



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**  
**Curso de Engenharia Civil**  
**Departamento de Estruturas**

**ESTUDO DE ALTERAÇÃO ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÃO MISTA EM AÇO E  
CONCRETO DE PEQUENO PORTE**

Tiago Eller Amorim

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Eduardo Miranda Batista

Rio de Janeiro  
Julho de 2013

ESTUDO DE ALTERAÇÃO ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÃO MISTA EM AÇO E  
CONCRETO DE PEQUENO PORTE

Tiago Eller Amorim

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA  
OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

---

Eduardo Miranda Batista

Prof. Associado,D.Sc., EP/UFRJ

---

Gilberto Bruno Ellwanger

Prof. Associado,D.Sc., EP/UFRJ

---

Ricardo Valeriano Alves

Prof. Associado,D.Sc., EP/UFRJ

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL.

JULHO de 2013

Amorim, Tiago Eller

Estudo de Alteração Estrutural em Edificação Mista em  
Aço e Concreto de Pequeno Porte / Tiago Eller Amorim. –  
Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2013.

VI, 259p.: il.; 29,7cm

Orientador: Eduardo Miranda Batista

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica /  
Curso de Engenharia Civil, 2013,

Referências Bibliográficas: p.114

1. Análise Estrutural.
  2. Estrutura Mista Aço-Concreto.
  3. Dimensionamento ELU e ELS.
- I. Batista, Eduardo Miranda. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III. Título

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda orientação, sabedoria e bênçãos recebidas ao longo da caminhada dentro da universidade, para alcançar este importante objetivo em minha vida.

Aos meus pais Juarez e Cléia, gostaria de agradecer por cada palavra de carinho e apoio recebido e também pelos esforços sem medida para proporcionar a mim e meu irmão uma boa criação.

Ao meu irmão Marcelo, gostaria de dizer que o admiro muito como pessoa, profissional e irmão. Obrigado por todo companheirismo e por toda ajuda que me deu ao longo dos anos da faculdade.

Ao meu tio Mário, agradeço por todo incentivo e apoio dado. Tenho certeza que este agradecimento não é só meu, mas também de todos os primos que fizeram parte da república do AP do Mário.

Gostaria de agradecer por todos os anos de companheirismo, convivência e apoio que passei com os meus primos: Bruno, Mauro e Hugo, que moraram na república comigo, e com meus amigos da faculdade: André, Cássio, Jim, Berger e Raphael.

Agradeço a minha namorada Paula por todos os momentos em que esteve ao meu lado me apoiando.

A todos os professores da UFRJ que contribuíram para minha formação e, particularmente, ao Professor Eduardo Batista, pela orientação do projeto de graduação, muito obrigado.

A TECTON Engenharia e aos diretores Augusto e Oswaldo, agradeço pelo conhecimento compartilhado e pelo espaço e estrutura cedidos para o desenvolvimento do projeto final de curso e utilização do programa STRAP.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Civil

Estudo de Alteração Estrutural em Edificação Mista em Aço e Concreto de Pequeno  
Porte

Tiago Eller Amorim

Julho/2013

Orientador: Eduardo Miranda Batista

Curso: Engenharia Civil

Este trabalho tem por objetivo avaliar o impacto causado numa edificação mista em aço e concreto de pequeno porte devido à remoção de uma coluna metálica da estrutura com o objetivo de gerar área livre para um auditório no primeiro pavimento.

O trabalho é desenvolvido através do estudo da arquitetura da edificação, modelagem da estrutura em software de análise estrutural, verificação dos resultados, dimensionamento e proposta de alterações na estrutura.

Palavras-chave: Estruturas de edifícios, estrutura mista de aço e concreto, análise estrutural, dimensionamento estrutural.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Civil Engineer.

Study of Structural Modification in a Small Composite Building in Steel and Concrete

Tiago Eller Amorim

Julho/2013

Advisor: Eduardo Miranda Batista

Course: Civil Engineering

The present work is aimed at evaluating the impact in a steel and concrete composite building caused by the removal of a steel column of the structure, in order to create an auditorium space in the ground floor.

The structural engineering analysis was developed by the study of the building architecture, modeling for numerical structural analysis based on commercial software, verification of the output results, structural design and proposal of modifications in the original structure.

Keywords: Building structures, steel and concrete composite structure, structural analysis, structural design.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	PROJETO E DIMENSIONAMENTO DO EDIFÍCIO DO LABORATÓRIO BIOETANOL.....	3
2.1	CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO .....	3
2.2	SISTEMA ESTRUTURAL.....	4
2.3	PROPRIEDADES E MATERIAIS .....	9
2.4	MODELO ESTRUTURAL.....	9
2.4.1	Geometria do Modelo .....	9
2.4.2	Carregamentos .....	19
2.4.3	Combinações de cargas.....	35
2.4.4	Classificação da estrutura quanto à deslocabilidade .....	36
2.5	RESULTADOS E DIMENSIONAMENTO.....	39
2.5.1	Dimensionamento das colunas metálicas .....	40
2.5.2	Dimensionamento das vigas mistas.....	59
2.5.3	Dimensionamento das vigas metálicas .....	80
2.5.4	Dimensionamento das placas de base das colunas e chumbadores .....	91
2.5.5	Dimensionamento das ligações viga-viga e viga-coluna .....	102
2.5.6	Verificação dos deslocamentos máximos da estrutura .....	111
2.6	EXIGÊNCIAS DE RESISTÊNCIA AO FOGO (NBR14432) .....	113
3	CONCLUSÃO.....	114
4	BIBLIOGRAFIA.....	115
	ANEXO A – DESENHOS DE ARQUITETURA DO LABORATÓRIO BIOETANOL.....	116
	ANEXO B – MEMÓRIA DE CÁLCULO .....	126
B.1	– DIMENSIONAMENTO DAS COLUNAS METÁLICAS.....	127
B.2	– DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS MISTAS .....	167
B.3	– DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS DE BASE E CHUMBADORES.....	239
B.4	– DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES VIGA-VIGA E VIGA-COLUNA .....	248

## 1 INTRODUÇÃO

O presente Projeto Final de Curso (PFC) se refere a uma edificação em estrutura mista de aço e concreto construída no Campus da Cidade Universitária da UFRJ, na Ilha do Fundão, que abriga o Laboratório de Bioetanol. O presente PFC não é um trabalho de avaliação da edificação existente, devendo ser considerado como um trabalho acadêmico desenvolvido com base em dados reais do projeto arquitetônico e em uma versão preliminar do projeto básico da estrutura. Os dados e informações de origem não se referem, portanto, ao projeto de estruturas final executado ou à condição *as built* da edificação. O presente PFC não se propõe a apresentar uma verificação completa e detalhada do projeto estrutural executado no Campus da Cidade Universitária da UFRJ.

O PFC tem por objetivo estudar os efeitos devidos a uma alteração estrutural, proposta na edificação do Laboratório de Bioetanol para pesquisas de biocombustíveis. A edificação consiste de uma estrutura mista em aço e concreto de três andares (1º pavimento ou térreo, mezanino, 2º pavimento e cobertura) em solução aporticada, apresentada na figura 1-1. Os desenhos de arquitetura do laboratório são apresentados no Anexo A.



Figura 1-1 – Laboratório Bioetanol, Campus da UFRJ – Foto tirada em 09/08/2012.

O cenário proposto para este trabalho consiste da remoção de uma coluna metálica da estrutura, proposta durante a fase de elaboração do projeto executivo do laboratório, gerando área livre para um auditório. A figura 1-2 apresenta a arquitetura do 1º pavimento do laboratório. A coluna a ser removida é a coluna localizada nos eixos B-2, indicada na figura 1-2. A geometria da estrutura e a alteração proposta são apresentadas em maiores detalhes nas seções subsequentes.

Para avaliação dos efeitos da alteração, o modelo estrutural do laboratório é revisado com a remoção da coluna, resultando numa nova estrutura. Esta estrutura e os elementos estruturais são verificados para o Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS). O dimensionamento é feito segundo orientações e recomendações da norma NBR 8800 [1] para estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

O capítulo 2 deste trabalho apresenta o projeto completo e o dimensionamento do laboratório Bioetanol. Nas seções 2.1 e 2.2 são apresentadas as características do edifício e o sistema estrutural adotado. Na seção 2.3 são apresentados os materiais adotados com suas características e propriedades. A Seção 2.4 apresenta o modelo estrutural desenvolvido para estudo da estrutura, as ações atuantes e as combinações de cargas. A verificação e dimensionamento da estrutura e dos elementos estruturais são apresentados na seção 2.5. Neste trabalho são desenvolvidos os dimensionamentos apenas dos elementos afetados diretamente com a remoção da coluna.

O modelo estrutural do edifício foi desenvolvido no programa de análise estrutural *STRAP* [2], e as verificações no ELU e ELS foram automatizadas através de planilhas desenvolvidas no programa *MathCad* [3].

Os projetos originais de arquitetura e estruturas do Laboratório Bioetanol foram fornecidos pela arquiteta Fernanda Metello, arquiteta da COPPE na Fundação COPPETEC.

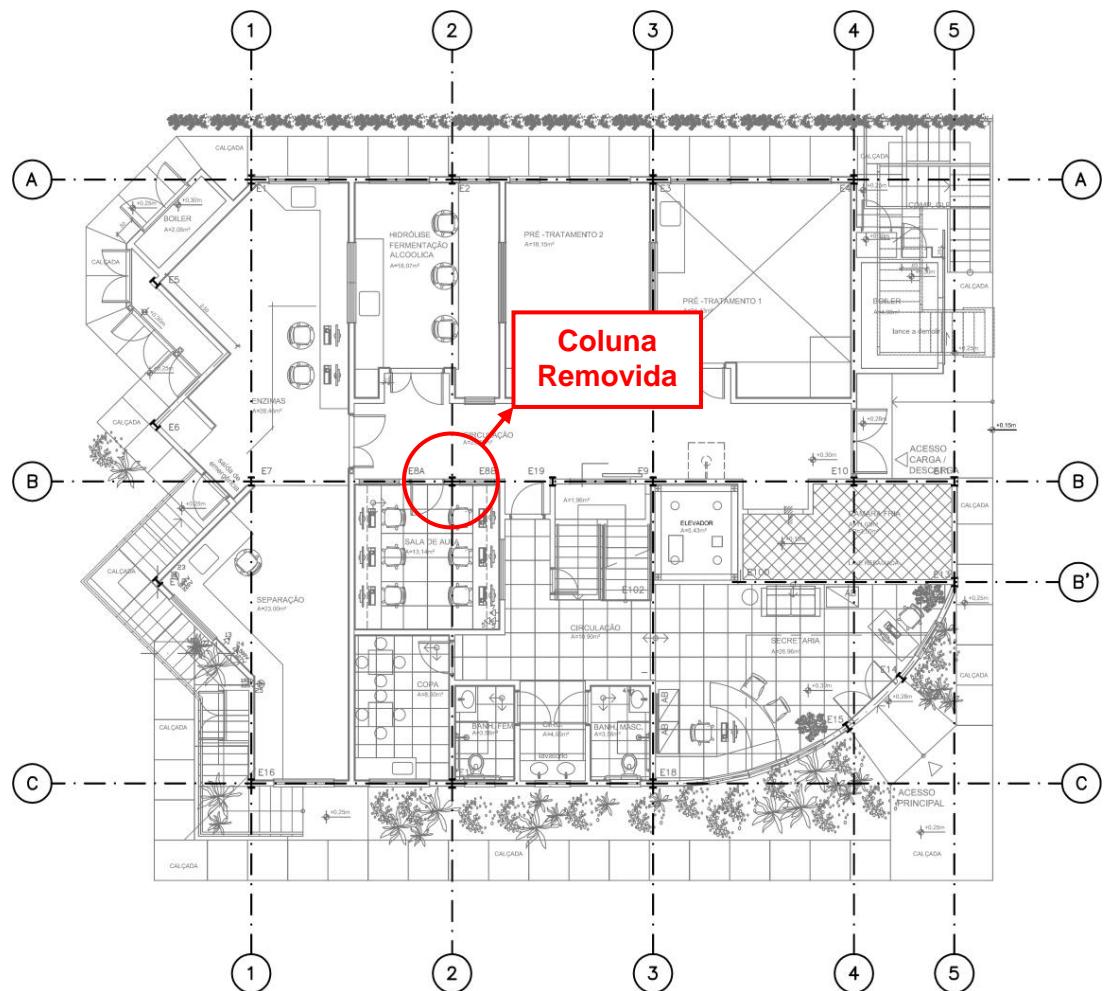


Figura 1-2 – Laboratório Bioetanol – Arquitetura do 1º Pavimento – Coluna removida

## 2 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DO EDIFÍCIO DO LABORATÓRIO BIOETANOL

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO

A geometria básica do edifício do Laboratório Bioetanol é resumida na Tabela 2-1 e ilustrada nas figuras 2-1 e 2-2.

Tabela 2-1 – Geometria laboratório Bioetanol – Características gerais

CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDADE
COMPRIMENTO	17,50	m
LARGURA	15,00	m
ALTURA	12,25	m
PÉ DIREITO	Variável	m
NUMERO PAVIMENTOS	4	-

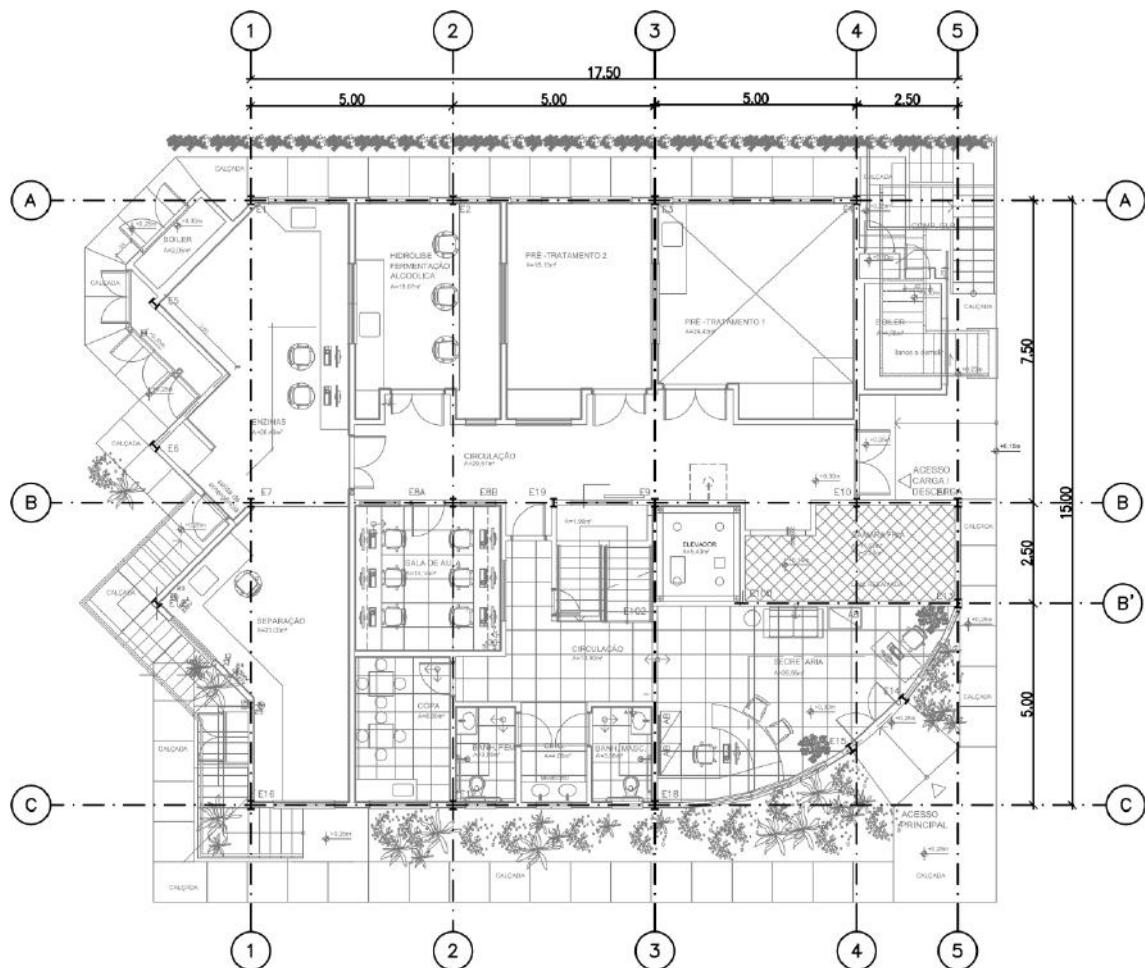


Figura 2-1 – Geometria do Laboratório Bioetanol – Planta – Dimensões em metros

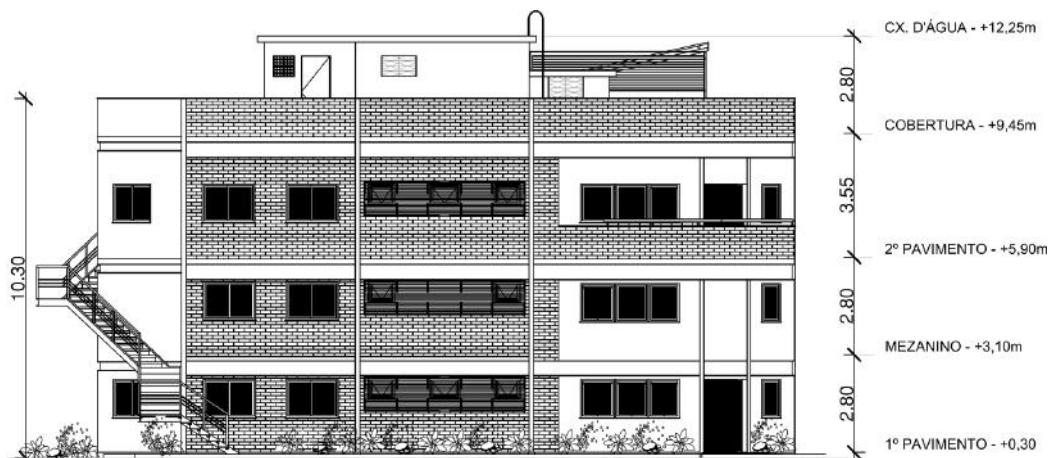


Figura 2-2 – Geometria do Laboratório Bioetanol – Elevação – Dimensões em metro

## 2.2 SISTEMA ESTRUTURAL

O edifício Laboratório Bioetanol consiste de uma estrutura mista em aço e concreto, originalmente projetada como aporticada nas direções longitudinal e transversal, composta por laje *steel deck*, vigas metálicas, vigas mistas e colunas

metálicas. As colunas são consideradas engastadas apenas na direção de maior inércia do perfil. O sistema estrutural em pórtico foi adotado visando compatibilidade com a arquitetura. As figuras 2-3 a 2-6 apresentam o plano de base e os desenhos dos planos das vigas do mezanino, 2º pavimento e cobertura com a indicação da nomenclatura de eixos, colunas, vigas e lajes, utilizada no projeto. A figura 2-7 apresenta a elevação do eixo B.

