensionamento obtida no memorial de cálculo do programa Cype 3D. No Apêndice I é destacado um comparativo entre a análise não linear elástica do Mastan2 e do Cype 3D avaliando para cada elemento seu respectivo perfil, coeficiente de aproveitamento e peso total.

Conforme o Apêndice I, os perfis definidos para o pórtico dimensionado a partir da análise linear elástica com redução do módulo de elasticidade no Mastan2 e no Cype 3D diferiram em determinados elementos, todavia comparando o peso total dos pórticos se percebe diferença percentual pouco significativa. O Mastan2 apresentou peso total de 16515,6 kg e o Cype 3D 16378,34 kg representando dessa forma uma diferença 0,8 % no peso total. Por último

executou-se o dimensionamento no Mastan2 calculando o fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme (C_b) em relação aos pilares. O Cype 3D não possui processo automatizado com essa finalidade, dessa forma por padrão o programa define como 1 o valor do C_b , sendo esse valor bastante conservador. Após processos iterativos de dimensionamento no Mastan2 obteve-se peso total do pórtico de 16264,8 kg que representa diferença percentual de 1,5 % em relação ao dimensionado sem a otimização do C_b , dessa forma não houve impacto significativo desse parâmetro no dimensionamento e conseqüentemente no peso total da estrutura.

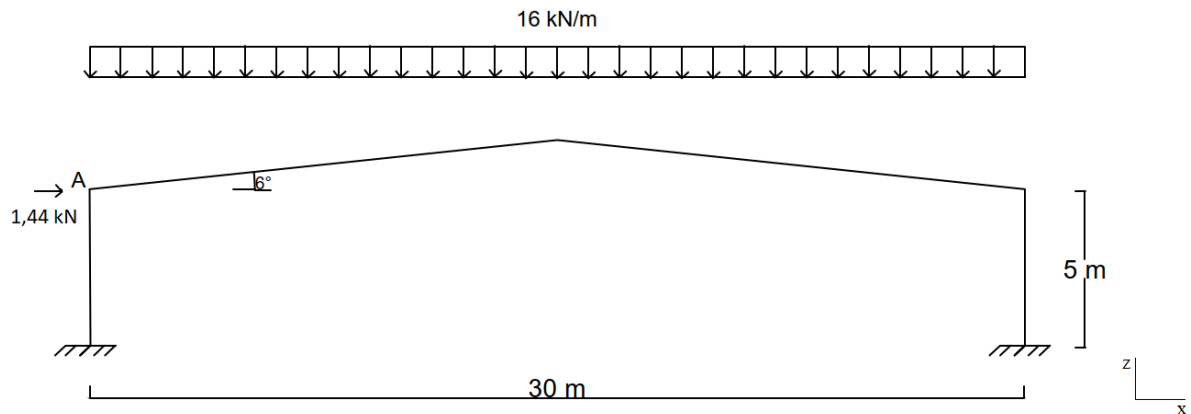
Os resultados obtidos na análise elástica não linear desenvolvida nesse exemplo reiteram as conclusões já estabelecidas no modelo 4 desse trabalho. No qual o Cype 3D, quanto as análises dos momentos solicitantes, apresenta resultados sem discrepâncias significativas em relação aos valores obtidos no Mastan2. Ademais o fato dos pórticos obtidos no dimensionamento de ambos programas apresentarem diferença percentual do peso total pouco relevante entre os pórticos reafirma o bom desempenho do método aproximado de amplificação dos esforços baseado no coeficiente γ_z em pórticos com geometria e distribuição de carregamentos regulares.

4.2 Exemplo 2

Neste exemplo admite-se um pórtico com características similares ao apresentado no modelo 5 descrito neste trabalho. Entretanto algumas modificações foram consideradas a partir desse modelo. Devido ao método utilizado para contabilizar os efeitos de 2º ordem disponibilizado pelo programa Cype 3D (método do coeficiente γ_z) requerer a aplicação de uma força horizontal, admite-se a inclusão de uma FHF (Força horizontal fictícia) que corresponde a 0,3% da força axial (ξP), neste caso 1,44 kN. Ademais o módulo de elasticidade foi modificado para 200 GPa para atender os predispostos da ABNT NBR 8800:2008.

A Figura 25 ilustra o pórtico de vigas inclinadas e os carregamentos verticais e horizontais. Os perfis utilizados são da série W da Gerdau e aço utilizado é ASTM A 572 grau 50. Admite-se uma contenção adequada para o eixo de menor inércia que restringe a análise para o eixo de maior inércia em todos os perfis e os pilares e as vigas possuem travamentos na mesa superior e inferior com comprimentos destravados respectivamente de 2,5 metros e de 3 metros.

Figura 25 - Pórtico com cobertura inclinada



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 20 – Momentos solicitantes e deslocamentos do pórtico de cobertura inclinada

		Msd (kN.m)	M_2/M_1	u (cm)	u_2/u_1
Cype 3D	1 ° ordem	-911,7		-1,42	
	2 ° ordem	-911,7	1,000	-1,42	1,00
Mastan2	1 ° ordem	-911,7		-1,42	
	2 ° ordem	-934,9	1,025	-1,39	0,98

Fonte: elaborado pelo autor

Na tabela 20 são apresentados os momentos solicitantes e deslocamentos da análise de 1° e de 2° ordem do nó A obtidos no programa Cype 3D e Mastan2. Na tabela 21 é destacado um comparativo entre a análise não linear elástica avaliando para cada elemento seu respectivo perfil, coeficiente de aproveitamento e peso total.

Tabela 21 – Comparativo entre coeficientes de aproveitamento considerando a análise não linear elástica

Barra	Perfil	Mastan2		Cype 3D		
		η (%)	Peso (Kg)	Perfil	η (%)	Peso (Kg)
P 1.1	W 610 x 113	97,6	570,3	W 610 x 113	95,3	570,3
P 1.2	W 610 x 113	97,7	570,3	W 610 x 113	95,5	570,3
V 1.1	W 610 x 125	93,0	1885,2	W 610 x 125	90,9	1885,2
V 1.2	W 610 x 125	93,2	1885,2	W 610 x 125	91,1	1885,2
		Peso total	4911,0	Peso total	4911,0	

Fonte: elaborado pelo autor

No Apêndice J estão apresentadas as planilhas de dimensionamento referentes a análise linear elástica e não linear elástica no Mastan2 e no Apêndice E as planilhas de dimensionamento obtidas no programa Cype 3D.

Conforme a Tabela 20, os deslocamentos e momentos solicitantes apresentados pelo Cype 3D não sofrem influência dos efeitos de 2° ordem. A força horizontal fictícia definida nesse exemplo não é suficiente para proporcionar um momento de tombamento elevado e dessa forma impactar os resultados da análise não linear elástica. Avaliando os resultados obtidos no

Mastan2 percebe-se também a pouca influência dos efeitos de 2º ordem no pórtico de cobertura inclinada. O momento solicitante da análise não linear elástica apresenta aumento de apenas 2,5% em relação ao da análise linear elástica. Adicionalmente a contabilização dos efeitos de 2º ordem não foi suficiente para provocar mudanças nas bitolas dos perfis, pois os coeficientes de aproveitamento obtidos no Mastan2 e no Cype 3D apresentam diferença percentual pouco significativa entre as análises de 1º e de 2º ordem.

De acordo com Silvestre e Camotim (2006), estruturas de cobertura inclinada que possuem carregamentos elevados de sobrepressão podem apresentar problemas na consideração dos efeitos de segunda ordem para métodos de análise aproximados. Essa constatação destaca-se no modelo 5 descrito nesse trabalho, no qual os momentos solicitantes, conforme a Tabela 16, apresentam diferença de 38% entre as análises linear elástica e não linear elástica e dessa forma evidenciam a relevância da consideração dos efeitos de segunda ordem no pórtico de cobertura inclinada. Entretanto, o modelo analisado pelos autores citados dispõe de perfis menos robustos que os apresentados nesse exemplo e que não atendem ao dimensionado de normas de estruturas de aço, ou seja, esses perfis compõem um pórtico irreal.

Portanto a partir dos resultados das análises desse exemplo constata-se que pórticos de vigas inclinadas que são dimensionados de acordo com normas de estruturas de aço, nesse caso a ABNT NBR 8800:2008, e que mesmo sujeitos a carregamentos elevados de sobrepressão pode não sofrer influência significativa dos efeitos de segunda ordem tipo $P - \Delta$.

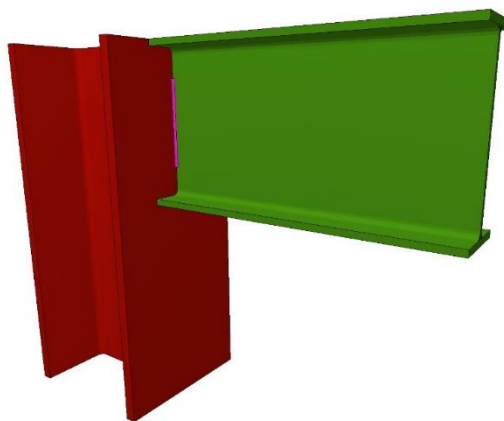
5 EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES

Nessa seção avalia-se o dimensionamento de ligações no Cype 3D. Para tal utiliza-se planilhas eletrônicas desenvolvidas seguindo o roteiro de cálculo proposto em Fakury et al. (2015) as quais atendem as recomendações da ABNT NBR 8800:2008 quanto ao dimensionamento de ligações. Os resultados obtidos nessas planilhas servem de base para o processo comparativo de dimensionamento com o Cype 3D. Dentre os itens avaliados nesse processo estão o atendimento as recomendações da norma brasileira, a verificação de possíveis erros no dimensionamento e a otimização da ligação.

O Cype 3D disponibiliza diferentes tipologias de ligações entre viga e pilar, dentre essas constam as ligações flexíveis soldadas ou parafusadas, as quais são ilustradas respectivamente nas Figuras 26 e 27. Adicionalmente são disponibilizadas ligações rígidas soldadas ou parafusadas as quais são ilustradas respectivamente nas Figuras 28 e 29. Destaca-se que as ligações flexíveis e rígidas soldadas disponibilizadas pelo programa, ilustradas respectivamente nas Figuras 26 e 28 representam ligações frágeis e que não são recomendadas em trabalhos publicados por Fakury et al. (2015) e Queiroz e Vilela (2012), dessa forma somente as ligações flexíveis e rígidas parafusadas são o objeto desse trabalho.

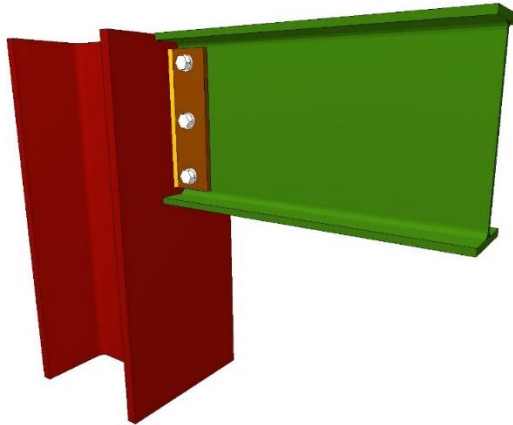
Nessa seção propõem-se o desenvolvimento de 2 exemplos de ligações viga-coluna. No primeiro exemplo avalia-se a ligação flexível parafusada e no segundo a ligação rígida parafusada, conforme modelos exibidos nas Figuras 27 e 29.

Figura 26 – Ligação flexível soldada



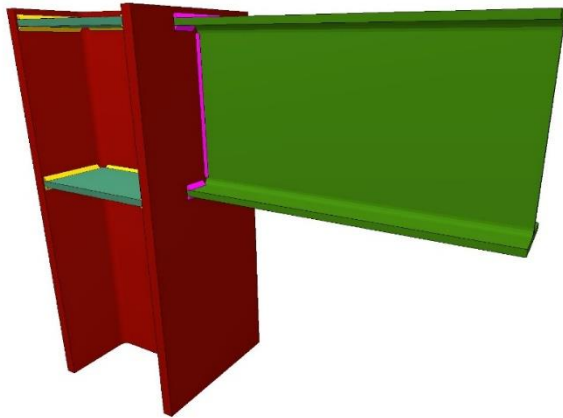
Fonte: Cype 3D 2019

Figura 27 - Ligação flexível parafusada



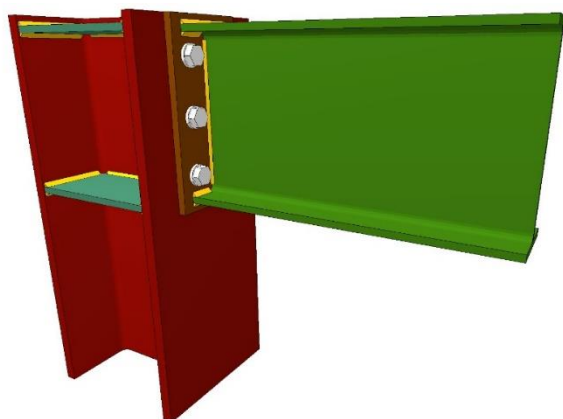
Fonte: Cype 3D 2019

Figura 28 - Ligação rígida soldada



Fonte: Cype 3D 2019

Figura 29 - Ligação rígida parafusada

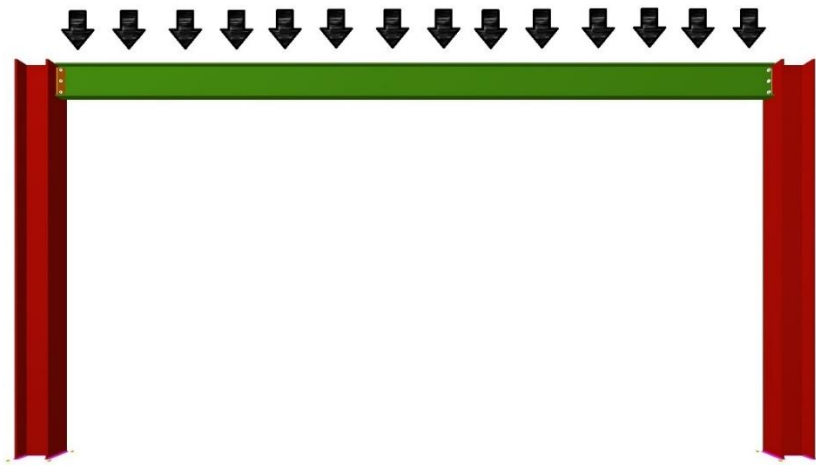


Fonte: Cype 3D 2019

5.1 Exemplo 1 - Ligação flexível

Nesse caso admite-se o pórtico ilustrado na Figura 30. Os pilares possuem 3 metros de altura e a viga possui 6 metros de comprimento. As bases são engastadas e a ligação da viga com a coluna é articulada. O aço utilizado é o ASTM A 572 Grau 50 com módulo de elasticidade de 200 GPa. Os perfis utilizados são da série W da Gerdau. Na tabela 24 são especificados o tipo de viga e os respectivos carregamentos e esforço solicitantes empregados em cada dimensionamento.

Figura 30 – Pórtico de ligação flexível parafusada



Fonte: Adaptado do Cype 3D 2019

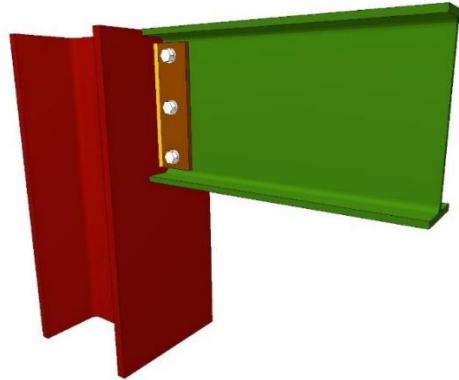
Tabela 24 – Carregamentos no pórtico de ligação flexível

Pilar	W 250 x 89 (H)								
Viga	W 250 x 28,4			W 360 x 64			W 530 x 72		
Carregamento	10 kN/m	20 kN/m	30 kN/m	40 kN/m	50 kN/m	60 kN/m	70 kN/m	80 kN/m	90 kN/m
N (kN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V (kN)	30	60	90	120	150	180	210	240	270
Msd (kN.m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: elaborado pelo autor

Nesse exemplo executa-se o dimensionamento de uma ligação flexível parafusada. A Figura 31 ilustra o tipo de ligação utilizada. Nas tabelas 25 são destacados o tipo de verificação em cada parte da ligação e os itens da norma utilizados no dimensionamento a partir do programa Cype 3D, já na tabela 26 são destacados os mesmos parâmetros, mas agora referentes ao dimensionamento a partir da planilha eletrônica.

Figura 31 - Ligação flexível parafusada



Fonte: Cype 3D 2019

Tabela 25 – Verificações utilizadas no dimensionado da ligação flexível no Cype 3D

Local	Verificação	Norma
	Soldas (ABNT NBR 8800:2008)	
	Barras prismáticas submetidas a momento fletor e força cortante	(ABNT NBR 8800:2008, 5.4)
	Tensão de Von Mises na chapa lateral	(ABNT NBR 8800:2008, 5.5.2.3)
Chapa lateral	Resistência a flambagem local	(Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABTN NBR 8800:2008, 5.3)
	Pressão de contato em furos	(ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)
	Colapso por rasgamento	(Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)
	Pressão de contato em furos	(ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)
Alma	Colapso por rasgamento	(Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)
	Resistência a flambagem local	(Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABTN NBR 8800:2008, 5.3)
Chapa lateral	Parafusos	(ABNT NBR 8800:2008, 6.3)

Fonte: Cype 3D 2019

Tabela 26 - Verificações utilizadas no dimensionado da ligação flexível na planilha eletrônica

Local	Verificação	Norma
Parafusos	Cisalhamento nos parafusos	(item 6.3.3.2 da ABNT NBR 8800:2008)
	Pressão de contato na chapa	(item 6.3.3.3 da ABNT NBR 8800:2008)
	Pressão de contato na alma da viga	(item 6.3.3.3 da ABNT NBR 8800:2008)
Soldas	Tensão normal na solda de filete	(item 6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
	Tensão de cisalhamento na solda de filete	(item 6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
	Combinação de tensão normal e cisalhamento na solda de filete	(item 6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
	Ruptura na região da solda na chapa	(item 6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
	Ruptura na região da solda na mesa do pilar	(item 6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
Chapa	Colapso por rasgamento da chapa	(item 6.5.6 da ABNT NBR 8800:2008)
	Cisalhamento da chapa	(item 6.5.5 da ABNT NBR 8800:2008)
	Tração na chapa	(item 6.5.3 da ABNT NBR 8800:2008)
	Compressão na chapa	(item 6.5.4 da ABNT NBR 8800:2008)

Fonte: elaborado pelo autor

Na tabela 27 são apresentados os resultados do dimensionamento obtidos no Cype 3D e na planilha eletrônica. O número de parafusos, o diâmetro dos parafusos (d_b), a espessura da chapa (e) e o filete de solda entre a chapa e o pilar são apresentados para cada combinação de viga e de carga distribuída. A coloração cinza da tabela destaca os casos em que o dimensionamento a partir do Cype 3D ou da planilha eletrônica apresenta resultado mais conservador.

Tabela 27 – Comparativo entre dimensionamentos no pórtico de ligação flexível

Pilar		W 250 x 89 (H)								
Viga		W 250 x 28,4			W 360 x 64			W 530 x 72		
Carregamento		10	20	30	40	50	60	70	80	90
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
Cype 3D	Nº parafusos	3	3	4	4	4	5	5	5	5
	d_b	12	12	12	16	16	16	20	20	20
	e (chapa)	8	8	8	8	8	8	10	10	10
	Filete de solda	5	5	5	5	5	5	7	7	7
Planilha eletrônica	Nº parafusos	2	3	4	3	4	4	3	4	4
	d_b	12	12	12	16	16	16	20	20	20
	e (chapa)	5	5	5	5	5	5	6	6	6
	Filete de solda	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Unidades em milímetros

Fonte: elaborado pelo autor

Como foram executadas várias combinações com carregamentos e tipologias de vigas diferentes, optou-se por apresentar o memorial de cálculo de apenas uma combinação. O pilar escolhido é o perfil W 250 x 89 (H) e a viga o perfil W 250 x 28,4 com carga distribuída de 10 kN/m. No Apêndice L é apresentada a planilha de dimensionamento a partir da planilha eletrônica e no Apêndice M é apresentada a planilha de dimensionamento obtida no memorial de cálculo do Cype 3D.

Analisando os resultados do dimensionamento apresentados na Tabela 27, destaca-se que não há relação linear entre a carga distribuída com o número de parafusos e a dimensão do filete de solda, pois cada combinação possui características próprias como altura de viga e distância dos parafusos ao centroide da viga que vão contribuir para um resultado específico de esforços solicitantes. Dessa forma cada combinação deve ser avaliada exclusivamente entre os dois métodos de dimensionamento propostos.

Conforme a Tabela 25, as verificações apresentadas pelo Cype 3D não seguem estritamente as recomendações da ABNT NBR 8800:2008, em muitas verificações o programa executa adaptações a partir da norma brasileira em combinação com o EN 1993-1-8 (2005) ou cria critérios próprios de verificação denominados “Critério de CYPE Ingenieros“. As

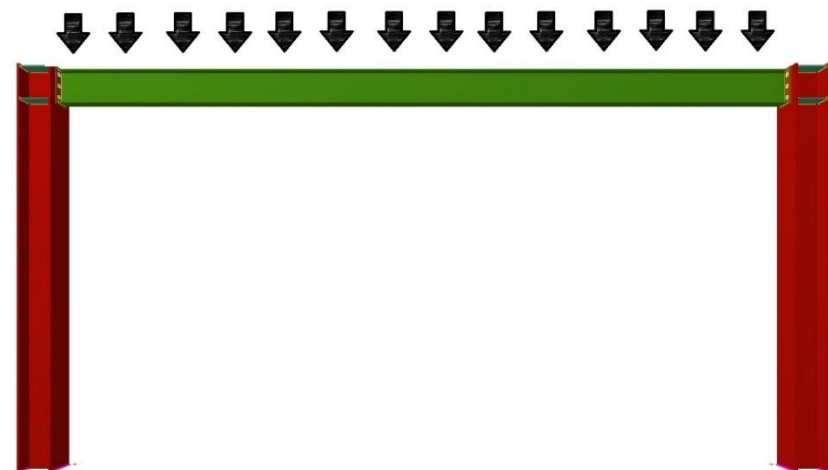
verificações da planilha eletrônica, conforme a Tabela 26, atendem ao roteiro de cálculo proposto para esse tipo de ligação descrito em Fakury et al. (2015) o qual é baseado exclusivamente nas recomendações da ABNT NBR 8800:2008. Apesar de haver divergências entre as normas empregadas nos métodos de dimensionamento, destaca-se que, de acordo com a Tabela 27, na grande maioria dos casos o Cype 3D apresenta resultados mais conservadores que os da planilha eletrônica. Entretanto o programa não fornece o roteiro de cálculo completo de algumas verificações e não fornece explicitamente a forma como os esforços solicitantes da ligação foram obtidos, o que dificulta o processo comparativo entre os métodos de dimensionamento.

Portanto, apesar do programa Cype 3D não ilustrar explicitamente todos os passos do roteiro de cálculo e de utilizar normas estrangeiras ou critérios próprios de dimensionamento, os resultados apresentados evidenciam que na grande maioria dos casos o programa fornece resultados bastante conservadores e que caso dimensionados de acordo com a ABNT NBR 8800:2008 atenderia as recomendações da norma.

5.2 Exemplo 2 - Ligação rígida

Nesse caso admite-se o pórtico ilustrado na Figura 32. Os pilares possuem 3 metros de altura e a viga possui 6 metros de comprimento. As bases e as ligações da a viga com a coluna são engastadas. O aço utilizado é o ASTM A 572 Grau 50 com módulo de elasticidade de 200 GPa. Os perfis utilizados são da série W da Gerdau. Na Tabela 24 são especificados o tipo de viga e os respectivos carregamentos e esforço solicitantes empregados em cada dimensionamento.

Figura 32 - Pórtico de ligação rígida parafusada



Fonte: Adaptado do Cype 3D 2019

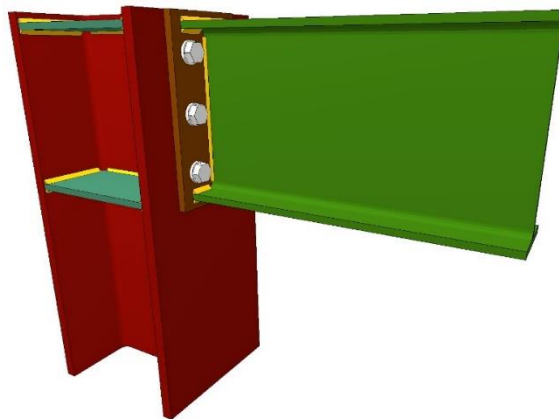
Tabela 28 - Carregamentos no pórtico de ligação rígida

Pilar	W 250 x 89 (H)							
	W 250 x 28,4			W 360 x 64			W 530 x 72	
Viga	5 kN/m	10 kN/m	15 kN/m	25 kN/m	35 kN/m	45 kN/m	50 kN/m	60 kN/m
Carregamento	5 kN/m	10 kN/m	15 kN/m	25 kN/m	35 kN/m	45 kN/m	50 kN/m	60 kN/m
N (kN)	-6,5	-12,9	-19,4	-25,8	-36,1	-46,4	-38,7	-46,4
V (kN)	15	30	45	75	105	135	150	180
Msd (kN.m)	13,83	27,65	41,48	54,76	76,66	98,56	82,2	98,64

Fonte: elaborado pelo autor

Neste exemplo executa-se o dimensionamento de uma ligação rígida parafusada. A Figura 33 ilustra o tipo de ligação utilizada. Na tabela 29 são destacados o tipo de verificação em cada parte da ligação e os itens da norma utilizados no dimensionamento a partir do Cype 3D, já na tabela 30 são destacados os mesmos parâmetros, mas agora referentes ao dimensionamento a partir da planilha eletrônica.