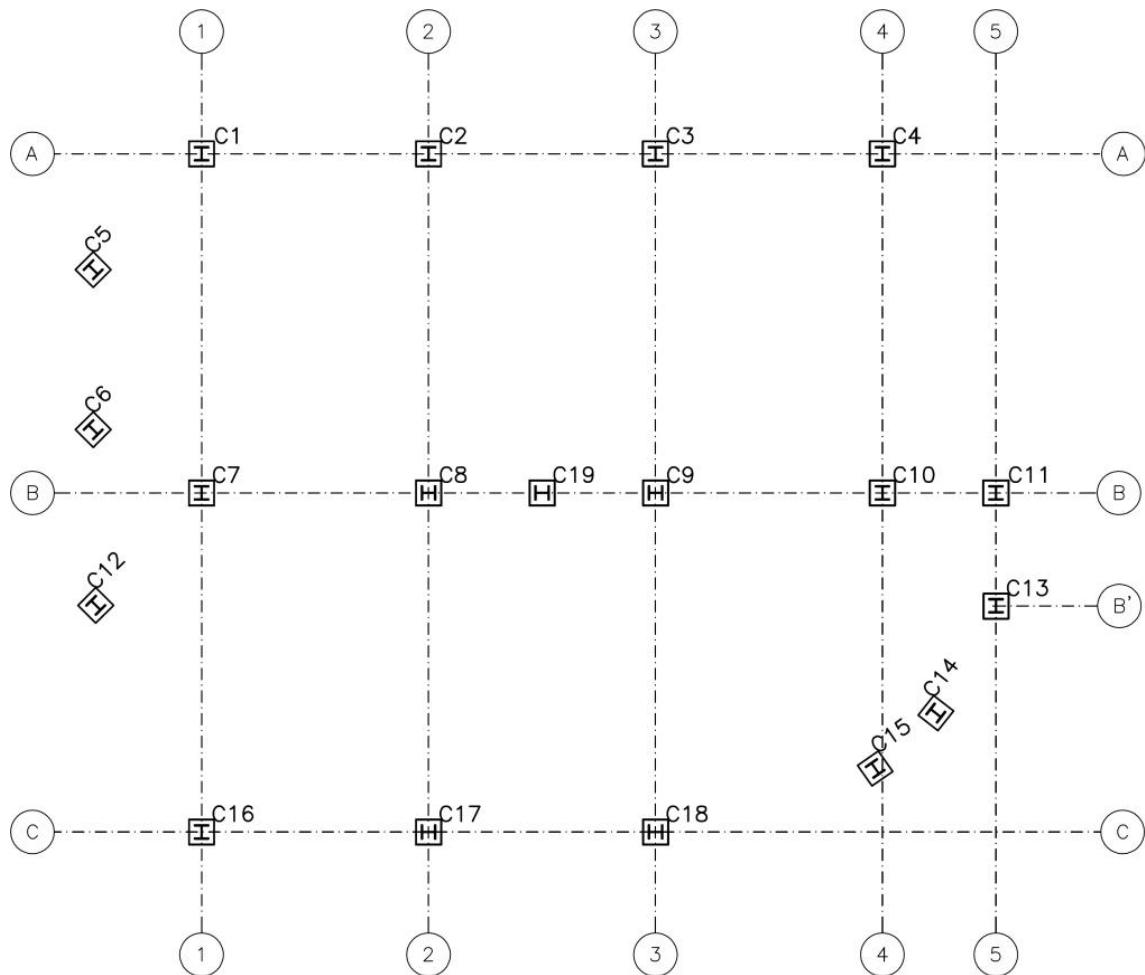


Figura 2-3 – Plano das bases – EL:+50mm

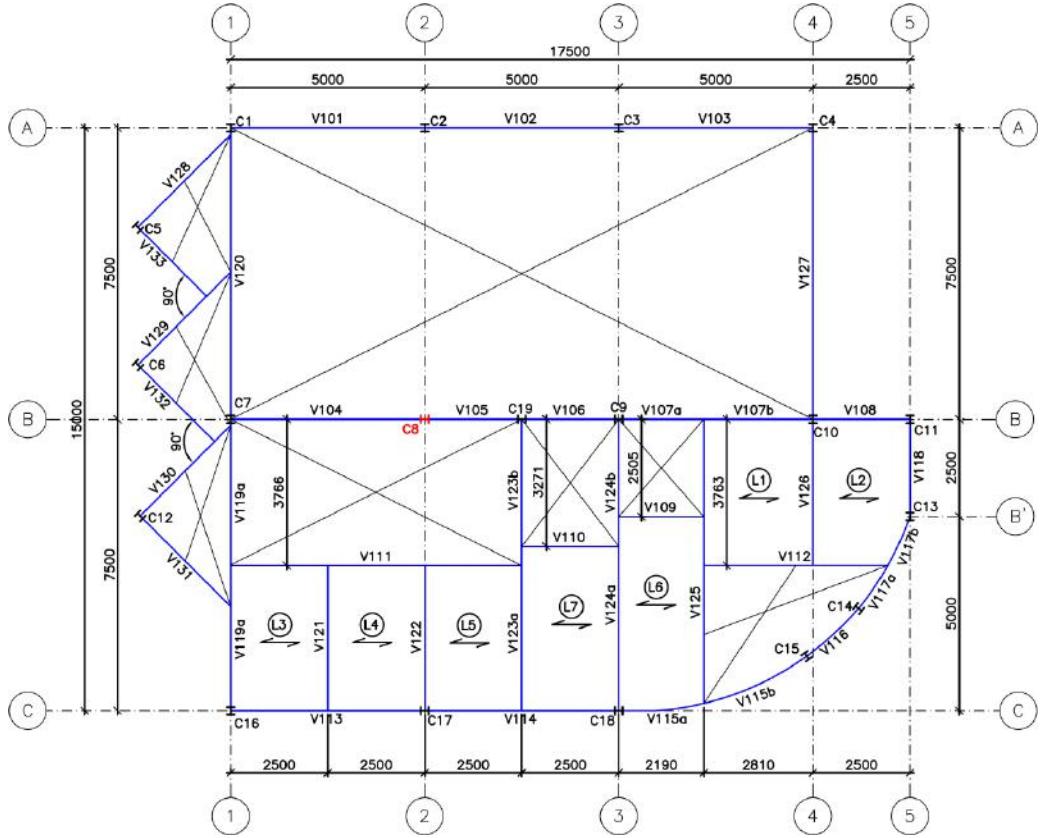


Figura 2-4 – Plano das vigas – EL:+3100mm (Mezanino) – Dimensões em mm

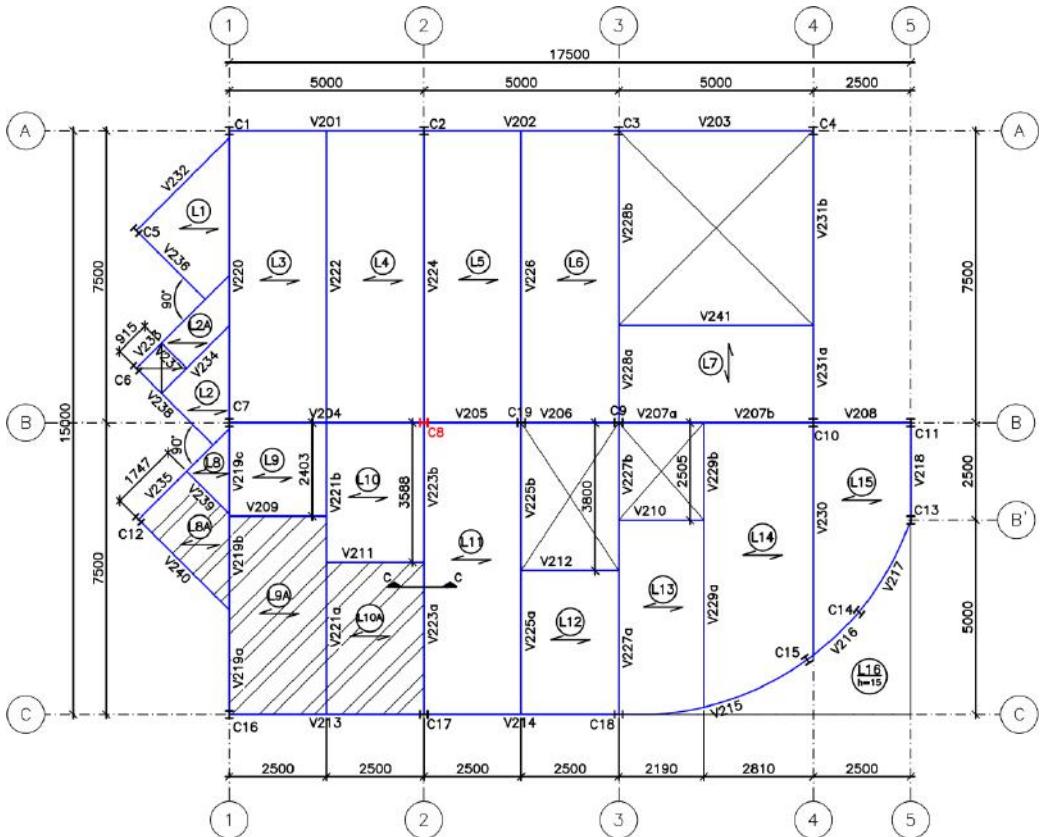


Figura 2-5 – Plano das vigas – EL:+5900mm (2º Pavimento) – Dimensões em mm

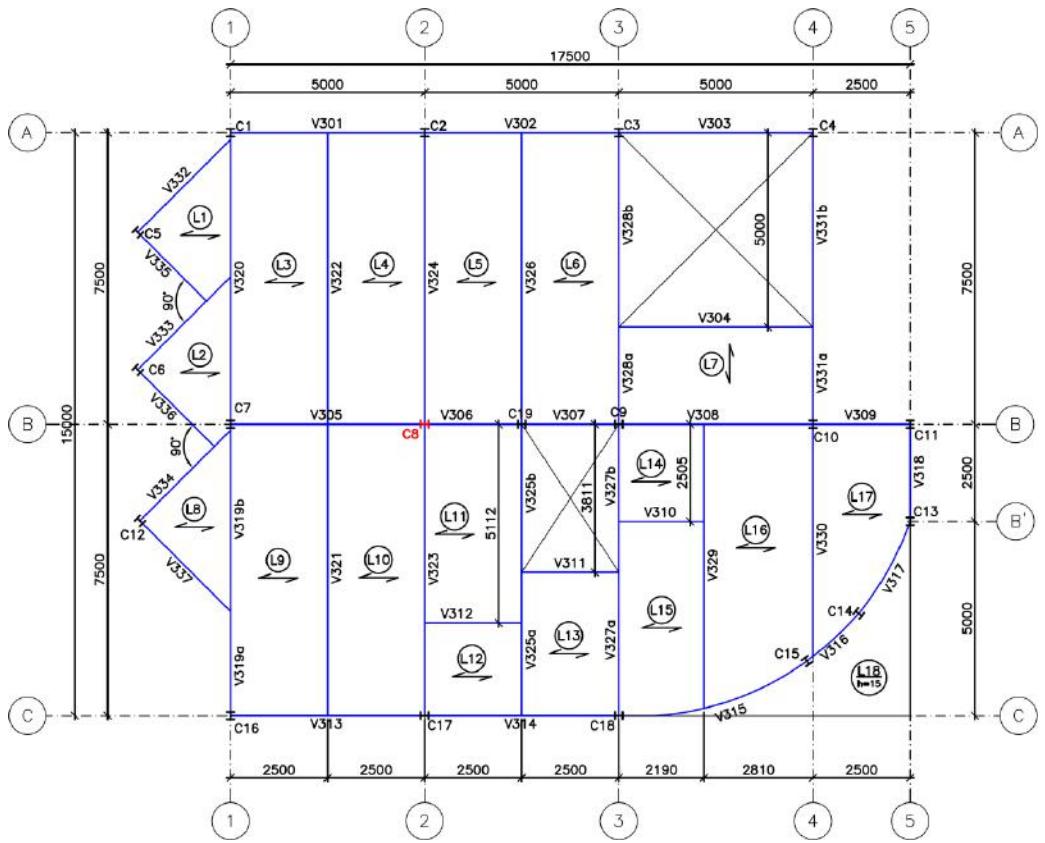


Figura 2-6 – Plano das vigas – EL:+9450mm (cobertura) – Dimensões em mm

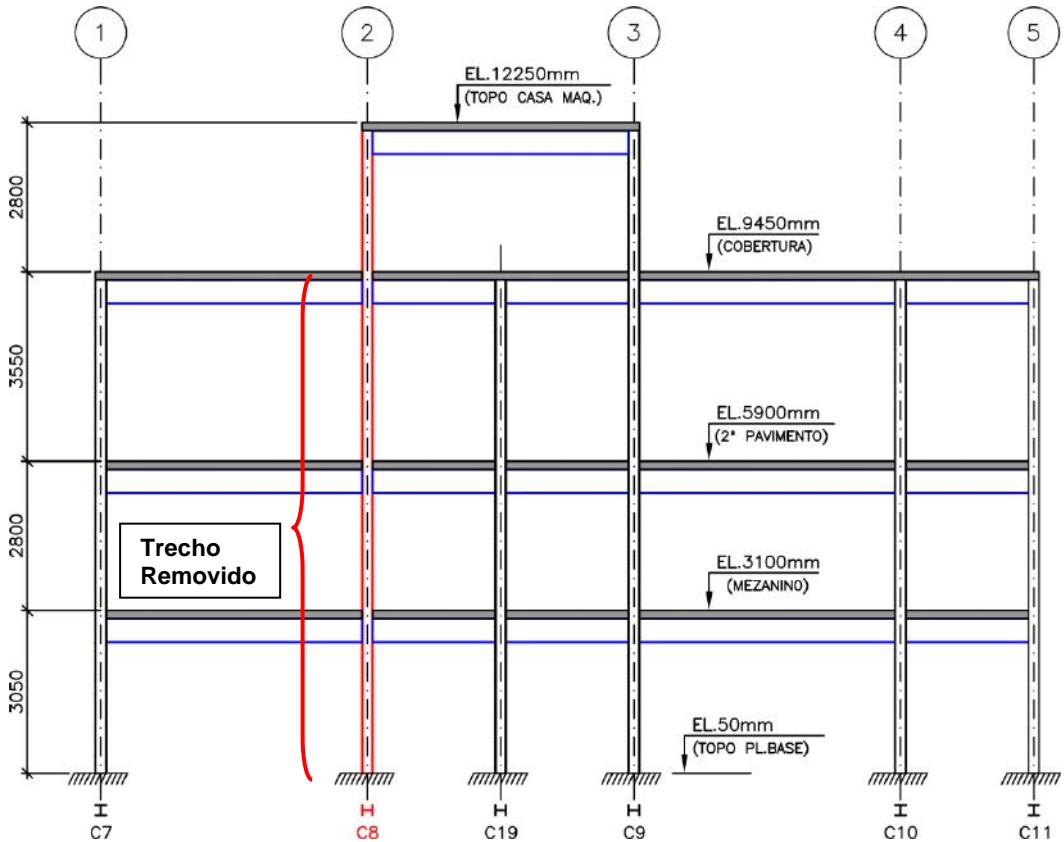


Figura 2-7 – Elevação Eixo B – Dimensões em mm

Analizando as figuras anteriores, destacado em vermelho temos a indicação da coluna C8, na posição de eixos B-2, que deve ser retirada. Como consequência da remoção da coluna, as vigas têm seus vãos aumentados de 5,0 metros para 7,5 metros, apoiando-se diretamente nas colunas C7 e C19. Estas, em consequência, sofrem um aumento de carga.

Para as lajes do laboratório, foi adotado o sistema de lajes com fôrma de aço incorporada, *steel deck*. As lajes adotadas estão de acordo com catálogo técnico de lajes *steel deck* da Metform [2]. Foi adotado fôrma de aço MF-50 de 0,80mm de espessura, laje de 150mm, armadura em tela soldada Q-133 e conectores de cisalhamento do tipo stud bolts. Esta configuração foi adotada, pois se adéqua aos vãos das lajes e cargas atuantes nos pavimentos. A figura 2-8 apresenta as dimensões típicas da fôrma de aço.

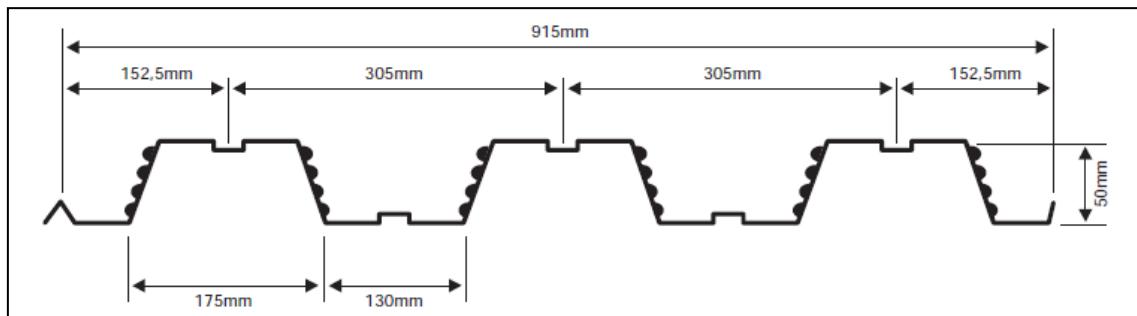


Figura 2-8 – Fôrma Steel Deck MF-50 – Extraído do catálogo Metform [2]

Na figura 2-5, as lajes L8A, L9A e L10A destacadas em hachuras, apresentam espessura de laje de 90mm pois nesta região é previsto pela arquitetura laje anti-vibração. O detalhe pode ser observado na figura 2-9 que apresenta o corte C-C no plano das vigas do 2º pavimento.

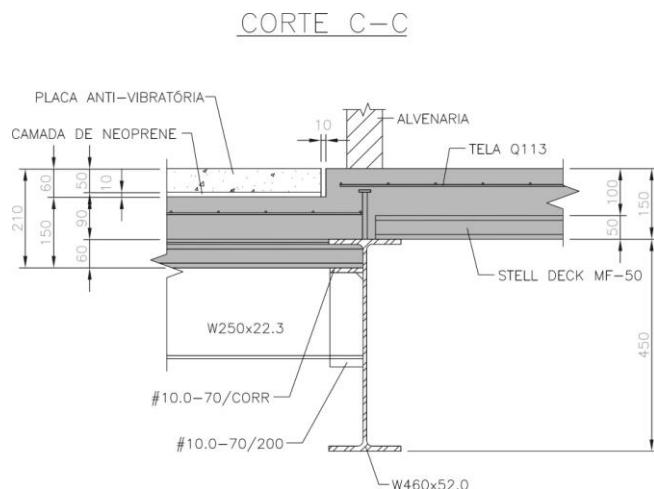


Figura 2-9 – Corte C-C – Dimensões em mm

As vigas mistas são dimensionadas trabalhando com interação completa e o sistema construtivo prevê escoramento das vigas durante a concretagem da laje.

## 2.3 PROPRIEDADES E MATERIAIS

As propriedades dos aços e concreto utilizados na estrutura são resumidas nas tabelas 2-2 e 2-3, a seguir.

Tabela 2-2 – Parâmetros de resistência dos aços e concreto empregado na estrutura

ITEM	AÇO / CONCRETO	$f_y / f_{ck}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_u$ (kN/cm <sup>2</sup> )
PERFIS W/H LAMINADOS	ASTM A572 GR.50	35,00	45,00
PERFIL CANTONEIRA	ASTM A36	25,00	40,00
PLACA DE BASE	ASTM A572 GR.50	35,00	45,00
CHUMBADORES	ASTM A36	25,00	40,00
PARAFUSOS	ASTM A325	63,50	82,50
CONECTOR DE CISALHAMENTO	-	-	41,50
CONCRETO	C25	2,50	-

Tabela 2-3 – Propriedades do aço e concreto

MATERIAL	MODULO DE ELASTICIDADE (E) (MPa)	POISSON ( $\nu$ )	DENSIDADE ( $\gamma$ ) (kN/m <sup>3</sup> )
AÇO	200000	0,30	78,50
CONCRETO	23800	0,20	25,00

## 2.4 MODELO ESTRUTURAL

A estrutura do laboratório Bioetanol foi modelada no programa de análise estrutural *STRAP – Structural Analysis Programs – V.2009* da *Atir engineering software development [2]*. O modelo é composto por elementos de barra e as seções a seguir apresentam a geometria do modelo, propriedades adotadas e carregamentos aplicados.

### 2.4.1 Geometria do Modelo

As figuras 2-10 a 2-17 apresentam a geometria em planta do mezanino, 2º pavimento e cobertura, as elevações dos eixos A, B e C, e vistas isométricas da estrutura. O modelo estrutural apresentado a seguir, já considera a remoção da coluna C8.

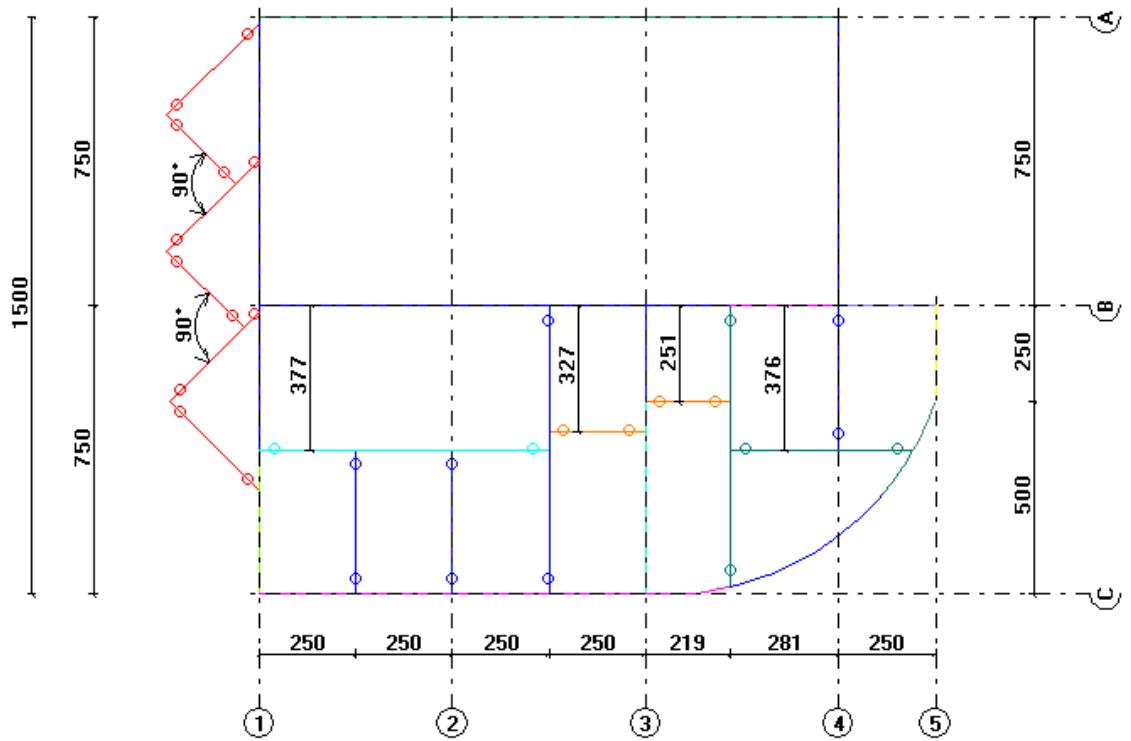


Figura 2-10 – Modelo Estrutural – Planta Mezanino Cotado – Dimensões em cm

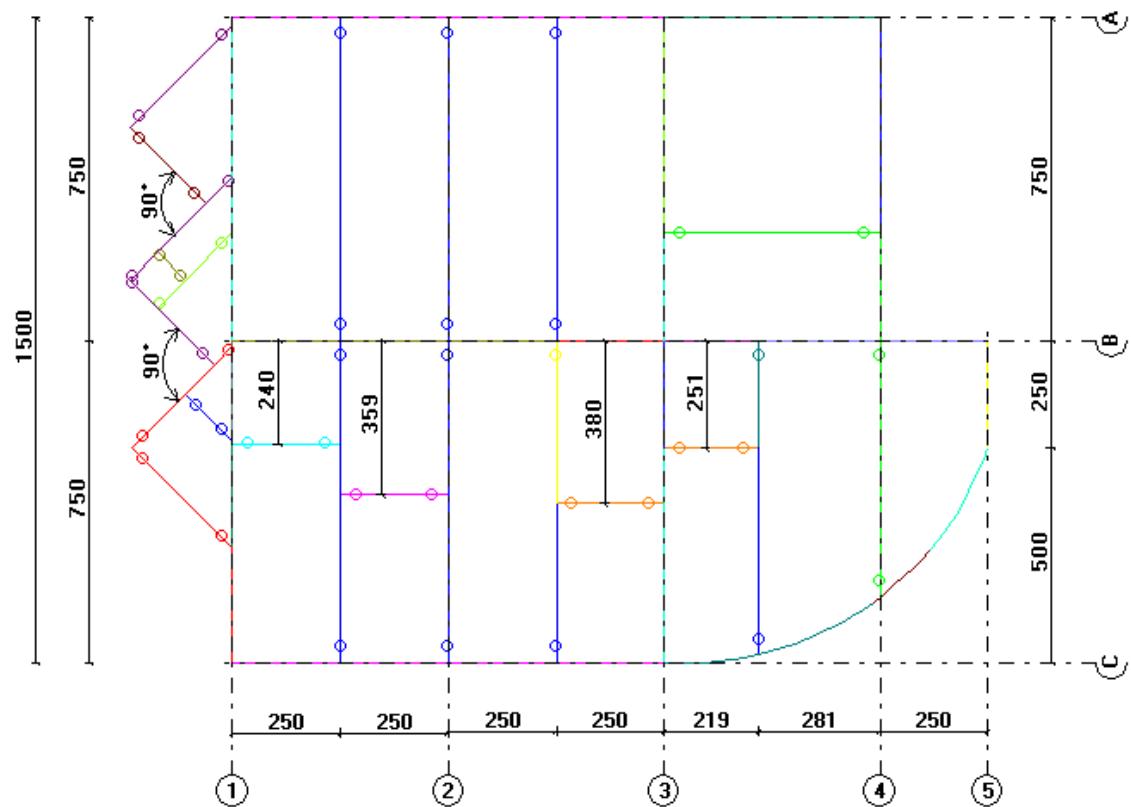


Figura 2-11 – Modelo Estrutural – Planta 2º Pavimento – Dimensões em cm

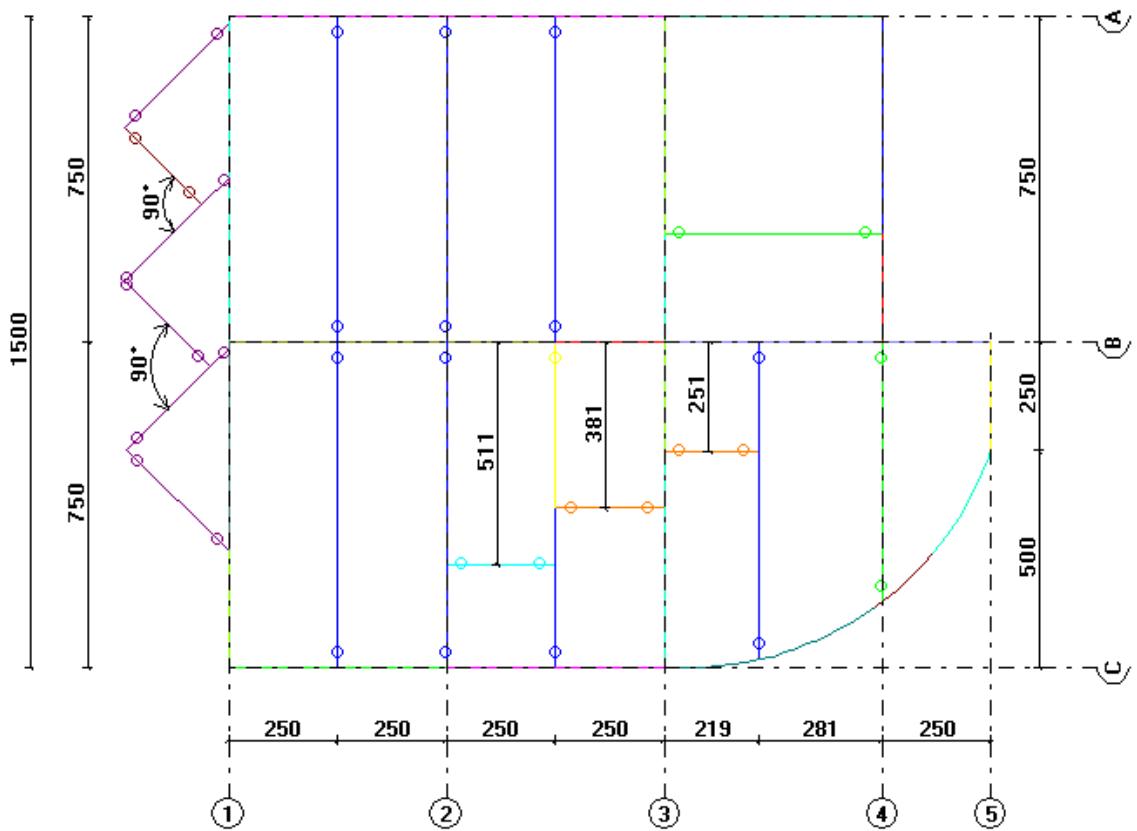


Figura 2-12 – Modelo Estrutural – Planta Cobertura – Dimensões em cm

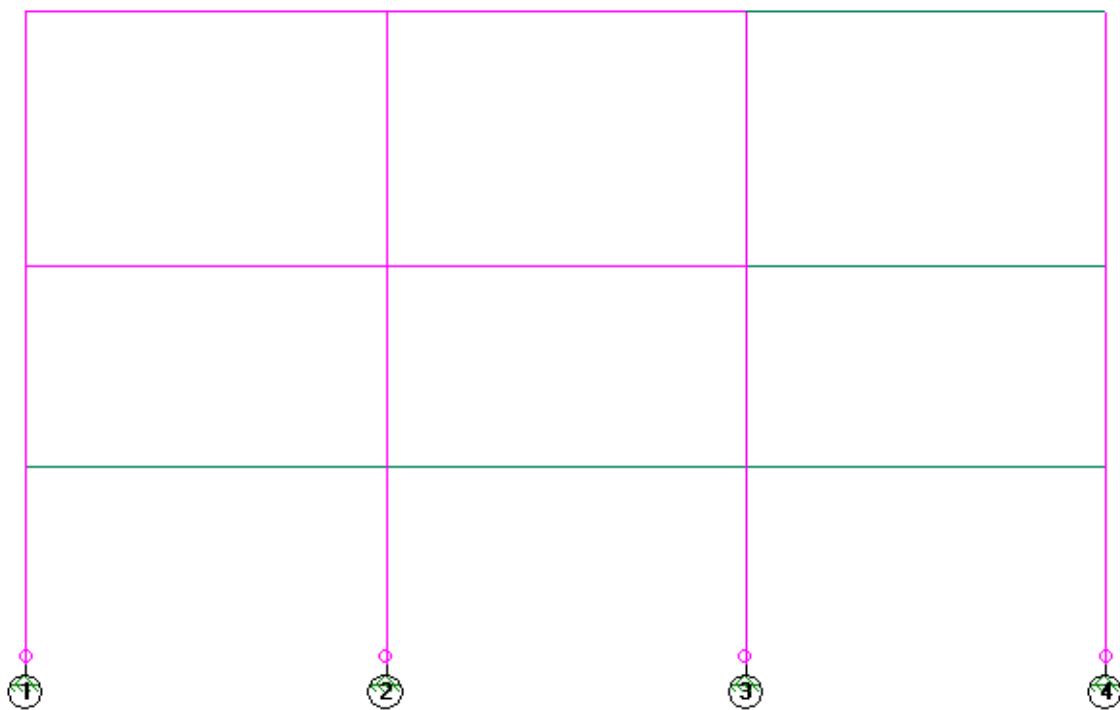


Figura 2-13 – Modelo Estrutural – Elevação do Eixo A

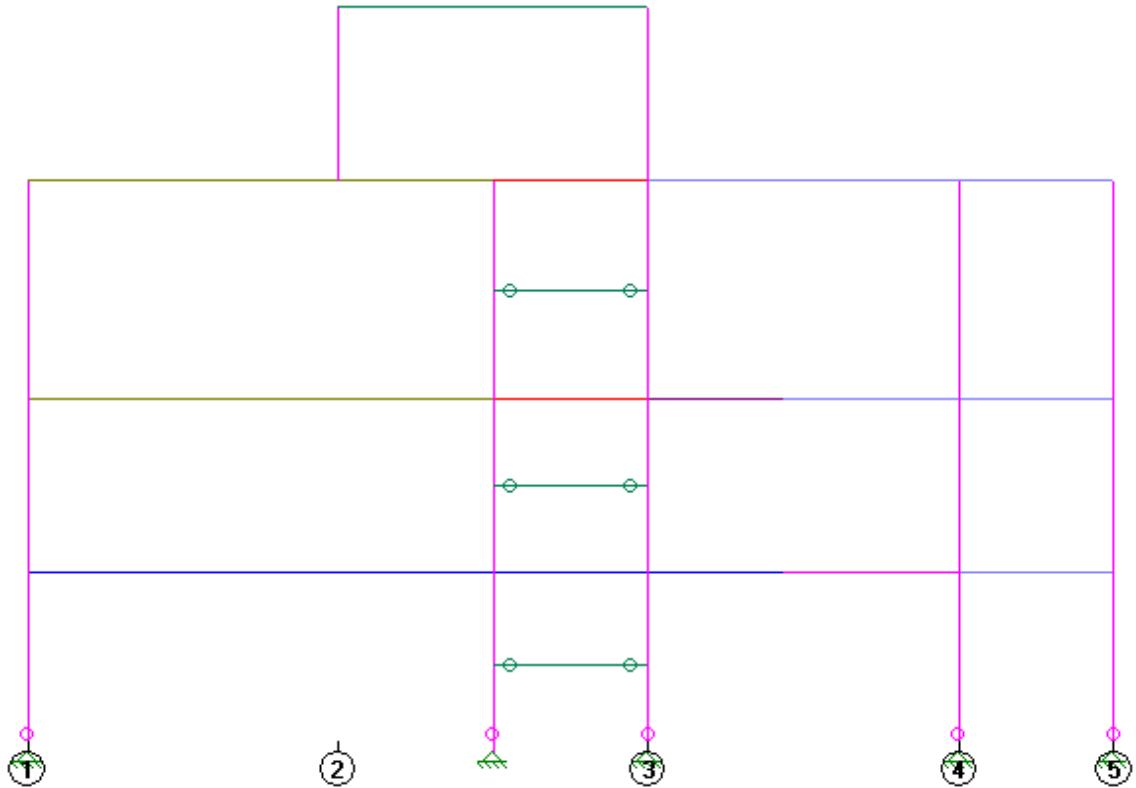


Figura 2-14 – Modelo Estrutural – Elevação do Eixo B

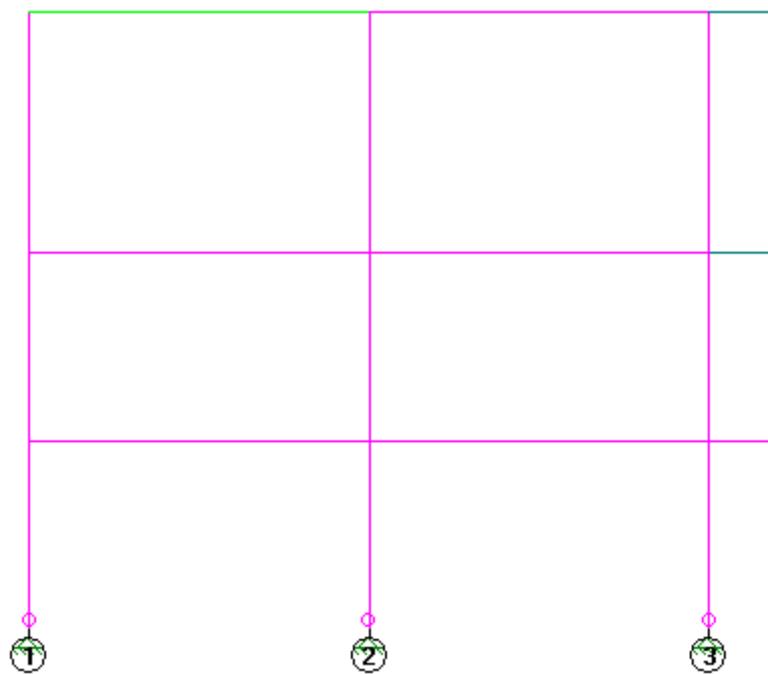


Figura 2-15 – Modelo Estrutural – Elevação do Eixo C

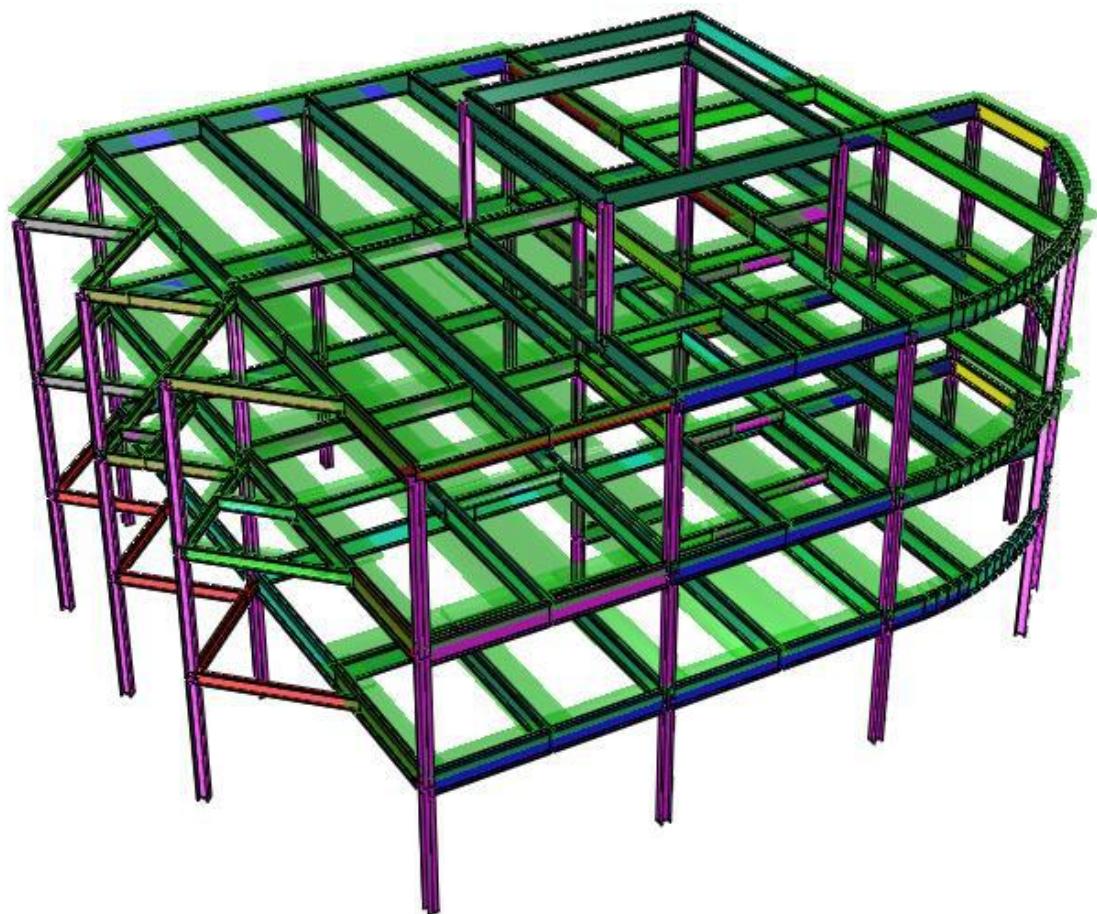


Figura 2-16 – Modelo Estrutural – Vista Isométrica

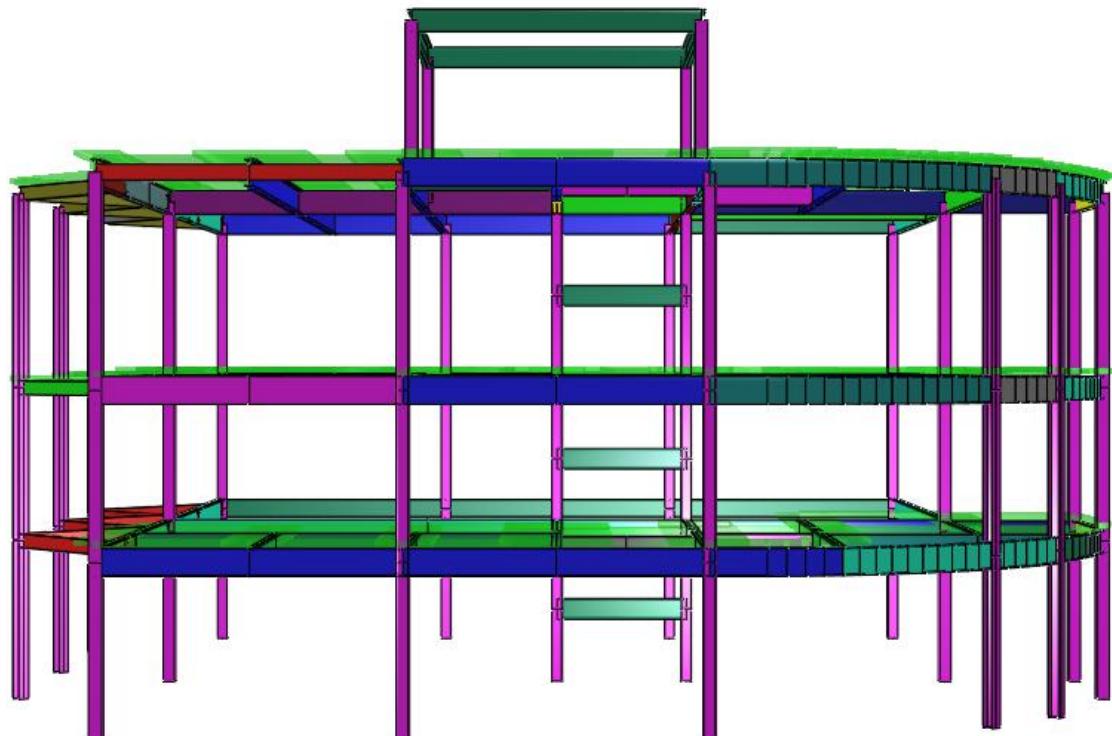


Figura 2-17 – Modelo Estrutural – Vista Isométrica

#### 2.4.1.1 Propriedades Geométricas

##### a) Perfil Metálico

Os perfis metálicos utilizados no projeto são perfis W laminados. As especificações técnicas e propriedades geométricas dos perfis estão de acordo com catálogo Gerdau Açominas [5]. Os perfis laminados adotados para as colunas e vigas são apresentados na tabela 2-4.

Tabela 2-4 – Tabela de perfis laminados utilizados

PERFIL LAMINADO	UTILIZAÇÃO
W 250x22,3	VIGA
W 410x38,8	
W 460x52,0	
W 200x52,0	COLUNA

A classificação quanto à flambagem local de mesa e alma dos perfis adotados para vigas e colunas são verificados segundo os parâmetros de esbeltez limites fornecidos nas tabelas F.1 e G.1, anexos F e G respectivamente, da NBR 8800 [1]. O Anexo F trata da flambagem local de barras axialmente comprimidas e o Anexo G trata do cálculo do momento fletor resistente de vigas de alma não esbelta. As tabelas 2-5 e 2-6 apresentam a classificação do perfil quanto à flambagem local de mesa e alma dos perfis laminados adotados.

Tabela 2-5 – Classificação das vigas quanto à flambagem local de mesa e alma.