Figura 33 – Ligação rígida parafusada



Fonte: Cype 3D 2019

Tabela 29 - Verificações utilizadas no dimensionado da ligação rígida no Cype 3D

Local	Verificação	Norma
Pilar		
	Soldas	(ABNT NBR 8800:2008)
Painel	Esbeltez do painel de alma	(Critério de CYPE Ingenieros)
Painel	Cisalhamento do painel de alma	(ABNT NBR 8800:2008, 5.7.7)
Enrijecedor superior	Tensão de Von Mises em enrijecedores	(ABNT NBR 8800:2008, 5.5.2.3)
Enrijecedor inferior	Tensão de Von Mises em enrijecedores	(ABNT NBR 8800:2008, 5.5.2.3)
Enrijecedor superior	Tensão de Von Mises em enrijecedores	(ABNT NBR 8800:2008, 5.5.2.3)
Enrijecedor inferior	Tensão de Von Mises em enrijecedores	(ABNT NBR 8800:2008, 5.5.2.3)

continuação da tabela 29

Aba	Esforço transversal no banzo pelos enrijecedores	(ABNT NBR 8800:2008, 5.5.2.3)
Aba (Viga)	Peça em T equivalente	(EN 1993-1-8:2005, 6.2.6.5)
Aba (Viga)	Tração	(ABNT NBR 8800:2008, 5.2)
Alma (Viga)	Tração	(ABNT NBR 8800:2008, 5.2)
Viga		
	Soldas	(ABNT NBR 8800:2008)
Chapa frontal	Peça em T equivalente	(EN 1993-1-8:2005, 6.2.6.5)
Aba	Seções quaisquer submetidas a momento de torção, força axial, momentos fletores e forças cortantes	(ABNT NBR 8800:2008, 5.5.2.3)
Aba	Tração	(ABNT NBR 8800:2008, 5.2)
Alma	Tração	(ABNT NBR 8800:2008, 5.2)
Chapa frontal	Parafusos	(ABNT NBR 8800:2008, 6.3)
Extremo	Rigidez rotacional	

Fonte: Cype 3D 2019

Tabela 30 – Verificações utilizadas no dimensionado da ligação rígida na planilha eletrônica

Local	Verificação	Norma
Mesa da viga	Tração na mesa superior	(6.5.3 da ABNT NBR 8800:2008)
Mesa da viga	Compressão na mesa inferior	(6.5.4 da ABNT NBR 8800:2008)
Alma da viga	Cisalhamento na Alma	(6.5.5 da ABNT NBR 8800:2008)
Parafusos	Cisalhamento nos parafusos	(6.3.3.2 da ABNT NBR 8800:2008)
	Tração nos parafusos	(6.3.3.1 da ABNT NBR 8800:2008)
	Tração e cisalhamento combinados nos parafusos	(6.3.3.4 da ABNT NBR 8800:2008)
Chapa de extremidade	Pressão de contato na chapa de extremidade	(6.3.3.3 da ABNT NBR 8800:2008)
Mesa do pilar	Pressão de contato na mesa do pilar	(6.3.3.3 da ABNT NBR 8800:2008)
Soldas	Tensão normal na solda de filete entorno da viga	(6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
	Tensão de cisalhamento na solda de filete entorno da viga	(6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
	Combinação de tensão normal e cisalhamento na solda de filete entorno da viga	(6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
	Ruptura na região da solda na chapa de extremidade	(6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
	Ruptura na região da solda na viga	(6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
Enrijecedores	Tração nos enrijecedores	(6.5.3 da ABNT NBR 8800:2008)
	Compressão nos enrijecedores	(6.5.4 da ABNT NBR 8800:2008)

continuação da tabela 30

Cisalhamento nos enrijecedores	(6.5.5 da ABNT NBR 8800:2008)
Verificação da solda dos enrijecedores com a alma do pilar	(6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
Verificação da ruptura da solda na região dos enrijecedores	(6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)
Verificação da ruptura da solda na alma do pilar	(6.2.5.1 da ABNT NBR 8800:2008)

Fonte: elaborado pelo autor

Na tabela 31 são apresentados os resultados do dimensionamento obtidos no Cype 3D e na planilha eletrônica. O número de parafusos, o diâmetro dos parafusos (d_b), a espessura da chapa (e) e o filete de solda entre a chapa de topo e a viga são apresentados para cada combinação de viga e de carga distribuída. A coloração cinza da tabela destaca os casos em que o dimensionamento a partir do Cype 3D ou da planilha eletrônica apresenta resultado mais conservador.

Tabela 31 - Comparativo entre dimensionamentos no pórtico de ligação rígida

Pilar		W 250 x 89 (H)							
Viga		W 250 x 28,4			W 360 x 64			W 530 x 72	
Carregamento		5 kN/m	10 kN/m	15 kN/m	25 kN/m	35 kN/m	45 kN/m	50 kN/m	60 kN/m
Cype 3D	N° parafusos	6	6	6	6	6	6	8	8
	d_b	16	16	16	22	22	22	20	20
	e (chapa)	12	12	12	18	18	18	14	14
	Filete de solda *	7	7	8	9	9	9	7	7
Planilha eletrônica	N° parafusos	4	4	4	4	4	4	4	6
	d_b	12	16	20	20	22	24	20	20
	e (chapa)	18	18	18	24	29	33	23	26
	Filete de solda *	5	5	6	5	5	5	5	5

Unidades em milímetros

* Solda entre a viga e a chapa de extremidade

Fonte: elaborado pelo autor

Como foram executadas várias combinações com carregamentos e tipologias de vigas diferentes, optou-se por apresentar o memorial de cálculo de apenas uma combinação. O pilar escolhido é o perfil W 250 x 89 (H) e a viga o perfil W 250 x 28,4 com carga distribuída de 10 kN/m. No Apêndice O é apresentada a planilha de dimensionamento a partir da planilha eletrônica e no Apêndice P é apresentada a planilha de dimensionamento obtida no memorial de cálculo do Cype 3D.

Conforme a Tabela 29, o Cype 3D permanece utilizando verificações baseadas em adaptação a partir da ABNT NBR 8800:2008 ou baseadas em critérios próprios de verificação.

Adicionalmente o programa conforme o Exemplo 1 não fornece o roteiro de cálculo completo de algumas verificações e a forma como os esforços solicitantes da ligação foram obtidos.

De acordo com a Tabela 31 o Cype 3D apresenta resultados conservadores na maioria dos dimensionamentos para o número de parafusos, diâmetro dos parafusos e espessura do filete de solda. Já na verificação da espessura da chapa de topo a planilha eletrônica apresenta resultados mais conservadores, visto que a ABNT NBR 8800:2008 não determina uma metodologia específica para a consideração do efeito alavanca na chapa de topo, dessa forma por equações de equilíbrio obteve-se espessura da chapa muito maiores que as obtidas no Cype 3D.

Apenas na combinação de carga distribuída de 15 kN/m o Cype 3D apresenta número de parafusos e bitolas não suficientes segundo a verificação realizada através da planilha eletrônica. A ABNT NBR 8800:2008 não especifica a forma como os esforços solicitantes da ligação devem ser obtidos, dessa forma existem muitos métodos específicos para esse fim. O método utilizado na planilha eletrônica baseia-se nas resultantes vetoriais dos esforços solicitantes em cada região, em comportamento elástico, conforme proposto em Fakury et al. (2015) e representa um método de obtenção de esforços solicitantes bastante conservador. Dessa forma o fato do Cype 3D apresentar resultado pouco conservador em uma combinação de carregamento não invalida o resultado do dimensionamento, já que o Cype 3D utiliza formas de obtenção dos esforços solicitantes extraídos provavelmente de norma europeia e que não necessariamente estão incorretos, haja vista que a norma brasileira não especifica critério normativo acerca desse tema.

Por conseguinte, exceto pela espessura da chapa de topo, o Cype 3D apresenta na maioria dos casos resultados mais conservadores e, portanto, a favor da segurança comparados em relação ao dimensionamento restrito a ABNT NBR 8800:2008. Além disso assentir ao automatismo do programa pode acarretar em projetos de ligações pouco econômicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por premissa avaliar um programa comercial de dimensionamento de estrutura de aço quanto a análise estrutural e ao dimensionamento de perfis e de ligações. Na primeira parte do trabalho optou-se por validar o método de análise não-linear geométrica do Cype 3D e definir qual o grau de influência de eventuais simplificações e peculiaridades do programa no dimensionamento de edificações formadas por estruturas de aço. Avaliando o desempenho do método quanto a aplicação em edificações de múltiplos pavimentos percebe-se resultados razoáveis no que tange a classificação de deslocabilidade da estrutura e na determinação dos esforços solicitantes em estruturas com geometria e distribuição de carregamentos regulares. Não obstante o método aproximado de amplificação dos esforços baseado no coeficiente γ_z tenha apresentado resultados satisfatórios para os modelos avaliados nesse trabalho podem existir tipologias de pórticos que não estejam dentro da faixa segura do método.

A segunda etapa do trabalho consiste no dimensionamento de pórticos, as quais os esforços resistentes são executados seguindo as recomendações da ABNT NBR 8800:2008. Nessa etapa verificou-se que as conclusões obtidas na primeira etapa do trabalho aplicaram-se no dimensionamento dos modelos, ou seja, os resultados obtidos na análise não linear elástica apresentam diferenças percentuais pouco relevantes e que não foram suficientes para produzir mudanças significativas no dimensionamento e conseqüentemente no peso total dos pórticos, dessa forma evidenciou-se novamente o bom desempenho do método aproximado de amplificação dos esforços baseado no coeficiente γ_z em pórticos com geometria e distribuição de carregamentos regulares.

O Cype apresenta resultados de dimensionados, ou seja, coeficientes de aproveitamento (η) dos perfis muito próximos dos apresentados na planilha eletrônica quando se avalia o mesmo tipo de pórtico, dessa forma evidencia-se o bom desempenho do programa ao atender aos requisitos de dimensionamento estabelecidos na ABNT NBR 8800:2008. Entretanto análise do modelo avaliado está restrita a perfis laminados I ou H em que se restringe a análise para o eixo de maior inércia, logo os modelos avaliados não abrangem todos tipos de perfis possíveis, dessa forma podem existir possíveis falhas do programa no dimensionamento de outros modelos.

Ainda se avaliou nesse trabalho o comportamento de pórticos de vigas inclinadas submetidos a elevados carregamentos de sobrepressão. Constatou-se que a esbeltez dos

elementos que constituem o pórtico desempenha papel fundamental nos resultados de análise de segunda ordem. Nesse caso, a determinação de perfis adequados a solicitações típicas para edificações nas quais o referido sistema é empregado, dificilmente conduz a peças tão esbeltas quanto aquelas propostas em Silvestre e Camotim (2006) conforme verificado neste trabalho, uma vez que foram necessários perfis menos esbeltos para resistir aos esforços adotados, os resultados apontam para pouca influência dos efeitos de segunda ordem, e com isso, uma menor influência das análises aproximadas realizadas pelo Cype 3D em relação às análises geometricamente não lineares realizadas através do programa Mastan2.

O dimensionando das ligações viga-coluna do Cype 3D demonstra que o programa disponibiliza algumas ligações frágeis (flexíveis e rígidas soldadas) que embora possam ser aprovadas no dimensionamento não são recomendadas em trabalhos publicados por Fakury et al. (2015) e Queiroz e Vilela (2012). No dimensionamento das ligações que são objeto desse trabalho (ligações flexíveis e rígidas parafusadas) percebe-se que o programa não ilustra explicitamente todos os passos do roteiro de cálculo e utiliza normas estrangeiras ou critérios próprios de dimensionamento. Entretanto os resultados de dimensionamento apresentados pelo programa evidenciam que na grande maioria dos casos o programa fornece resultados bastante conservadores, logo, favoráveis a segurança, embora sejam pouco otimizados e pouco econômicos.

Por último, fica o alerta aos usuários de programas de dimensionamento que muitas das decisões automáticas do programa que são investigadas nesse trabalho são tratadas provavelmente de forma semelhante na maioria dos programas e que existem muitas peculiaridades na modelagem e no dimensionamento de uma estrutura que exigem que cada informação inserida no programa seja tratada por meio de um estudo comparativo e analítico, dessa forma apenas assentir ao automatismo do programa pode acarretar em erros de dimensionamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

_____. **ABNT NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

Chamberlain, Z. P., Ficanha, R., e Fabeane, R. **Projeto e cálculo de estruturas de aço : Edifício industrial detalhado**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CYPE Ingenieros. **Cype 3D**. Versão 2019.

Dória, A. S. **Análise da estabilidade de pórticos planos de aço**. 2007. Dissertação de mestrado — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo , São Paulo, 2007.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 3**: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints. Brussels, 2005

Fakury, R. H., Lydia Reis de Castro e Silva, A., e Caldas, R. B. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto**. 1. Ed. São Paulo: Pearson Universidades, 2015.

GALAMBOS, T.V.; KETTER, R.L. Columns under Combined Bending and Thrust. **Journal of the Engineering Mechanics Division**, ASCE, v. 85, no. EM2, p. 1-30, 1959.

GNU Software. **Octave**: A high-level interactive language for numerical computations — Versão 5.2.0, 2020

McGuire, W., Gallagher, R. H., e Ziemian, R. D. **Matrix Structural Analysis**. 2. ed. New Jersey: John Wiley e Sons Ltd, 1999.

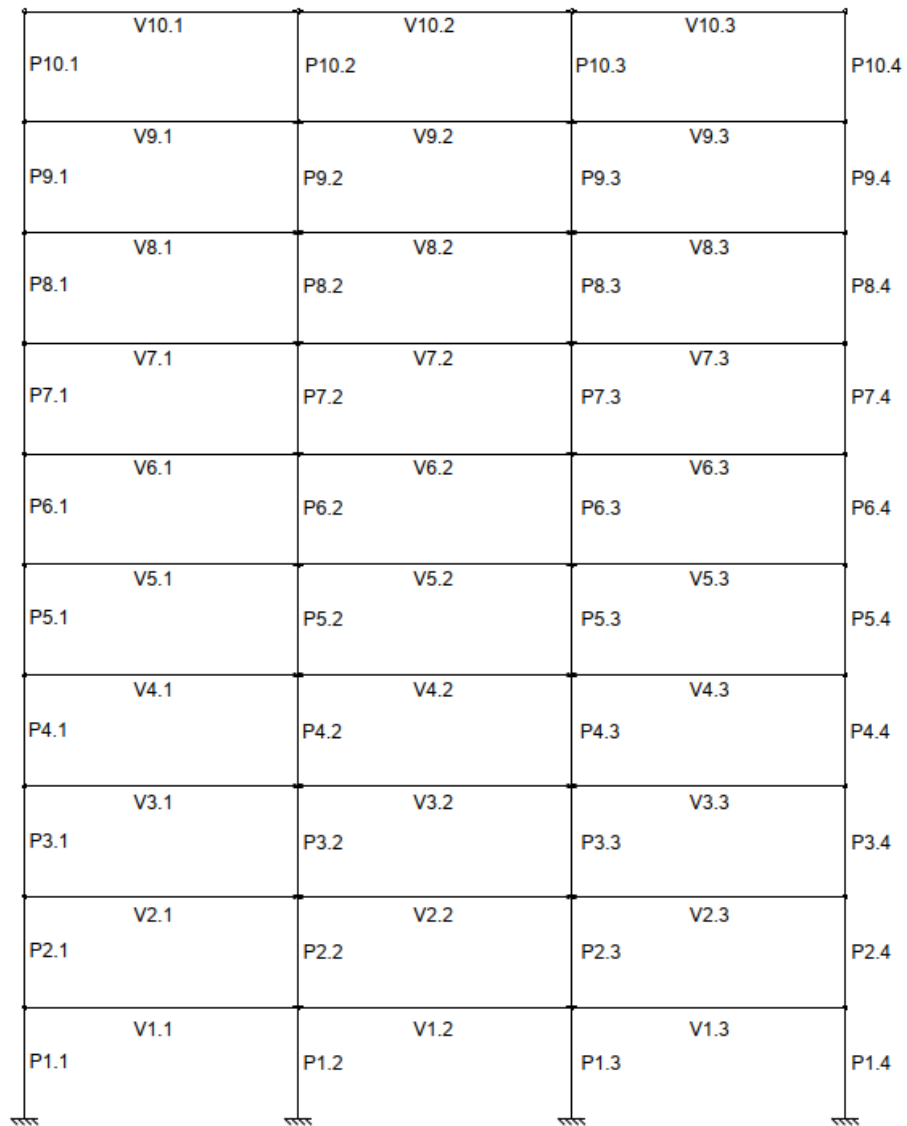
Pfeil, W., e Pfeil, M. **Estruturas de Aço : dimensionamento prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Queiroz, G., Vilela, P. M. L. **Ligações, regiões nodais e fadiga de estruturas de aço**. 1. Ed. Belo Horizonte: Código Editora, 2012.

Silvestre, N., e Camotim, D. Elastic buckling and second-order behaviour of pitched-roof steel frames. **Journal of Constructional Steel Research**, p. 15. jun. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X06001799?via%3Dihub>. Acesso em: 20 abr. 2020.

Ziemian, R e McGuire, W. **Mastan2**. V3.5, 2015

APÊNDICE A – Nomenclatura dos elementos



APÊNDICE B – Dimensionamento de 1º ordem no Mastan2 com perfis W310 x 44,5

Notação:

N (kN): Solicitação à tração se positivo ou solicitação a compressão se negativo

Mx (kN.cm): Solicitação à flexão eixo X

Vy (kN): Solicitação ao esforço cortante Y

L (cm): comprimento total do perfil

Lx (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x

Ly (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo y

Lz (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo z

Lb (cm): distância entre duas seções contidas à flambagem lateral com torção

Kx: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo x

Ky: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo y

Kz: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo z

Cb: fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme

Barra	Perfil	N	Mx	Vy	L	Lx	Ly	Lz	Lb	Kx	Ky	Kz	Cb
P 1.1	W 310 x 44,5	-485,92	38134,0	110,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 1.2	W 310 x 44,5	-1836,1	34671,0	72,6	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 1.3	W 310 x 44,5	-912,92	34689,0	72,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 1.4	W 310 x 44,5	-1409,1	41773,0	150,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 1.1	W 310 x 44,5	-41,409	23762,3	110,7	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 1.2	W 310 x 44,5	-0,2977	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 1.3	W 310 x 44,5	41,318	39700,0	143,6	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 2.1	W 310 x 44,5	-441,85	25133,0	119,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 2.2	W 310 x 44,5	-1647,9	12897,0	31,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 2.3	W 310 x 44,5	-824,28	12853,0	31,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 2.4	W 310 x 44,5	-1265,5	36334,0	191,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 2.1	W 310 x 44,5	-36,105	31529,1	127,6	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 2.2	W 310 x 44,5	-19,187	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 2.3	W 310 x 44,5	-2,7592	50719,0	161,9	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 3.1	W 310 x 44,5	-414,6	19282,0	120,4	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 3.2	W 310 x 44,5	-1443	3457,3	14,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 3.3	W 310 x 44,5	-754,02	3502,1	14,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 3.4	W 310 x 44,5	-1103,6	29519,0	189,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 3.1	W 310 x 44,5	-26,262	32676,2	129,9	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 3.2	W 310 x 44,5	-18,586	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 3.3	W 310 x 44,5	-10,664	52295,0	164,6	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 4.1	W 310 x 44,5	-389,65	17906,0	108,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 4.2	W 310 x 44,5	-1235,7	2969,7	6,9	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 4.3	W 310 x 44,5	-686,37	2966,3	6,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 4.4	W 310 x 44,5	-939,03	28402,0	178,4	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 4.1	W 310 x 44,5	-23,234	30387,5	125,2	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 4.2	W 310 x 44,5	-19,637	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 4.3	W 310 x 44,5	-16,112	49745,0	160,3	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 5.1	W 310 x 44,5	-360,07	16735,0	91,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 5.2	W 310 x 44,5	-1033,1	3953,0	3,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00

P 5.3	W 310 x 44,5	-614,48	3954,4	3,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 5.4	W 310 x 44,5	-778,72	27331,0	162,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 5.1	W 310 x 44,5	-22,289	26706,2	117,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 5.2	W 310 x 44,5	-20,507	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 5.3	W 310 x 44,5	-18,686	45239,0	152,8	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 6.1	W 310 x 44,5	-322,66	14483,0	72,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 6.2	W 310 x 44,5	-838,34	4401,6	1,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 6.3	W 310 x 44,5	-535,08	4396,4	1,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 6.4	W 310 x 44,5	-625,92	25161,0	143,6	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 6.1	W 310 x 44,5	-22,319	22646,7	108,1	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 6.2	W 310 x 44,5	-21,131	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 6.3	W 310 x 44,5	-20,042	39827,0	143,8	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 7.1	W 310 x 44,5	-275,96	11639,0	51,9	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 7.2	W 310 x 44,5	-652,84	4493,6	0,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 7.3	W 310 x 44,5	-446,66	4511,7	0,4	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 7.4	W 310 x 44,5	-482,14	22389,0	123,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 7.1	W 310 x 44,5	-22,182	18734,9	98,3	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 7.2	W 310 x 44,5	-21,158	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 7.3	W 310 x 44,5	-19,776	34092,0	134,2	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 8.1	W 310 x 44,5	-219,48	8545,7	31,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 8.2	W 310 x 44,5	-477,12	4493,6	0,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 8.3	W 310 x 44,5	-348,68	4511,7	1,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 8.4	W 310 x 44,5	-347,92	19421,0	103,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 8.1	W 310 x 44,5	-23,666	15252,3	88,7	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 8.2	W 310 x 44,5	-22,954	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 8.3	W 310 x 44,5	-23,242	28375,0	124,7	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 9.1	W 310 x 44,5	-153,4	5233,0	11,6	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 9.2	W 310 x 44,5	-311	4278,3	1,4	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 9.3	W 310 x 44,5	-241,17	4212,5	0,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 9.4	W 310 x 44,5	-223,23	15196,0	80,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 9.1	W 310 x 44,5	-18,322	12394,4	80,0	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 9.2	W 310 x 44,5	-6,9202	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 9.3	W 310 x 44,5	5,7042	23760,0	117,0	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 10.1	W 310 x 44,5	-78,57	3689,8	14,6	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 10.2	W 310 x 44,5	-153,63	3849,4	12,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 10.3	W 310 x 44,5	-125,97	3999,9	13,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 10.4	W 310 x 44,5	-106,23	17298,0	86,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 10.1	W 310 x 44,5	-60,042	11261,7	78,6	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 10.2	W 310 x 44,5	-72,873	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 10.3	W 310 x 44,5	-86,206	17298,0	106,2	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00

Notação:

λ_x : Limitação do índice de esbeltez em relação ao eixo x

λ_y : Limitação do índice de esbeltez em relação ao eixo y

η N (Tração): Resistência à tração

η N (Comp.): Resistência à compressão

η Mx: Resistência à flexão eixo X

η Vy: Resistência ao esforço cortante Y

η N. Mx. My: Resistência ao esforço axial e flexão combinados

η : Coeficiente de aproveitamento (%)

Barra	λ_x	λ_y	η N (Tração)	η N (Comp.)	η Mx	η Vy	η N. Mx. My	%	Resultado
P 1.1	11%	39%	0%	43%	203%	28%	224%	224%	REPROVADO
P 1.2	11%	39%	0%	162%	185%	19%	326%	326%	REPROVADO
P 1.3	11%	39%	0%	80%	185%	19%	245%	245%	REPROVADO
P 1.4	11%	39%	0%	124%	223%	39%	322%	322%	REPROVADO
V 1.1	0%	0%	0%	2%	106%	28%	107%	107%	REPROVADO
V 1.2	0%	0%	0%	0%	52%	20%	52%	52%	APROVADO
V 1.3	0%	0%	2%	0%	178%	37%	179%	179%	REPROVADO
P 2.1	11%	39%	0%	39%	134%	31%	158%	158%	REPROVADO
P 2.2	11%	39%	0%	145%	69%	8%	206%	206%	REPROVADO
P 2.3	11%	39%	0%	73%	69%	8%	134%	134%	REPROVADO
P 2.4	11%	39%	0%	112%	194%	49%	284%	284%	REPROVADO
V 2.1	0%	0%	0%	2%	141%	33%	142%	142%	REPROVADO
V 2.2	0%	0%	0%	1%	52%	20%	52%	52%	APROVADO
V 2.3	0%	0%	0%	0%	227%	42%	227%	227%	REPROVADO
P 3.1	11%	39%	0%	37%	103%	31%	128%	128%	REPROVADO
P 3.2	11%	39%	0%	127%	18%	4%	144%	144%	REPROVADO
P 3.3	11%	39%	0%	66%	19%	4%	83%	83%	APROVADO
P 3.4	11%	39%	0%	97%	157%	49%	237%	237%	REPROVADO
V 3.1	0%	0%	0%	2%	146%	33%	147%	147%	REPROVADO
V 3.2	0%	0%	0%	1%	52%	20%	52%	52%	APROVADO
V 3.3	0%	0%	0%	1%	234%	42%	234%	234%	REPROVADO
P 4.1	11%	39%	0%	34%	96%	28%	119%	119%	REPROVADO
P 4.2	11%	39%	0%	109%	16%	2%	123%	123%	REPROVADO
P 4.3	11%	39%	0%	60%	16%	2%	75%	75%	APROVADO
P 4.4	11%	39%	0%	83%	151%	46%	217%	217%	REPROVADO
V 4.1	0%	0%	0%	1%	136%	32%	137%	137%	REPROVADO
V 4.2	0%	0%	0%	1%	52%	20%	52%	52%	APROVADO
V 4.3	0%	0%	0%	1%	223%	41%	223%	223%	REPROVADO
P 5.1	11%	39%	0%	32%	89%	24%	111%	111%	REPROVADO
P 5.2	11%	39%	0%	91%	21%	1%	110%	110%	REPROVADO
P 5.3	11%	39%	0%	54%	21%	1%	73%	73%	APROVADO
P 5.4	11%	39%	0%	69%	146%	42%	198%	198%	REPROVADO