PERFIL	PROPRIEDADES DOS PERFIS		PARAMETRO DE ESBELTEZ (b/t)		MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO DE VIGAS DE ALMA NÃO-ESBELTA (ANEXO G - NBR 8800:2008)					
	E	f <sub>y</sub>	MESA	ALMA	MESA		ALMA		CLASSIFICAÇÃO	
	(kN/cm <sup>2</sup> )	(kN/cm <sup>2</sup> )	(bf/2tf)	(hw/t <sub>0</sub> )	λ <sub>p</sub>	λ <sub>r</sub>	λ <sub>p</sub>	λ <sub>r</sub>	MESA	ALMA
W 250x22,3	20000	35	7,4	38,0	9,1	23,7	89,9	136,3	COMPACTA	COMPACTA
W 410x38,8	20000	35	8,0	55,8	9,1	23,7	89,9	136,3	COMPACTA	COMPACTA
W 460x52,0	20000	35	7,0	53,2	9,1	23,7	89,9	136,3	COMPACTA	COMPACTA

Onde, para perfis laminados com dupla simetria:

- Mesa

$$\lambda_p = 0,38\sqrt{E/f_y}; \quad \lambda_r = 0,83\sqrt{E/(f_y - \sigma_r)}$$

- Alma

$$\lambda_p = 3,76\sqrt{E/f_y}; \quad \lambda_r = 5,70\sqrt{E/f_y}$$

Tabela 2-6 – Classificação da coluna quanto à flambagem local de mesa e alma.

PERFIL	PROPRIEDADES DOS PERFIS		PARAMETRO DE ESBELTEZ (b/t)		FLAMBAGEM LOCAL DE BARRAS AXIALMENTE COMPRIMIDAS (ANEXO F - NBR 8800:2008)					
	E (kN/cm²)	f <sub>y</sub> (kN/cm²)	MESA (bf/2tf)	ALMA (hw/t <sub>0</sub> )	MESA		ALMA	CLASSIFICAÇÃO		
					(b/t)inf	(b/t)sup	(b/t)lim	MESA	ALMA	
W 200x52.0	20000	35	8,1	19,8	13,4	24,6	35,6	COMPACTA	COMPACTA	

Onde, para perfis laminados:

- Mesa

$$(b/t)\text{lim} = 0,56\sqrt{E/f_y}$$

- Alma

$$(b/t)\text{lim} = 1,49\sqrt{E/f_y}$$

Os perfis laminados adotados para as vigas metálicas são apresentados na tabela 2-7, a seguir.

Tabela 2-7 – Vigas metálicas – Perfis laminados adotados

VIGA METÁLICA	PAVIMENTO	PERFIL
<b>V101</b>	MEZANINO	W 410x38,8
<b>V102</b>	MEZANINO	W 410x38,8
<b>V103</b>	MEZANINO	W 410x38,8
<b>V104</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V105</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V106</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V107a</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V115b</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V116</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V117a</b>	MEZANINO	W 410x38,8
<b>V119b</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V120</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V123b</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V124b</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V127</b>	MEZANINO	W 460x52,0
<b>V128</b>	MEZANINO	W 250x22,3
<b>V129</b>	MEZANINO	W 250x22,3
<b>V130</b>	MEZANINO	W 250x22,3
<b>V131</b>	MEZANINO	W 250x22,3
<b>V132</b>	MEZANINO	W 250x22,3
<b>V133</b>	MEZANINO	W 250x22,3
<b>V203</b>	2º PAV	W 410x38,8
<b>V227b</b>	2º PAV	W 460x52,0
<b>V231b</b>	2º PAV	W 460x52,0
<b>V303</b>	COBERTURA	W 410x38,8
<b>V331b</b>	COBERTURA	W 460x52,0

### b) Viga Mista

As vigas mistas são dimensionadas de acordo com o anexo O da norma NBR 8800 [1]. O sistema construtivo adotado prevê escoramento das vigas durante a concretagem da laje e dimensionadas para interação completa. Para o cálculo da largura efetiva, conservadoramente para os casos de vigas contínuas e semicontínuas, adota-se a distância entre pontos de momento nulo como 7/10 da distância entre apoios, conforme apresentado na figura 2-18. A área de concreto contida na região das nervuras da fôrma de aço *steel deck* é desconsiderada na área da mesa colaborante nos casos onde as vigas mistas são transversais à direção da nervura.

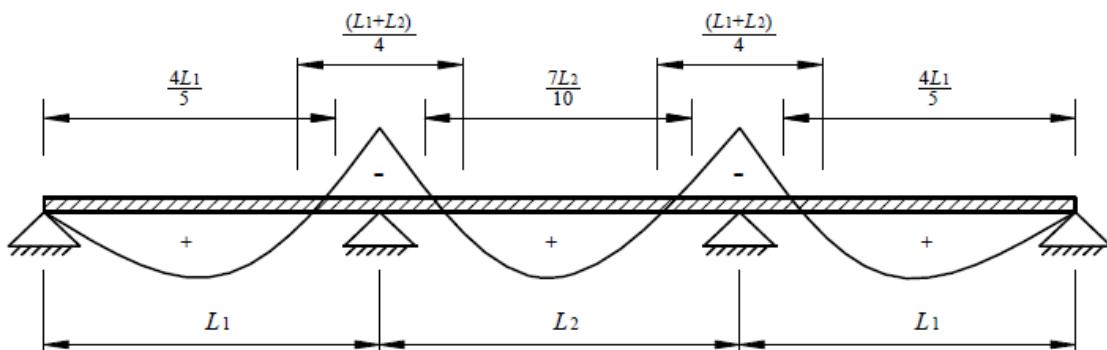


Figura 2-18 – Distâncias simplificadas entre pontos de momento nulo. Figura extraída da NBR880 [1]

A seguir é apresentado o cálculo da largura efetiva da viga mista contínua V305, indicado na figura 2-6.

- Viga mista V305:

Sendo:

$L$  = vão da viga.

$L_0$  = distância entre pontos de momento nulo.

$b_1$  = largura efetiva à esquerda do eixo da viga.

$b_2$  = largura efetiva à direita do eixo da viga.

$b$  = largura efetiva =  $b_1+b_2$

$t_c$  = altura da laje de concreto.

$h_f$  = altura da nervura da fôrma de aço *steel deck*.

A NBR 8800 [1] em seu item O.2.2.1, indica que o valor de  $b_1$  e  $b_2$  deve ser o menor entre os valores:

- 1/8 da distância entre pontos de momento nulo =  $L_0/8$
- Metade da distância entre a linha de centro da viga analisada e a linha de centro da viga adjacente.
- Distância entre a linha de centro à borda de uma laje em balanço.

Analizando a disposição da viga mista V305 na estrutura, temos:

$$L = 750,00 \text{ cm (vão da viga após remoção da coluna C8)}$$

$$L_0 = (7/10) \times L = (7 \times 750)/10 = 525,00 \text{ cm}$$

$$b_1 = \text{menor valor } (L_0/8, 750/2) = 65,63 \text{ cm}$$

$$b_2 = \text{menor valor } (L_0/8, 750/2) = 65,63 \text{ cm}$$

$$b = 65,63 \text{ cm} + 65,63 \text{ cm} = 131,3 \text{ cm}$$

$$t_c = 15,0 \text{ cm (nervuras paralelas)}$$

$$h_f = 0,00 \text{ cm (nervuras paralelas)}$$

Para simplificação, ao final do cálculo das mesas colaborantes, as vigas mistas foram agrupadas e resumidas em 37 tipos diferentes. A tabela 2-8 apresenta o perfil laminado adotado e a mesa colaborante calculada e adotada para as vigas mistas do modelo estrutural.

Tabela 2-8 – Propriedades das vigas mistas

VIGA MISTA	PAVIMENTO	PERFIL	MESA COLABORANTE CALCULADA			MESA COLABORANTE ADOTADA		
			h <sub>f</sub> (cm)	t <sub>c</sub> (cm)	b (cm)	h <sub>f</sub> (cm)	t <sub>c</sub> (cm)	b (cm)
V107b	MEZANINO	W 460x52,0	0,0	15,0	51,4	0,0	15,0	51,5
V108	MEZANINO	W 410x38,8	0,0	15,0	28,9	0,0	15,0	28,9
V109	MEZANINO	W 250x22,3	0,0	15,0	32,5	0,0	15,0	34,8
V110	MEZANINO	W 250x22,3	0,0	15,0	36,4	0,0	15,0	34,8
V111	MEZANINO	W 460x52,0	0,0	15,0	101,4	0,0	15,0	101,4
V112	MEZANINO	W 410x38,8	0,0	15,0	66,2	0,0	15,0	66,2
V113	MEZANINO	W 460x52,0	0,0	15,0	51,4	0,0	15,0	51,5
V114	MEZANINO	W 460x52,0	0,0	15,0	51,4	0,0	15,0	51,5
V115a	MEZANINO	W 460x52,0	0,0	15,0	52,6	0,0	15,0	51,5
V117b	MEZANINO	W 410x38,8	5,0	10,0	30,9	5,0	10,0	30,9
V118	MEZANINO	W 410x38,8	5,0	10,0	28,9	5,0	10,0	28,9
V119a	MEZANINO	W 460x52,0	5,0	10,0	73,2	5,0	10,0	73,2
V121	MEZANINO	W 410x38,8	5,0	10,0	93,4	5,0	10,0	93,6
V122	MEZANINO	W 410x38,8	5,0	10,0	93,4	5,0	10,0	93,6
V123a	MEZANINO	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5	5,0	10,0	186,9
V124a	MEZANINO	W 460x52,0	5,0	10,0	131,3	5,0	10,0	131,3
V125	MEZANINO	W 460x52,0	5,0	10,0	99,0	5,0	10,0	94,5
V126	MEZANINO	W 410x38,8	5,0	10,0	94,1	5,0	10,0	93,6
V201	2º PAV	W 460x52,0	0,0	15,0	51,4	0,0	15,0	51,5

<b>V202</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	15,0	51,4
<b>V204</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	15,0	131,3
<b>V205</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	15,0	131,3
<b>V206</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	15,0	29,5
<b>V207a</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	51,4
<b>V207b</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	87,5
<b>V208</b>	2º PAV	W 410x38,8	0,0	15,0	28,9
<b>V209</b>	2º PAV	W 250x22,3	0,0	15,0	62,5
<b>V210</b>	2º PAV	W 250x22,3	0,0	15,0	32,5
<b>V211</b>	2º PAV	W 250x22,3	0,0	9,0	62,5
<b>V212</b>	2º PAV	W 250x22,3	0,0	15,0	36,4
<b>V213</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	9,0	51,4
<b>V214</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	15,0	51,4
<b>V215</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	90,0
<b>V216</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	31,8
<b>V217</b>	2º PAV	W 410x38,8	5,0	10,0	47,8
<b>V218</b>	2º PAV	W 410x38,8	5,0	10,0	28,9
<b>V219a</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	9,0	73,2
<b>V219b</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	9,0	123,9
<b>V219c</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	123,9
<b>V220</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	131,3
<b>V221a</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	9,0	187,5
<b>V221b</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5
<b>V222</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5
<b>V223a</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	9,0	187,5
<b>V223b</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5
<b>V224</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5
<b>V225a</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5
<b>V225b</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	101,4
<b>V226</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5
<b>V227a</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	131,3
<b>V228a</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	131,3
<b>V228b</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	73,2
<b>V229a</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	182,8
<b>V229b</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	99,0
<b>V230</b>	2º PAV	W 460x52,0	5,0	10,0	149,3
<b>V231a</b>	2º PAV	W 460x52,0	0,0	15,0	73,2
<b>V232</b>	2º PAV	W 250x22,3	5,0	10,0	47,3
<b>V233</b>	2º PAV	W 250x22,3	5,0	10,0	47,3
<b>V234</b>	2º PAV	W 250x22,3	5,0	10,0	61,5
<b>V235</b>	2º PAV	W 250x22,3	0,0	9,0	46,3
<b>V236</b>	2º PAV	W 250x22,3	5,0	10,0	36,4
<b>V237</b>	2º PAV	W 250x22,3	5,0	10,0	16,5
<b>V238</b>	2º PAV	W 250x22,3	5,0	10,0	40,0
<b>V239</b>	2º PAV	W 250x22,3	0,0	9,0	38,7
<b>V240</b>	2º PAV	W 250x22,3	0,0	9,0	46,3
<b>V241</b>	2º PAV	W 410x38,8	5,0	10,0	69,5
<b>V301</b>	COBERTURA	W 460x52,0	0,0	15,0	51,4
<b>V302</b>	COBERTURA	W 460x52,0	0,0	15,0	51,4
<b>V304</b>	COBERTURA	W 410x38,8	5,0	10,0	69,5
<b>V305</b>	COBERTURA	W 460x52,0	0,0	15,0	131,3
<b>V306</b>	COBERTURA	W 460x52,0	0,0	15,0	131,3
<b>V307</b>	COBERTURA	W 460x52,0	0,0	15,0	29,5
<b>V308</b>	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	87,5
<b>V309</b>	COBERTURA	W 410x38,8	0,0	15,0	28,9

0,0	15,0	51,5
0,0	15,0	131,3
0,0	15,0	131,3
0,0	15,0	29,5
5,0	10,0	51,4
5,0	10,0	87,5
0,0	15,0	28,9
0,0	15,0	62,5
0,0	15,0	34,8
0,0	9,0	62,5
0,0	15,0	34,8
0,0	9,0	51,4
0,0	15,0	51,5
5,0	10,0	94,5
5,0	10,0	31,8
5,0	10,0	47,8
5,0	10,0	28,9
0,0	9,0	73,2
0,0	9,0	123,9
5,0	10,0	123,9
5,0	10,0	131,3
0,0	9,0	187,5
5,0	10,0	186,9
5,0	10,0	186,9
0,0	9,0	187,5
5,0	10,0	186,9
5,0	10,0	186,9
5,0	10,0	186,9
5,0	10,0	101,4
5,0	10,0	186,9
5,0	10,0	131,3
5,0	10,0	131,3
5,0	10,0	73,2
5,0	10,0	186,9
5,0	10,0	45,2
5,0	10,0	45,2
5,0	10,0	61,5
0,0	9,0	46,3
5,0	10,0	36,4
5,0	10,0	16,5
5,0	10,0	45,2
0,0	9,0	38,7
0,0	9,0	46,3
5,0	10,0	69,5
0,0	15,0	51,5
0,0	15,0	51,5
5,0	10,0	69,5
0,0	15,0	131,3
0,0	15,0	131,3
5,0	10,0	29,5
5,0	10,0	87,5
0,0	15,0	28,9

V310	COBERTURA	W 460x52,0	0,0	15,0	54,8		0,0	15,0	54,8
V311	COBERTURA	W 250x22,3	0,0	15,0	36,4		0,0	15,0	34,8
V312	COBERTURA	W 250x22,3	0,0	15,0	62,5		0,0	15,0	62,5
V313	COBERTURA	W 250x22,3	0,0	15,0	48,9		0,0	15,0	48,9
V314	COBERTURA	W 460x52,0	0,0	15,0	51,4		0,0	15,0	51,5
V315	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	90,0		5,0	10,0	94,5
V316	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	31,8		5,0	10,0	31,8
V317	COBERTURA	W 410x38,8	5,0	10,0	47,8		5,0	10,0	47,8
V318	COBERTURA	W 410x38,8	5,0	10,0	28,9		5,0	10,0	28,9
V319a	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	73,2		5,0	10,0	73,2
V319b	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	123,9		5,0	10,0	123,9
V320	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	131,3		5,0	10,0	131,3
V321	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5		5,0	10,0	186,9
V322	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5		5,0	10,0	186,9
V323	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5		5,0	10,0	186,9
V324	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5		5,0	10,0	186,9
V325a	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5		5,0	10,0	186,9
V325b	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	101,4		5,0	10,0	101,4
V326	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	187,5		5,0	10,0	186,9
V327a	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	131,3		5,0	10,0	131,3
V327b	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	73,2		5,0	10,0	73,2
V328a	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	131,3		5,0	10,0	131,3
V328b	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	73,2		5,0	10,0	73,2
V329	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	182,8		5,0	10,0	186,9
V330	COBERTURA	W 460x52,0	5,0	10,0	149,3		5,0	10,0	149,3
V331a	COBERTURA	W 460x52,0	0,0	15,0	29,5		0,0	15,0	29,5
V332	COBERTURA	W 250x22,3	5,0	10,0	47,3		5,0	10,0	45,2
V333	COBERTURA	W 250x22,3	5,0	10,0	47,3		5,0	10,0	45,2
V334	COBERTURA	W 250x22,3	5,0	10,0	46,3		5,0	10,0	45,2
V335	COBERTURA	W 250x22,3	5,0	10,0	36,4		5,0	10,0	36,4
V336	COBERTURA	W 250x22,3	5,0	10,0	40,0		5,0	10,0	45,2
V337	COBERTURA	W 250x22,3	5,0	10,0	46,3		5,0	10,0	45,2

## 2.4.2 Carregamentos

Nos itens a seguir, são apresentados os carregamentos atuantes na estrutura do laboratório Bioetanol. O peso específico dos materiais de construção e sobrecargas de utilização adotados no projeto está de acordo com os valores recomendados pela NBR 6120 [6].

### 2.4.2.1 Cargas Permanentes:

- a) **Peso Próprio:** O peso próprio da estrutura é inserido automaticamente pelo programa através da área da seção transversal dos elementos e da densidade do material adotado. No caso do peso próprio das vigas mistas, o peso próprio da mesa colaborante não foi considerado, pois o peso da laje *steel deck* é inserido no modelo como carregamento global por área, conforme apresentado nos itens a seguir. A figura 2-19 apresenta o carregamento aplicado.

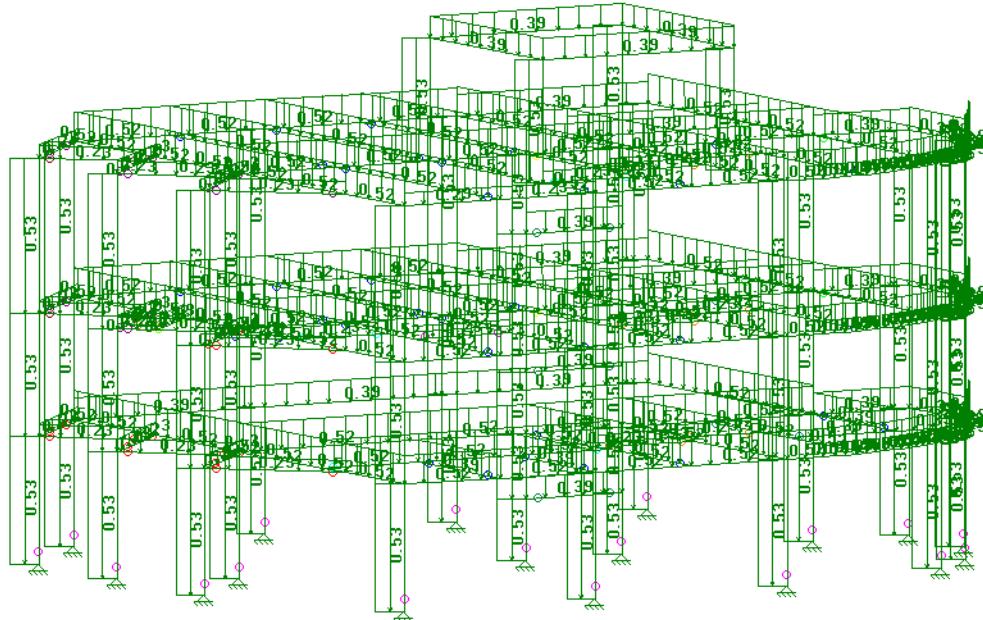


Figura 2-19 – Peso próprio da estrutura – Carregamento aplicado

- b) **Laje Steel Deck e Laje em balanço:** O peso próprio da laje steel deck é considerado através da aplicação de um carregamento global por área de 3,02kN/m<sup>2</sup>, informado pelo catálogo da Metform [2]. O peso próprio da laje em balanço no 2º pavimento e na cobertura, observado nas figuras 2-5 e 2-6, é aplicado como carregamento distribuído diretamente sobre as vigas, resultando numa carga de 6,22kN/m. A figura 2-20 apresenta o carregamento aplicado.

#### Peso da Laje (P1):

Espessura = 0,15m

Área  $\cong$  9,4m<sup>2</sup>

$\gamma_{CONC} = 25,0\text{kN/m}^3$

$$P1 = 25,0\text{kN/m}^3 \times 0,15\text{m} \times 9,4\text{m}^2 = 35,3\text{kN}$$

#### Mureta de proteção (P2):

Comprimento = 7,5m + 5,0m = 12,5m

Altura = 1,0m

$\gamma_{ALV} = 2,0\text{kN/m}^2$

$$P2 = 2,0\text{kN/m}^2 \times 12,5\text{m} \times 1,0\text{m} = 25,0\text{kN}$$

#### Carga distribuída (q)

Comprimento da viga (trecho em arco)  $\cong$  9,7m

$$q = (35,3\text{kN} + 25,0\text{kN})/9,7\text{m} \cong 6,22\text{kN/m}$$

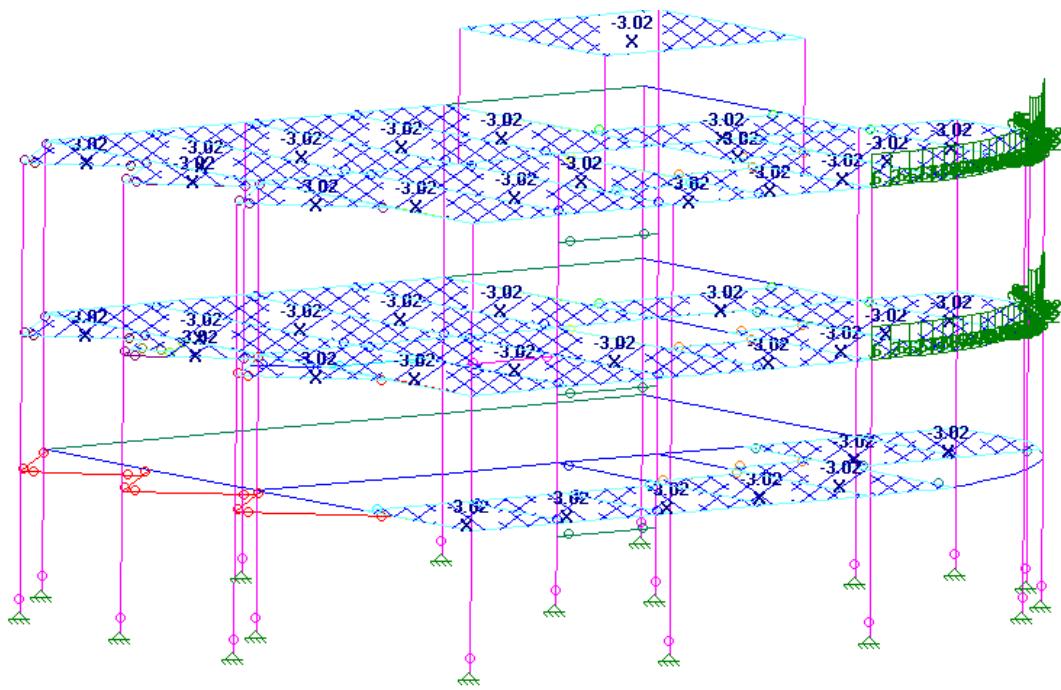


Figura 2-20 – Laje steel/deck e laje em balanço – Carregamento aplicado

c) **Revestimento:** O peso de revestimento é considerado como uma carga de  $0,50\text{kN/m}^2$ , aplicado nas regiões de laje. A figura 2-21 apresenta o carregamento aplicado.

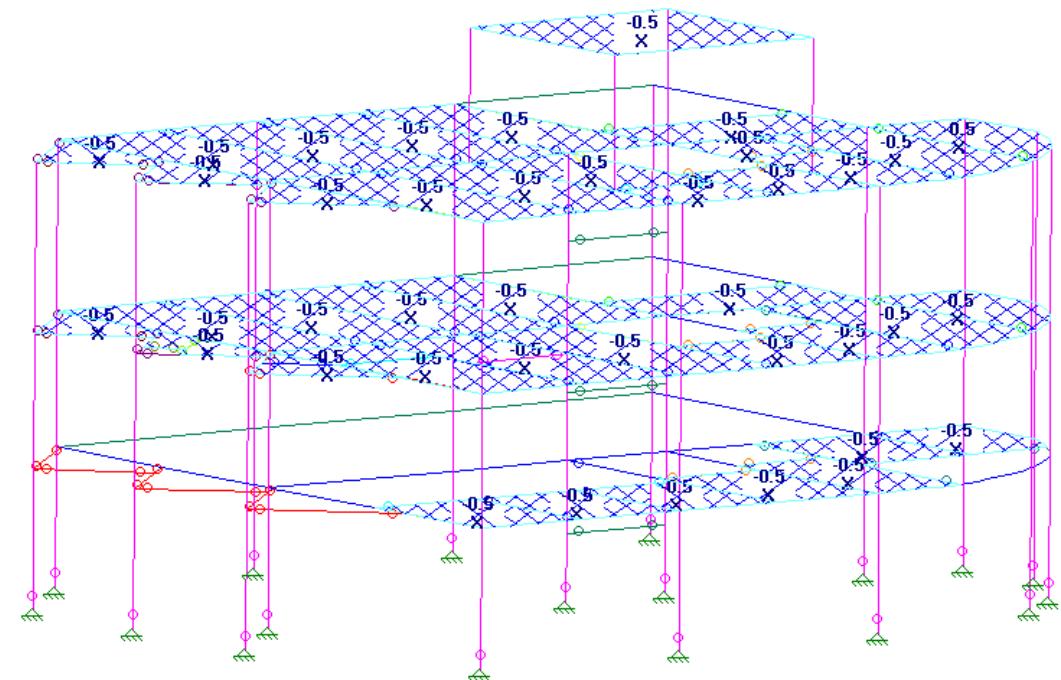


Figura 2-21 – Revestimento – Carregamento aplicado

d) **Alvenaria:** A arquitetura indica alvenarias internas e externas em tijolos ecológicos de solo cimento de 12,5cm x 25,0cm x 6,25cm. Considerando revestimento de 2,5cm em argamassa em cada face, com peso específico da argamassa de 21,0kN/m<sup>3</sup> [6], o peso próprio da alvenaria é adotado como uma carga de 2,0kN/m<sup>2</sup>. As alvenarias posicionadas sobre as vigas são aplicadas como carregamento linear, em função da altura da parede. As alvenarias posicionadas sobre as lajes são aplicadas distribuindo seu peso próprio sobre a área da laje. A figura 2-22 apresenta o carregamento aplicado.

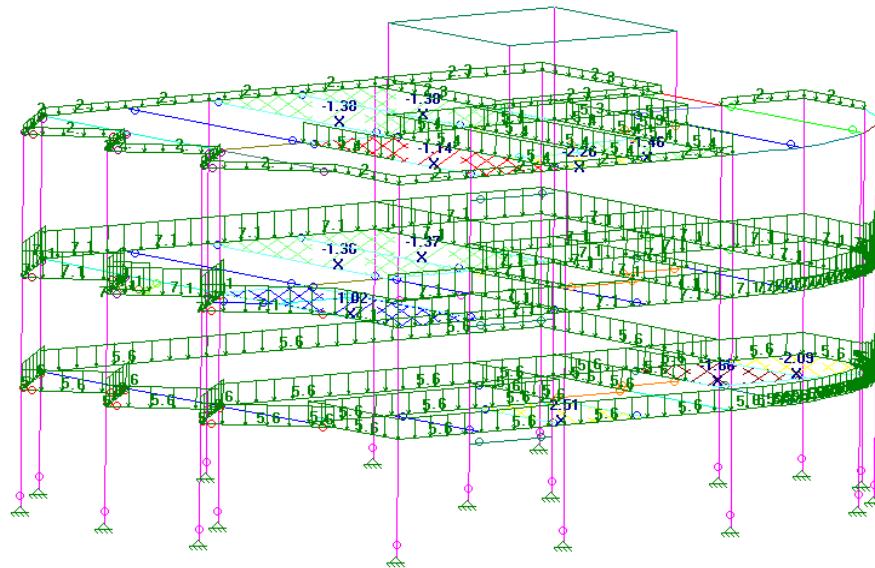


Figura 2-22 – Alvenaria – Carregamento aplicado

e) **Forro:** A arquitetura prevê forro em gesso acartonado em alguns painéis de laje do mezanino e 2º pavimento. O peso próprio do forro é adotado como 0,15kN/m<sup>2</sup>. A figura 2-23 apresenta o carregamento aplicado.

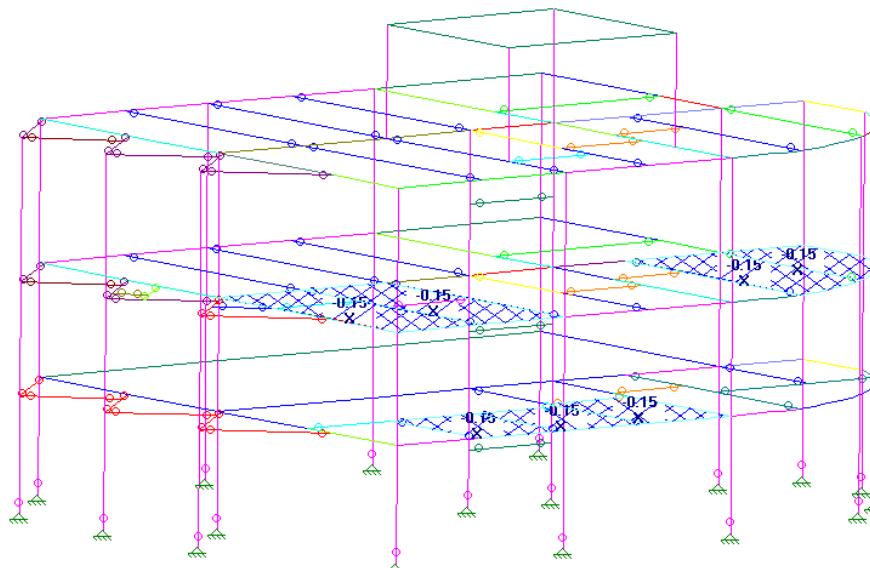


Figura 2-23 – Forro – Carregamento aplicado

f) **Estrutura da casa de exaustão:** A estrutura da casa de exaustão tem sua área projetada em planta sobre as lajes L5 e L6 da cobertura, sendo aproximadamente metade em cada laje. Desta forma, o peso próprio da estrutura é considerado distribuído sobre a área das lajes L5 e L6. A figura 2-24 apresenta as dimensões da estrutura da casa de exaustão e a figura 2.25, apresenta o carregamento aplicado.

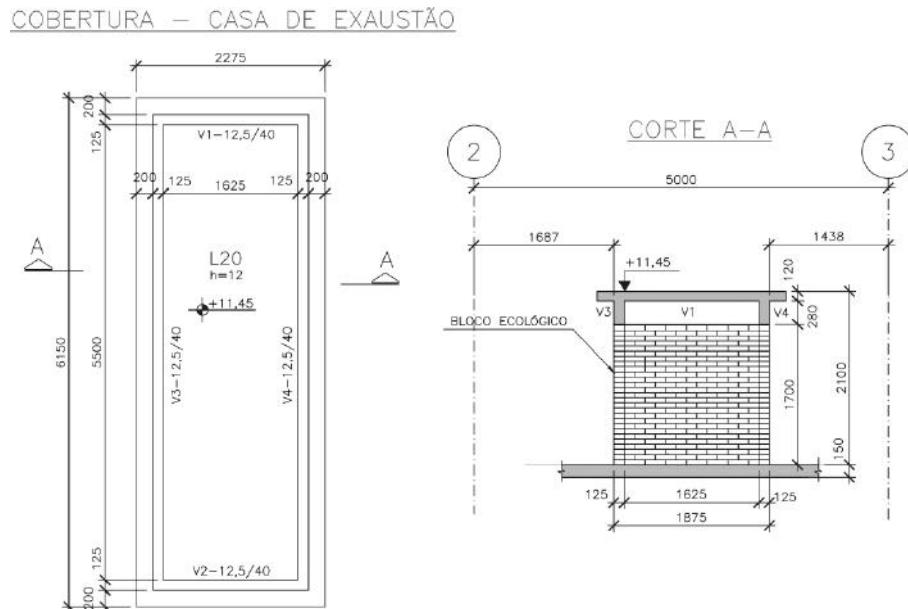


Figura 2-24 – Estrutura da casa de exaustão – Dimensão em mm e elevação em m

#### Peso da Laje (P1):

$$\text{Espessura} = 0,12\text{m}$$

$$\text{Área} = 6,15\text{m} \times 2,28\text{m} \cong 14,0\text{m}^2$$

$$\gamma_{\text{CONC}} = 25,0\text{kN/m}^3$$

$$P1 = 25,0\text{kN/m}^3 \times 0,12\text{m} \times 14,0\text{m}^2 = 42,0\text{kN}$$

#### Peso das Vigas (P2):

$$\text{Área da seção transversal} = 0,40\text{m} \times 0,125\text{m} = 0,05\text{m}^2$$

$$\text{Perímetro} = 2 \times (5,75\text{m} + 1,88\text{m}) = 15,26\text{m}$$

$$\gamma_{\text{CONC}} = 25\text{kN/m}^3$$

$$P2 = 25,0\text{kN/m}^3 \times 15,26\text{m} \times 0,05\text{m}^2 \cong 19,08\text{kN}$$

#### Carga distribuída (q):

$$\text{Área das lajes (L5+L6)} = 2 \times (7,5\text{m} \times 2,5\text{m}) = 37,5\text{m}^2$$

$$q = (19,08\text{kN} + 42,0\text{kN}) / 37,5\text{m}^2 \cong 1,64 \text{ kN/m}^2$$

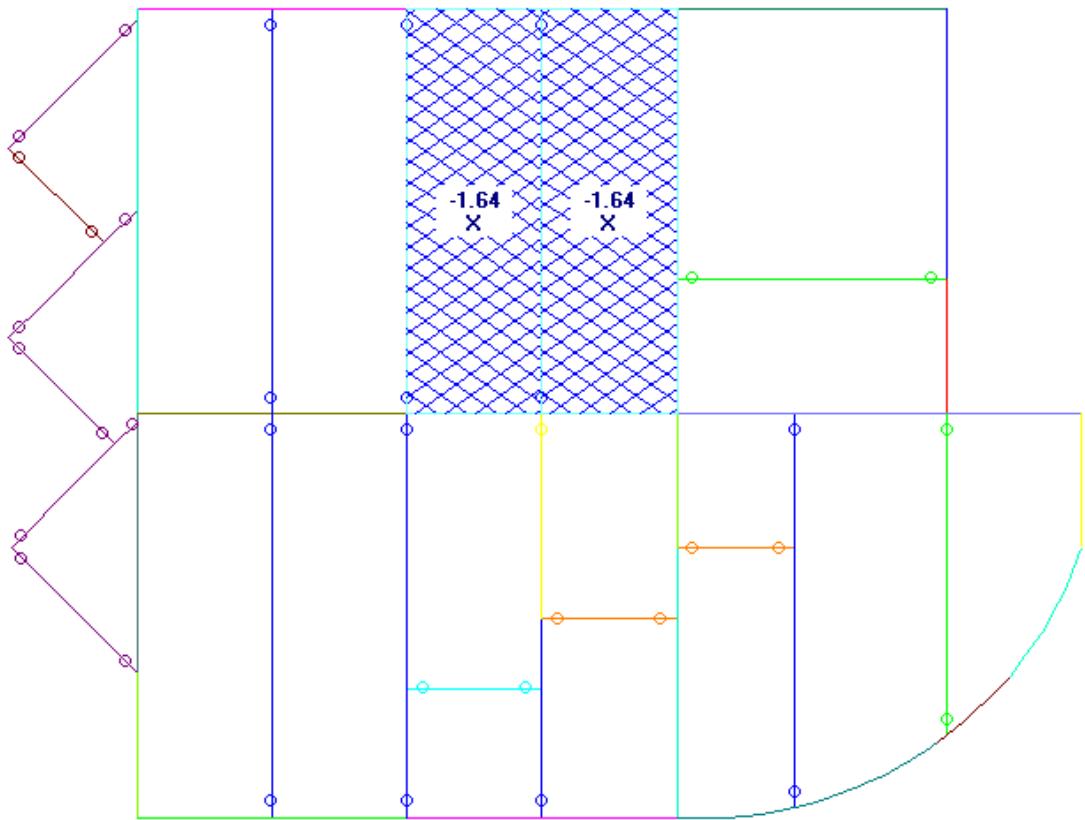


Figura 2-25 – Casa de exaustão – Carregamento aplicado

g) **Base da caixa d'água:** Assim como na casa de exaustão, o peso próprio da base da caixa d'água é considerado distribuído sobre a laje. A figura 2-26 apresenta as dimensões da estrutura e a figura 2.27 apresenta o carregamento aplicado.

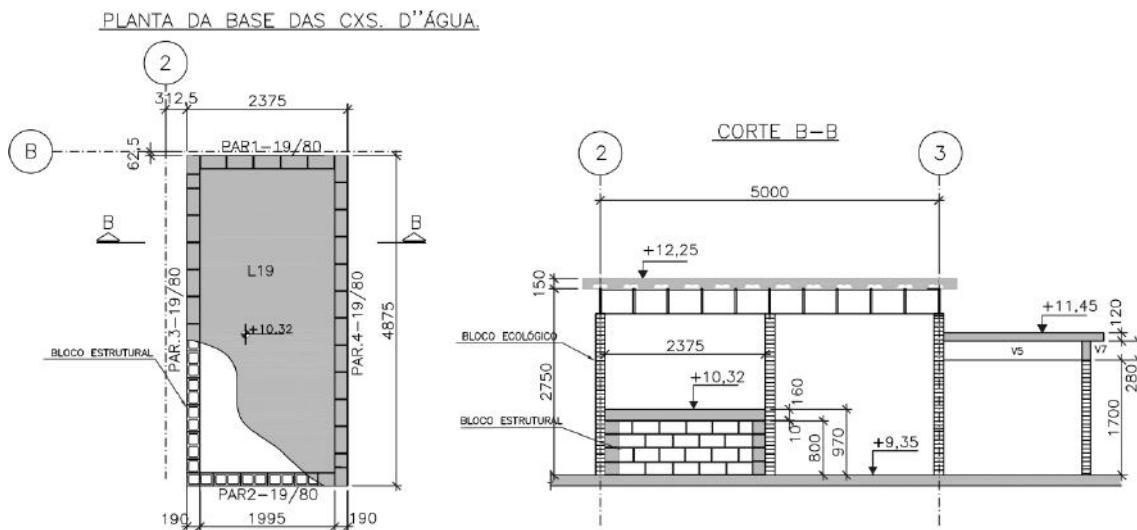


Figura 2-26 – Base da caixa d'água – Dimensão em mm e elevação em m

Peso do bloco estrutural (P1):

Altura = 0,80m

$$\text{Perímetro} = 2 \times (2,38\text{m} + 4,88\text{m}) = 14,5\text{m}$$

$$\gamma_{\text{BLOCO}} = 2,8\text{kN/m}^2$$

$$P1 = 2,8\text{kN/m}^2 \times 14,5\text{m} \times 0,80\text{m} \cong 32,5\text{kN}$$

Peso da Laje (P2):

Espessura = 0,16m

$$\text{Área} = 2,38\text{m} \times 4,88\text{m} \cong 11,6\text{m}^2$$

$$\gamma_{\text{CONC}} = 25,0\text{kN/m}^3$$

$$P2 = 25,0\text{kN/m}^3 \times 0,16\text{m} \times 11,6\text{m}^2 = 46,4\text{kN}$$

Instalações Hidráulicas ( $q_{\text{HID}}$ ): É considerado uma carga distribuída de 2,0kN/m<sup>2</sup> para consideração de instalações hidráulicas diversas.

$$q_{\text{HID}} = 2\text{kN/m}^2$$

Carga distribuída (q):

$$\text{Área da laje (L11)} = 5,11\text{m} \times 2,50\text{m} \cong 13,0\text{m}^2$$

$$q = [(32,5\text{kN} + 46,4\text{kN}) / 13,0\text{m}^2] + 2,0\text{kN/m}^2 \cong 8,0 \text{ kN/m}^2$$

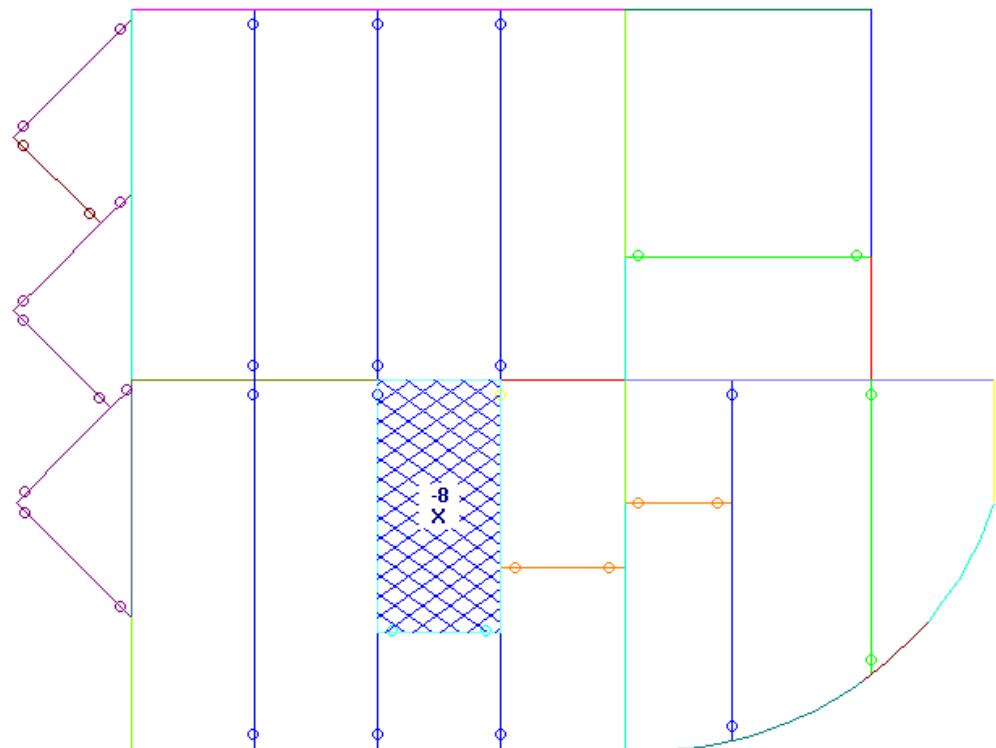


Figura 2-27 – Base da caixa d'água – Carregamento aplicado

**h) Escada:** Para consideração das ações da escada sobre a estrutura, foi desenvolvido um modelo estrutural desta, onde as reações de apoio foram inseridas como carregamento na estrutura do laboratório. A figura 2-28 apresenta uma vista isométrica do modelo estrutural da escada e a figura 2-29 apresenta o carregamento aplicado.