V 5.1	0%	0%	0%	1%	119%	30%	120%	120%	REPROVADO
V 5.2	0%	0%	0%	1%	52%	20%	53%	53%	APROVADO
V 5.3	0%	0%	0%	1%	202%	39%	203%	203%	REPROVADO
P 6.1	11%	39%	0%	28%	77%	19%	97%	97%	APROVADO
P 6.2	11%	39%	0%	74%	23%	0%	95%	95%	APROVADO
P 6.3	11%	39%	0%	47%	23%	0%	68%	68%	APROVADO
P 6.4	11%	39%	0%	55%	134%	37%	174%	174%	REPROVADO
V 6.1	0%	0%	0%	1%	101%	28%	102%	102%	REPROVADO
V 6.2	0%	0%	0%	1%	52%	20%	53%	53%	APROVADO
V 6.3	0%	0%	0%	1%	178%	37%	179%	179%	REPROVADO
P 7.1	11%	39%	0%	24%	62%	13%	80%	80%	APROVADO
P 7.2	11%	39%	0%	58%	24%	0%	79%	79%	APROVADO
P 7.3	11%	39%	0%	39%	24%	0%	61%	61%	APROVADO
P 7.4	11%	39%	0%	42%	119%	32%	149%	149%	REPROVADO
V 7.1	0%	0%	0%	1%	84%	25%	84%	84%	APROVADO
V 7.2	0%	0%	0%	1%	52%	20%	53%	53%	APROVADO
V 7.3	0%	0%	0%	1%	152%	35%	153%	153%	REPROVADO
P 8.1	11%	39%	0%	19%	46%	8%	55%	55%	APROVADO
P 8.2	11%	39%	0%	42%	24%	0%	63%	63%	APROVADO
P 8.3	11%	39%	0%	31%	24%	0%	52%	52%	APROVADO
P 8.4	11%	39%	0%	31%	104%	27%	123%	123%	REPROVADO
V 8.1	0%	0%	0%	1%	68%	23%	69%	69%	APROVADO
V 8.2	0%	0%	0%	1%	52%	20%	53%	53%	APROVADO
V 8.3	0%	0%	0%	1%	127%	32%	128%	128%	REPROVADO
P 9.1	11%	39%	0%	14%	28%	3%	35%	35%	APROVADO
P 9.2	11%	39%	0%	27%	23%	0%	48%	48%	APROVADO
P 9.3	11%	39%	0%	21%	22%	0%	41%	41%	APROVADO
P 9.4	11%	39%	0%	20%	81%	21%	91%	91%	APROVADO
V 9.1	0%	0%	0%	1%	55%	21%	56%	56%	APROVADO
V 9.2	0%	0%	0%	0%	52%	20%	52%	52%	APROVADO
V 9.3	0%	0%	0%	0%	106%	30%	106%	106%	REPROVADO
P 10.1	11%	39%	0%	7%	20%	4%	23%	23%	APROVADO
P 10.2	11%	39%	0%	14%	21%	3%	27%	27%	APROVADO
P 10.3	11%	39%	0%	11%	21%	3%	27%	27%	APROVADO
P 10.4	11%	39%	0%	9%	92%	22%	97%	97%	APROVADO
V 10.1	0%	0%	0%	3%	50%	20%	52%	52%	APROVADO
V 10.2	0%	0%	0%	4%	52%	20%	54%	54%	APROVADO
V 10.3	0%	0%	0%	5%	77%	27%	80%	80%	APROVADO

APÊNDICE C – Dimensionamento de 1º ordem no Cype 3D com perfis W 310 x 44,5



Relatórios

Pórtico de 10 pavimentos - Efeitos de 1º ordem - Perfis W 310x44,5

Verificações E.L.U. (Resumido)

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_x, M_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
P 1.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 43.3$	x: 0 m $\eta = 203.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 28.3$	x: 0 m $\eta = 224.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 224.1$
P 1.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 163.6$	x: 0 m $\eta = 184.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 18.7$	x: 0 m $\eta = 328.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 328.0$
P 1.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 81.3$	x: 0 m $\eta = 185.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 18.7$	x: 0 m $\eta = 245.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 245.8$
P 1.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 125.5$	x: 0 m $\eta = 222.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 38.7$	x: 0 m $\eta = 323.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 323.6$
V 1.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.4$	x: 1.875 m $\eta = 106.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 28.5$	x: 1.875 m $\eta = 107.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 107.3$
V 1.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta < 0.1$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 51.9$
V 1.3	N.A. ⁽⁸⁾	$\eta = 2.3$	N.A. ⁽⁹⁾	x: 6 m $\eta = 177.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 36.9$	x: 6 m $\eta = 178.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 178.7$
P 2.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 39.4$	x: 0 m $\eta = 134.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 30.8$	x: 0 m $\eta = 158.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 158.5$
P 2.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 146.8$	x: 0 m $\eta = 68.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 8.1$	x: 0 m $\eta = 208.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 208.0$
P 2.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 73.4$	x: 0 m $\eta = 68.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 8.0$	x: 0 m $\eta = 134.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 134.4$
P 2.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 112.7$	x: 0 m $\eta = 193.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 49.3$	x: 0 m $\eta = 285.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 285.0$
V 2.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.1$	x: 1.125 m $\eta = 141.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 32.8$	x: 1.125 m $\eta = 142.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 142.1$
V 2.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.1$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 52.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 52.5$
V 2.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.2$	x: 6 m $\eta = 226.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 41.7$	x: 6 m $\eta = 227.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 227.0$
P 3.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 36.9$	x: 0 m $\eta = 102.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 31.0$	x: 0 m $\eta = 128.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 128.4$
P 3.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 128.6$	x: 0 m $\eta = 18.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 3.7$	x: 0 m $\eta = 145.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 145.0$
P 3.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 67.2$	x: 0 m $\eta = 18.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 3.8$	x: 0 m $\eta = 83.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 83.8$
P 3.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 98.3$	x: 0 m $\eta = 157.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 48.6$	x: 0 m $\eta = 238.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 238.3$
V 3.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.5$	x: 1.125 m $\eta = 146.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 33.4$	x: 1.125 m $\eta = 146.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 146.8$
V 3.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.1$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 52.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 52.5$
V 3.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.6$	x: 6 m $\eta = 233.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 42.3$	x: 6 m $\eta = 234.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 234.2$
P 4.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 34.7$	x: 3 m $\eta = 95.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 27.9$	x: 3 m $\eta = 119.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 119.6$
P 4.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 110.1$	x: 3 m $\eta = 15.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 1.8$	x: 3 m $\eta = 124.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 124.2$
P 4.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 61.2$	x: 3 m $\eta = 15.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 1.8$	x: 3 m $\eta = 75.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 75.2$
P 4.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 83.7$	x: 3 m $\eta = 151.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 45.9$	x: 3 m $\eta = 218.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 218.3$
V 4.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.4$	x: 1.125 m $\eta = 135.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 32.2$	x: 1.125 m $\eta = 136.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 136.6$
V 4.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.2$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 52.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 52.5$
V 4.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.9$	x: 6 m $\eta = 222.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 41.2$	x: 6 m $\eta = 223.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 223.0$
P 5.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 32.1$	x: 3 m $\eta = 89.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 23.6$	x: 3 m $\eta = 111.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 111.4$
P 5.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 92.0$	x: 3 m $\eta = 21.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.8$	x: 3 m $\eta = 110.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 110.8$
P 5.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 54.7$	x: 3 m $\eta = 21.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.8$	x: 3 m $\eta = 73.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 73.5$



Relatórios

Pórtico de 10 pavimentos - Efeitos de 1º ordem - Perfis W 310x44,5

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
P 5.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 69.4$	x: 3 m $\eta = 145.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 41.7$	x: 3 m $\eta = 199.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 199.0$
V 5.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.3$	x: 1.5 m $\eta = 119.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 30.2$	x: 1.5 m $\eta = 120.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 120.1$
V 5.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.2$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 52.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 52.5$
V 5.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.1$	x: 6 m $\eta = 202.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 39.3$	x: 6 m $\eta = 202.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 202.9$
P 6.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 28.7$	x: 3 m $\eta = 77.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 18.6$	x: 3 m $\eta = 97.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 97.4$
P 6.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 74.7$	x: 3 m $\eta = 23.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.4$	x: 3 m $\eta = 95.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 95.6$
P 6.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 47.7$	x: 3 m $\eta = 23.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.4$	x: 3 m $\eta = 68.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 68.5$
P 6.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 55.8$	x: 3 m $\eta = 134.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 36.9$	x: 3 m $\eta = 175.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 175.1$
V 6.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.3$	x: 1.875 m $\eta = 101.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 27.8$	x: 1.875 m $\eta = 101.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 101.9$
V 6.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.2$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 52.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 52.6$
V 6.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.2$	x: 6 m $\eta = 178.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 37.0$	x: 6 m $\eta = 178.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 178.7$
P 7.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 24.6$	x: 3 m $\eta = 62.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 13.4$	x: 3 m $\eta = 79.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 79.8$
P 7.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 58.2$	x: 3 m $\eta = 24.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.1$	x: 3 m $\eta = 79.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 79.5$
P 7.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 39.8$	x: 3 m $\eta = 24.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.1$	x: 3 m $\eta = 61.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 61.2$
P 7.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 43.0$	x: 3 m $\eta = 119.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 31.8$	x: 3 m $\eta = 149.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 149.1$
V 7.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.3$	x: 2.25 m $\eta = 83.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 25.3$	x: 2.25 m $\eta = 84.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 84.4$
V 7.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.2$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 52.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 52.6$
V 7.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.2$	x: 6 m $\eta = 152.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 34.5$	x: 6 m $\eta = 153.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 153.1$
P 8.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 19.6$	x: 3 m $\eta = 45.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 8.1$	x: 3 m $\eta = 55.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 55.4$
P 8.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 42.5$	x: 0 m $\eta = 24.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 63.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 63.8$
P 8.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 31.1$	x: 0 m $\eta = 24.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 52.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 52.5$
P 8.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 31.0$	x: 3 m $\eta = 103.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 26.7$	x: 3 m $\eta = 123.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 123.1$
V 8.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.4$	x: 2.625 m $\eta = 68.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 22.8$	x: 2.625 m $\eta = 68.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 68.9$
V 8.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.3$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 52.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 52.6$
V 8.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.4$	x: 6 m $\eta = 126.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 32.1$	x: 6 m $\eta = 127.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 127.6$
P 9.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 13.7$	x: 3 m $\eta = 27.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 3.0$	x: 3 m $\eta = 34.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 34.7$
P 9.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 27.7$	x: 0 m $\eta = 22.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 48.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 48.0$
P 9.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 21.5$	x: 0 m $\eta = 22.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 41.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 41.5$
P 9.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 81.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 20.7$	x: 3 m $\eta = 91.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 91.0$
V 9.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.1$	x: 3 m $\eta = 55.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 20.6$	x: 3 m $\eta = 55.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 55.9$
V 9.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.4$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 52.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 52.1$
V 9.3	N.A. ⁽⁸⁾	$\eta = 0.3$	N.A. ⁽⁹⁾	x: 6 m $\eta = 106.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 30.1$	x: 6 m $\eta = 106.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	NÃO PASSA $\eta = 106.4$



Relatórios

Pórtico de 10 pavimentos - Efeitos de 1º ordem - Perfis W 310x44,5

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_c	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
P 10.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 7.0$	x: 0 m $\eta = 19.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 3.8$	x: 0 m $\eta = 23.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 23.2$
P 10.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 13.7$	x: 0 m $\eta = 20.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 3.3$	x: 0 m $\eta = 27.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 27.4$
P 10.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 11.2$	x: 0 m $\eta = 21.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 3.4$	x: 0 m $\eta = 26.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 26.9$
P 10.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 9.5$	x: 3 m $\eta = 92.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 22.2$	x: 3 m $\eta = 97.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 97.0$
V 10.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 3.5$	x: 3 m $\eta = 50.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 20.2$	x: 3 m $\eta = 52.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 52.1$
V 10.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 4.3$	x: 3 m $\eta = 51.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 3 m $\eta = 54.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 54.1$
V 10.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 5.1$	x: 6 m $\eta = 77.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 27.3$	x: 6 m $\eta = 79.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 79.9$
<p>Notação: λ: Limitação do índice de esbeltez N_c: Resistência à tração N_c: Resistência à compressão M_x: Resistência à flexão eixo X M_y: Resistência à flexão eixo Y V_x: Resistência ao esforço cortante X V_y: Resistência ao esforço cortante Y NM_xM_y: Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante $\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. ⁽³⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante. ⁽⁴⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽⁵⁾ Não há interação entre o esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁶⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁷⁾ A verificação não procede, já que os comprimentos de flambagem por flexão são nulos. ⁽⁸⁾ A verificação não procede, já que não há força axial de compressão. ⁽⁹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.</p>												

APÊNDICE D – Dimensionamento de 1º ordem no Mastan2 com perfis otimizados

Notação:

N (kN): Solicitação à tração se positivo ou solicitação a compressão se negativo

Mx (kN.cm): Solicitação à flexão eixo X

Vy (kN): Solicitação ao esforço cortante Y

L (cm): comprimento total do perfil

Lx (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x

Ly (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo y

Lz (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo z

Lb (cm): distância entre duas seções contidas à flambagem lateral com torção

Kx: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo x

Ky: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo y

Kz: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo z

Cb: fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme

Barra	Perfil	N	Mx	Vy	L	Lx	Ly	Lz	Lb	Kx	Ky	Kz	Cb
P 1.1	W 360 x 64,0	-889,8	11147,0	2,9	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 1.2	W 610 x 155,0	-1432,2	90877,0	194,1	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 1.3	W 360 x 57,8	-609,72	12742,0	30,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 1.4	W 610 x 155,0	-1712,3	94906,0	178,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 1.1	W 200 x 31,3	-19,398	8679,4	91,9	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 1.2	W 250 x 32,7	68,339	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 1.3	W 310 x 52,0	86,447	20721,0	111,9	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 2.1	W 310 x 44,5	-797,93	4418,1	9,4	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 2.2	W 460 x 106,0	-1291,9	32661,0	106,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 2.3	W 250 x 38,5	-489,45	3689,1	12,1	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 2.4	W 610 x 140,0	-1600,3	62003,0	265,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 2.1	W 200 x 31,3	-26,732	8280,2	89,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 2.2	W 250 x 32,7	72,228	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 2.3	W 460 x 97,0	83,037	58813,0	175,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 3.1	W 250 x 44,8	-708,5	2803,0	18,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 3.2	W 310 x 52,0	-1149,1	1440,8	7,4	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 3.3	W 200 x 26,6	-432,67	309,4	1,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 3.4	W 610 x 125,0	-1424,9	63212,0	348,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 3.1	W 200 x 31,3	-25,932	8243,3	89,6	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 3.2	W 250 x 32,7	-11,063	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 3.3	W 610 x 140,0	-7,8097	112220,0	264,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 4.1	W 250 x 44,8	-618,91	4655,9	30,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 4.2	W 310 x 52,0	-1006,5	1440,8	7,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 4.3	W 200 x 26,6	-464,9	309,4	2,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 4.4	W 610 x 113,0	-1160,5	53120,0	340,4	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 4.1	W 200 x 31,3	-47,223	8200,3	89,8	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00

V 4.2	W 250 x 32,7	-56,43	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 4.3	W 610 x 125,0	-59,094	98267,0	241,2	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 5.1	W 250 x 38,5	-529,16	3978,5	23,1	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 5.2	W 250 x 44,8	-864,04	813,1	1,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 5.3	W 200 x 26,6	-473,88	288,6	0,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 5.4	W 460 x 106,0	-919,32	45147,0	281,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 5.1	W 200 x 31,3	-40,644	8353,1	89,1	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 5.2	W 250 x 32,7	-37,834	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 5.3	W 530 x 109,0	-36,336	77769,0	207,0	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 6.1	W 250 x 32,7	-440,02	4142,9	24,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 6.2	W 250 x 38,5	-720,98	639,6	1,1	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 6.3	W 200 x 26,6	-448,69	336,0	0,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 6.4	W 460 x 89,0	-712,31	38518,0	245,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 6.1	W 200 x 31,3	-48,16	8558,1	88,3	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 6.2	W 250 x 32,7	-51,025	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 6.3	W 460 x 106,0	-52,806	63991,0	184,1	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 7.1	W 200 x 31,3	-351,67	3200,6	18,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 7.2	W 250 x 32,7	-577,13	639,6	1,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 7.3	W 200 x 26,6	-400,55	336,0	1,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 7.4	W 360 x 79,0	-528,25	29012,0	192,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 7.1	W 200 x 31,3	-42,053	8791,3	87,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 7.2	W 250 x 32,7	-41,253	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 7.3	W 460 x 82,0	-40,634	52362,0	164,7	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 8.1	W 200 x 26,6	-264,22	2953,3	19,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 8.2	W 200 x 26,6	-432,38	169,6	0,9	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 8.3	W 200 x 26,6	-333,02	50,1	0,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 8.4	W 360 x 64,0	-363,58	23719,0	151,6	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 8.1	W 200 x 31,3	-46,69	8823,4	87,3	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 8.2	W 250 x 32,7	-46,461	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 8.3	W 360 x 72,0	-47,108	35635,0	136,8	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 9.1	W 200 x 26,6	-176,9	3001,5	16,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 9.2	W 200 x 26,6	-287,5	385,7	0,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 9.3	W 150 x 24,0	-237,61	344,0	1,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 9.4	W 310 x 52,0	-226,79	17444,0	104,4	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 9.1	W 200 x 31,3	-22,739	8367,1	89,1	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 9.2	W 250 x 32,7	-20,733	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 9.3	W 360 x 57,8	-18,606	27488,0	123,2	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 10.1	W 200 x 31,3	-87,802	6241,2	38,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 10.2	W 150 x 18,0	-144,4	385,7	1,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 10.3	W 150 x 18,0	-128,62	344,0	1,1	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 10.4	W 310 x 44,5	-103,58	15707,0	85,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 10.1	W 200 x 31,3	-83,404	8699,1	87,8	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 10.2	W 250 x 32,7	-84,69	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 10.3	W 250 x 44,8	-85,836	15707,0	103,6	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00

Notação:

λ_x : Limitação do índice de esbeltez em relação ao eixo x

λ_y : Limitação do índice de esbeltez em relação ao eixo y

ηN (Tração): Resistência à tração

ηN (Comp.): Resistência à compressão

ηM_x : Resistência à flexão eixo X

ηV_y : Resistência ao esforço cortante Y

$\eta N, M_x, M_y$: Resistência ao esforço axial e flexão combinados

η : Coeficiente de aproveitamento (%)

Barra	λ_x	λ_y	ηN (Tração)	ηN (Comp.)	ηM_x	ηV_y	$\eta N, M_x, M_y$	%	Resultado
P 1.1	10%	31%	0%	47%	34%	1%	77%	77%	APROVADO
P 1.2	6%	20%	0%	27%	61%	13%	81%	81%	APROVADO
P 1.3	10%	38%	0%	42%	47%	6%	84%	84%	APROVADO
P 1.4	6%	20%	0%	32%	64%	12%	89%	89%	APROVADO
V 1.1	0%	0%	0%	2%	82%	36%	82%	82%	APROVADO
V 1.2	0%	0%	5%	0%	86%	26%	89%	89%	APROVADO
V 1.3	0%	0%	4%	0%	78%	25%	80%	80%	APROVADO
P 2.1	11%	39%	0%	70%	24%	2%	91%	91%	APROVADO
P 2.2	8%	35%	0%	43%	49%	10%	87%	87%	APROVADO
P 2.3	14%	43%	0%	55%	28%	4%	79%	79%	APROVADO
P 2.4	6%	30%	0%	38%	51%	17%	84%	84%	APROVADO
V 2.1	0%	0%	0%	2%	78%	35%	79%	79%	APROVADO
V 2.2	0%	0%	5%	0%	86%	26%	89%	89%	APROVADO
V 2.3	0%	0%	2%	0%	86%	18%	87%	87%	APROVADO
P 3.1	13%	43%	0%	67%	18%	5%	83%	83%	APROVADO
P 3.2	11%	38%	0%	84%	6%	2%	90%	90%	APROVADO
P 3.3	17%	48%	0%	80%	5%	1%	84%	84%	APROVADO
P 3.4	6%	30%	0%	39%	60%	25%	92%	92%	APROVADO
V 3.1	0%	0%	0%	2%	78%	35%	79%	79%	APROVADO
V 3.2	0%	0%	0%	1%	86%	26%	87%	87%	APROVADO
V 3.3	0%	0%	0%	0%	86%	17%	86%	86%	APROVADO
P 4.1	13%	43%	0%	59%	29%	8%	85%	85%	APROVADO
P 4.2	11%	38%	0%	74%	6%	2%	79%	79%	APROVADO
P 4.3	17%	48%	0%	86%	5%	1%	90%	90%	APROVADO
P 4.4	6%	31%	0%	36%	56%	27%	86%	86%	APROVADO
V 4.1	0%	0%	0%	4%	77%	35%	79%	79%	APROVADO
V 4.2	0%	0%	0%	4%	86%	26%	89%	89%	APROVADO
V 4.3	0%	0%	0%	1%	85%	18%	85%	85%	APROVADO
P 5.1	14%	43%	0%	59%	30%	7%	86%	86%	APROVADO
P 5.2	13%	43%	0%	82%	5%	0%	87%	87%	APROVADO
P 5.3	17%	48%	0%	87%	4%	0%	91%	91%	APROVADO
P 5.4	8%	35%	0%	31%	67%	25%	91%	91%	APROVADO

V 5.1	0%	0%	0%	3%	79%	35%	80%	80%	APROVADO
V 5.2	0%	0%	0%	3%	86%	26%	88%	88%	APROVADO
V 5.3	0%	0%	0%	1%	87%	18%	88%	88%	APROVADO
P 6.1	14%	45%	0%	60%	39%	8%	95%	95%	APROVADO
P 6.2	14%	43%	0%	80%	5%	0%	85%	85%	APROVADO
P 6.3	17%	48%	0%	83%	5%	0%	87%	87%	APROVADO
P 6.4	8%	35%	0%	29%	69%	27%	90%	90%	APROVADO
V 6.1	0%	0%	0%	4%	81%	35%	82%	82%	APROVADO
V 6.2	0%	0%	0%	4%	86%	26%	88%	88%	APROVADO
V 6.3	0%	0%	0%	1%	85%	17%	86%	86%	APROVADO
P 7.1	17%	47%	0%	53%	37%	7%	86%	86%	APROVADO
P 7.2	14%	45%	0%	79%	6%	1%	84%	84%	APROVADO
P 7.3	17%	48%	0%	74%	5%	0%	78%	78%	APROVADO
P 7.4	10%	31%	0%	22%	69%	31%	84%	84%	APROVADO
V 7.1	0%	0%	0%	3%	83%	35%	84%	84%	APROVADO
V 7.2	0%	0%	0%	3%	86%	26%	88%	88%	APROVADO
V 7.3	0%	0%	0%	1%	91%	19%	92%	92%	APROVADO
P 8.1	17%	48%	0%	49%	43%	9%	87%	87%	APROVADO
P 8.2	17%	48%	0%	80%	2%	0%	82%	82%	APROVADO
P 8.3	17%	48%	0%	61%	1%	0%	62%	62%	APROVADO
P 8.4	10%	31%	0%	19%	72%	30%	82%	82%	APROVADO
V 8.1	0%	0%	0%	4%	83%	35%	85%	85%	APROVADO
V 8.2	0%	0%	0%	4%	86%	26%	88%	88%	APROVADO
V 8.3	0%	0%	0%	2%	88%	24%	89%	89%	APROVADO
P 9.1	17%	48%	0%	33%	44%	7%	71%	71%	APROVADO
P 9.2	17%	48%	0%	53%	6%	0%	58%	58%	APROVADO
P 9.3	23%	62%	0%	74%	7%	0%	81%	81%	APROVADO
P 9.4	11%	38%	0%	17%	77%	23%	86%	86%	APROVADO
V 9.1	0%	0%	0%	2%	79%	35%	80%	80%	APROVADO
V 9.2	0%	0%	0%	2%	86%	26%	87%	87%	APROVADO
V 9.3	0%	0%	0%	1%	86%	23%	87%	87%	APROVADO
P 10.1	17%	47%	0%	13%	73%	15%	80%	80%	APROVADO
P 10.2	24%	65%	0%	66%	13%	1%	77%	77%	APROVADO
P 10.3	24%	65%	0%	58%	11%	1%	68%	68%	APROVADO
P 10.4	11%	39%	0%	9%	84%	22%	88%	88%	APROVADO
V 10.1	0%	0%	0%	7%	82%	35%	85%	85%	APROVADO
V 10.2	0%	0%	0%	6%	86%	26%	90%	90%	APROVADO
V 10.3	0%	0%	0%	5%	83%	27%	85%	85%	APROVADO

APÊNDICE E – Dimensionamento de 1º ordem no Cype 3D com perfis otimizados



Relatórios

Pórtico de 10 pavimentos - Efeitos de 1º ordem - Perfis otimizados

Verificações E.L.U. (Resumido)

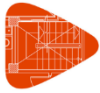
Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
P 1.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 45.2$	x: 3 m $\eta = 35.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.5$	x: 3 m $\eta = 76.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 76.6$
P 1.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 28.2$	x: 0 m $\eta = 61.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 13.3$	x: 0 m $\eta = 82.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 82.6$
P 1.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 34.5$	x: 0 m $\eta = 40.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 4.6$	x: 0 m $\eta = 70.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 70.2$
P 1.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 32.1$	x: 0 m $\eta = 63.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 13.0$	x: 0 m $\eta = 88.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.6$
V 1.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.6$	x: 0 m $\eta = 80.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 36.2$	x: 0 m $\eta = 81.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 81.9$
V 1.2	N.A. ⁽⁸⁾	$\eta = 4.2$	N.A. ⁽⁹⁾	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.5$
V 1.3	N.A. ⁽⁸⁾	$\eta = 2.9$	N.A. ⁽⁹⁾	x: 6 m $\eta = 78.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 23.8$	x: 6 m $\eta = 80.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 80.1$
P 2.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 52.5$	x: 3 m $\eta = 12.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.2$	x: 3 m $\eta = 63.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 63.8$
P 2.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 44.8$	x: 0 m $\eta = 49.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 9.5$	x: 0 m $\eta = 88.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.3$
P 2.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 39.3$	x: 0 m $\eta = 27.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 4.3$	x: 0 m $\eta = 63.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 63.5$
P 2.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 43.4$	x: 0 m $\eta = 56.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 18.3$	x: 0 m $\eta = 93.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 93.5$
V 2.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.4$	x: 3 m $\eta = 54.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 21.5$	x: 3 m $\eta = 55.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 55.3$
V 2.2	N.A. ⁽⁸⁾	$\eta = 4.4$	N.A. ⁽⁹⁾	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.6$
V 2.3	N.A. ⁽⁸⁾	$\eta = 2.1$	N.A. ⁽⁹⁾	x: 6 m $\eta = 87.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 18.6$	x: 6 m $\eta = 88.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.7$
P 3.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 50.0$	x: 3 m $\eta = 4.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 1.4$	x: 3 m $\eta = 54.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 54.2$
P 3.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 62.8$	x: 0 m $\eta = 3.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 1.0$	x: 0 m $\eta = 65.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 65.4$
P 3.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 64.6$	x: 0 m $\eta = 3.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.6$	x: 0 m $\eta = 67.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 67.3$
P 3.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 38.6$	x: 3 m $\eta = 54.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 23.8$	x: 3 m $\eta = 86.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 86.7$
V 3.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.3$	x: 3 m $\eta = 53.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 20.1$	x: 3 m $\eta = 53.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 53.8$
V 3.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.9$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 86.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 86.9$
V 3.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.2$	x: 6 m $\eta = 90.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 18.4$	x: 6 m $\eta = 90.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 90.4$
P 4.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 53.4$	x: 3 m $\eta = 12.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 2.5$	x: 3 m $\eta = 64.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 64.6$
P 4.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 75.7$	x: 3 m $\eta = 4.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 1.1$	x: 3 m $\eta = 79.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 79.4$
P 4.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 74.0$	x: 3 m $\eta = 4.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.8$	x: 3 m $\eta = 78.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 78.0$
P 4.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 36.8$	x: 3 m $\eta = 59.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 27.0$	x: 3 m $\eta = 89.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 89.9$
V 4.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.4$	x: 3.375 m $\eta = 61.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 25.6$	x: 3.375 m $\eta = 62.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 62.3$
V 4.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 3.5$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.1$
V 4.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.2$	x: 6 m $\eta = 91.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 18.4$	x: 6 m $\eta = 92.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 92.0$
P 5.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 57.7$	x: 3 m $\eta = 18.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 3.6$	x: 3 m $\eta = 73.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 73.9$