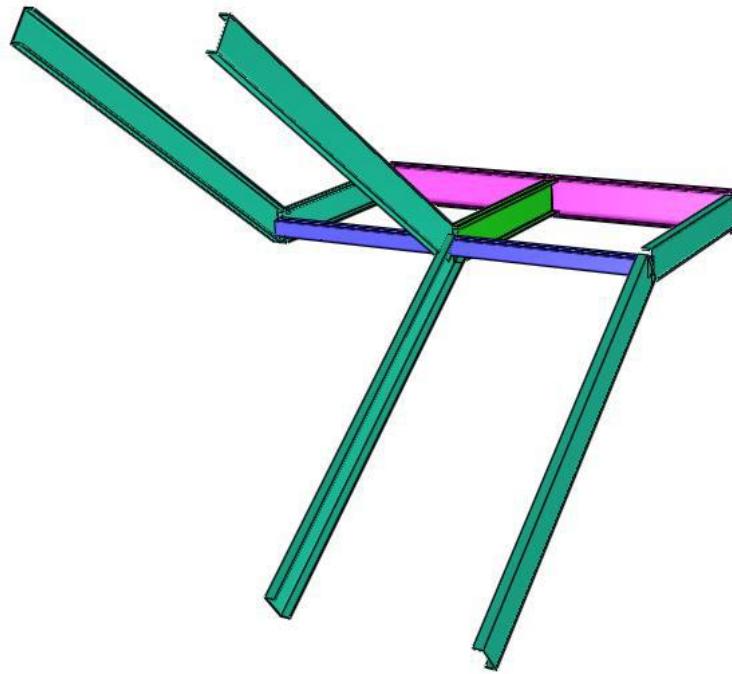


Figura 2-28 – Modelo estrutural da escada – Vista isométrica – Trecho típico

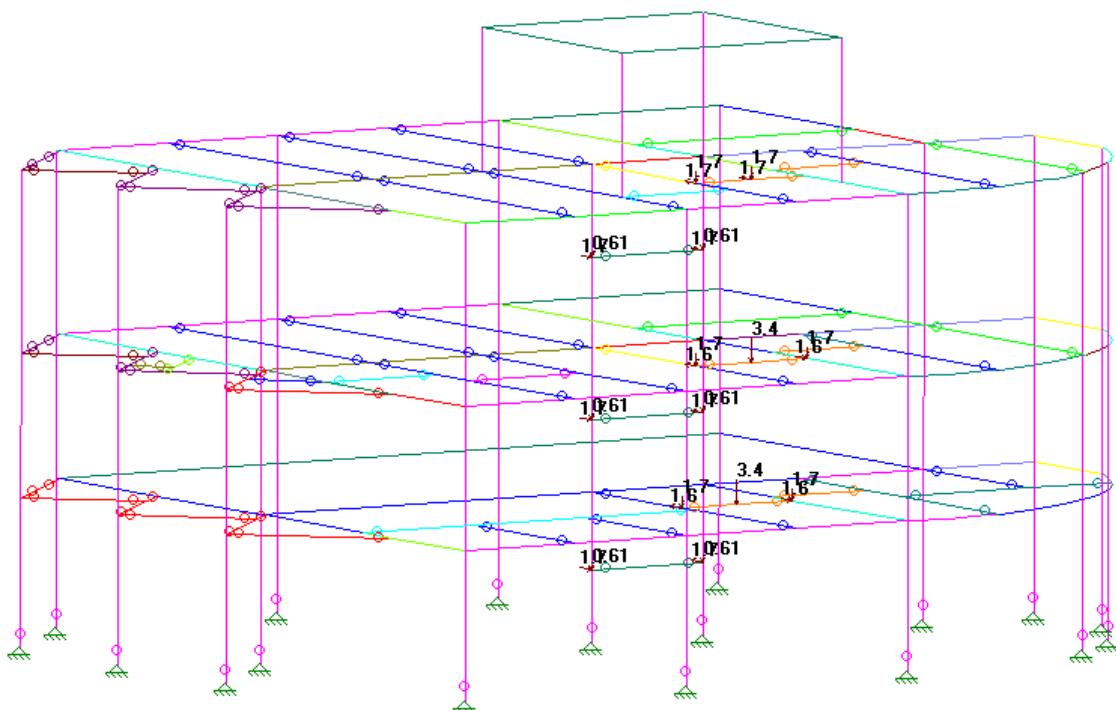


Figura 2-29 – Peso próprio da escada – Carregamento Aplicado

#### 2.4.2.2 Cargas Variáveis

- a) **Sobrecargas de utilização:** A NBR6120 [6] recomenda a consideração de valores mínimos de sobrecargas de utilização atuando nos pisos da edificação, uniformemente distribuídas, em função da utilização do ambiente. A tabela 2-9 resume os diferentes ambientes em cada pavimento e a sobrecarga adotada. A figura 2-30 apresenta o carregamento aplicado.

Tabela 2-9 – Sobrecargas de utilização – Ambientes e carregamento adotado

AMBIENTE	$q$ (kN/m <sup>2</sup> )
CASA DE MÁQUINA	7,5
ESCRITÓRIO (SALAS DE USO GERAL E BANHEIRO)	2,0
LABORATÓRIO	3,0
TERRAÇO (COM ACESSO AO PÚBLICO)	3,0
CORREDORES (COM ACESSO AO PÚBLICO)	2,0

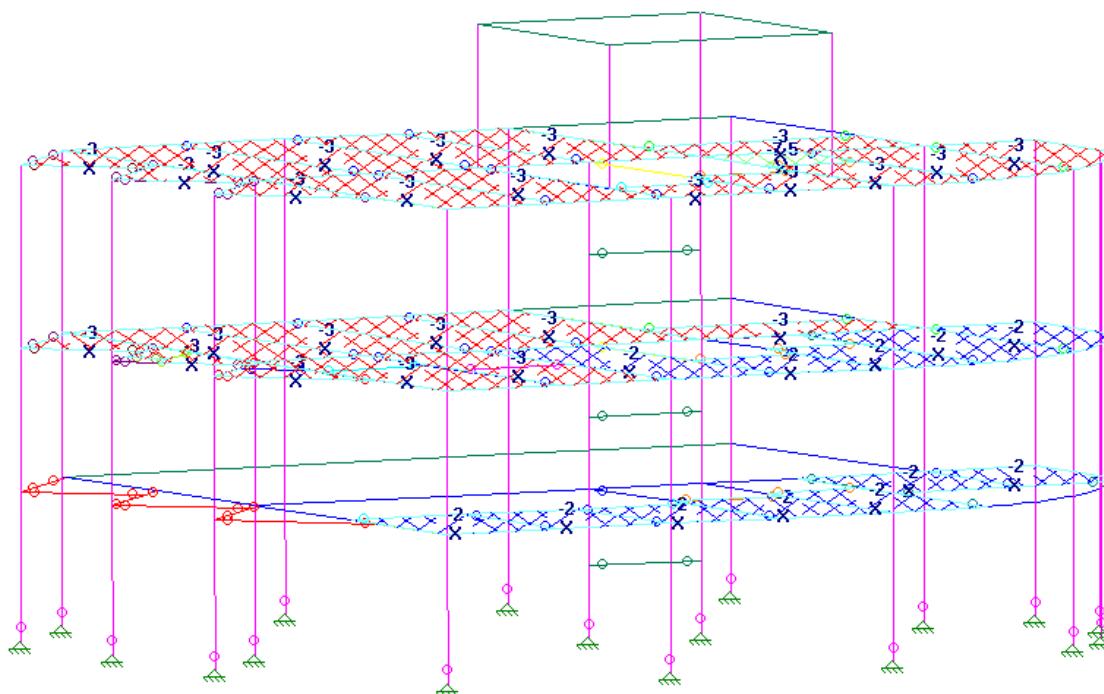


Figura 2-30 – Sobrecarga de utilização – Carregamento aplicado

Por se tratar de uma edificação de três pavimentos, não é permitida a redução do percentual das cargas variáveis [6].

- b) **Caixa d'água:** É adotada sobrecarga de 8,0kN/m<sup>2</sup> referente ao peso da caixa d'água. A figura 2-31 apresenta o carregamento aplicado.

Peso da caixa d'água (P1):

Volume = 10,0m<sup>3</sup> (duas caixas d'água de 5m<sup>3</sup>)

$$\gamma_{H2O} = 10,0 \text{ kN/m}^3$$

$$P1 = 10,0 \text{ kN/m}^3 \times 10,0 \text{ m}^3 \cong 100 \text{ kN}$$

Carga distribuída (q):

Área da laje (L11) = 5,11m x 2,50m  $\cong 13,0 \text{ m}^2$

$$q = 100 \text{ kN}/13 \text{ m}^2 \cong 8,0 \text{ kN/m}^2$$

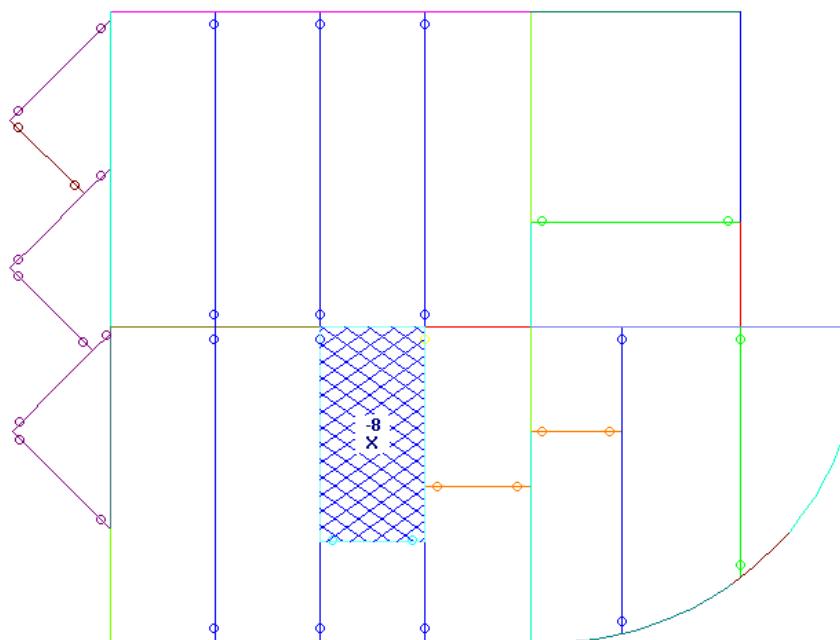


Figura 2-31 – Sobrecarga da caixa d'água – Carregamento aplicado

- c) **Escada:** É considerado aplicado na escada uma sobrecarga de 3,0kN/m<sup>2</sup> segundo tabela de sobrecargas mínimas de utilização da NBR 6120 [6]. As reações de apoio devido às sobrecargas são inseridas como carregamento no modelo estrutural do laboratório. A figura 2-32 apresenta o carregamento aplicado.

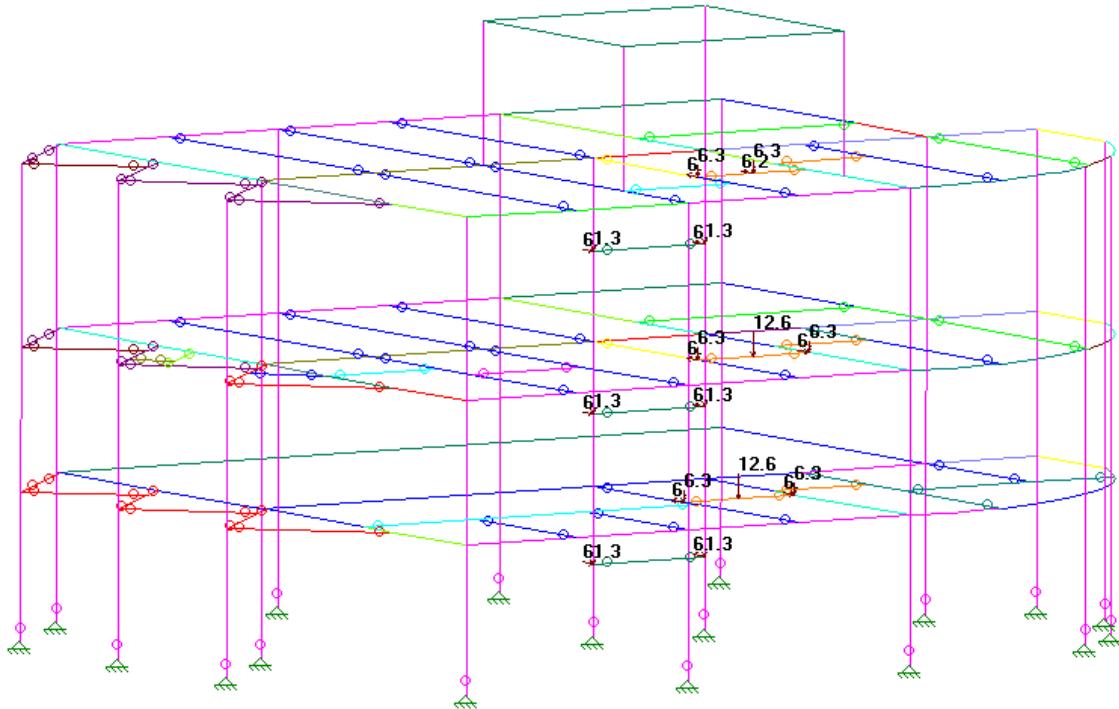


Figura 2-32 – Sobrecarga das escadas – Carregamento aplicado

#### 2.4.2.3 Força Nocional

A norma NBR 8800 [1] recomenda que sejam considerados diretamente na análise das estruturas de pequena e média deslocabilidade (ver seção 2.4.4), os efeitos das imperfeições geométricas iniciais. A norma permite que esses efeitos sejam levados em conta por meio da aplicação, em cada andar, de uma força horizontal equivalente, denominada força nocional, igual a 0,3% do valor das cargas gravitacionais de cálculo, aplicada nas colunas. Para o cálculo da força nocional, foi criado um carregamento englobando todas as cargas permanentes e sobrecargas com seus valores de cálculo, sendo as cargas permanentes majoradas em 1,4 e as sobrecargas majoradas em 1,5, conforme tabela de ponderação de ações da NBR 8800 [1]. As forças nacionais são consideradas como ações permanentes de cargas e verificadas independentemente nas direções  $\pm X$  e  $\pm Y$ . A tabela 2-10 apresenta o cálculo das forças nacionais e as figuras 2-33 e 2-34 apresentam o diagrama de normal das colunas, devido às cargas gravitacionais, e as forças nacionais aplicadas, respectivamente.

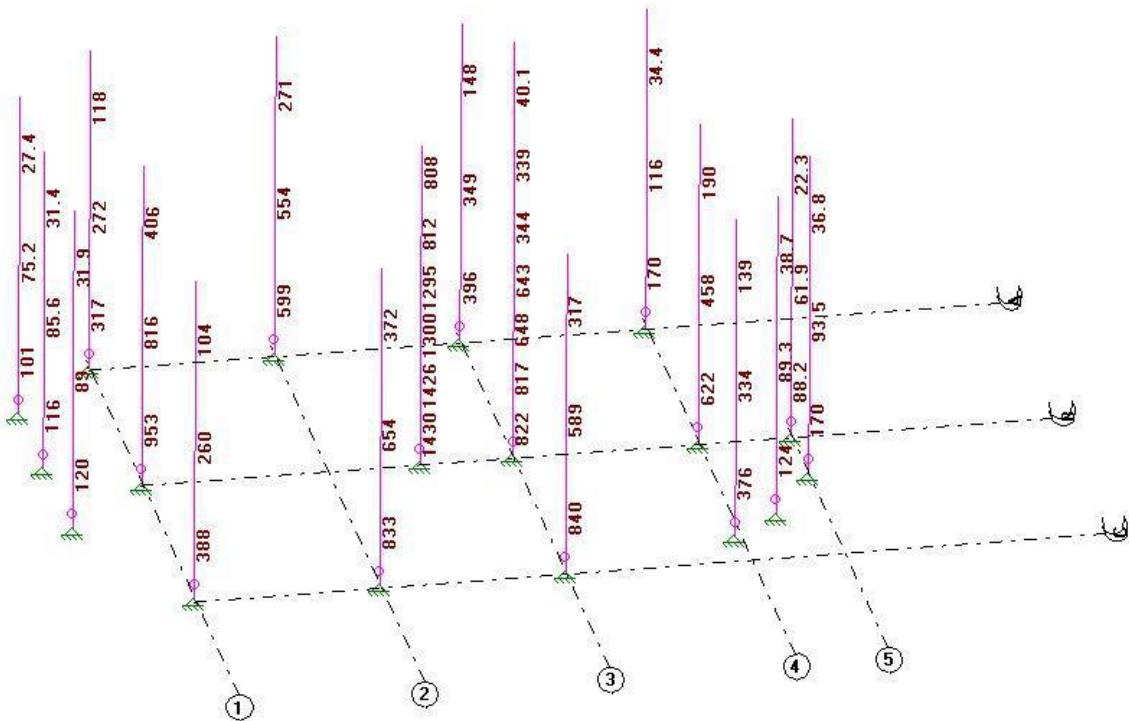


Figura 2-33 – Carga gravitacional - Esforço normal de cálculo das colunas Nd (kN)

Tabela 2-10 – Cálculo da força nocional

COLUNA	FORÇA NOCIONAL - NBR 8800:2008 (ITEM 4.9.7.1.1)			CARGA GRAVITACIONAL DO PAVIMENTO - $\Delta N_d$ (kN)			FORÇA NOCIONAL (kN)		
	MEZ.	2º PAV	COBER.	MEZ.	2º PAV	COBER.	MEZ.	2º PAV	COBER.
C1	317,00	272,00	118,00	45,00	154,00	118,00	0,14	0,46	0,35
C2	599,00	554,00	271,00	45,00	283,00	271,00	0,14	0,85	0,81
C3	396,00	349,00	148,00	47,00	201,00	148,00	0,14	0,60	0,44
C4	170,00	116,00	34,40	54,00	81,60	34,40	0,16	0,24	0,10
C5	101,00	75,20	27,40	25,80	47,80	27,40	0,08	0,14	0,08
C6	116,00	85,60	31,40	30,40	54,20	31,40	0,09	0,16	0,09
C7	953,00	816,00	406,00	137,00	410,00	406,00	0,41	1,23	1,22
C8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C9	822,00	648,00	344,00	174,00	304,00	344,00	0,52	0,91	1,03
C10	622,00	458,00	190,00	164,00	268,00	190,00	0,49	0,80	0,57
C11	88,20	61,90	22,30	26,30	39,60	22,30	0,08	0,12	0,07
C12	120,00	89,00	31,90	31,00	57,10	31,90	0,09	0,17	0,10
C13	170,00	93,50	36,80	76,50	56,70	36,80	0,23	0,17	0,11
C14	124,00	89,30	38,70	34,70	50,60	38,70	0,10	0,15	0,12
C15	376,00	334,00	139,00	42,00	195,00	139,00	0,13	0,59	0,42
C16	388,00	260,00	104,00	128,00	156,00	104,00	0,38	0,47	0,31
C17	833,00	654,00	372,00	179,00	282,00	372,00	0,54	0,85	1,12
C18	840,00	589,00	317,00	251,00	272,00	317,00	0,75	0,82	0,95
C19	1430,00	1300,00	812,00	130,00	488,00	812,00	0,39	1,46	2,44

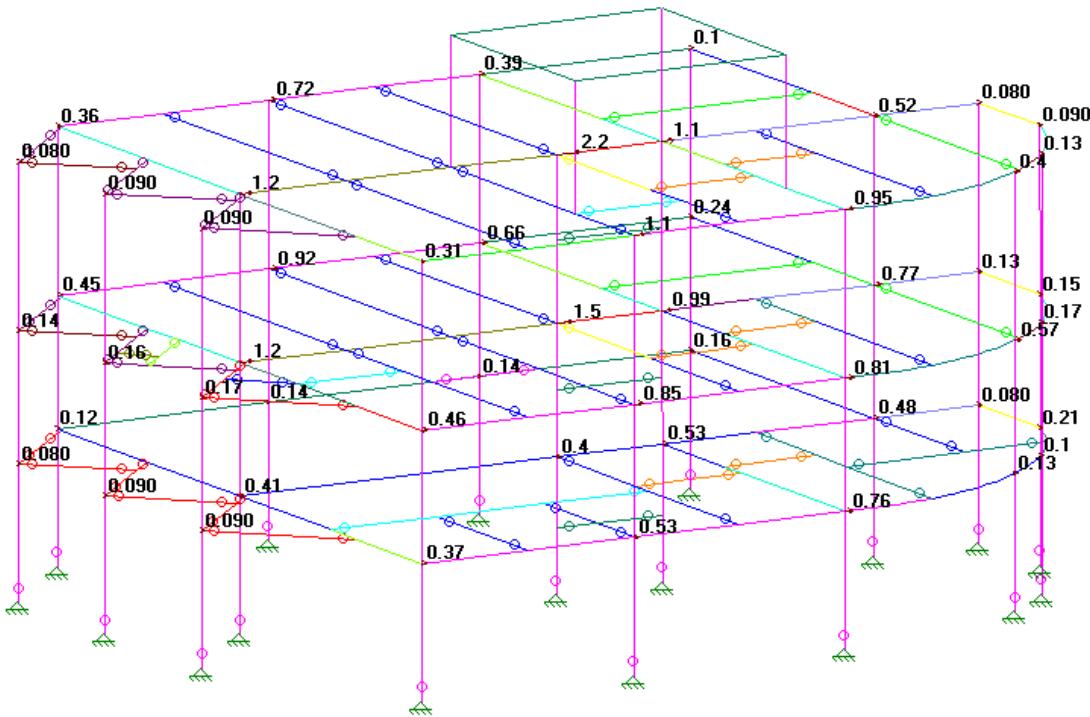


Figura 2-34 – Força nocional – Direção X – Carregamento aplicado

#### 2.4.2.4 Vento

Para o cálculo das cargas devidas à ação do vento, são utilizados os critérios apresentados pela norma NBR 6123 [7]. A nomenclatura utilizada a seguir está de acordo com a norma citada.