Relatórios

Pórtico de 10 pavimentos - Efeitos de 1º ordem - Perfis otimizados

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
P 5.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 83.1$	x: 0 m $\eta = 5.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 88.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.4$
P 5.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 74.5$	x: 0 m $\eta = 4.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 78.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 78.6$
P 5.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 30.3$	x: 0 m $\eta = 70.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 24.3$	x: 0 m $\eta = 93.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 93.0$
V 5.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.9$	x: 3.375 m $\eta = 71.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 28.5$	x: 3.375 m $\eta = 72.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 72.7$
V 5.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.7$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 87.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 87.7$
V 5.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.8$	x: 6 m $\eta = 91.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 17.3$	x: 6 m $\eta = 92.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 92.3$
P 6.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 59.4$	x: 3 m $\eta = 29.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 5.5$	x: 3 m $\eta = 85.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 85.2$
P 6.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 81.3$	x: 3 m $\eta = 4.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.2$	x: 3 m $\eta = 85.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 85.4$
P 6.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 83.6$	x: 3 m $\eta = 6.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.4$	x: 3 m $\eta = 89.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 89.0$
P 6.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 29.0$	x: 3 m $\eta = 64.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 25.9$	x: 3 m $\eta = 86.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 86.1$
V 6.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 3.9$	x: 3.375 m $\eta = 83.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 27.3$	x: 3.375 m $\eta = 85.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 85.2$
V 6.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 3.7$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.2$
V 6.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.3$	x: 6 m $\eta = 93.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 18.5$	x: 6 m $\eta = 94.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 94.4$
P 7.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 52.4$	x: 3 m $\eta = 30.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 5.8$	x: 3 m $\eta = 79.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 79.8$
P 7.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 87.9$	x: 0 m $\eta = 7.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 94.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 94.2$
P 7.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 74.8$	x: 0 m $\eta = 6.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.8$	x: 0 m $\eta = 80.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 80.3$
P 7.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 24.4$	x: 0 m $\eta = 77.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 32.9$	x: 0 m $\eta = 92.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 92.8$
V 7.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.8$	x: 3.375 m $\eta = 84.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 34.3$	x: 3.375 m $\eta = 85.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 85.8$
V 7.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.6$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 87.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 87.7$
V 7.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.9$	x: 6 m $\eta = 93.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 18.9$	x: 6 m $\eta = 94.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 94.0$
P 8.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 48.0$	x: 3 m $\eta = 49.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 9.4$	x: 3 m $\eta = 91.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 91.7$
P 8.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 80.5$	x: 0 m $\eta = 1.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 81.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 81.7$
P 8.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 61.9$	x: 0 m $\eta = 1.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 63.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 63.3$
P 8.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 19.2$	x: 0 m $\eta = 71.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 30.9$	x: 0 m $\eta = 80.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 80.8$
V 8.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 4.2$	x: 3.375 m $\eta = 85.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 34.1$	x: 3.375 m $\eta = 87.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 87.7$
V 8.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 4.3$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.5$
V 8.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.0$	x: 6 m $\eta = 91.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 24.5$	x: 6 m $\eta = 92.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 92.4$
P 9.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 54.3$	x: 0 m $\eta = 41.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 5.6$	x: 0 m $\eta = 90.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 90.8$
P 9.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 53.6$	x: 3 m $\eta = 7.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.7$	x: 3 m $\eta = 60.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 60.2$
P 9.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 75.7$	x: 3 m $\eta = 9.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.8$	x: 3 m $\eta = 84.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 84.1$



Relatórios

Pórtico de 10 pavimentos - Efeitos de 1º ordem - Perfis otimizados

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
P 9.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 19.8$	x: 3 m $\eta = 84.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 25.2$	x: 3 m $\eta = 94.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 94.5$
V 9.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.8$	x: 3.375 m $\eta = 81.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 34.8$	x: 3.375 m $\eta = 82.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 82.2$
V 9.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.5$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 87.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 87.1$
V 9.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.8$	x: 6 m $\eta = 93.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 26.1$	x: 6 m $\eta = 93.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 93.6$
P 10.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 15.8$	x: 0 m $\eta = 72.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 14.7$	x: 0 m $\eta = 80.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 80.6$
P 10.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 66.5$	x: 0 m $\eta = 16.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 1.0$	x: 0 m $\eta = 81.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 81.5$
P 10.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 58.3$	x: 0 m $\eta = 15.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 71.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 71.6$
P 10.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 9.2$	x: 3 m $\eta = 84.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 21.1$	x: 3 m $\eta = 88.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.8$
V 10.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 7.0$	x: 3.375 m $\eta = 82.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 27.4$	x: 3.375 m $\eta = 86.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 86.0$
V 10.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 6.2$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 89.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 89.5$
V 10.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 4.5$	x: 6 m $\eta = 83.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 27.3$	x: 6 m $\eta = 85.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 85.3$
<p>Notação:</p> <p>λ: Limitação do índice de esbeltez N_t: Resistência à tração N_c: Resistência à compressão M_x: Resistência à flexão eixo X M_y: Resistência à flexão eixo Y V_x: Resistência ao esforço cortante X V_y: Resistência ao esforço cortante Y NM_xM_y: Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante $\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):</p> <p>⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. ⁽³⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante. ⁽⁴⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽⁵⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁶⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁷⁾ A verificação não procede, já que os comprimentos de flambagem por flexão são nulos. ⁽⁸⁾ A verificação não procede, já que não há força axial de compressão. ⁽⁹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.</p>												

APÊNDICE F – Comparativo entre o dimensionamento de 1º ordem com perfis otimizados

Barra	Mastan2			Cype 3D		
	Perfil	η (%)	Peso (Kg)	Perfil	η (%)	Peso (Kg)
P 1.1	W 360 x 64,0	76,7	192,4	W 360 x 64	76,6	192,4
P 1.2	W 610 x 155,0	81,3	466,5	W 610 x 155	82,6	466,5
• P 1.3	W 360 x 57,8	83,7	170,7	W 360 x 64	70,2	192,4
P 1.4	W 610 x 155,0	89,0	466,5	W 610 x 155	88,6	466,5
V 1.1	W 200 x 31,3	82,5	189,8	W 200 x 31,3	81,9	189,8
V 1.2	W 250 x 32,7	89,0	198,3	W 250 x 32,7	88,5	198,3
† V 1.3	W 310 x 52,0	80,5	315,6	W 360 x 51	80,1	305,2
• P 2.1	W 310 x 44,5	91,3	134,7	W 360 x 57,8	63,8	170,7
P 2.2	W 460 x 106,0	86,8	318,2	W 460 x 106,0	88,3	318,2
P 2.3	W 250 x 38,5	79,3	116,8	W 310 x 52	63,5	157,8
† P 2.4	W 610 x 140,0	83,8	422,3	W 610 x 125	93,5	377,0
• V 2.1	W 200 x 31,3	79,0	189,8	W 250 x 44,8	55,3	271,3
V 2.2	W 250 x 32,7	89,1	198,3	W 250 x 32,7	88,6	198,3
† V 2.3	W 460 x 97,0	86,8	581,2	W 460 x 89	88,7	537,4
• P 3.1	W 250 x 44,8	82,9	135,7	W 310 x 52	54,2	157,8
• P 3.2	W 310 x 52,0	89,8	157,8	W 360 x 64	65,4	192,4
• P 3.3	W 200 x 26,6	83,8	80,5	W 250 x 32,7	67,3	99,2
P 3.4	W 610 x 125,0	92,0	377,0	W 610 x 125	86,7	377,0
• V 3.1	W 200 x 31,3	78,6	189,8	W 310 x 44,5	53,8	269,4
V 3.2	W 250 x 32,7	86,8	198,3	W 250 x 32,7	86,9	198,3
† V 3.3	W 610 x 140,0	85,8	844,5	W 610 x 125	90,4	754,1
† P 4.1	W 250 x 44,8	84,8	135,7	W 310 x 44,5	64,6	134,7
P 4.2	W 310 x 52,0	79,3	157,8	W 310 x 52	79,4	157,8
• P 4.3	W 200 x 26,6	89,8	80,5	W 200 x 31,3	78,0	94,9
P 4.4	W 610 x 113,0	86,1	342,2	W 530 x 109,0	89,9	329,0
• V 4.1	W 200 x 31,3	79,1	189,8	W 250 x 38,5	62,3	233,6
V 4.2	W 250 x 32,7	88,5	198,3	W 250 x 32,7	88,1	198,3
† V 4.3	W 610 x 125,0	85,4	754,1	W 610 x 113	92,0	684,4
P 5.1	W 250 x 38,5	85,6	116,8	W 250 x 38,5	73,9	116,8
P 5.2	W 250 x 44,8	86,5	135,7	W 250 x 44,8	88,4	135,7
• P 5.3	W 200 x 26,6	91,1	80,5	W 200 x 31,3	78,6	94,9
P 5.4	W 460 x 106,0	90,9	318,2	W 460 x 106,0	93,0	318,2
• V 5.1	W 200 x 31,3	80,3	189,8	W 250 x 32,7	72,7	198,3
V 5.2	W 250 x 32,7	87,8	198,3	W 250 x 32,7	87,7	198,3
† V 5.3	W 530 x 109,0	87,5	658,0	W 460 x 106,0	92,3	636,3
P 6.1	W 250 x 32,7	94,7	99,2	W 250 x 32,7	85,24	99,2
P 6.2	W 250 x 38,5	84,6	116,8	W 250 x 38,5	85,4	116,8
P 6.3	W 200 x 26,6	87,1	80,5	W 200 x 26,6	89,05	80,5
P 6.4	W 460 x 89,0	90,4	268,7	W 460 x 89	86,13	268,7
† V 6.1	W 200 x 31,3	82,5	189,8	W 250 x 28,4	85,17	172,4
V 6.2	W 250 x 32,7	88,3	198,3	W 250 x 32,7	88,23	198,3

†	V 6.3	W 460 x 106,0	85,8	636,3	W 460 x 97,0	94,37	581,2		
	P 7.1	W 200 x 31,3	86,4	94,9	W 200 x 31,3	79,75	94,9		
†	P 7.2	W 250 x 32,7	84,0	99,2	W 200 x 31,3	94,24	94,9		
	P 7.3	W 200 x 26,6	78,2	80,5	W 200 x 26,6	80,26	80,5		
†	P 7.4	W 360 x 79,0	83,7	238,3	W 360 x 72	92,76	215,0		
	V 7.1	W 200 x 31,3	84,4	189,8	W 200 x 31,3	85,77	189,8		
	V 7.2	W 250 x 32,7	88,0	198,3	W 250 x 32,7	87,68	198,3		
•	V 7.3	W 460 x 82,0	91,6	493,1	W 410 x 85,0	93,98	511,5		
	P 8.1	W 200 x 26,6	87,0	80,5	W 200 x 26,6	91,74	80,5		
	P 8.2	W 200 x 26,6	81,9	80,5	W 200 x 26,6	81,7	80,5		
	P 8.3	W 200 x 26,6	62,1	80,5	W 200 x 26,6	63,35	80,5		
	P 8.4	W 360 x 64,0	81,9	192,4	W 360 x 64	80,82	192,4		
	V 8.1	W 200 x 31,3	84,9	189,8	W 200 x 31,3	87,67	189,8		
	V 8.2	W 250 x 32,7	88,2	198,3	W 250 x 32,7	88,53	198,3		
	V 8.3	W 360 x 72,0	89,2	430,0	W 360 x 72	92,37	430,0		
†	P 9.1	W 200 x 26,6	71,5	80,5	W 150 x 24,0	90,78	74,2		
	P 9.2	W 200 x 26,6	58,0	80,5	W 200 x 26,6	60,25	80,5		
	P 9.3	W 150 x 24,0	80,6	74,2	W 150 x 24,0	84,12	74,2		
†	P 9.4	W 310 x 52,0	85,6	157,8	W 310 x 44,5	94,46	134,7		
	V 9.1	W 200 x 31,3	79,7	189,8	W 200 x 31,3	82,22	189,8		
	V 9.2	W 250 x 32,7	87,2	198,3	W 250 x 32,7	87,14	198,3		
†	V 9.3	W 360 x 57,8	86,8	341,5	W 310 x 52	93,62	315,6		
†	P 10.1	W 200 x 31,3	79,5	94,9	W 200 x 26,6	80,6	80,5		
	P 10.2	W 150 x 18,0	76,8	55,1	W 150 x 18	81,45	55,1		
	P 10.3	W 150 x 18,0	68,4	55,1	W 150 x 18	71,63	55,1		
	P 10.4	W 310 x 44,5	88,3	134,7	W 310 x 44,5	88,83	134,7		
†	V 10.1	W 200 x 31,3	85,2	189,8	W 250 x 28,4	85,98	172,4		
	V 10.2	W 250 x 32,7	89,6	198,3	W 250 x 32,7	89,51	198,3		
	V 10.3	W 250 x 44,8	85,0	271,3	W 250 x 44,8	85,29	271,3		
Peso total				15858,1	Peso total				15810,1

• Representa os elementos em que o Cype 3D apresentou perfis com peso maior

† Representa os elementos em que o Mastan2 apresentou perfis com peso maior

Diferença entre o peso total da análise do Mastan2 e a do Cype 3D é de 0,3 %

η: Coeficiente de aproveitamento (%)

APÊNDICE G – Dimensionamento de 2º ordem no Mastan2 com perfis otimizados

Notação:

N (kN): Solicitação à tração se positivo ou solicitação a compressão se negativo

Mx (kN.cm): Solicitação à flexão eixo X

Vy (kN): Solicitação ao esforço cortante Y

L (cm): comprimento total do perfil

Lx (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x

Ly (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo y

Lz (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo z

Lb (cm): distância entre duas seções contidas à flambagem lateral com torção

Kx: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo x

Ky: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo y

Kz: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo z

Cb: fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme

Barra	Perfil	N	Mx	Vy	L	Lx	Ly	Lz	Lb	Kx	Ky	Kz	Cb
P 1.1	W 360 x 64,0	-887,63	12065,0	5,9	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 1.2	W 610 x 155,0	-1433,5	96619,0	191,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 1.3	W 310 x 52,0	-472,32	9994,5	23,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 1.4	W 610 x 174,0	-1847,9	114920,0	214,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 1.1	W 200 x 31,3	-10,755	8530,5	91,6	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 1.2	W 250 x 32,7	63,658	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 1.3	W 310 x 52,0	79,034	21381,0	113,0	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 2.1	W 310 x 44,5	-796,24	4473,1	9,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 2.2	W 530 x 101,0	-1292,3	39193,0	126,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 2.3	W 250 x 32,7	-353,18	3013,0	10,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 2.4	W 610 x 155,0	-1732,1	72043,0	306,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 2.1	W 200 x 31,3	-28,289	8366,3	89,1	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 2.2	W 250 x 32,7	89,187	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 2.3	W 460 x 106,0	97,99	66180,0	187,7	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 3.1	W 250 x 38,5	-707,29	2544,8	16,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 3.2	W 310 x 52,0	-1150,9	1675,4	9,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 3.3	W 200 x 26,6	-308,8	291,9	1,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 3.4	W 610 x 140,0	-1542,4	74723,0	403,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 3.1	W 200 x 31,3	-27,052	8319,5	89,3	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 3.2	W 250 x 32,7	-14,874	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 3.3	W 610 x 155,0	-12,095	129660,0	293,5	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 4.1	W 250 x 44,8	-618,15	4808,6	29,6	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 4.2	W 310 x 52,0	-1008,2	1675,4	6,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 4.3	W 200 x 26,6	-370,13	291,9	1,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 4.4	W 610 x 125,0	-1249,6	60694,0	385,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 4.1	W 200 x 31,3	-46,182	8193,0	89,8	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00

V 4.2	W 250 x 32,7	-54,376	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 4.3	W 610 x 140,0	-55,032	110920,0	262,3	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 5.1	W 250 x 38,5	-528,29	4054,8	24,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 5.2	W 250 x 44,8	-865,67	360,4	0,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 5.3	W 200 x 26,6	-400,21	131,7	0,1	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 5.4	W 530 x 109,0	-988,04	50229,0	327,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 5.1	W 200 x 31,3	-42,872	8296,2	89,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 5.2	W 250 x 32,7	-43,947	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 5.3	W 610 x 113,0	-43,332	92818,0	232,1	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 6.1	W 250 x 32,7	-438,94	4137,9	24,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 6.2	W 250 x 38,5	-722,81	504,3	0,5	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 6.3	W 200 x 26,6	-400,13	220,6	0,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 6.4	W 460 x 106,0	-756,33	44964,0	281,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 6.1	W 200 x 31,3	-47,277	8487,5	88,6	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 6.2	W 250 x 32,7	-48,846	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 6.3	W 530 x 101,0	-48,349	75309,0	202,9	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 7.1	W 200 x 31,3	-350,31	3594,9	20,6	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 7.2	W 250 x 32,7	-579,18	548,9	0,1	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 7.3	W 200 x 26,6	-370,88	397,4	0,6	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 7.4	W 410 x 85,0	-553,83	35988,0	230,4	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 7.1	W 200 x 31,3	-47,04	8797,3	87,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 7.2	W 250 x 32,7	-51,549	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 7.3	W 460 x 97,0	-54,1	61161,0	179,3	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 8.1	W 200 x 26,6	-262,88	2734,6	17,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 8.2	W 200 x 26,6	-434,29	548,9	2,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 8.3	W 200 x 26,6	-317,98	397,4	1,7	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 8.4	W 360 x 72,0	-375,14	28056,0	173,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 8.1	W 200 x 31,3	-45,92	8906,8	87,0	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 8.2	W 250 x 32,7	-46,524	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 8.3	W 360 x 79,0	-47,357	40405,0	144,7	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 9.1	W 200 x 26,6	-175,85	3029,6	16,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 9.2	W 200 x 26,6	-289,05	343,7	0,2	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 9.3	W 150 x 24,0	-230,53	300,6	0,6	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 9.4	W 360 x 57,8	-231,53	20662,0	123,3	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 9.1	W 200 x 31,3	-28,494	8506,7	88,5	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 9.2	W 250 x 32,7	-30,265	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 9.3	W 360 x 64,0	-31,062	30904,0	128,9	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
P 10.1	W 200 x 26,6	-87,517	5784,3	34,8	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 10.2	W 150 x 18,0	-145,33	343,7	1,1	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 10.3	W 150 x 18,0	-127,23	300,6	1,0	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
P 10.4	W 310 x 52,0	-103,61	16564,0	89,4	300	300	300	300	300	1	1	1	1,00
V 10.1	W 200 x 31,3	-81,611	8898,1	87,0	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 10.2	W 250 x 32,7	-84,876	11610,0	77,4	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00
V 10.3	W 250 x 44,8	-87,772	16564,0	105,0	600	0	0	0	0	1	1	1	1,00

Notação:

λ_x : Limitação do índice de esbeltez em relação ao eixo x

λ_y : Limitação do índice de esbeltez em relação ao eixo y

η N (Tração): Resistência à tração

η N (Comp.): Resistência à compressão

η Mx: Resistência à flexão eixo X

η Vy: Resistência ao esforço cortante Y

η N. Mx. My: Resistência ao esforço axial e flexão combinados

η : Coeficiente de aproveitamento (%)

Barra	λ_x	λ_y	η N (Tração)	η N (Comp.)	η Mx	η Vy	η N. Mx. My	%	Resultado
P 1.1	10%	31%	0%	46%	37%	1%	79%	79%	APROVADO
P 1.2	6%	20%	0%	27%	65%	13%	85%	85%	APROVADO
P 1.3	11%	38%	0%	35%	44%	5%	74%	74%	APROVADO
P 1.4	6%	20%	0%	30%	68%	13%	91%	91%	APROVADO
V 1.1	0%	0%	0%	1%	80%	36%	81%	81%	APROVADO
V 1.2	0%	0%	5%	0%	86%	26%	89%	89%	APROVADO
V 1.3	0%	0%	4%	0%	81%	25%	83%	83%	APROVADO
P 2.1	11%	39%	0%	70%	24%	2%	91%	91%	APROVADO
P 2.2	7%	33%	0%	45%	53%	12%	92%	92%	APROVADO
P 2.3	14%	45%	0%	48%	28%	3%	73%	73%	APROVADO
P 2.4	6%	20%	0%	33%	48%	21%	76%	76%	APROVADO
V 2.1	0%	0%	0%	2%	79%	35%	80%	80%	APROVADO
V 2.2	0%	0%	7%	0%	86%	26%	90%	90%	APROVADO
V 2.3	0%	0%	2%	0%	88%	17%	89%	89%	APROVADO
P 3.1	14%	43%	0%	79%	19%	5%	96%	96%	APROVADO
P 3.2	11%	38%	0%	84%	7%	2%	91%	91%	APROVADO
P 3.3	17%	48%	0%	57%	4%	0%	61%	61%	APROVADO
P 3.4	6%	30%	0%	37%	62%	27%	92%	92%	APROVADO
V 3.1	0%	0%	0%	2%	78%	35%	79%	79%	APROVADO
V 3.2	0%	0%	0%	1%	86%	26%	87%	87%	APROVADO
V 3.3	0%	0%	0%	0%	87%	20%	87%	87%	APROVADO
P 4.1	13%	43%	0%	59%	30%	8%	86%	86%	APROVADO
P 4.2	11%	38%	0%	74%	7%	1%	80%	80%	APROVADO
P 4.3	17%	48%	0%	68%	4%	1%	72%	72%	APROVADO
P 4.4	6%	30%	0%	34%	57%	28%	85%	85%	APROVADO
V 4.1	0%	0%	0%	4%	77%	35%	79%	79%	APROVADO
V 4.2	0%	0%	0%	4%	86%	26%	88%	88%	APROVADO
V 4.3	0%	0%	0%	1%	85%	17%	85%	85%	APROVADO
P 5.1	14%	43%	0%	59%	31%	8%	86%	86%	APROVADO
P 5.2	13%	43%	0%	82%	2%	0%	84%	84%	APROVADO
P 5.3	17%	48%	0%	74%	2%	0%	76%	76%	APROVADO
P 5.4	7%	33%	0%	32%	63%	28%	87%	87%	APROVADO
V 5.1	0%	0%	0%	3%	78%	35%	80%	80%	APROVADO

V 5.2	0%	0%	0%	3%	86%	26%	88%	88%	APROVADO
V 5.3	0%	0%	0%	1%	89%	18%	90%	90%	APROVADO
P 6.1	14%	45%	0%	60%	39%	8%	95%	95%	APROVADO
P 6.2	14%	43%	0%	81%	4%	0%	84%	84%	APROVADO
P 6.3	17%	48%	0%	74%	3%	0%	77%	77%	APROVADO
P 6.4	8%	35%	0%	25%	67%	25%	85%	85%	APROVADO
V 6.1	0%	0%	0%	4%	80%	35%	82%	82%	APROVADO
V 6.2	0%	0%	0%	4%	86%	26%	88%	88%	APROVADO
V 6.3	0%	0%	0%	1%	91%	18%	92%	92%	APROVADO
P 7.1	17%	47%	0%	53%	42%	8%	90%	90%	APROVADO
P 7.2	14%	45%	0%	79%	5%	0%	84%	84%	APROVADO
P 7.3	17%	48%	0%	68%	6%	0%	74%	74%	APROVADO
P 7.4	9%	37%	0%	24%	76%	27%	92%	92%	APROVADO
V 7.1	0%	0%	0%	4%	83%	35%	85%	85%	APROVADO
V 7.2	0%	0%	0%	4%	86%	26%	88%	88%	APROVADO
V 7.3	0%	0%	0%	1%	89%	18%	90%	90%	APROVADO
P 8.1	17%	48%	0%	48%	40%	8%	84%	84%	APROVADO
P 8.2	17%	48%	0%	80%	8%	1%	87%	87%	APROVADO
P 8.3	17%	48%	0%	59%	6%	1%	64%	64%	APROVADO
P 8.4	10%	31%	0%	17%	76%	31%	84%	84%	APROVADO
V 8.1	0%	0%	0%	4%	84%	34%	86%	86%	APROVADO
V 8.2	0%	0%	0%	4%	86%	26%	88%	88%	APROVADO
V 8.3	0%	0%	0%	1%	90%	23%	90%	90%	APROVADO
P 9.1	17%	48%	0%	32%	44%	7%	72%	72%	APROVADO
P 9.2	17%	48%	0%	53%	5%	0%	58%	58%	APROVADO
P 9.3	23%	62%	0%	72%	6%	0%	78%	78%	APROVADO
P 9.4	10%	38%	0%	16%	77%	23%	85%	85%	APROVADO
V 9.1	0%	0%	0%	2%	80%	35%	81%	81%	APROVADO
V 9.2	0%	0%	0%	2%	86%	26%	88%	88%	APROVADO
V 9.3	0%	0%	0%	1%	86%	26%	87%	87%	APROVADO
P 10.1	17%	48%	0%	16%	84%	15%	92%	92%	APROVADO
P 10.2	24%	65%	0%	66%	11%	1%	76%	76%	APROVADO
P 10.3	24%	65%	0%	58%	10%	1%	67%	67%	APROVADO
P 10.4	11%	38%	0%	8%	73%	20%	77%	77%	APROVADO
V 10.1	0%	0%	0%	6%	84%	34%	87%	87%	APROVADO
V 10.2	0%	0%	0%	6%	86%	26%	90%	90%	APROVADO
V 10.3	0%	0%	0%	5%	87%	28%	90%	90%	APROVADO

APÊNDICE H – Dimensionamento de 2º ordem no Cype 3D com perfis otimizados



Relatórios

Pórtico de 10 pavimentos - Efeitos de 2º ordem - Perfis otimizados

2.3.2.5.- Verificações E.L.U. (Resumido)

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
P 1.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 45.0$	x: 0 m $\eta = 37.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 78.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 78.2$
P 1.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 28.3$	x: 0 m $\eta = 67.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 14.9$	x: 0 m $\eta = 88.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.6$
P 1.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 26.9$	x: 0 m $\eta = 44.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 5.3$	x: 0 m $\eta = 66.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 66.5$
P 1.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 30.2$	x: 0 m $\eta = 70.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 14.4$	x: 0 m $\eta = 92.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 92.9$
V 1.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 3.1$	x: 0 m $\eta = 78.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 36.1$	x: 0 m $\eta = 79.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 79.6$
V 1.2	N.A. ⁽⁸⁾	$\eta = 4.7$	N.A. ⁽⁹⁾	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.7$
V 1.3	N.A. ⁽⁸⁾	$\eta = 3.3$	N.A. ⁽⁹⁾	x: 6 m $\eta = 82.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 24.2$	x: 6 m $\eta = 84.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 84.3$
P 2.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 52.3$	x: 0 m $\eta = 14.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.5$	x: 0 m $\eta = 65.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 65.1$
P 2.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 44.8$	x: 0 m $\eta = 53.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 10.4$	x: 0 m $\eta = 92.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 92.5$
P 2.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 28.8$	x: 0 m $\eta = 29.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 4.6$	x: 0 m $\eta = 55.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 55.1$
P 2.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 41.1$	x: 0 m $\eta = 59.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 19.8$	x: 0 m $\eta = 94.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 94.3$
V 2.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.8$	x: 3 m $\eta = 56.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 21.2$	x: 3 m $\eta = 57.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 57.6$
V 2.2	N.A. ⁽⁸⁾	$\eta = 4.3$	N.A. ⁽⁹⁾	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.6$
V 2.3	N.A. ⁽⁸⁾	$\eta = 2.0$	N.A. ⁽⁹⁾	x: 6 m $\eta = 92.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 18.4$	x: 6 m $\eta = 93.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 93.8$
P 3.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 49.9$	x: 3 m $\eta = 9.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 2.5$	x: 3 m $\eta = 58.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 58.3$
P 3.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 62.8$	x: 3 m $\eta = 4.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 1.6$	x: 3 m $\eta = 66.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 66.6$
P 3.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 46.9$	x: 3 m $\eta = 3.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.9$	x: 3 m $\eta = 50.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 50.3$
P 3.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 42.2$	x: 3 m $\eta = 63.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 27.5$	x: 3 m $\eta = 99.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 99.0$
V 3.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.4$	x: 3 m $\eta = 54.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 20.5$	x: 3 m $\eta = 55.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 55.6$
V 3.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.8$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 86.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 86.8$
V 3.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 0.1$	x: 6 m $\eta = 93.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 18.5$	x: 6 m $\eta = 93.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 93.8$
P 4.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 53.4$	x: 3 m $\eta = 9.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 2.3$	x: 3 m $\eta = 62.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 62.1$
P 4.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 75.7$	x: 0 m $\eta = 6.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 1.4$	x: 0 m $\eta = 81.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 81.2$
P 4.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 59.0$	x: 0 m $\eta = 4.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.8$	x: 0 m $\eta = 63.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 63.3$
P 4.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 38.9$	x: 3 m $\eta = 60.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 29.0$	x: 3 m $\eta = 92.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 92.3$
V 4.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.8$	x: 3.375 m $\eta = 61.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 25.5$	x: 3.375 m $\eta = 62.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 62.7$
V 4.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 3.8$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.3$
V 4.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.1$	x: 6 m $\eta = 93.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 18.8$	x: 6 m $\eta = 94.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 94.1$
P 5.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 57.7$	x: 3 m $\eta = 18.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 4.1$	x: 3 m $\eta = 74.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 74.1$



Relatórios

Pórtico de 10 pavimentos - Efeitos de 2º ordem - Perfis otimizados

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
P 5.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 83.1$	x: 0 m $\eta = 3.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 85.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 85.8$
P 5.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 63.0$	x: 0 m $\eta = 2.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 65.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 65.2$
P 5.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 31.7$	x: 0 m $\eta = 64.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 27.2$	x: 0 m $\eta = 89.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 89.4$
V 5.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 3.6$	x: 3.375 m $\eta = 70.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 28.6$	x: 3.375 m $\eta = 72.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 72.6$
V 5.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 3.7$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.2$
V 5.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.2$	x: 6 m $\eta = 94.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 18.5$	x: 6 m $\eta = 94.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 94.7$
P 6.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 59.4$	x: 3 m $\eta = 26.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 5.3$	x: 3 m $\eta = 83.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 83.0$
P 6.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 81.3$	x: 0 m $\eta = 3.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 84.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 84.1$
P 6.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 74.1$	x: 0 m $\eta = 2.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 76.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 76.4$
P 6.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 28.3$	x: 3 m $\eta = 68.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 27.2$	x: 3 m $\eta = 89.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 89.3$
V 6.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 4.2$	x: 3.375 m $\eta = 81.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 27.5$	x: 3.375 m $\eta = 83.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 83.8$
V 6.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 3.4$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.1$
V 6.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.1$	x: 6 m $\eta = 94.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 18.8$	x: 6 m $\eta = 94.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 94.6$
P 7.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 52.3$	x: 3 m $\eta = 39.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 7.6$	x: 3 m $\eta = 87.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 87.8$
P 7.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 88.0$	x: 3 m $\eta = 6.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.7$	x: 3 m $\eta = 94.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 94.0$
P 7.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 69.5$	x: 3 m $\eta = 7.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.7$	x: 3 m $\eta = 76.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 76.1$
P 7.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 24.1$	x: 0 m $\eta = 76.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 26.9$	x: 0 m $\eta = 92.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 92.1$
V 7.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 4.0$	x: 3.375 m $\eta = 83.6$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 34.4$	x: 3.375 m $\eta = 85.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 85.6$
V 7.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 4.3$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.5$
V 7.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.7$	x: 6 m $\eta = 94.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 19.3$	x: 6 m $\eta = 94.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 94.9$
P 8.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 47.8$	x: 3 m $\eta = 46.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 8.2$	x: 3 m $\eta = 88.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.7$
P 8.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 80.7$	x: 0 m $\eta = 8.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 1.2$	x: 0 m $\eta = 88.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.2$
P 8.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 59.3$	x: 0 m $\eta = 7.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 65.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 65.8$
P 8.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 19.9$	x: 0 m $\eta = 81.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 34.1$	x: 0 m $\eta = 91.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 91.7$
V 8.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 4.6$	x: 3.375 m $\eta = 86.2$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 34.0$	x: 3.375 m $\eta = 88.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.6$
V 8.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 4.4$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 88.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 88.6$
V 8.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.7$	x: 6 m $\eta = 89.7$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 23.1$	x: 6 m $\eta = 90.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 90.6$
P 9.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 54.1$	x: 0 m $\eta = 42.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 5.8$	x: 0 m $\eta = 91.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 91.5$
P 9.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 53.7$	x: 3 m $\eta = 6.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.3$	x: 3 m $\eta = 59.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 59.4$
P 9.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 73.1$	x: 3 m $\eta = 7.9$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.5$	x: 3 m $\eta = 80.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 80.1$



Relatórios

Pórtico de 10 pavimentos - Efeitos de 2º ordem - Perfis otimizados

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
P 9.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 17.0$	x: 3 m $\eta = 84.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 25.6$	x: 3 m $\eta = 92.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 92.6$
V 9.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.6$	x: 3.375 m $\eta = 82.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 34.7$	x: 3.375 m $\eta = 83.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 83.4$
V 9.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 2.4$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 87.6$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 87.6$
V 9.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 1.3$	x: 6 m $\eta = 91.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 23.7$	x: 6 m $\eta = 92.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 92.2$
P 10.1	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 15.7$	x: 3 m $\eta = 69.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 14.0$	x: 3 m $\eta = 77.0$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 77.0$
P 10.2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 66.7$	x: 0 m $\eta = 14.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 79.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 79.3$
P 10.3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 58.0$	x: 0 m $\eta = 12.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 0.8$	x: 0 m $\eta = 69.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 69.1$
P 10.4	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 9.3$	x: 3 m $\eta = 86.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 22.6$	x: 3 m $\eta = 91.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 91.2$
V 10.1	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 7.5$	x: 3.375 m $\eta = 83.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 27.2$	x: 3.375 m $\eta = 87.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 87.2$
V 10.2	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 6.7$	x: 3 m $\eta = 86.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 26.1$	x: 3 m $\eta = 89.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 89.7$
V 10.3	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 4.9$	x: 6 m $\eta = 85.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 6 m $\eta = 27.5$	x: 6 m $\eta = 87.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 87.7$
<p>Notação:</p> <p>λ: Limitação do índice de esbeltez N_t: Resistência à tração N_c: Resistência à compressão M_x: Resistência à flexão eixo X M_y: Resistência à flexão eixo Y V_x: Resistência ao esforço cortante X V_y: Resistência ao esforço cortante Y NM_xM_y: Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante $\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):</p> <p>⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. ⁽³⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante. ⁽⁴⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽⁵⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁶⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁷⁾ A verificação não procede, já que os comprimentos de flambagem por flexão são nulos. ⁽⁸⁾ A verificação não procede, já que não há força axial de compressão. ⁽⁹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.</p>												

APÊNDICE I – Comparativo entre o dimensionamento de 2º ordem com perfis otimizados

Barra	Mastan2			Cype 3D		
	Perfil	η (%)	Peso (Kg)	Perfil	η (%)	Peso (Kg)
P 1.1	W 360 x 64,0	79,111	192,4	W 360 x 64	78,2	192,4
P 1.2	W 610 x 155,0	84,722	466,5	W 610 x 155	88,7	466,5
• P 1.3	W 310 x 52,0	73,928	157,8	W 360 x 64	66,5	192,4
P 1.4	W 610 x 174,0	90,795	524,7	W 610 x 174	92,9	524,7
V 1.1	W 200 x 31,3	80,752	189,8	W 200 x 31,3	79,6	189,8
V 1.2	W 250 x 32,7	88,799	198,3	W 250 x 32,7	88,7	198,3
† V 1.3	W 310 x 52,0	82,796	315,6	W 360 x 51	84,4	305,2
• P 2.1	W 310 x 44,5	91,388	134,7	W 360 x 57,8	65,1	170,7
• P 2.2	W 530 x 101,0	92,414	306,2	W 460 x 106,0	92,5	318,2
• P 2.3	W 250 x 32,7	73,412	99,2	W 310 x 52	55,1	157,8
† P 2.4	W 610 x 155,0	75,692	466,5	W 610 x 140,0	94,3	422,3
• V 2.1	W 200 x 31,3	79,900	189,8	W 250 x 44,8	57,6	271,3
V 2.2	W 250 x 32,7	89,766	198,3	W 250 x 32,7	88,6	198,3
† V 2.3	W 460 x 106,0	89,275	636,3	W 460 x 97,0	93,8	581,2
• P 3.1	W 250 x 38,5	95,859	116,8	W 310 x 52	58,3	157,8
• P 3.2	W 310 x 52,0	90,807	157,8	W 360 x 64	66,6	192,4
• P 3.3	W 200 x 26,6	60,737	80,5	W 250 x 32,7	50,3	99,2
† P 3.4	W 610 x 140,0	91,789	422,3	W 610 x 125	99,0	377,0
V 3.1	W 200 x 31,3	79,410	189,8	W 310 x 44,5	55,6	269,4
V 3.2	W 250 x 32,7	86,953	198,3	W 250 x 32,7	86,8	198,3
† V 3.3	W 610 x 155,0	87,152	933,1	W 610 x 140,0	93,8	844,5
† P 4.1	W 250 x 44,8	85,555	135,7	W 310 x 44,5	62,1	134,7
P 4.2	W 310 x 52,0	80,366	157,8	W 310 x 52	81,2	157,8
• P 4.3	W 200 x 26,6	72,050	80,5	W 200 x 31,3	63,3	94,9
† P 4.4	W 610 x 125,0	85,094	377,0	W 610 x 113	92,3	342,2
• V 4.1	W 200 x 31,3	78,976	189,8	W 250 x 38,5	62,7	233,6
V 4.2	W 250 x 32,7	88,453	198,3	W 250 x 32,7	88,3	198,3
† V 4.3	W 610 x 140,0	85,257	844,5	W 610 x 125	94,1	754,1
P 5.1	W 250 x 38,5	86,050	116,8	W 250 x 38,5	74,1	116,8
P 5.2	W 250 x 44,8	84,137	135,7	W 250 x 44,8	85,8	135,7
• P 5.3	W 200 x 26,6	75,523	80,5	W 200 x 31,3	65,2	94,9
P 5.4	W 530 x 109,0	87,310	329,0	W 530 x 109,0	89,4	329,0
• V 5.1	W 200 x 31,3	79,816	189,8	W 250 x 32,7	72,6	198,3
V 5.2	W 250 x 32,7	88,057	198,3	W 250 x 32,7	88,2	198,3
† V 5.3	W 610 x 113,0	89,850	684,4	W 530 x 109,0	94,7	658,0
P 6.1	W 250 x 32,7	94,539	99,2	W 250 x 32,7	83,0	99,2
P 6.2	W 250 x 38,5	83,898	116,8	W 250 x 38,5	84,1	116,8
P 6.3	W 200 x 26,6	76,660	80,5	W 200 x 26,6	76,4	80,5
† P 6.4	W 460 x 106,0	85,180	318,2	W 460 x 97,0	89,3	290,6
† V 6.1	W 200 x 31,3	81,792	189,8	W 250 x 28,4	83,8	172,4
V 6.2	W 250 x 32,7	88,243	198,3	W 250 x 32,7	88,1	198,3

	V 6.3	W 530 x 101,0	91,564	612,3	W 530 x 101,0	94,7	612,3
	P 7.1	W 200 x 31,3	90,249	94,9	W 200 x 31,3	87,8	94,9
+	P 7.2	W 250 x 32,7	83,518	99,2	W 200 x 31,3	94,0	94,9
	P 7.3	W 200 x 26,6	73,554	80,5	W 200 x 26,6	76,1	80,5
	P 7.4	W 410 x 85,0	91,632	255,8	W 410 x 85,0	92,1	255,8
	V 7.1	W 200 x 31,3	84,700	189,8	W 200 x 31,3	85,6	189,8
	V 7.2	W 250 x 32,7	88,346	198,3	W 250 x 32,7	88,5	198,3
+	V 7.3	W 460 x 97,0	89,849	581,2	W 460 x 89	94,9	537,4
	P 8.1	W 200 x 26,6	83,896	80,5	W 200 x 26,6	88,7	80,5
	P 8.2	W 200 x 26,6	87,212	80,5	W 200 x 26,6	88,2	80,5
	P 8.3	W 200 x 26,6	63,796	80,5	W 200 x 26,6	65,8	80,5
+	P 8.4	W 360 x 72,0	84,344	215,0	W 360 x 64	91,7	192,4
	V 8.1	W 200 x 31,3	85,687	189,8	W 200 x 31,3	88,6	189,8
	V 8.2	W 250 x 32,7	88,155	198,3	W 250 x 32,7	88,6	198,3
	V 8.3	W 360 x 79,0	90,396	476,7	W 360 x 79	90,6	476,7
+	P 9.1	W 200 x 26,6	71,663	80,5	W 150 x 24,0	91,5	74,2
	P 9.2	W 200 x 26,6	57,765	80,5	W 200 x 26,6	59,4	80,5
	P 9.3	W 150 x 24,0	77,593	74,2	W 150 x 24,0	80,1	74,2
+	P 9.4	W 360 x 57,8	84,578	170,7	W 310 x 52	92,6	157,8
	V 9.1	W 200 x 31,3	81,230	189,8	W 200 x 31,3	83,4	189,8
	V 9.2	W 250 x 32,7	87,538	198,3	W 250 x 32,7	87,6	198,3
+	V 9.3	W 360 x 64,0	86,631	384,8	W 360 x 57,8	92,2	341,5
	P 10.1	W 200 x 26,6	92,330	80,5	W 200 x 26,6	77,0	80,5
	P 10.2	W 150 x 18,0	75,990	55,1	W 150 x 18	79,3	55,1
	P 10.3	W 150 x 18,0	66,519	55,1	W 150 x 18	69,1	55,1
+	P 10.4	W 310 x 52,0	77,194	157,8	W 310 x 44,5	91,2	134,7
+	V 10.1	W 200 x 31,3	87,017	189,8	W 250 x 28,4	87,2	172,4
	V 10.2	W 250 x 32,7	89,612	198,3	W 250 x 32,7	89,8	198,3
	V 10.3	W 250 x 44,8	89,536	271,3	W 250 x 44,8	87,7	271,3
			Peso total	16515,6		Peso total	16378,34

• Representa os elementos em que o Cype 3D apresentou perfis com peso maior

† Representa os elementos em que o Mastan2 apresentou perfis com peso maior

Diferença entre o peso total da análise do Mastan2 e a do Cype 3D é de 0,8 %

η : Coeficiente de aproveitamento (%)

APÊNDICE J – Dimensionamento do pórtico de vigas inclinadas no Mastan2

Dimensionamento a partir da análise de 1º ordem

Perfil	N	Mx	Vy	L	Lx	Ly	Lz	Lb	Kx	Ky	Kz	Cb
W 610 x 113,0	-241,2	91170,0	318,4	500	250	250	250	250	1	1	1	1,00
W 610 x 113,0	-241,4	91360,0	319,9	500	250	250	250	250	1	1	1	1,00
W 610 x 125,0	-318	91170,0	206,6	1508	301,64	301,64	301,64	301,64	1	1	1	1,00
W 610 x 125,0	-318	91360,0	206,8	1508	301,64	301,64	301,64	301,64	1	1	1	1,00

Barra	λ_x	λ_y	η N (Tração)	η N (Comp.)	η Mx	η Vy	η N. Mx. My	%	Resultado
P 1.1	5%	26%	0%	7%	92%	25%	95%	95%	APROVADO
P 1.2	5%	26%	0%	7%	92%	25%	95%	95%	APROVADO
V 1.1	6%	30%	0%	9%	86%	15%	90%	90%	APROVADO
V 1.2	6%	30%	0%	9%	86%	15%	91%	91%	APROVADO

Dimensionamento a partir da análise de 2º ordem

Perfil	N	Mx	Vy	L	Lx	Ly	Lz	Lb	Kx	Ky	Kz	Cb
W 610 x 113,0	-241,2	93490,0	324,6	500	250	250	250	250	1	1	1	1,00
W 610 x 113,0	-241,3	93680,0	326,0	500	250	250	250	250	1	1	1	1,00
W 610 x 125,0	-346,2	93490,0	209,7	1500	301,64	301,64	301,64	301,64	1	1	1	1,00
W 610 x 125,0	-346,3	93680,0	209,8	1500	301,64	301,64	301,64	301,64	1	1	1	1,00

Barra	λ_x	λ_y	η N (Tração)	η N (Comp.)	η Mx	η Vy	η N.Mx.My	%	Resultado
P 1.1	5%	26%	0%	7%	94%	25%	98%	98%	APROVADO
P 1.2	5%	26%	0%	7%	94%	25%	98%	98%	APROVADO
V 1.1	6%	30%	0%	10%	88%	15%	93%	93%	APROVADO
V 1.2	6%	30%	0%	10%	88%	15%	93%	93%	APROVADO

Notação:

N (kN): Solicitação à tração se positivo ou solicitação a compressão se negativo

Mx (kN.cm): Solicitação à flexão eixo X

Vy (kN): Solicitação ao esforço cortante Y

L (cm): comprimento total do perfil

Lx (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x

Ly (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo y

Lz (cm): comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo z

Lb (cm): distância entre duas seções contidas à flambagem lateral com torção

Kx: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo x

Ky: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo y

Kz: coeficiente de flambagem por flexão em relação ao eixo z

Cb: fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme

λ_x : Limitação do índice de esbeltez em relação ao eixo x

λ_y : Limitação do índice de esbeltez em relação ao eixo y

η N (Tração): Resistência à tração

η N (Comp.): Resistência à compressão

η Mx: Resistência à flexão eixo X

η Vy: Resistência ao esforço cortante Y

η N. Mx. My: Resistência ao esforço axial e flexão combinados

η : Coeficiente de aproveitamento (%)

APÊNDICE K – Dimensionamento do pórtico de vigas inclinadas no Cype 3D



Dimensionamento a partir da análise de 1º ordem

Verificações E.L.U. (Resumido)

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM, M_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
N1/N2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 7.0$	x: 5 m $\eta = 91.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 24.8$	x: 5 m $\eta = 95.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 95.3$
N4/N3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 7.1$	x: 5 m $\eta = 92.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 25.0$	x: 5 m $\eta = 95.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 95.5$
N2/N5	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 9.6$	x: 0 m $\eta = 86.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 15.1$	x: 0 m $\eta = 90.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 90.9$
N3/N5	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 9.6$	x: 0 m $\eta = 86.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 15.1$	x: 0 m $\eta = 91.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 91.1$

Dimensionamento a partir da análise de 2º ordem

Verificações E.L.U. (Resumido)

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM, M_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
N1/N2	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 7.0$	x: 5 m $\eta = 91.8$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 24.8$	x: 5 m $\eta = 95.3$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 95.3$
N4/N3	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 7.1$	x: 5 m $\eta = 92.0$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	$\eta = 25.0$	x: 5 m $\eta = 95.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 95.5$
N2/N5	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 9.6$	x: 0 m $\eta = 86.1$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 15.1$	x: 0 m $\eta = 90.9$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 90.9$
N3/N5	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.A. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 9.6$	x: 0 m $\eta = 86.3$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 15.1$	x: 0 m $\eta = 91.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 91.1$

Notação:

- λ : Limitação do índice de esbeltez
- N_t : Resistência à tração
- N_c : Resistência à compressão
- M_x : Resistência à flexão eixo X
- M_y : Resistência à flexão eixo Y
- V_x : Resistência ao esforço cortante X
- V_y : Resistência ao esforço cortante Y
- NM, M_y : Resistência ao esforço axial e flexão combinados
- T: Resistência à torção
- NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante
- $\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção
- x: Distância à origem da barra
- η : Coeficiente de aproveitamento (%)
- N.A.: Não aplicável

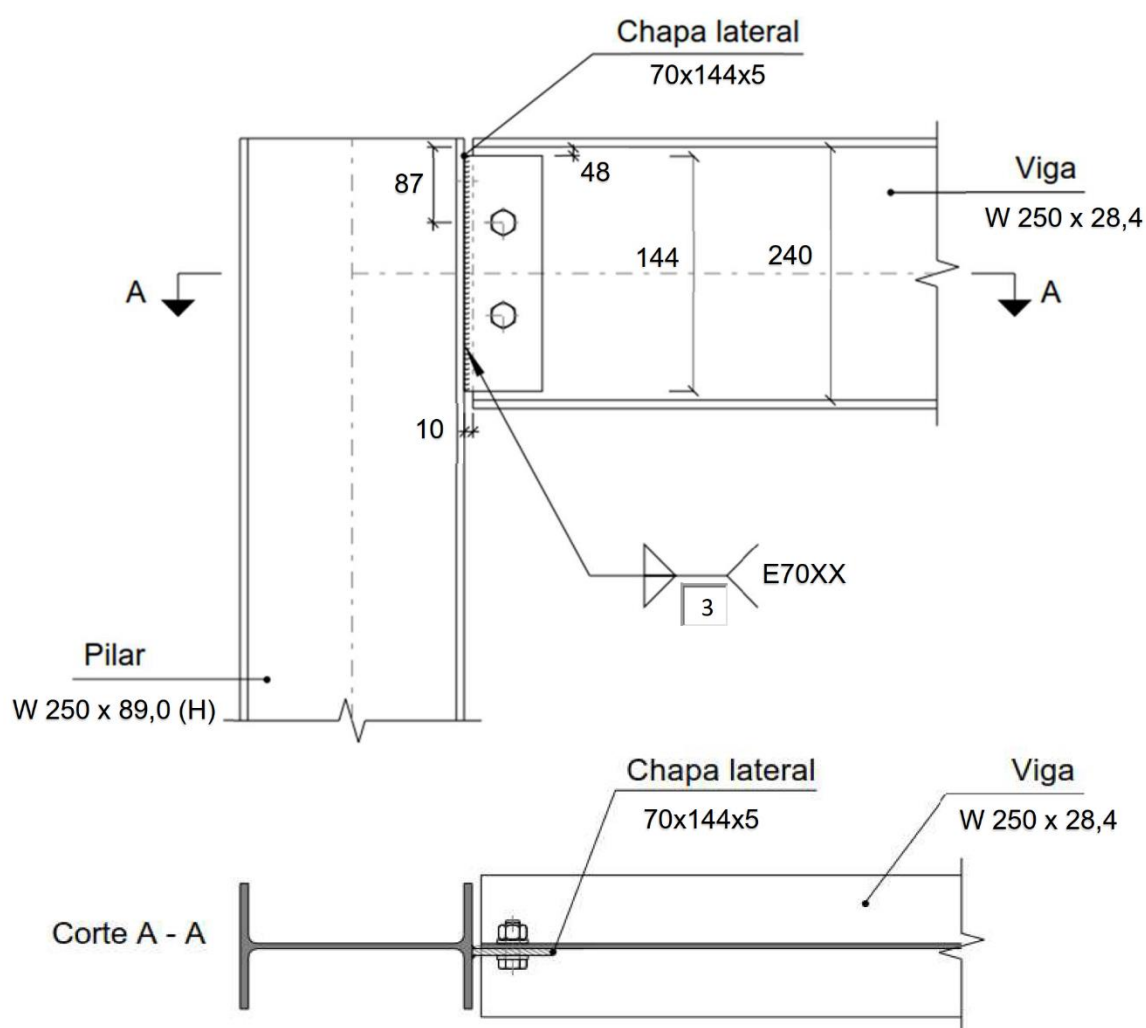
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):

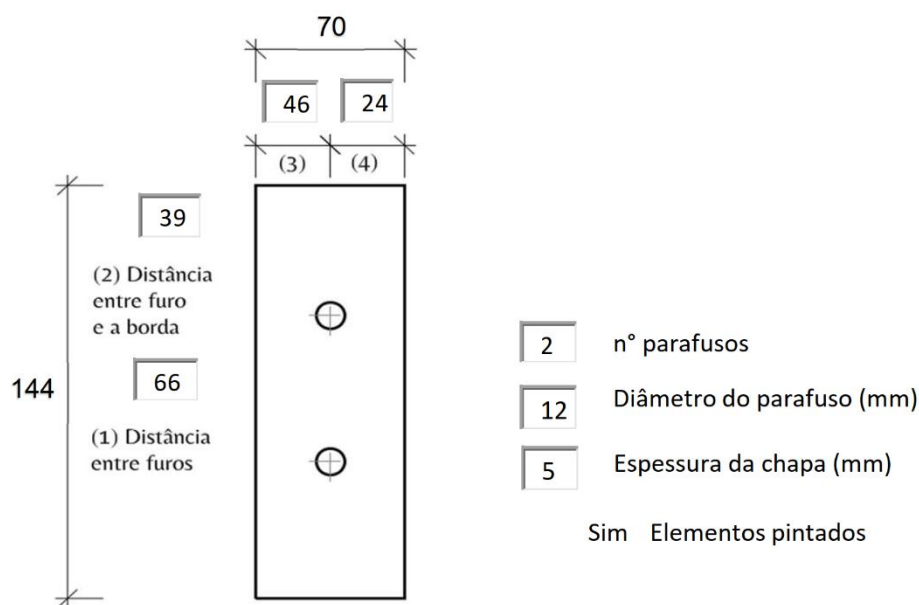
- (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.
- (2) A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.
- (3) A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.
- (4) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.
- (5) Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.
- (6) Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.