- a) **Velocidade básica do vento ( $V_0$ )**: Através da figura 1 da norma NBR 6123 [7], adota-se a velocidade básica do vento para o Rio de Janeiro como:

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

- b) **Fator topográfico S1**: Fator que leva em consideração as variações do relevo do terreno.

$$S1 = 1,00$$

- c) **Fator S2**: Considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação em consideração. A estrutura é classificada como de categoria III e classe A, segundo especificações da norma, desta forma calcula-se S2 como:

Sendo:

$Fr = 1,0$  (fator de rajada do vento)

$z$  = altura em relação do nível do terreno

$b = 0,94$  e  $p = 0,10$  (parâmetros meteorológicos em função da categoria e classe da edificação)

Calcula-se  $S_2$  através da equação a seguir [7], para cada elevação da edificação.

–  $S_2 = b \cdot Fr \cdot (z/10)^p$

$$S_2 (z=3,10m) = 0,84$$

$$S_2 (z=5,90m) = 0,89$$

$$S_2 (z=9,45m) = 0,93$$

d) **Fator estatístico  $S_3$ :** Considera do grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

$$S_3 = 1,00$$

e) **Velocidade característica do vento ( $V_k$ ):** A velocidade característica do vento é calculada através da expressão [7]:

–  $V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$

$$V_k (z=3,10m) = 29,40 \text{ m/s}$$

$$V_k (z=5,90m) = 31,15 \text{ m/s}$$

$$V_k (z=9,45m) = 32,55 \text{ m/s}$$

f) **Pressão dinâmica ( $q$ ):** A pressão dinâmica devido ao vento é calculada através da expressão [7]:

–  $q = 0,613 V_k^2 \text{ em } [\text{N}/\text{m}^2]$

$$q (z=3,10m) = 530 \text{ N/m}^2 = 0,53 \text{ kN/m}^2$$

$$q (z=5,90m) = 590 \text{ N/m}^2 = 0,59 \text{ kN/m}^2$$

$$q (z=9,45m) = 650 \text{ N/m}^2 = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

g) **Coeficientes de forma externo (Ce):** Através da tabela 4 da norma NBR 6123 [7] calculam-se os coeficientes de pressão e de forma externos da estrutura em função da geometria da edificação. A figura 2-35 apresenta os coeficientes de forma externo calculados.

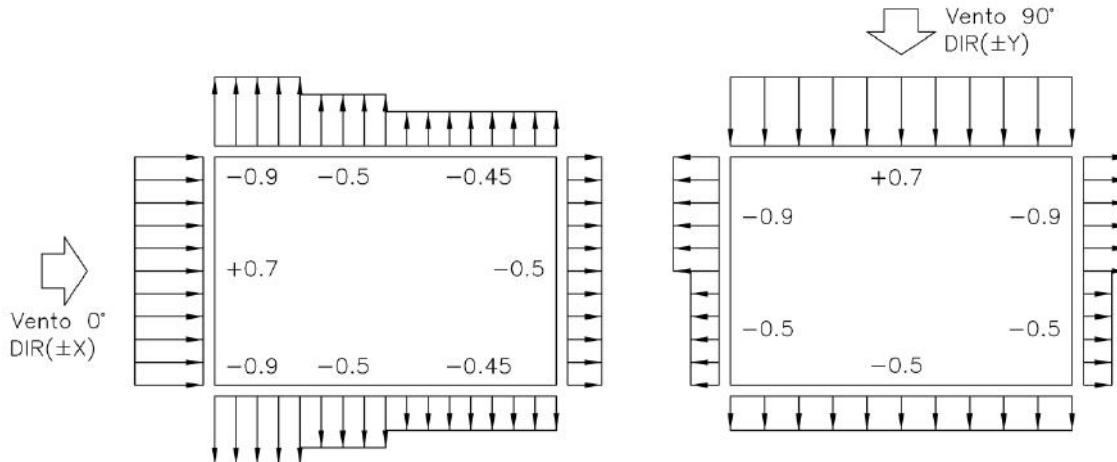


Figura 2-35 – Coeficientes de forma externo (Ce)

h) **Coeficiente de forma interno (Ci):** As faces da edificação são classificadas como igualmente permeáveis segundo critérios da norma NBR 6123 [7]. Desta forma adota-se coeficiente de forma interno  $C_i = -0,3$

i) **Pressão atuante na estrutura:** A pressão atuante na estrutura devido ao vento depende da pressão efetiva, diferença de pressão nas faces opostas. Desta forma a pressão atuante na estrutura é calculada como:

$$- \Delta p = F/A = (C_e - C_i) \cdot q$$

$$\Delta p (z=3,10m) = F/A = (C_e - C_i) \times 0,53 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta p (z=5,90m) = F/A = (C_e - C_i) \times 0,59 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta p (z=9,45m) = F/A = (C_e - C_i) \times 0,65 \text{ kN/m}^2$$

A pressão atuante na estrutura é aplicada como um carregamento linear uniforme ( $Q$ ) no plano dos pavimentos. Para o cálculo é considerado uma altura de influência entre os pavimentos (ver figura 2-2), de acordo com a geometria da edificação.

$$h(\text{mezanino}) = (2,80m + 2,80m)/2 = 2,80m$$

$$h(\text{2º pavimento}) = (2,80m + 3,55m)/2 = 3,18m$$

$$h(\text{cobertura}) = (3,55m/2) + 1,00m(\text{mureta}) = 2,78m$$

-  $Q = (Ce - Ci) \times q \times h$

$$Q (\text{mezanino}) = (Ce - Ci) \times 0,53 \text{ kN/m}^2 \times 2,8\text{m}$$

$$Q (2^\circ \text{ pavimento}) = (Ce - Ci) \times 0,59 \text{ kN/m}^2 \times 3,18\text{m}$$

$$Q (\text{cobertura}) = (Ce - Ci) \times 0,65 \text{ kN/m}^2 \times 2,78\text{m}$$

A figura 2-36 resume o valor de coeficiente de forma adotado, resultante da diferença entre os valores Ce-Ci.

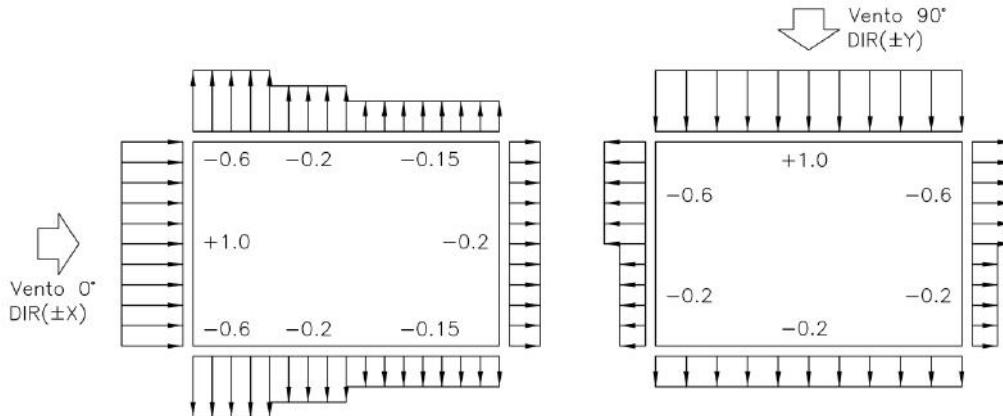


Figura 2-36 – Coeficiente de forma resultante (Ce-Ci)

As forças devido à ação do vento são consideradas independentes nas direções  $\pm X$  e  $\pm Y$ . As figuras 2-37 e 2-38 apresentam o carregamento aplicado na estrutura nas direções X e Y, respectivamente.

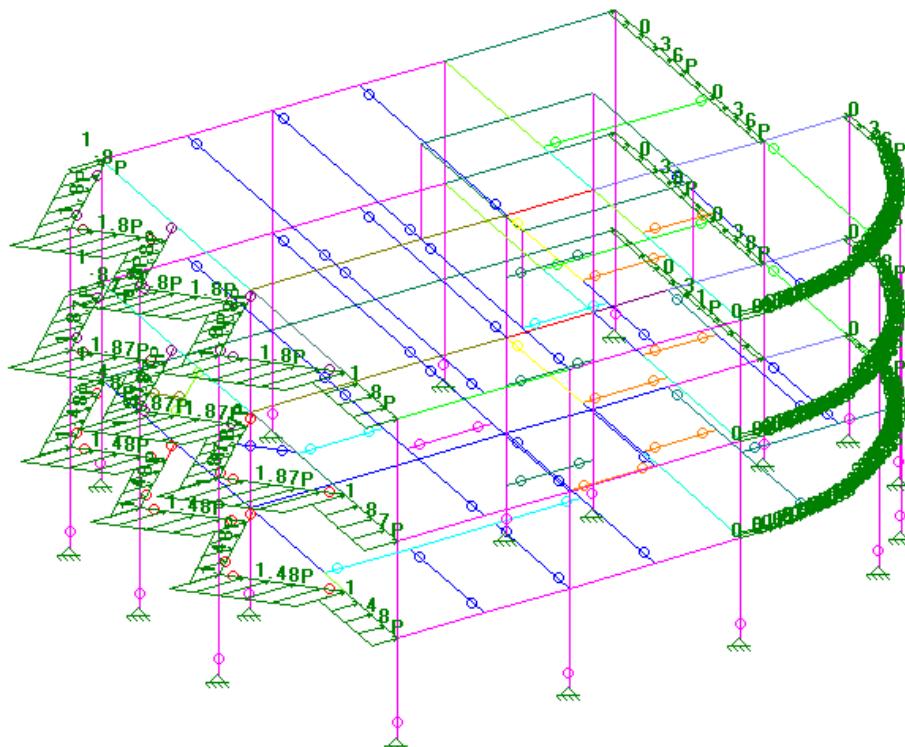


Figura 2-37 – Ação do vento sobre a estrutura – Direção X – Carregamento aplicado

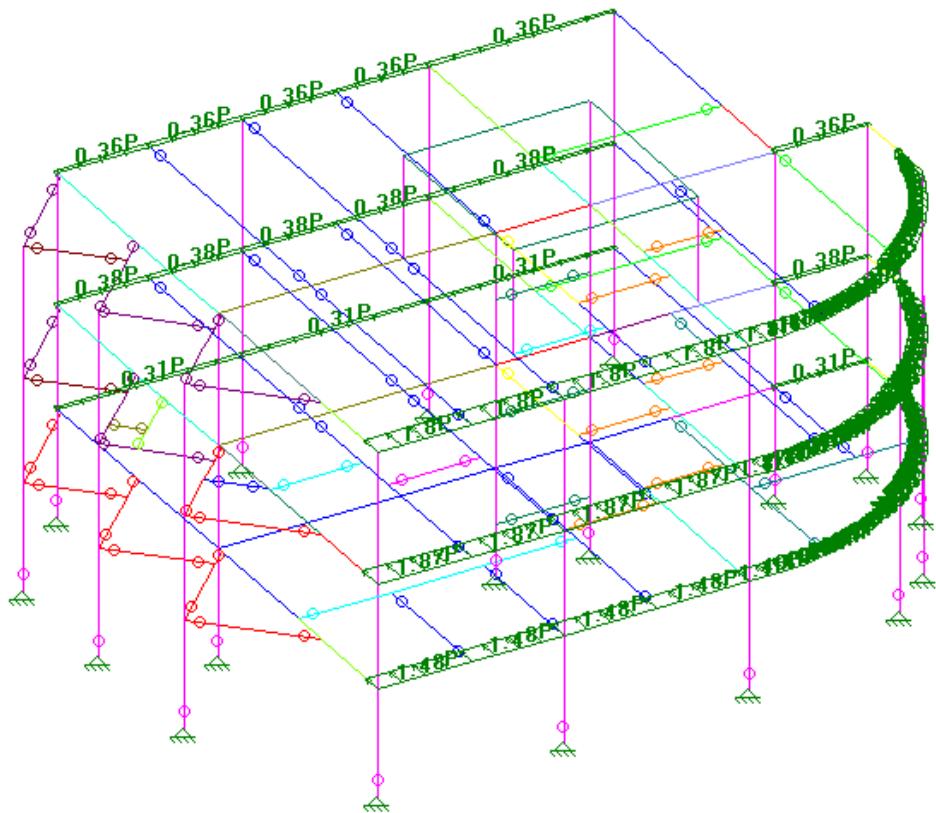


Figura 2-38 – Ação do vento sobre a estrutura – Direção Y – Carregamento aplicado

#### 2.4.3 Combinações de cargas

As combinações de cargas para os estados limites último (ELU) e de serviço (ELS) estão de acordo com o exposto pela NBR 8800 [1]. Os coeficientes de ponderação são adotados segundo tabelas 1 e 2 da norma. As ações permanentes e variáveis são consideradas agrupadas nas combinações e as tabelas 2-11 a 2-13 apresentam as combinações de cargas adotadas para os estados limites último e de serviço. A norma permite a não consideração das imperfeições geométricas na verificação dos estados limites de serviço.

Tabela 2-11 – Tabela de combinações – ELU – Combinação normal

COMB	AÇÃO PERMANENTE		AÇÃO VARIÁVEL					
	PESO PRÓPRIO	FORÇA NOCIONAL	CARGAS VARIÁVEIS			VENTO		
			$\gamma_g$	$\gamma_g$	$\Psi_0$	$\gamma_q$	Final	$\Psi_0$
1	1,4	1,2			1,0	1,5	1,5	0,6
2	1,4	1,2			0,7	1,5	1,1	1,0
								1,4
								1,4

Tabela 2-12 –Tabela de combinações – ELS – Combinação quase permanente

COMB	AÇÃO PERMANENTE		AÇÃO VARIÁVEL					
	PESO PRÓPRIO	FORÇA NOCIONAL	CARGAS VARIÁVEIS			VENTO		
	$\gamma g$	$\gamma g$	$\psi_2$	$\gamma q$	Final	$\psi_2$	$\gamma q$	Final
1	1.0	0.0	0.4	1.0	0.4	0.0	1.0	0.0

Tabela 2-13 – Tabela de combinações – ELS – Combinação frequente

COMB	AÇÃO PERMANENTE		AÇÃO VARIÁVEL					
	PESO PRÓPRIO	FORÇA NOCIONAL	CARGAS VARIÁVEIS			VENTO		
	$\gamma g$	$\gamma g$	$\psi_1/\psi_2$	$\gamma q$	Final	$\psi_1/\psi_2$	$\gamma q$	Final
1	1,0	0,0	0,6	1,0	0,6	0,0	1,0	0,0
2	1,0	0,0	0,4	1,0	0,4	0,3	1,0	0,3

Como mencionado anteriormente, o carregamento devido à ação do vento e força nocional, são considerados nas direções  $\pm X$  e  $\pm Y$ . Assim sendo, as combinações 1 e 2 para ELU, por exemplo, são verificadas para  $4 \times 4 = 16$  situações de vento e força nocional, cada.

#### 2.4.4 Classificação da estrutura quanto à deslocabilidade

A norma NBR 8800 [1] orienta o desenvolvimento de análises estruturais específicas com o objetivo de determinar os efeitos das ações sobre a estrutura para verificação de estados limites último e de serviço. Dentre as análises recomendadas, se faz necessário a classificação da estrutura quanto à sensibilidade a deslocamentos laterais. A classificação é feita através da razão entre o deslocamento lateral de cada andar obtido na análise de segunda ordem ( $\mu_2$ ) e o obtido na análise de primeira ordem ( $\mu_1$ ). Os limites e classificações segundo [1] são apresentados a seguir:

- |                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| • $(\mu_2/\mu_1) \leq 1,0$       | $\Rightarrow$ Pequena deslocabilidade |
| • $1,0 < (\mu_2/\mu_1) \leq 1,4$ | $\Rightarrow$ Média deslocabilidade   |
| • $(\mu_2/\mu_1) > 1,4$          | $\Rightarrow$ Grande deslocabilidade  |

A verificação deve ser feita para todas as combinações últimas de ações, porém a norma [1] permite por simplicidade, que a classificação pode ser feita tomando-se a combinação de ações que fornecer, além das forças horizontais, a maior resultante gravitacional, que no caso do presente trabalho, corresponde a combinação 1 das combinações de cargas apresentadas na tabela 2-11.

A avaliação dos deslocamentos laterais em análise de segunda ordem é realizada através do método de análise P-Δ, recurso oferecido pelo programa STRAP [2]. O

critério adotado na aplicação da análise consiste em realizar iterações até convergir para uma diferença inferior a 0,5% entre as duas últimas iterações. As figuras 2-39 a 2-42 apresentam o deslocamento lateral da estrutura para as análises de primeira e segunda ordem dos eixos A e 1. As tabelas 2-14 a 2-17 apresentam a comparação completa para todos os eixos.

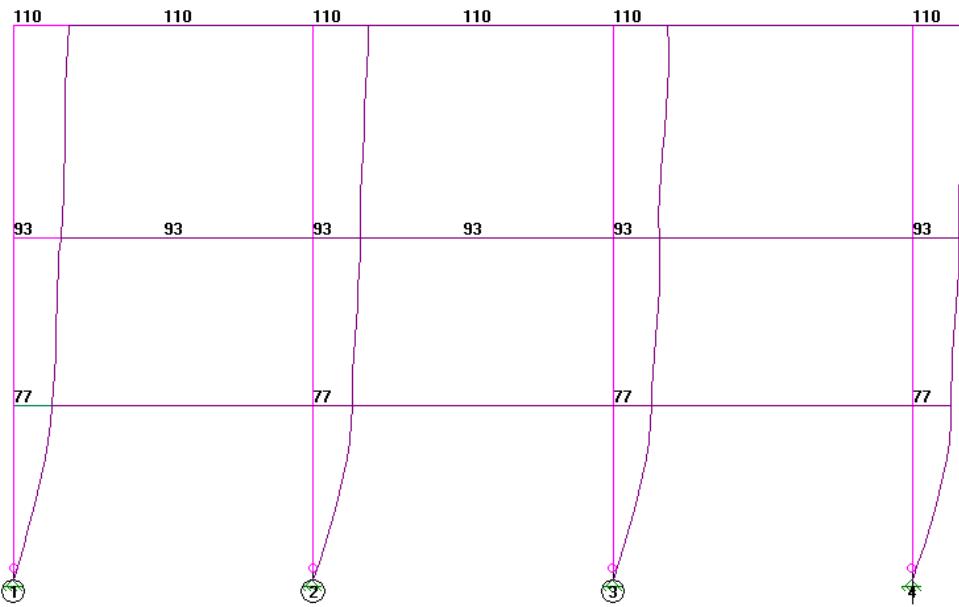


Figura 2-39 – Eixo A – Deslocamentos Dir+X – Análise de 1<sup>a</sup> ordem (Valores estão 10<sup>2</sup> em cm)

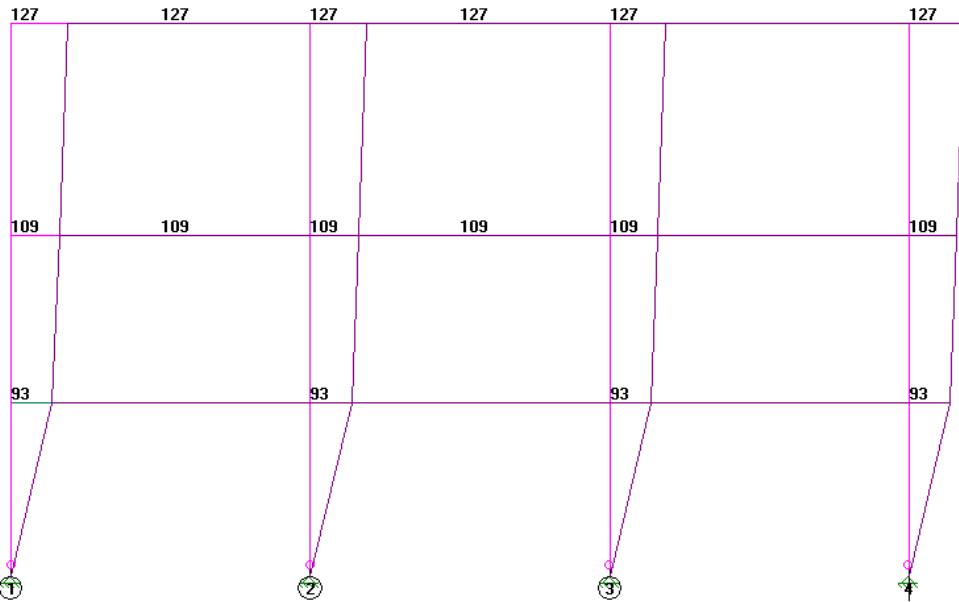


Figura 2-40 – Eixo A – Deslocamentos Dir+X – Análise de 2<sup>a</sup> ordem (Valores estão 10<sup>2</sup> em cm)