APÊNDICE L – Dimensionamento da ligação flexível na planilha eletrônica

Ligação Flexível

N_d (kN)	0,0	(-) compressão (+) tração
V_d (kN)	30,0	
Pilar	W 250 x 89,0 (H)	
Viga	W 250 x 28,4	
Chapa	ASTM A 572 Gr 50	
Viga e Pilar	ASTM A 572 Gr 50	
Parafuso	A325M	
Solda	E70XX	





1 Disposição Construtiva

- | | | |
|----|------|--|
| OK | 1.1 | Altura da ligação deve ser maior ou igual a metade da altura da viga |
| OK | 1.2 | O número de parafusos deve variar de 2 e 9 com apenas uma linha de furos |
| OK | 1.3 | Gabarito de furação deve ser menor ou igual a 85 mm |
| OK | 1.4 | As dimensões da solda da chapa com a mesa do pilar |
| OK | 1.5 | A espessura da chapa e da alma da viga deve ser \leq à metade do $db + 1,5$ mm |
| OK | 1.6 | Espaçamento mínimo entre furos |
| OK | 1.7 | Espaçamento máximo entre furos |
| OK | 1.8 | Distância mínima de um furo às bordas |
| OK | 1.9 | Distância máxima de um parafuso às bordas |
| OK | 1.10 | Distância mínima entre furos e a chapa |

54% 2 Parafusos

- | | | |
|----|-----|--|
| OK | 54% | 2.1 Cisalhamento nos parafusos |
| OK | 46% | 2.2 Pressão de contato na chapa |
| OK | 24% | 2.3 Pressão de contato na alma da viga |

23% 3 Soldas

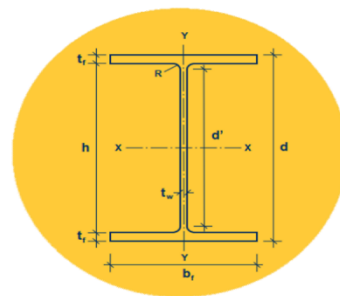
- | | | |
|----|-----|---|
| OK | 0% | 3.1 Tensão normal na solda de filete |
| OK | 23% | 3.2 Tensão de cisalhamento na solda de filete |
| OK | 23% | 3.3 Combinação de tensão normal e cisalhamento na solda de filete |
| OK | | 3.4 Ruptura na região da solda na chapa |
| OK | | 3.5 Ruptura na região da solda na mesa do pilar |

37% 4 Chapa

- | | | |
|----|-----|-------------------------------------|
| OK | 25% | 4.1 Colapso por rasgamento da chapa |
| OK | 37% | 4.2 Cisalhamento da chapa |
| OK | 0% | 4.3 Tração na chapa |
| OK | 0% | 4.4 Compressão na chapa |

Pilar	W 250 x 89,0 (H)	
d	260	mm
t_w	10,7	mm
b_f	256	mm
t_f	17,3	mm

Viga	W 250 x 28,4	
d	260	mm
h	240	mm
t_w	6,4	mm
b_f	102	mm
t_f	10	mm



	Aço	f_y	f_u	
Chapa	ASTM A 572 Gr 50	34,5	45	kN/cm ²
Viga e Pilar	ASTM A 572 Gr 50	34,5	45	kN/cm ²
Parafuso	A325M	63,5	82,5	kN/cm ²
	Eletrodo	f_w		
Solda	E70XX	48,5		kN/cm ²

Chapa	70x144x5	
Comprimento	144	mm
Largura	70	mm
Espessura	5	mm
Folga	10	mm
d_w	3	mm

Parafusos	66	mm	(1) Distância entre furos
	39	mm	(2) Distância entre furo e a borda (v)
	46	mm	(3) Gabarito de furação
	24	mm	(4) Distância entre furo e a borda (h)
	48	mm	Distância da chapa à mesa
	87	mm	Distância do furo à mesa
$l_{f \text{ chapa}}$	16,25	mm	
$l_{f \text{ alma}}$	28,25	mm	
d_b	12	mm	Diâmetro do parafuso
d_h	15,5	mm	Diâmetro do furo
e_{ff}	66	mm	Distância entre furos
e_{fb}	24	mm	Distância entre furos e a borda
e_{fc}	46	mm	Distância entre furos e a chapa
n° de parafusos	2		

1 Disposição Construtiva

1.1 Altura da ligação deve ser maior ou igual a metade da altura da viga

L	144	mm
0,5d	130	mm
L >= 0,5d	OK	

1.2 O número de parafusos deve variar de 2 e 9 com apenas uma linha de furos

n° de parafusos	2
n° <= 9	OK

1.3 Gabarito de furação deve ser menor ou igual a 85 mm

g	46,00	mm
g <= 85 mm	OK	

1.4 As dimensões da solda da chapa com a mesa do pilar

item 2.6.2.1 da ABNT NBR 8800:2008

item 2.6.2.2 da ABNT NBR 8800:2008

Tabela 10 — Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w ^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

^a Executadas somente com um passe.

Espessura da chapa mais fina	5	mm
$d_{w,min}$	3	mm
d_w	3	mm
$d_{w,máx}$	5	mm
	OK	

1.5 A espessura da chapa e da alma da viga deve ser <= à metade do $d_b + 1,5$ mm

t	5	mm
d_b	12	mm
$d_b/2 + 1,5$	7,5	mm
t <= ($d_b/2 + 1,5$)	OK	

1.6 Espaçamento mínimo entre furos (item 6.3.9 da ABNT NBR 8800:2008)

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a $2,7 d_b$, de preferência $3 d_b$, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada. Além desse requisito, a distância livre entre as bordas de dois furos consecutivos não pode ser inferior a d_b .

d_b	12,0	mm
$3d_b$	36	mm
e_{ff}	66,0	mm
$e_{ff} >= 3d_b$	OK	

1.7 Espaçamento máximo entre furos (item 6.3.10 da ABNT NBR 8800:2008)

O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

d_b	12	mm
Espessura da chapa	5	mm
0	Sim	
e_{ff}	66	mm
$e_{ff \text{ máx}}$	120	mm (24 t)
$e_{ff \text{ máx}}$	300	mm
$e_{ff} \leq e_{ff \text{ máx}}$	OK	

1.8 Distância mínima de um furo às bordas (item 6.3.11 da ABNT NBR 8800:2008)

Devem ser atendidas as distâncias mínimas da Tabela 14

São permitidas distâncias inferiores às desta Tabela, desde que a equação aplicável de 6.3.3.3 seja satisfeita.

e_{fb}	24	mm
d_b	12	mm
$2 d_b$	24	mm
$e_{fb} \geq 2 d_b$	OK	

1.9 Distância máxima de um parafuso às bordas (item 6.3.12 da ABNT NBR 8800:2008)

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.

e_{fb}	24	mm
t	5	mm
$e_{fb \text{ máx}}$	60	mm (12 t)
$e_{fb \text{ máx}}$	150	mm
$e_{fb} \leq e_{fb \text{ máx}}$	OK	

1.10 Distância mínima entre furos e a chapa

e_{fc}	46	mm
d_b	12	mm
$1,35 d_b$	16,2	mm
$e_{fc} \geq 1,35 d_b$	OK	

2 Parafusos

2.1 Cisalhamento nos parafusos (item 6.3.3.2 da ABNT NBR 8800:2008)

V_{sd}	30	kN
n° de parafusos	2	
$F_{v,Sd y}$	15,0	kN
N_d	0,0	kN
n° de parafusos	2	
$F_{v,Sd x}$	0,0	kN
$F_{v,Sd} = \sqrt{F_{v,Sd x}^2 + F_{v,Sd y}^2}$		
$F_{v,Sd}$	15,0	kN
$F_{v,Rd} = \frac{0,4 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$		
d_b	12	mm
A_b	1,13	cm ²
f_{ub}	82,5	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{v,Rd}$	27,6	kN
$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$	OK	54%

2.2 Pressão de contato na chapa (item 6.3.3.3 da ABNT NBR 8800:2008)

V_{sd}	30	kN
n° de parafusos	2	
$F_{v,Sd y}$	15,0	kN
N_d	0,0	kN
n° de parafusos	2	
$F_{v,Sd x}$	0,0	kN
$F_{v,Sd} = \sqrt{F_{v,Sd x}^2 + F_{v,Sd y}^2}$		
$F_{v,Sd}$	15,0	kN
$F_{c,Rd} = \frac{1,2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}}$		
l_f	16,25	mm
t	5	mm
f_u	45	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{c,Rd}$	32,5	kN
$F_{c,Rd} \leq 2,4 d_b t f_u / \gamma_{a2}$		
d_b	12,0	mm
t	5,0	mm
f_u	45,0	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{c,Rd}$	48,0	kN
$F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$	OK	46%

2.3 Pressão de contato na alma da viga (item 6.3.3.3 da ABNT NBR 8800:2008)

V_{sd}	30	kN
n° de parafusos	2	
$F_{v,Sd}$	15,0	kN
N_d	0,0	kN
n° de parafusos	2	
$F_{v,Sd x}$	0,0	kN

$$F_{v,Sd} = \sqrt{F_{v,Sd x}^2 + F_{v,Sd y}^2}$$

$F_{v,Sd}$	15,0	kN
------------	------	----

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}}$$

l_f	28,25	mm
t	6,4	mm
f_u	45	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{c,Rd}$	72,3	kN

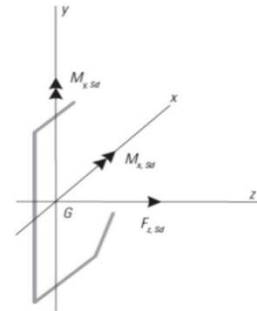
$$F_{c,Rd} \leq 2,4 d_b t f_u / \gamma_{a2}$$

d_b	12,0	mm
t	6,4	mm
f_u	45,0	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{c,Rd}$	61,4	kN
$F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$	OK	24%

3 Soldas

3.1 Tensão normal na solda de filete

d_w	0,3	cm
a_w	0,21	cm
l	28,8	cm
$F_{z,Sd}$	0	kN
A_{ew}	6,1	cm ²
$M_{x,Sd}$	0	kN.cm
$M_{y,Sd}$	0	kN.cm



$$\sigma_{w,Sd} = \frac{F_{z,Sd}}{A_{ew}} + \frac{M_{x,Sd}}{W_x} - \frac{M_{y,Sd}}{W_y}$$

$\sigma_{w,Sd}$	0,00	kN/cm ²
-----------------	------	--------------------

$$\sigma_{w,Rd} = \frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}}$$

f_w	48,5	kN/cm ²
-------	------	--------------------

γ_{w2}	1,35	
---------------	------	--

$\sigma_{w,Rd}$	21,56	kN/cm ²
-----------------	-------	--------------------

$\sigma_{w,Sd} \leq \sigma_{w,Rd}$	OK	0%
------------------------------------	----	----

3.2 Tensão de cisalhamento na solda de filete

$$\tau_{w,y,Sd} = \frac{F_{y,Sd}}{A_{ew}} + \frac{M_{z,Sd} x}{I_z}$$

d_w	0,3	cm
-------	-----	----

a_w	0,21	cm
-------	------	----

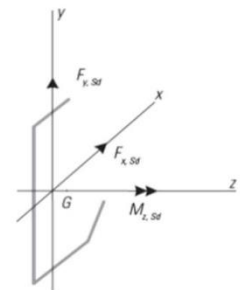
l	28,8	cm
-----	------	----

A_{ew}	6,1	cm ²
----------	-----	-----------------

$F_{y,Sd}$	30	kN
------------	----	----

$M_{z,Sd}$	0	kN.cm
------------	---	-------

$\tau_{w,y,Sd}$	4,91	kN/cm ²
-----------------	------	--------------------



$$\tau_{w,x,Sd} = \frac{F_{x,Sd}}{A_{ew}} + \frac{M_{z,Sd} y}{I_z}$$

$F_{x,Sd}$	0	kN
------------	---	----

$M_{z,Sd} x$	0	kN.cm
--------------	---	-------

$\tau_{w,x,Sd}$	0	kN/cm ²
-----------------	---	--------------------

$$\tau_{w,Sd} = \sqrt{\tau_{w,x,Sd}^2 + \tau_{w,y,Sd}^2}$$

$\tau_{w,Sd}$	4,91	kN/cm ²
---------------	------	--------------------

$$\tau_{w,Rd} = \frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}}$$

f_w	48,5	kN/cm ²
γ_{w2}	1,35	
$T_{w,Rd}$	21,56	kN/cm ²
$T_{w,Sd} \leq T_{w,Rd}$	OK	23%

3.3 Combinação de tensão normal e cisalhamento na solda de filete

$\sigma_{w,Sd}$	0,00	kN/cm ²
$T_{w,Sd}$	4,91	kN/cm ²
f_w	48,5	kN/cm ²
γ_{w2}	1,35	
$\sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2}$	4,91	kN/cm ²
$\frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}}$	21,56	kN/cm ²
$\sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2} \leq \frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}}$	OK	23%

3.4 Ruptura na região da solda na chapa

d_w	0,3	cm
a_w	0,21	cm
n	2	
m	1	
$\sigma_{w,Sd}$	0,00	kN/cm ²
$T_{w,Sd}$	4,91	kN/cm ²
$f_{w,res,Sd} = \sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2}$		
$f_{w,res,Sd}$	4,91	kN/cm ²
F_u	45,0	kN/cm ²
$t \geq \frac{2,25 * n * a_w * f_{w,res,Sd}}{m * F_u}$		
t	0,10	cm
t_{chapa}	0,50	cm
$t_{chapa} \geq t$	OK	

3.5 Ruptura na região da solda na mesa do pilar

d_w	0,3	cm
a_w	0,21	cm
n	2	
m	2	

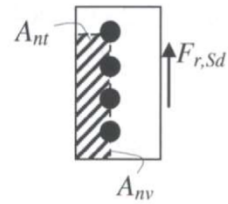
$$f_{w,res,Sd} = \sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2}$$

$\sigma_{w,Sd}$	0,00	kN/cm ²
$\tau_{w,Sd}$	4,91	kN/cm ²
$f_{w,res,Sd}$	4,91	kN/cm ²
F_u	45,0	kN/cm ²
$t \geq \frac{2,25 * n * a_w * f_{w,res,Sd}}{m * F_u}$		
t	0,05	cm
t _{alma}	0,64	cm
t _{alma} >= t	OK	

4 Chapa

4.1 Colapso por rasgamento da chapa (item 6.5.6 da ABNT NBR 8800:2008)

F_{Sd}	30,0	kN
t	0,50	cm
d _h	1,55	cm
Distância entre furos	6,60	cm
Distância furo - borda	2,40	cm
n° de parafusos	2	
Comprimento da chapa	14,4	cm
A_{gv}	6,00	cm ²
A_{nv}	4,84	cm ²
A_{nt}	0,81	cm ²
f_u	45,0	kN/cm ²
f_y	34,5	kN/cm ²
C_{ts}	1,0	
γ_{a2}	1,35	



$$F_{Rd} \leq \frac{0,6A_{nv}f_u + C_{ts}A_{nt}f_u}{\gamma_{a2}}$$

F_{Rd}	123,8	kN
----------	-------	----

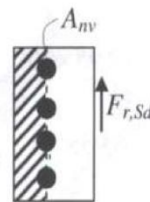
$$F_{Rd} \leq \frac{0,6A_{gv}f_y + C_{ts}A_{nt}f_u}{\gamma_{a2}}$$

F_{Rd}	119,1	kN
----------	-------	----

$F_{Sd} \leq F_{Rd}$	OK	25%
----------------------	----	-----

4.2 Cisalhamento da chapa (item 6.5.5 da ABNT NBR 8800:2008)

F_{Sd}	30,0	kN
t	0,50	cm
d_h	1,55	cm
Distância entre furos	6,60	cm
Distância furo - borda	2,40	cm
n° de parafusos	2	
Comprimento da chapa	14,4	cm
A_{gv}	7,20	cm ²
A_{nv}	4,10	cm ²
f_u	45,0	kN/cm ²
f_y	34,5	kN/cm ²
C_{ts}	1,0	
γ_{a1}	1,10	
γ_{a2}	1,35	



$$F_{Rd} = \frac{0,60 f_y A_g}{\gamma_{a1}}$$

F_{Rd}	135,5	kN
----------	-------	----

$$F_{Rd} = \frac{0,60 f_u A_{nv}}{\gamma_{a2}}$$

F_{Rd}	82,0	kN
----------	------	----

$F_{Sd} \leq F_{Rd}$	OK	37%
----------------------	----	-----

4.3 Tração na chapa (item 6.5.3 da ABNT NBR 8800:2008)

F_{Sd}	0,0	kN
$F_{Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{a1}}$		Escoamento da seção bruta
Comprimento da chapa	14,40	cm
t	0,50	cm
A_g	7,20	cm ²
f_y	34,5	kN/cm ²
γ_{a1}	1,1	
F_{Rd}	225,82	kN

$$F_{Rd} = \frac{f_u A_e}{\gamma_{a2}}$$

Ruptura da seção líquida

n° de parafusos	2	
d_h	1,55	cm
A_e	5,65	cm ²
f_u	45	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
F_{Rd}	188,33	kN
$F_{Sd} \leq F_{Rd}$	OK	0%

4.4 Compressão na chapa (item 6.5.4 da ABNT NBR 8800:2008)

$$F_{Sd} = 0 \quad \text{kN}$$

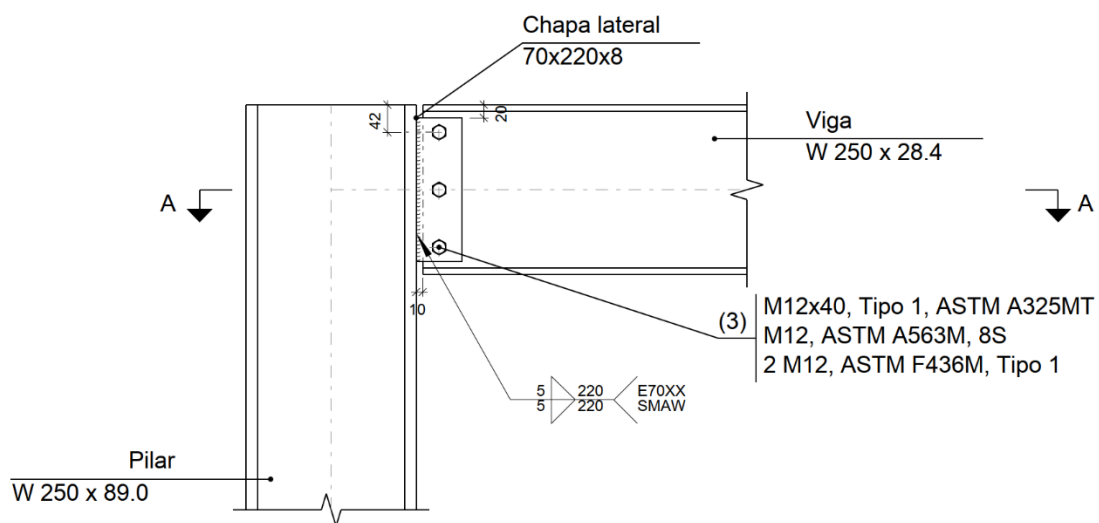
Para o estado-limite último de escoamento, aplicável quando $KL/r \leq 25$

$$F_{Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{a1}}$$

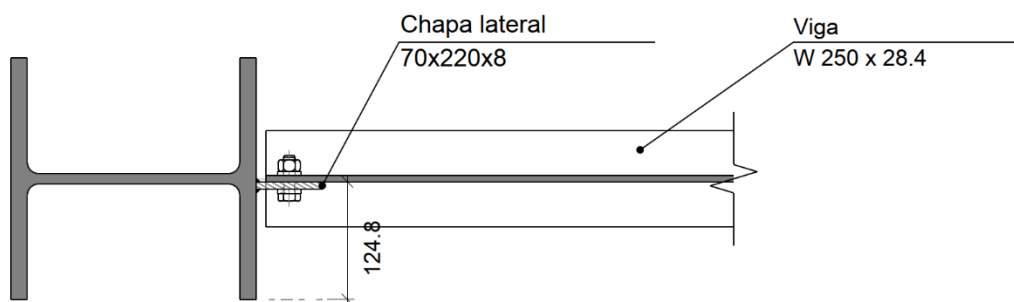
K	1	
L	3,83	cm
Comprimento da chapa	14,4	cm
Largura da chapa	7	cm
Espessura da chapa	0,5	cm
r_{min}	0,15	cm
KL/r	25,50	
f_y	34,5	kN/cm ²
A_g	7,2	cm ²
γ_{a1}	1,1	
F_{Rd}	225,8	kN
$F_{Sd} \leq F_{Rd}$	OK	0%

APÊNDICE M – Dimensionamento da ligação flexível no Cype 3D

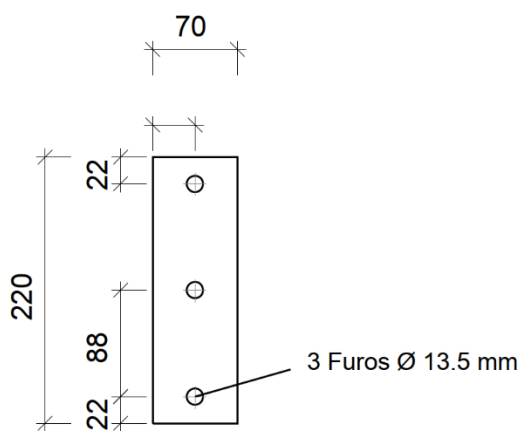
a) Detalhe



Corte

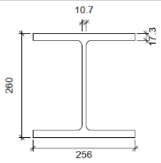
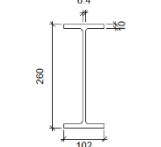


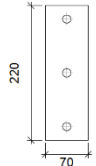
Corte A - A

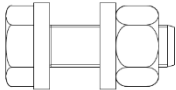


Chapa lateral da viga W 250 x 28.4
(e = 8 mm)

b) Descrição dos componentes da ligação

Perfis									
Peça	Descrição	Geometria					Aço		
		Esquema	Altura total (mm)	Largura da aba (mm)	Espessura da mesa (mm)	Espessura da alma (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	W 250 x 89.0		260	256	17.3	10.7	A-572 345MPa	345.0	450.0
Viga	W 250 x 28.4		260	102	10	6.4	A-572 345MPa	345.0	450.0

Elementos complementares									
Peça	Geometria				Furos		Aço		
	Esquema	Largura (mm)	Altura (mm)	Espessura (mm)	Quantidade	Diâmetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Chapa lateral: Viga W 250 x 28.4		70	220	8	3	13.5	A-572 345MPa	345.0	450.0

Parafusos						
Descrição	Geometria			Aço		
	Esquema	Diâmetro	Comprimento (mm)	Classe	f_y (MPa)	f_u (MPa)
M12x40, Tipo 1, ASTM A325MT M12, ASTM A563M, 8S 2 M12, ASTM F436M, Tipo 1		M12	40	ASTM A325M	635.0	830.0

c) Verificação

- 1) Pilar W 250 x 89.0
- 2) Viga W 250 x 28.4

Verificações de resistência					
Componente	Verificação	Unidades	Desfavorável	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacção flexão - esforço transversal	--	--	--	0.05
	Tensões combinadas	--	--	--	16.12
	Flambagem local	N/mm ²	-24.41	293.25	8.32
	Esmagamento	kN	17.47	53.13	32.87
	Rasgamento	kN	45.00	239.33	18.80
Alma	Esmagamento	kN	17.47	56.29	31.03
	Rasgamento	kN	45.00	242.67	18.54

Soldas (ABNT NBR 8800:2008)

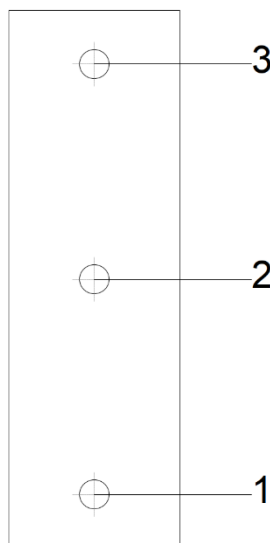
Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)									
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna			
				$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)	
Detalhe da solda da chapa lateral.	De ângulo	SMAW	8	40	220	5	8	5	

*P.S.: Procedimento de soldagem.
t: Menor espessura do metal-base.
 l_w : Comprimento total da solda.
 d_w : Perna da solda.*

Verificação de cordões de soldadura														
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l_w (mm)	Eléctrode f_w (N/mm ²)	Metal - base f_y (N/mm ²)	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal-base)			Coeficientes de ponderação		
						Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Aprov. (%)	Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Aprov. (%)	γ_{s1}	γ_{w1}	γ_{w2}
Detalhe da solda da chapa lateral.	5	8	220	E70XX (485.0)	345.0	28.9	215.6	13.42	20.5	188.2	10.87	1.10	1.25	1.35

*Sd: Solicitação de cálculo
Rd: Resistente de cálculo
- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.*

Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3)



Disposições constructivas						
Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	M12x40, Tipo 1, ASTM A325MT	13.5	25	22	--	88
2	M12x40, Tipo 1, ASTM A325MT	13.5	25	--	--	88
3	M12x40, Tipo 1, ASTM A325MT	13.5	25	22	--	88

--: Não precisa ser considerado.

Resistência										
Parafuso	Cisalhamento				Tração				Interação tração e esforço transversal	Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Seção transversal	17.467	27.814	62.80	Espiga	0.000	51.829	0.00	62.80	62.80
	Esmagamento	17.467	53.135	32.87	Punção	0.000	89.171	0.00		
2	Seção transversal	15.000	27.814	53.93	Espiga	0.000	51.829	0.00	53.93	53.93
	Esmagamento	15.000	76.800	19.53	Punção	0.000	89.171	0.00		
3	Seção transversal	17.467	27.814	62.80	Espiga	0.000	51.829	0.00	62.80	62.80
	Esmagamento	17.467	76.800	22.74	Punção	0.000	89.171	0.00		

d) Quantit.

Soldas				
Classe de resistência	Execução	Tipo	Lado (mm)	Comprimento de cordões (mm)
E70XX	Em oficina	De filete	5	440

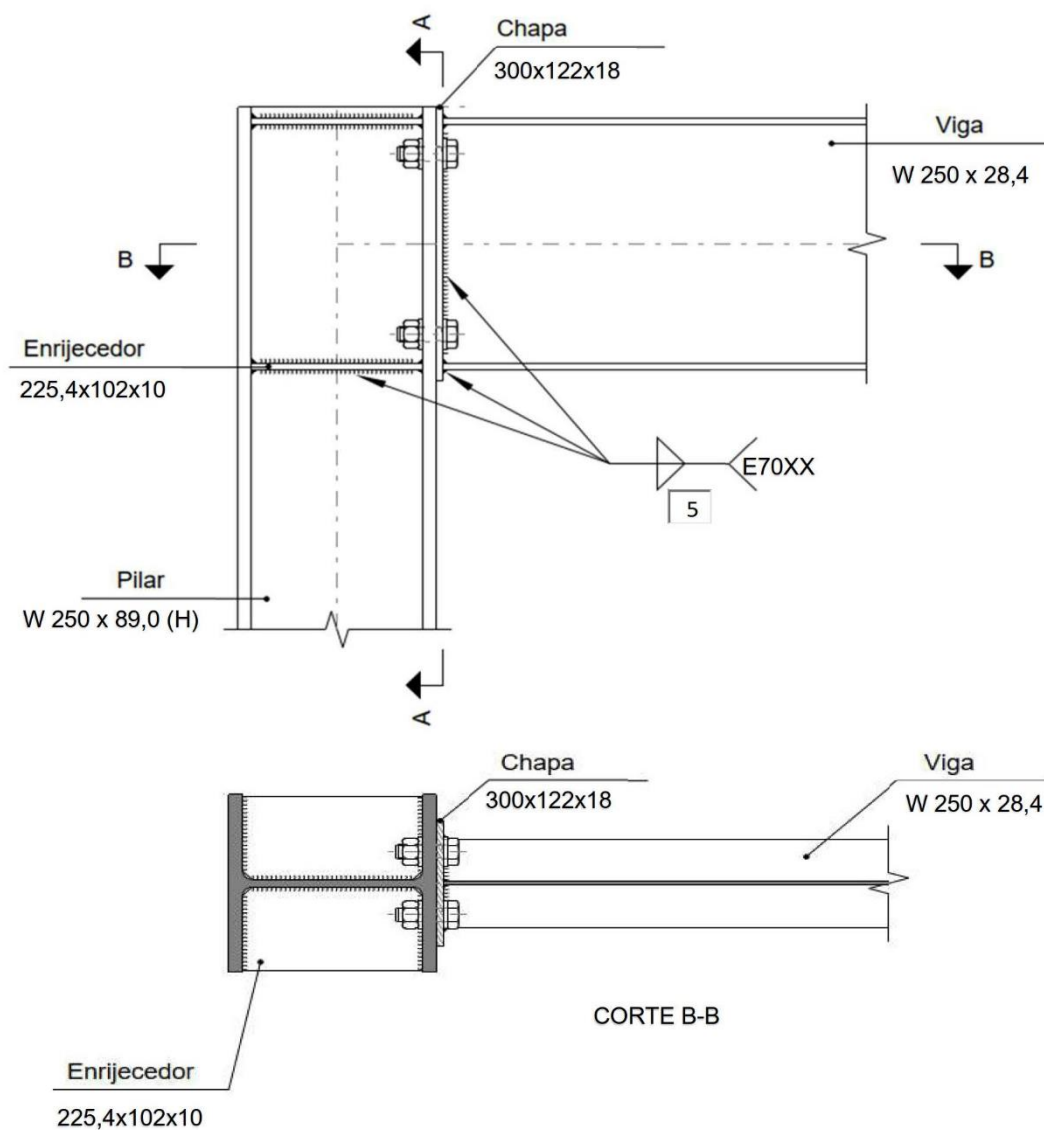
Chapas				
Material	Tipo	Quantidade	Dimensões (mm)	Peso (kg)
A-572 345MPa	Chapas	1	70x220x8	0.97
	Total			0.97

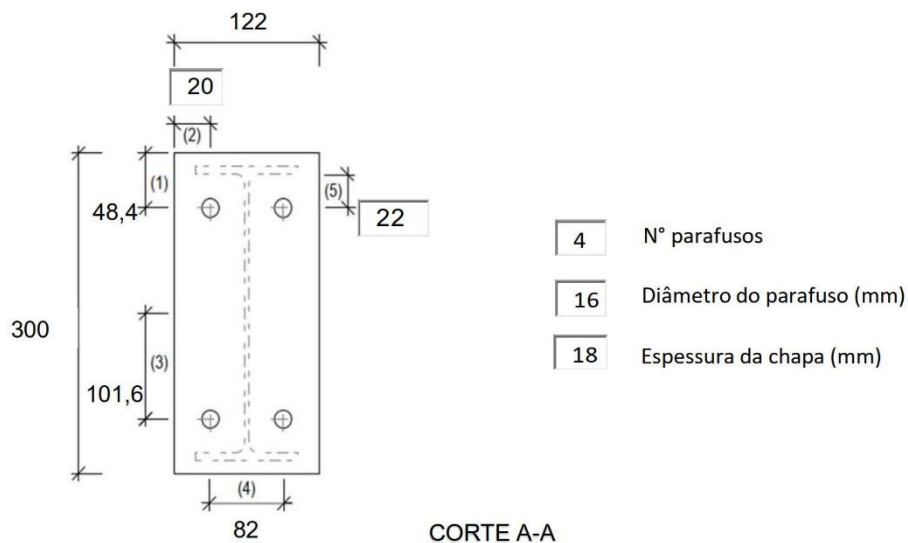
Elementos para aparafusar			
Tipo	Material	Quantidade	Descrição
Parafusos	ASTM A325M	3	M12x40, Tipo 1, ASTM A325MT
Porcas	Classe 8S	3	M12, ASTM A563M
Anilhas	Tipo 1	6	M12, ASTM F436M

APÊNDICE N – Dimensionamento da ligação rígida na planilha eletrônica

Ligação Rígida

N_d (kN)	-12,90	(- compressão + tração)
V_d (kN)	30,00	
M_{sd} (kN.m)	27,65	
Pilar	W 250 x 89,0 (H)	
Viga	W 250 x 28,4	
Viga e Pilar	ASTM A 572 Gr 50	
Chapa de topo	ASTM A 572 Gr 50	
Enrijecedores	ASTM A 572 Gr 50	
Parafuso	A325M	
Solda	E70XX	





1. Disposição Construtiva

- 1.1 A largura da chapa de extremidade deve ser adotada com valor entre a largura da viga e a largura da viga mais 20 mm
- 1.2 A largura dos enrijecedores deve ser maior ou igual a largura da mesa
- 1.3 A espessura dos enrijecedores deve ser maior ou igual a espessura da mesa

- 1.4 Dimensão mínima da perna do filete de solda entre a viga e a chapa de extremidade
- 1.5 Dimensão mínima da perna do filete de solda do enrijecedor com a alma do pilar
- 1.6 Espaçamento mínimo entre furos
- 1.7 Espaçamento máximo entre furos
- 1.8 Distância mínima de um furo às bordas
- 1.9 Distância máxima de um parafuso às bordas
- 1.10 Distância mínima entre furos e a chapa

37% 2 Verificação das mesas e da alma da viga aos esforços localizados

- 2.1 Mesa e enrijecedores superiores 37%
- 2.2 Mesa e enrijecedores inferiores 33%
- 2.3 Cisalhamento na Alma 10%

77% 3 Parafusos

- 3.1 Verificação do cisalhamento nos parafusos 15%
- 3.2 Verificação da tração nos parafusos 77%
- 3.3 Verificação da tração e cisalhamento combinados nos parafusos 62%
- 3.4 Verificação da pressão de contato na chapa de extremidade 5%
- 3.5 Verificação da pressão de contato na mesa do pilar 5%

57% 4 Soldas

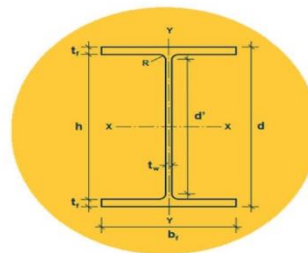
- 4.1 Verificação da tensão normal na solda de filete entorno da viga 56%
- 4.2 Verificação da tensão de cisalhamento na solda de filete entorno da viga 8%
- 4.3 Verificação da combinação de tensão normal e cisalhamento na solda entorno da viga 57%
- 4.4 Verificação da ruptura na solda da chapa de extremidade
- 4.5 Verificação da ruptura na solda da viga

62% 5 Verificação dos enrijecedores

- 5.1 Tração nos enrijecedores 62%
- 5.2 Compressão nos enrijecedores 36%
- 5.3 Cisalhamento nos enrijecedores 15%
- 5.4 Verificação da solda dos enrijecedores com a alma do pilar 20%
- 5.5 Verificação da ruptura da solda na região dos enrijecedores
- 5.6 Verificação da ruptura da solda na alma do pilar

69% 6 Efeito Alavanca

Pilar	W 250 x 89,0 (H)	
d	260	mm
t_w	10,7	mm
b_f	256	mm
t_f	17,3	mm
Viga	W 250 x 28,4	
d	260	mm
t_w	6,4	mm
b_f	102	mm
t_f	10	mm
Recorte na alma	0	mm



	Aço	f_y	f_u	
Chapa de topo	ASTM A 572 Gr 50	34,5	45	kN/cm ²
Viga e Pilar	ASTM A 572 Gr 50	34,5	45	kN/cm ²
Enrijecedores	ASTM A 572 Gr 50	34,5	45	kN/cm ²
Parafuso	A325M	63,5	82,5	kN/cm ²

	Eletrodo	f_w	
Solda	E70XX	48,5	kN/cm ²

Chapa de extremidade		300x122x18
Largura	122	mm
Altura	300	mm
Folga (v)	20	mm
Folga (h)	10	mm
Espessura	18	mm
d_w	5	mm
Pintada	Sim	
10		
Enrijecedores		225,4x102x10
Largura	102	mm
Espessura	10	mm
Comprimento	225,4	mm
d_w	5	mm
Recorte	35	mm

Parafusos			
	48,4	mm	(1)
	20	mm	(2)
	101,6	mm	(3)
	82	mm	(4)
	22	mm	(5)
d_b	16	mm	Diâmetro do parafuso
d_h	19,5	mm	Diâmetro do furo
e_{ff}	82	mm	Distância entre furos
e_{fb}	20	mm	Distância entre furos e a borda
e_{fc}	22	mm	Distância entre furos e a chapa
n° de parafusos	4		Total
n° de parafusos	2		Tracionados

1 Disposição Construtiva

1.1 A largura da chapa de extremidade deve ser adotada com valor entre a largura da viga e a largura da viga mais 20 mm

Largura da chapa	122	mm
b_f da viga +20	122	mm
	OK	

1.2 A largura dos enrijecedores deve ser maior ou igual a largura da mesa da viga

Largura do enrijecedor	102	mm
b_f da viga	102	mm
	OK	

1.3 A espessura dos enrijecedores deve ser maior ou igual a espessura da mesa

Espessura do enrijecedor	10	mm
Espessura da mesa	10	mm
	OK	

1.4 Dimensão mínima da perna do filete de solda entre a viga e a chapa de extremidade

item 2.6.2.1 da ABNT NBR 8800:2008

item 2.6.2.2 da ABNT NBR 8800:2008

Tabela 10 — Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

^a Executadas somente com um passe.

Espessura da chapa mais fina	6,4	mm
$d_{w,min}$	5	mm
d_w	5	mm
$d_{w,máx}$	6	mm
	OK	

1.5 Dimensão mínima da perna do filete de solda entre o enrijecedor e a alma do pilar

item 2.6.2.1 da ABNT NBR 8800:2008

item 2.6.2.2 da ABNT NBR 8800:2008

Tabela 10 — Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

^a Executadas somente com um passe.

Espessura da chapa mais fina	10	mm
d_w	5	mm
$d_{w,min}$	5	mm
$d_{w,máx}$	8	mm
	OK	

1.6 Espaçamento mínimo entre furos (item 6.3.9 da ABNT NBR 8800:2008)

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a $2,7 d_b$, de preferência $3 d_b$, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada. Além desse requisito, a distância livre entre as bordas de dois furos consecutivos não pode ser inferior a d_b .

e_{ff}	82	mm
d_b	16	mm

$$3d_b \quad 48 \quad \text{mm}$$

$$e_{ff} \geq 3d_b \quad \text{OK}$$

1.7 Espaçamento máximo entre furos (item 6.3.10 da ABNT NBR 8800:2008)

O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

$$d_b \quad 16 \quad \text{mm}$$

$$\text{Espessura da chapa} \quad 10 \quad \text{mm}$$

$$e_{ff} \quad 82 \quad \text{mm}$$

$$e_{ff \text{ máx}} \quad 240 \quad \text{mm (24 t)}$$

$$e_{ff \text{ máx}} \quad 300 \quad \text{mm}$$

$$e_{ff} \leq e_{ff \text{ máx}} \quad \text{OK}$$

1.8 Distância mínima de um furo às bordas (item 6.3.11 da ABNT NBR 8800:2008)

Devem ser atendidas as distâncias mínimas da Tabela 14

São permitidas distâncias inferiores às desta Tabela, desde que a equação aplicável de 6.3.3.3 seja satisfeita.

$$e_{fb} \quad 20 \quad \text{mm}$$

$$d_b \quad 16 \quad \text{mm}$$

$$1,25 d_b \quad 20 \quad \text{mm}$$

$$e_{fb} \geq 1,25 d_b \quad \text{OK}$$

1.9 Distância máxima de um parafuso às bordas (item 6.3.12 da ABNT NBR 8800:2008)

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.

$$e_{fb} \quad 20 \quad \text{mm}$$

$$\text{Espessura da chapa} \quad 10 \quad \text{mm}$$

$$e_{ff \text{ máx}} \quad 120 \quad \text{mm (12 t)}$$

$$e_{ff \text{ máx}} \quad 150 \quad \text{mm}$$

$$e_{fb} \leq e_{ff \text{ máx}} \quad \text{OK}$$

1.10 Distância mínima entre furos e a chapa

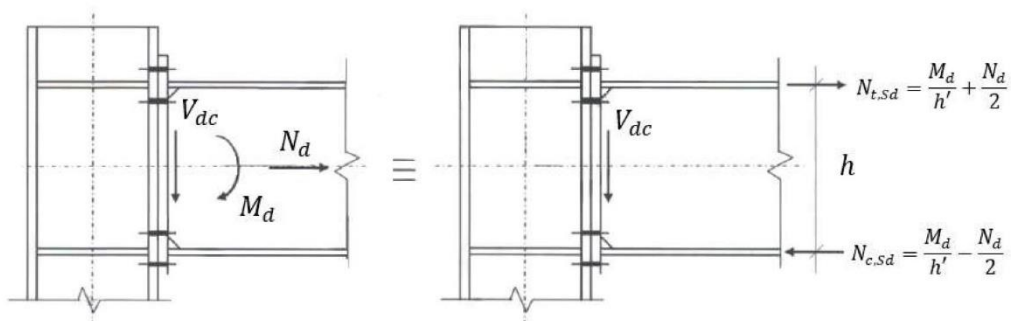
$$e_{fc} \quad 22 \quad \text{mm}$$

$$d_b \quad 16 \quad \text{mm}$$

$$1,35 d_b \quad 21,6 \quad \text{mm}$$

$$e_{fc} \geq 1,35 d_b \quad \text{OK}$$

2 Verificação das mesas e da alma da viga aos esforços localizados



2.1 Mesa e enrijecedores superiores (item 6.5.3 da ABNT NBR 8800:2008)

M_d	2765	kN.cm	
N_d	12,9	kN	
h'	25,00	cm	(Altura entre mesas)
$N_{t,Sd}$	117,05	kN	

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{Escoamento da seção bruta})$$

A_g	10,2	cm ²
f_y	34,5	kN/cm ²
γ_{a1}	1,1	
$N_{t,Rd}$	319,91	kN

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad \text{Escoamento da seção bruta}$$

A_e	10,2	cm ²
f_u	45	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$N_{t,Rd}$	340,00	kN
$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$	OK	37%

2.2 Mesa e enrijecedores inferiores (item 6.5.4 da ABNT NBR 8800:2008)

M_d	2765	kN.cm
h'	25	cm
N_d	12,9	kN
$N_{c,Sd}$	104,15	kN

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

b/t	8,0	
E	20000	kN/cm ²
f_y	34,5	kN/cm ²
$(b/t)_{lim}$	13,5	
Q	1	
X	1	(alma restringe a flambagem local da mesa)
A_g	10,2	cm ²
f_y	34,5	kN/cm ²
γ_{a1}	1,1	

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

$N_{c,Rd}$	319,91	kN
$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd}$	OK	33%

2.3 Cisalhamento na Alma (item 6.5.5 da ABNT NBR 8800:2008)

V_{Sd}	30,0	kN
----------	------	----

$$V_{Rd} = \frac{0,6 F_y A_g}{\gamma_{a1}} \quad (\text{Escoamento})$$

f_y	34,5	kN/cm ²
A_g	16,6	cm ²
γ_{a1}	1,1	
V_{Rd}	313,1	kN

$$V_{Rd} = \frac{0,6 F_u A_{nv}}{\gamma_{a2}} \quad (\text{Ruptura})$$

f_u	45	kN/cm ²
A_{nv}	15,4	cm ²
γ_{a2}	1,35	
V_{Rd}	307,2	kN
$V_{Sd} \leq V_{Rd}$	OK	10%

3 Parafusos

3.1 Verificação do cisalhamento nos parafusos (item 6.3.3.2 da ABNT NBR 8800:2008)

V_{Sd}	30	kN
n° de parafusos	4	
$F_{v,Sd}$	7,5	kN

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

d_b	16	mm
A_b	2,01	cm ²
f_{ub}	82,5	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{v,Rd}$	49,1	kN
$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$	OK	15%

3.2 Verificação da tração nos parafusos (item 6.3.3.1 da ABNT NBR 8800:2008)

$$\sigma_{Sd} = \frac{F_{z,Sd}}{A_b} + \frac{M_{x,Sd} y}{I_x} - \frac{M_{y,Sd} x}{I_y}$$

n° de parafusos	4	
$F_{z,Sd}$	3,2	kN
d_b	16	mm
A_b	2,01	cm ²
I_x	830,2	cm ⁴
$M_{x,Sd}$	2765	kN.cm
y	10,16	cm
σ_{Sd}	35,44	kN/cm ²

$$F_{t,Sd} = A_b \sigma_{Sd}$$

$F_{t,Sd}$	71,26	kN
------------	-------	----

$$F_{t,Rd} = \frac{A_{be} F_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

d_b	16,0	mm
A_{be}	1,51	cm ²
f_{ub}	82,5	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{t,Rd}$	92,2	kN
$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$	OK	77%

3.3 Verificação da tração e cisalhamento combinados nos parafusos (item 6.3.3.4 da ABNT NBR 8800:2008)

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1,0$$

$F_{t,Sd}$	71,3	kN
$F_{t,Rd}$	92,2	kN
$F_{v,Sd}$	7,5	kN
$F_{v,Rd}$	49,1	kN
$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} \right)^2$	0,62	
	OK	62%

3.4 Verificação da pressão de contato na chapa de extremidade (item 6.3.3.3 da ABNT NBR 8800:2008)

V_{sd}	30,00	kN
n° de parafusos	4	
$F_{v,Sd}$	7,5	kN

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2 \ell_f t f_u}{\gamma_{a2}}$$

ℓ_f	22	mm
t	18	mm
f_u	45	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{c,Rd}$	158,4	kN

$$F_{c,Sd} \leq 2,4 d_b t f_u / \gamma_{a2}$$

d_b	16,0	mm
t	17,3	mm
f_u	45,0	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{c,Rd}$	221,4	kN
$F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$	OK	5%

3.5 Verificação da pressão de contato na mesa do pilar (item 6.3.3.3 da ABNT NBR 8800:2008)

V_{sd}	30	kN
n° de parafusos	4	
$F_{v,Sd}$	7,5	kN

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}}$$

l_f	22	mm
t	17,3	mm
f_u	45	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{c,Rd}$	152,2	kN

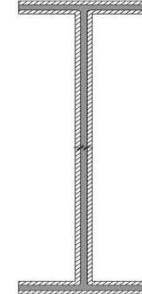
$$F_{c,Rd} \leq 2,4 d_b t f_u / \gamma_{a2}$$

d_b	16,0	mm
t	17,3	mm
f_u	45,0	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$F_{c,Rd}$	221,4	kN
$F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$	OK	5%

4 Soldas

4.1 Verificação da tensão normal na solda de filete entorno da viga

d_w	0,5	cm	
a_w	0,35	cm	
h'	25	cm	(Altura entre mesas)
d	26	cm	(Altura total da viga)
Recorte na alma	0	cm	
b_f	10,2	cm	
t_w	0,64	cm	
$I_{x,w}$	3200,9	cm ⁴	
c	13,5	cm	



$$W_{x,w} = \frac{I_{x,w}}{c}$$

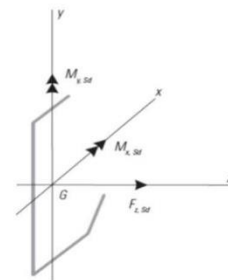
$W_{x,w}$	237,1	cm ³
$M_{x,Sd}$	2765	kN.cm
$M_{y,Sd}$	0	kN.cm
$F_{z,Sd}$	12,9	kN
A_{ew}	31,6	cm ²

$$\sigma_{w,Sd} = \frac{F_{z,Sd}}{A_{ew}} + \frac{M_{x,Sd}}{W_x} - \frac{M_{y,Sd}}{W_y}$$

$\sigma_{w,Sd}$	12,07	kN/cm ²
-----------------	-------	--------------------

$$\sigma_{w,Rd} = \frac{0,6 f_w}{\gamma_{w2}}$$

f_w	48,5	kN/cm ²
γ_{w2}	1,35	
$\sigma_{w,Rd}$	21,56	kN/cm ²
$\sigma_{w,Sd} \leq \sigma_{w,Rd}$	OK	56%

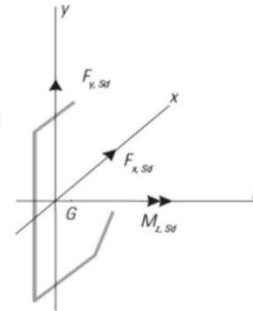


4.2 Verificação da tensão de cisalhamento na solda de filete entorno da viga

$$\tau_{w,y,Sd} = \frac{F_{y,Sd}}{A_{ew}} + \frac{M_{z,Sd} x}{I_z}$$

d_w	0,5	cm
a_w	0,35	cm
h'	25	cm
Recorte na alma	0	cm
$F_{y,Sd}$	30	kN
A_{ew}	17,7	cm ²
$M_{z,Sd}$	0	kN.cm
$\tau_{w,y,Sd}$	1,70	kN/cm ²

(Altura entre mesas)



$$\tau_{w,x,Sd} = \frac{F_{x,Sd}}{A_{ew}} + \frac{M_{z,Sd} y}{I_z}$$

$F_{x,Sd}$	0	kN
A_{ew}	17,7	cm ²
$M_{z,Sd} x$	0	kN.cm
$\tau_{w,x,Sd}$	0	kN/cm ²

$$\tau_{w,Sd} = \sqrt{\tau_{w,x,Sd}^2 + \tau_{w,y,Sd}^2}$$

$$\tau_{w,Sd} = 1,70 \quad \text{kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,Rd} = \frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}}$$

f_w	48,5	kN/cm ²
γ_{w2}	1,35	
$\tau_{w,Rd}$	21,56	kN/cm ²
$\tau_{w,Sd} \leq \tau_{w,Rd}$	OK	8%

4.3 Verificação da combinação de tensão normal e cisalhamento na solda de filete entorno da viga

$\sigma_{w,Sd}$	12,07	kN/cm ²
$\tau_{w,Sd}$	1,70	kN/cm ²
f_w	48,5	kN/cm ²
γ_{w2}	1,35	

$$\sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2} = 12,19 \quad \text{kN/cm}^2$$

$$\frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}} = 21,56 \quad \text{kN/cm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2} \leq \frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}} \quad \text{OK} \quad 57\%$$

4.4 Verificação da ruptura na região da solda na chapa de extremidade

d_w	0,5	cm
a_w	0,35	cm
n	2	(número de soldas na região)
m	2	(número de linhas de ruptura que podem ocorrer na chapa)

$$f_{w,res,Sd} = \sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2}$$

$\sigma_{w,Sd}$	12,07	kN/cm ²
$\tau_{w,Sd}$	1,70	kN/cm ²
$f_{w,res,Sd}$	12,19	kN/cm ²
F_u	45,0	kN/cm ²

$$t \geq \frac{2,25 * n * a_w * f_{w,res,Sd}}{m * F_u}$$

t	0,22	cm
t_{chapa}	1,80	cm
$t_{chapa} \geq t$	OK	

4.5 Verificação da ruptura na região da solda na viga

d_w	0,5	cm
a_w	0,35	cm
n	2	(número de soldas na região)
m	1	(número de linhas de ruptura que podem ocorrer na chapa)

$$f_{w,res,Sd} = \sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2}$$

$\sigma_{w,Sd}$	12,07	kN/cm ²
$\tau_{w,Sd}$	1,70	kN/cm ²
$f_{w,res,Sd}$	12,19	kN/cm ²
F_u	45,0	kN/cm ²

$$t \geq \frac{2,25 * n * a_w * f_{w,res,Sd}}{m * F_u}$$

t	0,43	cm
t_{alma}	0,64	cm
$t_{alma} \geq t$	OK	

5 Verificação dos enrijecedores

5.1 Tração nos enrijecedores (item 6.5.3 da ABNT NBR 8800:2008)

$N_{t,Sd}$	117,05	kN
$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$		Escoamento da seção bruta
A_g	9,13	cm ²
f_y	34,5	kN/cm ²
γ_{a1}	1,1	
$N_{t,Rd}$	286,35	kN
$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}$		Escoamento da seção bruta
A_e	5,63	cm ²
f_u	45	kN/cm ²
γ_{a2}	1,35	
$N_{t,Rd}$	187,67	kN
$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$	OK	62%

5.2 Compressão nos enrijecedores (item 6.5.4 da ABNT NBR 8800:2008)

Já verificado, pois tem espessura e largura igual a mesa da viga

$N_{c,Sd}$	104,15	kN
$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = 0,64 \sqrt{\frac{E}{f_y/k_c}}$		
b/t	10,2	
E	20000	kN/cm ²
f_y	34,5	kN/cm ²
$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$		0,35
k_c	0,76	0,76
$(b/t)_{lim}$	13,4	
Q	1,00	
X	1	(alma restringe a flambagem local da mesa)
A_g	9,13	cm ²
γ_{a1}	1,1	
$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}}$		
$N_{c,Rd}$	286,35	kN
$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd}$	OK	36%

5.3 Cisalhamento nos enrijecedores

$N_{t,Sd}$	117,05	kN
n ° enrijecedores	2	
F_{Sd}	58,53	kN
$F_{Rd} = \frac{0,60 f_y A_g}{\gamma_{a1}}$		Escoamento
f_y	34,5	kN/cm ²
A_g	22,54	cm ²
γ_{a1}	1,1	

F_{Rd}	424,2	kN
$F_{Rd} = \frac{0,60 f_u A_{nv}}{\gamma_{a2}}$		Ruptura
f_u	45	kN/cm ²
A_{nv}	19,04	cm ²
γ_{a2}	1,35	
F_{Rd}	380,8	
$F_{Sd} \leq F_{Rd}$	OK	15%

5.4 Verificação da solda dos enrijecedores com a alma do pilar

$\tau_{w,x,Sd} = \frac{F_{x,Sd}}{A_{ew}} + \frac{M_{z,Sd} y}{I_z}$		
$F_{x,Sd}$	0	kN
$M_{z,Sd} x$	0	kN.cm
$T_{w,x,Sd}$	0	kN/cm ²
$\tau_{w,y,Sd} = \frac{F_{y,Sd}}{A_{ew}} + \frac{M_{z,Sd} x}{I_z}$		
d_w	0,5	cm
a_w	0,35	cm
I_{wi}	38,08	cm
A_{ew}	13,46	cm ²
$F_{x,Sd}$	58,5	kN
$M_{z,Sd} x$	0	kN.cm
$T_{w,x,Sd}$	4,35	kN/cm ²
$\tau_{w,Sd} = \sqrt{\tau_{w,x,Sd}^2 + \tau_{w,y,Sd}^2}$		
$T_{w,Sd}$	4,35	kN/cm ²
$\tau_{w,Rd} = \frac{0,6 f_w}{\gamma_{w2}}$		
f_w	48,5	kN/cm ²
γ_{w2}	1,35	
$T_{w,Rd}$	21,56	kN/cm ²
$T_{w,Sd} \leq T_{w,Rd}$	OK	20%

5.5 Verificação da ruptura da solda na região dos enrijecedores

d_w	0,5	cm
a_w	0,35	cm
n	2	
m	1	
$f_{w,res,Sd} = \sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2}$		
$\sigma_{w,Sd}$	0,00	kN/cm ²
$T_{w,Sd}$	4,35	kN/cm ²
$f_{w,res,Sd}$	4,35	kN/cm ²
F_u	45,0	kN/cm ²

$$t \geq \frac{2,25 * n * a_w * f_{w,res,Sd}}{m * F_u}$$

t	0,15	cm
t _{enrijecedor}	1,00	cm
t _{enrijecedor} >= t	OK	

5.6 Verificação da ruptura da solda na alma do pilar

d _w	0,5	cm
a _w	0,35	cm
n	4	
m	2	

$$f_{w,res,Sd} = \sqrt{\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2}$$

$\sigma_{w,Sd}$	0,00	kN/cm ²
$\tau_{w,Sd}$	4,35	kN/cm ²
f _{w,res,Sd}	4,35	kN/cm ²
F _u	45,0	kN/cm ²

$$t \geq \frac{2,25 * n * a_w * f_{w,res,Sd}}{m * F_u}$$

t	0,15	cm
t _{alma do pilar}	1,07	cm
t _{alma do pilar} >= t	OK	

6 Efeito Alavanca

Espessura da chapa de topo deve ser maior ou igual a espessura do pilar

M _{Sd}	2765,00	kN.cm
h	20,32	cm
N _{t,Sd}	12,9	kN
n° de parafusos	4	
F _{t,Sd}	71,26	kN
e ₁	20,32	cm
e ₂	4,84	cm
a	2	cm
b	3,78	cm
d _b	1,6	cm
M _{Sd} (efeito alavanca)	269,37	kN.cm

$$p = \left(\left\langle \begin{matrix} e_2 \\ b + 0,5d_b \end{matrix} \right\rangle \right) + \left(\left\langle \begin{matrix} e_1 / 2 \\ b + 0,5d_b \end{matrix} \right\rangle \right)$$

p	9,16	cm
t	1,8	cm
f _y	34,5	kN/cm ²
Y _{a1}	1,1	

$$Q = \frac{F_{t,Sd} \left(b - \frac{d_b}{2} \right) - \frac{pt^2 f_y}{4Y_{a1}}}{a + \frac{d_b}{2}}$$

Q	-7,27	kN
F _{t,Sd} + Q	63,99	kN
d _b	16,0	mm

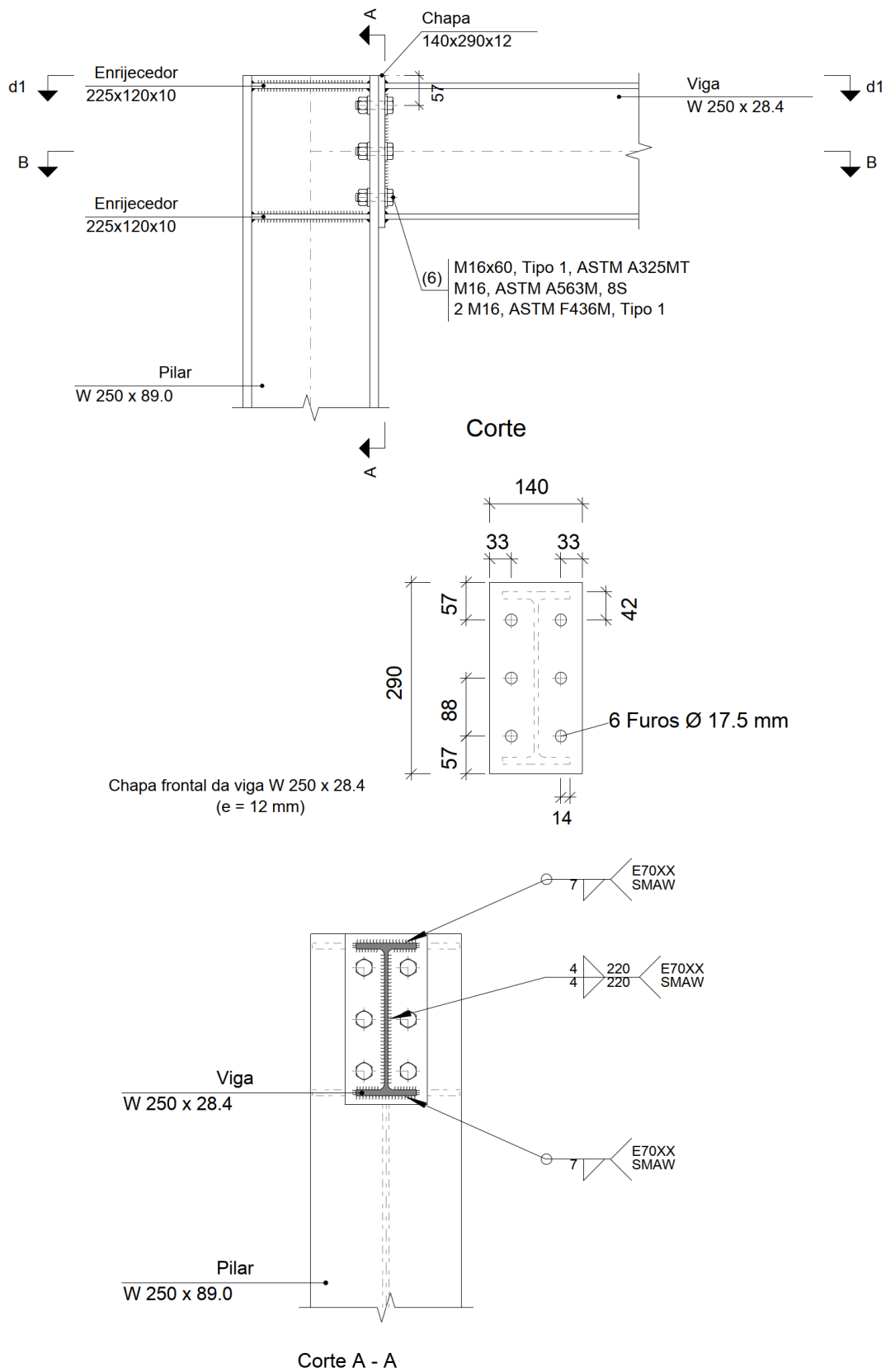
A_{be}	1,51	cm^2
f_{ub}	82,5	kN/cm^2
γ_{a2}	1,35	

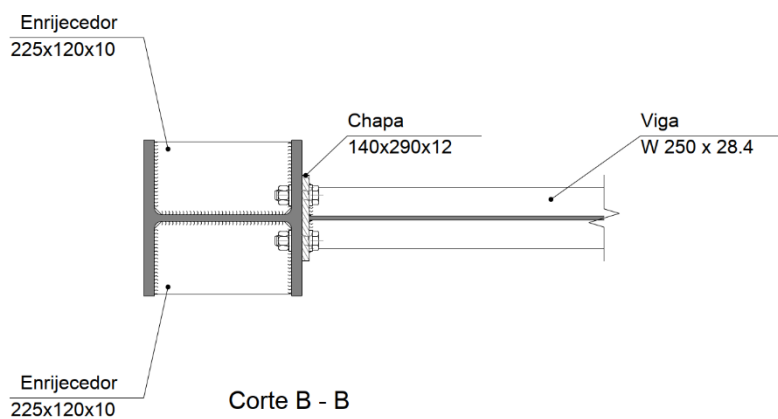
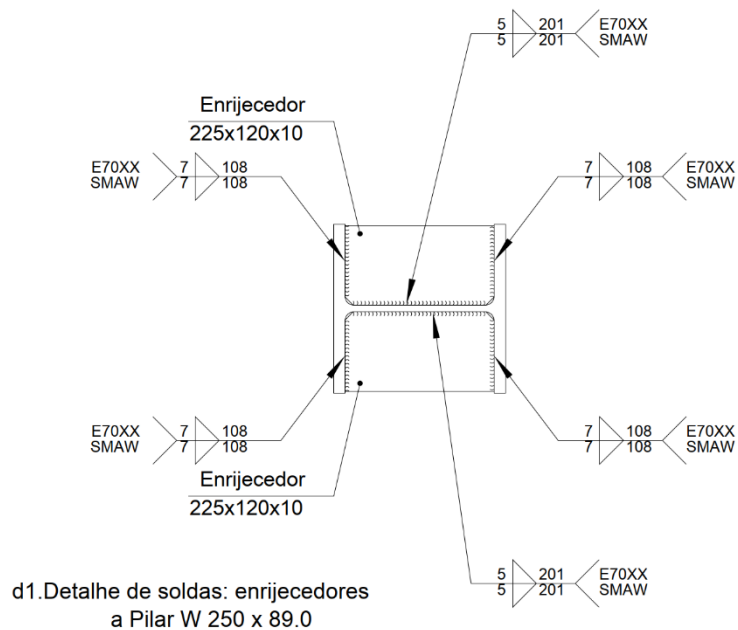
$$F_{t,Rd} = \frac{A_{be} F_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$F_{t,Rd}$	92,2	kN
$F_{t,Rd} \geq F_{t,Sd} + Q$	OK	69%

APÊNDICE O – Dimensionamento da ligação rígida no Cype 3D

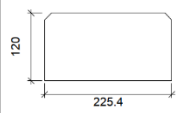
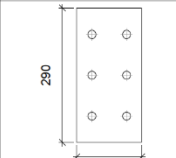
a) Detalhe

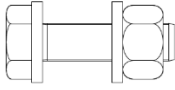




b) Descrição dos componentes da ligação

Peça	Descrição	Perfis					Aço		
		Esquema	Altura total (mm)	Largura da aba (mm)	Espessura da mesa (mm)	Espessura da alma (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	W 250 x 89.0		260	256	17.3	10.7	A-572 345MPa	345.0	450.0
Viga	W 250 x 28.4		260	102	10	6.4	A-572 345MPa	345.0	450.0

Elementos complementares									
Peça	Geometria				Furos		Aço		
	Esquema	Largura (mm)	Altura (mm)	Espessura (mm)	Quantidade	Diâmetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Enrijecedor		225.4	120	10	-	-	A-572 345MPa	345.0	450.0
Chapa frontal: Viga W 250 x 28.4		140	290	12	6	17.5	A-572 345MPa	345.0	450.0

Parafusos						
Descrição	Geometria			Aço		
	Esquema	Diâmetro	Comprimento (mm)	Classe	f_y (MPa)	f_u (MPa)
M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT M16, ASTM A563M, 8S 2 M16, ASTM F436M, Tipo 1		M16	60	ASTM A325M	635.0	830.0

c) Verificação

1) Pilar W 250 x 89.0

Verificações de resistência						
Componente	Verificação	Unidades	Desfavorável	Resistente	Aprov. (%)	
Painel	Esbeltez	--	--	--	30.093	
	Cortante	kN	107.21	523.52	20.48	
Rigidificador superior	Tensão de Von Mises	N/mm ²	74.62	313.64	23.79	
Rigidificador inferior	Tensão de Von Mises	N/mm ²	67.84	313.64	21.63	
Rigidificador superior	Tensão de Von Mises	N/mm ²	74.62	313.64	23.79	
Rigidificador inferior	Tensão de Von Mises	N/mm ²	67.84	313.64	21.63	
Viga W 250 x 28.4	Aba	Cortante	N/mm ²	26.20	313.64	8.35
	Aba	Tração por flexão	kN	92.31	193.05	47.82
		Tração	kN	21.13	260.25	8.12
	Alma	Tração	kN	50.05	217.68	22.99

Soldas (ABNT NBR 8800:2008)

Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)								
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna		
				$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)
Solda do enrijecedor superior às mesas	De ângulo	SMAW	10	40	108	5	10	7
Solda do enrijecedor superior à alma	De ângulo	SMAW	10	40	201	5	10	5
Solda do enrijecedor inferior às mesas	De ângulo	SMAW	10	40	108	5	10	7
Solda do enrijecedor inferior à alma	De ângulo	SMAW	10	40	201	5	10	5
Solda do enrijecedor superior às mesas	De ângulo	SMAW	10	40	108	5	10	7
Solda do enrijecedor superior à alma	De ângulo	SMAW	10	40	201	5	10	5
Solda do enrijecedor inferior às mesas	De ângulo	SMAW	10	40	108	5	10	7
Solda do enrijecedor inferior à alma	De ângulo	SMAW	10	40	201	5	10	5

P.S.: Procedimento de soldagem.
t: Menor espessura do metal-base.
 l_w : Comprimento total da solda.
 d_w : Perna da solda.

Verificação de cordões de soldadura														
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l_w (mm)	Eléctrode f_w (N/mm ²)	Metal - base f_y (N/mm ²)	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal-base)			Coeficientes de ponderação		
						Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Aprov. (%)	Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Aprov. (%)	γ_{s1}	γ_{w1}	γ_{w2}
Solda do enrijecedor superior às mesas	7	10	108	E70XX (485.0)	345.0	89.6	215.6	41.55	63.3	188.2	33.66	1.10	1.25	1.35
Solda do enrijecedor superior à alma	5	10	201	E70XX (485.0)	345.0	31.7	215.6	14.69	22.4	188.2	11.90	1.10	1.25	1.35
Solda do enrijecedor inferior às mesas	7	10	108	E70XX (485.0)	345.0	72.4	215.6	33.61	51.2	188.2	27.22	1.10	1.25	1.35
Solda do enrijecedor inferior à alma	5	10	201	E70XX (485.0)	345.0	31.7	215.6	14.69	22.4	188.2	11.90	1.10	1.25	1.35
Solda do enrijecedor superior às mesas	7	10	108	E70XX (485.0)	345.0	89.6	215.6	41.55	63.3	188.2	33.66	1.10	1.25	1.35
Solda do enrijecedor superior à alma	5	10	201	E70XX (485.0)	345.0	31.7	215.6	14.69	22.4	188.2	11.90	1.10	1.25	1.35
Solda do enrijecedor inferior às mesas	7	10	108	E70XX (485.0)	345.0	72.4	215.6	33.61	51.2	188.2	27.22	1.10	1.25	1.35
Solda do enrijecedor inferior à alma	5	10	201	E70XX (485.0)	345.0	31.7	215.6	14.69	22.4	188.2	11.90	1.10	1.25	1.35

Sd: Solicitação de cálculo
Rd: Resistente de cálculo
- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.

2) Viga W 250 x 28.4

Verificações de resistência					
Componente	Verificação	Unidades	Desfavorável	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tração por flexão	kN	92.31	164.90	55.98
Aba	Compressão	kN	132.99	319.91	41.57
	Tração	kN	24.78	159.95	15.49
Alma	Tração	kN	42.76	141.20	30.28

Soldas (ABNT NBR 8800:2008)

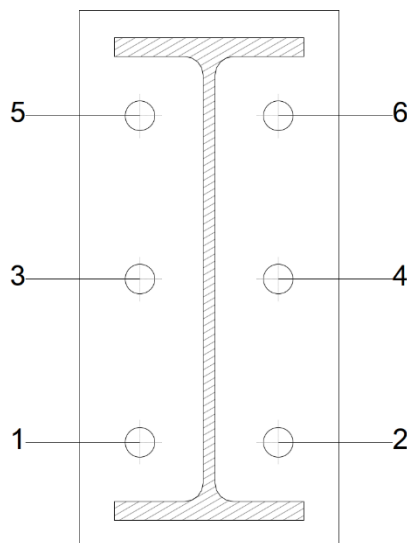
Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)								
Descrição	Tipo	P.S.	t (mm)	Comprimento		Perna		
				$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)
Solda da aba superior	De ângulo	SMAW	10	40	102	5	10	7
Solda da alma	De ângulo	SMAW	6	40	220	3	6	4
Solda da aba inferior	De ângulo	SMAW	10	40	102	5	10	7

*P.S.: Procedimento de soldagem.
t: Menor espessura do metal-base.
 l_w : Comprimento total da solda.
 d_w : Perna da solda.*

Verificação de cordões de soldadura														
Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l_w (mm)	Eléctrode f_w (N/mm ²)	Metal - base f_y (N/mm ²)	Cisalhamento (Metal da solda)			Tensões (Metal-base)			Coeficientes de ponderação		
						Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Aprov. (%)	Sd (N/mm ²)	Rd (N/mm ²)	Aprov. (%)	γ_{s1}	γ_{w1}	γ_{w2}
Solda da aba superior	7	10	102	E70XX (485.0)	345.0	148.6	215.6	68.93	105.1	188.2	55.83	1.10	1.25	1.35
Solda da alma	4	6	220	E70XX (485.0)	345.0	150.3	215.6	69.73	106.3	188.2	56.48	1.10	1.25	1.35
Solda da aba inferior	7	10	102	E70XX (485.0)	345.0	115.8	215.6	53.71	81.9	188.2	43.50	1.10	1.25	1.35

*Sd: Solicitação de cálculo
Rd: Resistente de cálculo
- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.*

Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3)

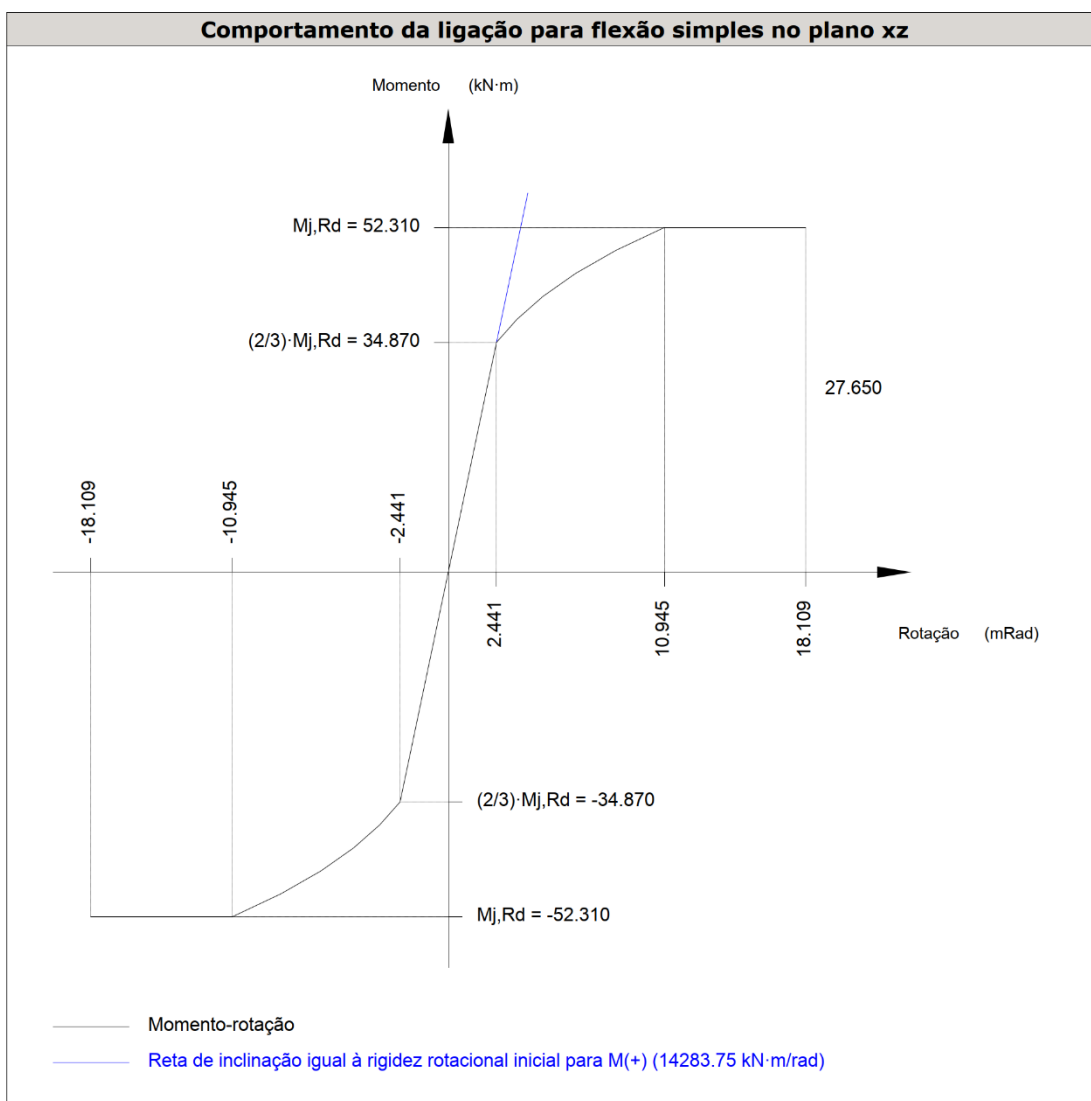


Disposições constructivas						
Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT	17.5	33	--	75	88
2	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT	17.5	33	--	75	88
3	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT	17.5	33	--	75	88
4	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT	17.5	33	--	75	88
5	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT	17.5	33	--	75	88
6	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT	17.5	33	--	75	88

---: Não precisa ser considerado.

Resistência										
Parafuso	Cisalhamento				Tração				Interação tração e esforço transversal	Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Seção transversal	7.500	49.446	15.17	Espiga	2.187	96.526	2.27	15.17	15.17
	Esmagamento	7.500	153.600	4.88	Punção	2.187	219.333	1.00		
2	Seção transversal	7.500	49.446	15.17	Espiga	2.187	96.526	2.27	15.17	15.17
	Esmagamento	7.500	153.600	4.88	Punção	2.187	219.333	1.00		
3	Seção transversal	7.500	49.446	15.17	Espiga	35.105	96.526	36.37	37.75	37.75
	Esmagamento	7.500	153.600	4.88	Punção	35.105	219.333	16.01		
4	Seção transversal	7.500	49.446	15.17	Espiga	35.105	96.526	36.37	37.75	37.75
	Esmagamento	7.500	153.600	4.88	Punção	35.105	219.333	16.01		
5	Seção transversal	7.500	49.446	15.17	Espiga	54.037	96.526	55.98	56.89	56.89
	Esmagamento	7.500	153.600	4.88	Punção	54.037	219.333	24.64		
6	Seção transversal	7.500	49.446	15.17	Espiga	54.037	96.526	55.98	56.89	56.89
	Esmagamento	7.500	153.600	4.88	Punção	54.037	219.333	24.64		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	2761.45	14283.75
Calculada para momentos negativos	2761.45	14283.75



Verificação	Unidades	Desfavorável	Resistente	Aprov. (%)
Relação entre modos 1 e 3	--	1.40	1.80	77.58
Momento resistente	kNm	27.65	52.31	52.85
Capacidade de rotação	mRad	106.902	667	16.04

d) Quantit.

Soldas				
Classe de resistência	Execução	Tipo	Lado (mm)	Comprimento de cordões (mm)
E70XX	Em oficina	De filete	4	440
			5	1608
			7	2120

Chapas				
Material	Tipo	Quantidade	Dimensões (mm)	Peso (kg)
A-572 345MPa	Enrijecedores	4	225x120x10	8.49
	Chapas	1	140x290x12	3.82
	Total			12.32

Elementos para aparafusar			
Tipo	Material	Quantidade	Descrição
Parafusos	ASTM A325M	6	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT
Porcas	Classe 8S	6	M16, ASTM A563M
Anilhas	Tipo 1	12	M16, ASTM F436M