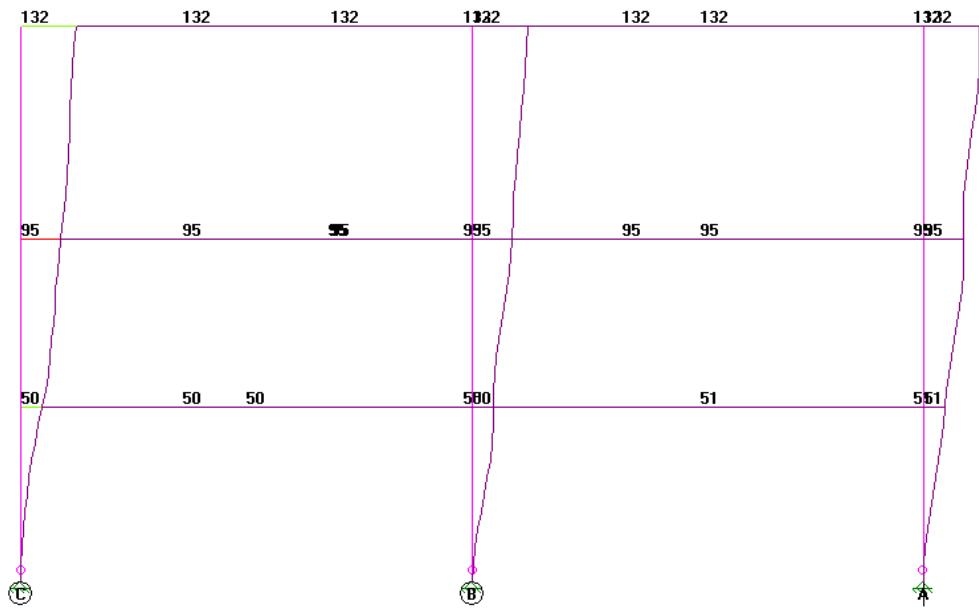


Figura 2-41 – Deslocamentos Dir+Y – Análise de 1<sup>a</sup> ordem (Valores estão 10<sup>2</sup> em cm)

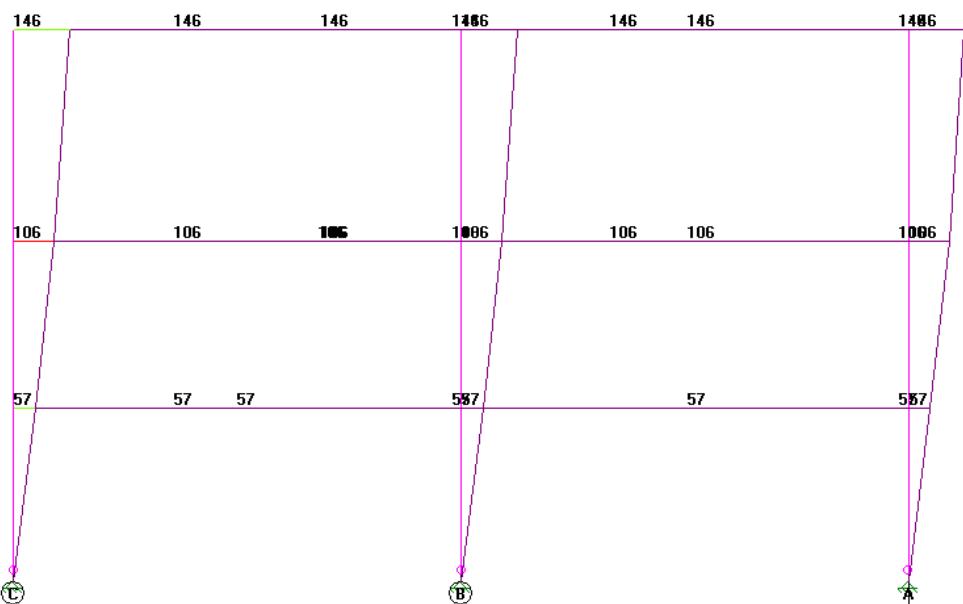


Figura 2-42 – Eixo 1 – Deslocamentos Dir+Y – Análise de 2<sup>a</sup> ordem (Valores estão 10<sup>2</sup> em cm)

Tabela 2-14 – Deslocabilidade lateral – Direção X – Análise de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> ordem

CLASSIFICAÇÃO DA ESTRUTURA QUANTO A DESLOCABILIDADE LATERAL - NBR 8800:2008 (ITEM 4.9.4)												
EIXO	ANÁLISE DE 1 <sup>a</sup> ORDEM ( $\mu_1$ ) - DIREÇÃO X (cm)						ANÁLISE DE 2 <sup>a</sup> ORDEM ( $\mu_2$ ) - DIREÇÃO X (cm)					
	MEZANINO		2º PAVIMENTO		3º PAVIMENTO		MEZANINO		2º PAVIMENTO		3º PAVIMENTO	
	DIR+X	DIR-X	DIR+X	DIR-X	DIR+X	DIR-X	DIR+X	DIR-X	DIR+X	DIR-X	DIR+X	DIR-X
A	0,77	0,74	0,93	0,92	1,10	1,27	0,93	0,89	1,09	1,06	1,27	1,43
B	0,44	0,46	0,73	0,80	0,87	1,11	0,52	0,53	0,84	0,91	1,00	1,25
C	0,34	0,39	0,53	0,68	0,65	0,96	0,39	0,44	0,59	0,76	0,72	1,06

Tabela 2-15 – Razão entre deslocamentos – Dir.X

EIXO	RAZÃO DE DESLOCAMENTOS ( $\mu_2/\mu_1$ ) - DIR.X					
	MEZANINO		2º PAVIMENTO		3º PAVIMENTO	
	DIR+X	DIR-X	DIR+X	DIR-X	DIR+X	DIR-X
A	1,21	1,20	1,17	1,15	1,15	1,13
B	1,16	1,15	1,15	1,14	1,14	1,13
C	1,15	1,13	1,13	1,12	1,12	1,10
RAZÃO MAXIMA (DIR X)						1,21

Tabela 2-16 – Deslocabilidade lateral – Direção Y – Análise de 1ª e 2ª ordem

CLASSIFICAÇÃO DA ESTRUTURA QUANTO A DESLOCABILIDADE LATERAL - NBR 8800:2008 (ITEM 4.9.4)												
EIXO	ANÁLISE DE 1ª ORDEM ( $\mu_1$ ) - DIREÇÃO Y (cm)						ANÁLISE DE 2ª ORDEM ( $\mu_2$ ) - DIREÇÃO Y (cm)					
	MEZANINO		2º PAVIMENTO		3º PAVIMENTO		MEZANINO		2º PAVIMENTO		3º PAVIMENTO	
	DIR+Y	DIR-Y	DIR+Y	DIR-Y	DIR+Y	DIR-Y	DIR+Y	DIR-Y	DIR+Y	DIR-Y	DIR+Y	DIR-Y
1	0,50	0,28	0,95	0,52	1,32	0,73	0,57	0,32	1,06	0,58	1,46	0,81
2	0,47	0,28	0,88	0,51	1,23	0,69	0,52	0,31	0,97	0,56	1,35	0,76
3	0,43	0,28	0,81	0,49	1,14	0,65	0,48	0,31	0,89	0,54	1,24	0,71
4	0,40	0,28	0,74	0,48	1,05	0,61	0,43	0,30	0,80	0,51	1,13	0,66
5	0,38	0,28	0,70	0,47	1,00	0,59	0,41	0,30	0,76	0,50	1,07	0,63

Tabela 2-17 – Razão entre deslocamentos – Dir.Y

EIXO	RAZÃO DE DESLOCAMENTOS ( $\mu_2/\mu_1$ ) - DIR.Y					
	MEZANINO		2º PAVIMENTO		3º PAVIMENTO	
	DIR+Y	DIR-Y	DIR+Y	DIR-Y	DIR+Y	DIR-Y
1	1,14	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11
2	1,11	1,11	1,10	1,11	1,10	1,10
3	1,12	1,09	1,10	1,09	1,09	1,09
4	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,07
5	1,08	1,07	1,09	1,07	1,07	1,07
RAZÃO MAXIMA (DIR Y)						1,14

Analisando os resultados das tabelas 2-15 e 2-17, conclui-se que a estrutura é classificada como de média deslocabilidade. A norma [1] recomenda que nestas estruturas, os efeitos das imperfeições iniciais de material sejam levados em conta na análise através da redução da rigidez à flexão e da rigidez axial das barras em 80% dos valores iniciais. Esta consideração é introduzida no modelo estrutural através da redução do módulo de elasticidade do aço para 0,8E.

## 2.5 RESULTADOS E DIMENSIONAMENTO

Nesta seção, são apresentados os dimensionamentos e verificações das colunas metálicas, vigas metálicas, vigas mistas, bases de coluna e ligações viga-viga e viga-coluna para as combinações ELU e ELS. Para automatização da verificação dos elementos da estrutura, segundo o que orientam as normas citadas neste projeto,

foram desenvolvidas planilhas de verificação com o auxílio do programa *Mathcad V14.0* [3]. Nas planilhas apresentadas nas seções subsequentes, observa-se a elaboração de algoritmos de programação, recurso oferecido pelo programa, que facilita no desenvolvimento das planilhas. É importante ressaltar, para melhor compreensão, que o separador decimal utilizado pelo programa *Mathcad* é o ponto (.).

É apresentado apenas o dimensionamento dos elementos afetados a remoção da coluna C8. Os dimensionamentos tomam por base os resultados da análise não linear. A nomenclatura utilizada é apresentada no inicio de cada seção.

### 2.5.1 Dimensionamento das colunas metálicas

As colunas metálicas são dimensionadas e verificadas para os estados limites ELU e ELS segundo critérios adotados pela norma NBR 8800 [1]. O dimensionamento é feito verificando a coluna nos trechos entre o térreo - mezanino, mezanino - 2º pavimento e 2º pavimento – cobertura, para três combinações de cargas que fornecem o maior esforço normal, maior momento fletor no eixo de maior inércia e maior momento fletor no eixo de menor inércia. Nesta seção, é apresentada apenas a verificação da coluna mais solicitada para o trecho mais crítico para a combinação mais crítica. O dimensionamento completo para as demais colunas é apresentado no Anexo B.

#### 2.5.1.1 Nomenclatura utilizada

- Aef ⇒ área efetiva da seção transversal dos elementos AA;  
Ag ⇒ área bruta da seção transversal;  
Aw ⇒ área efetiva de cisalhamento;  
bef ⇒ largura efetiva dos elementos AA;  
bf ⇒ largura da mesa;  
Cw ⇒ constante de empenamento da seção transversal;  
d ⇒ altura total do perfil de aço;  
E ⇒ módulo de elasticidade do aço;  
FLA ⇒ flambagem local da alma;  
FLM ⇒ flambagem local da mesa comprimida;  
FLT ⇒ flambagem lateral com torção;  
fy ⇒ resistência ao escoamento do aço;  
fyd ⇒ resistência de cálculo ao escoamento do aço;  
G ⇒ módulo de elasticidade transversal do aço;  
h0 ⇒ altura da alma medida entre as faces internas das mesas;

hw ⇒ h0 menos os dois raios de concordância entre a mesa e a alma;  
 Ix, ly ⇒ momento de inércia;  
 Jb ⇒ constante de torção da seção transversal;  
 Kx, Ky, Kz ⇒ coeficiente de flambagem de barras comprimidas;  
 Lb ⇒ distância entre duas seções contidas à flambagem lateral com torção;  
 Lx, Ly, Lz ⇒ comprimento;  
 MA ⇒ momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a um quarto do comprimento destravado, medido a partir da extremidade esquerda;  
 MB ⇒ momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção central do comprimento destravado;  
 MC ⇒ momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a três quartos do comprimento destravado, medido a partir da extremidade esquerda;  
 Mcr ⇒ momento fletor de flambagem elástica;  
 Mmax ⇒ momento fletor máximo solicitante de cálculo, em módulo, no comprimento destravado;  
 Mpl ⇒ momento fletor de plastificação da seção transversal;  
 Mr ⇒ momento fletor correspondente ao início de escoamento;  
 MxRd, MyRd ⇒ momento fletor resistente de cálculo;  
 Mxsd, Mysd ⇒ momento fletor solicitante de cálculo;  
 Nex, Ney ⇒ forças axiais de flambagem elástica em relação aos eixos de inércia x e y;  
 Nez ⇒ flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z;  
 NRd ⇒ força normal resistente de cálculo;  
 Nsd ⇒ força normal solicitante de cálculo;  
 Q ⇒ fator de redução de flambagem local total;  
 Qa ⇒ fator de redução de flambagem local de elementos AA;  
 Qs ⇒ fator de redução de flambagem local de elementos AL;  
 r0 ⇒ raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento;  
 rx, ry ⇒ raio de giração;  
 t0 ⇒ espessura da alma;  
 tf ⇒ espessura da mesa do perfil de aço;  
 Vpl ⇒ força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento;  
 VRd ⇒ força cortante resistente de cálculo;  
 Vsd ⇒ força cortante solicitante de cálculo;  
 Wx, Wy ⇒ módulo de resistência elástico;  
 x0, y0 ⇒ coordenadas do centro de cisalhamento em relação ao centro geométrico;  
 Zx, Zy ⇒ módulo de resistência plástico;

- $\gamma_a$  ⇒ coeficiente de ponderação da resistência (ver Tabela 3 da NBR 8800 [1]);  
 $\lambda_0$  ⇒ índice de esbeltez reduzido;  
 $\lambda_A, \lambda_M$  ⇒ parâmetros de esbeltez da alma e da mesa do perfil de aço;  
 $\lambda_p$  ⇒ parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação;  
 $\lambda_r$  ⇒ parâmetro de esbeltez correspondente ao início de escoamento;  
 $\nu$  ⇒ coeficiente de Poisson;

### 2.5.1.2 Coluna C19

#### a) Trecho Térreo – Mezanino:

- Combinação ELU – Ndmax e Md3max: As figuras 2-43 a 2-47 apresentam os esforços solicitantes.

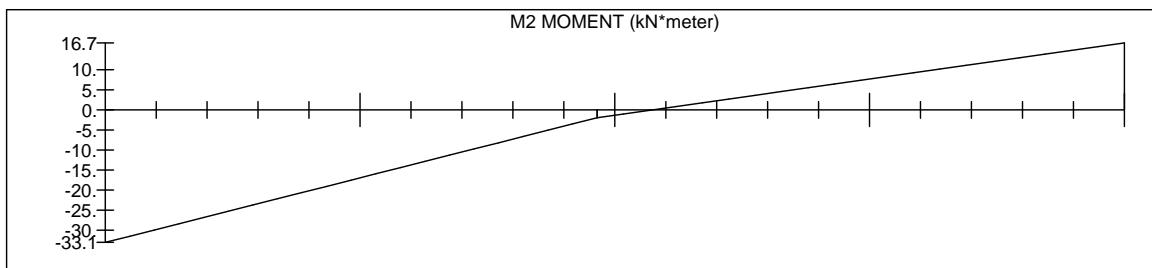


Figura 2-43 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Momento fletor solicitante de cálculo – Unidade kN.m

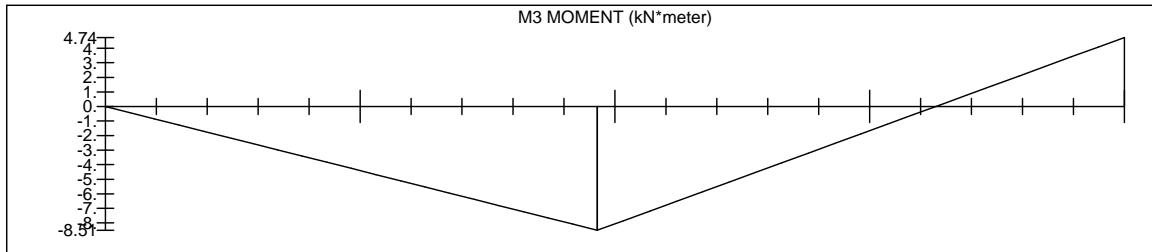


Figura 2-44 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Momento fletor solicitante de cálculo – Unidade kN.m

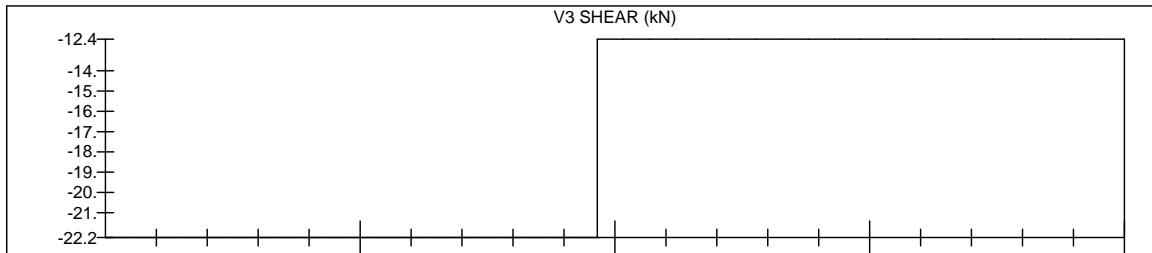


Figura 2-45 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Força cortante solicitante de cálculo – Unidade kN

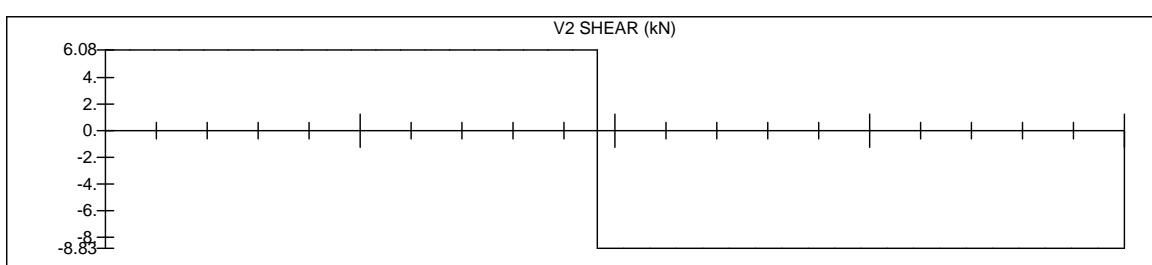


Figura 2-46 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Força cortante solicitante de cálculo – Unidade kN

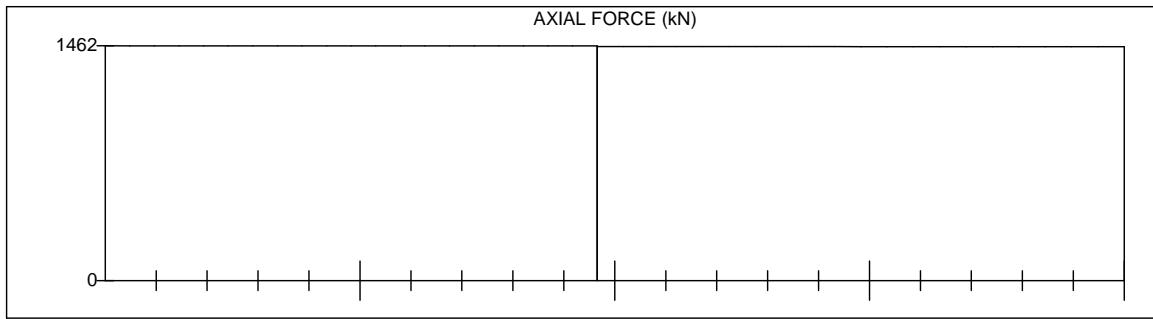


Figura 2-47 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Força axial solicitante de cálculo – Unidade kN

**NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**

#### I) Dados Iniciais

##### I.1) Materiais

###### ACO (PERFIL)

$$f_y := 350 \text{ MPa} \quad \gamma_{\text{al}} := 1.1 \quad E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa} \quad \nu := 0.3$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{\text{al}}} = 318.18 \text{ MPa} \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 61538.46 \text{ MPa}$$

##### I.2) Perfil Metálico - W200x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
massa := 52 $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_0 := 7.9 \text{ mm}$	$t_f := 12.6 \text{ mm}$	$I_x := 5298 \text{ cm}^4$	$I_y := 1784 \text{ cm}^4$	$J_b := 33.3 \text{ cm}^4$
$d := 206 \text{ mm}$	$h_0 := 181 \text{ mm}$	$b_f := 204 \text{ mm}$	$W_x := 514.4 \text{ cm}^3$	$W_y := 174.9 \text{ cm}^3$	
$A_g := 66.9 \text{ cm}^2$	$h_w := 156.4 \text{ mm}$	$\lambda_M := 8.1$	$r_x := 8.9 \text{ cm}$	$r_y := 5.16 \text{ cm}$	
	$\lambda_A := 19.8$		$Z_x := 572.5 \text{ cm}^3$	$Z_y := 265.8 \text{ cm}^3$	

##### I.3) Parâmetros Necessários ao dimensionamento de peças comprimidas

EIXO DE INÉRCIA X	EIXO DE INÉRCIA Y	EIXO LONGITUDINAL Z	CENTRO DE CISALHAMENTO
$K_x := 1.0$	$K_y := 1.0$	$K_z := 1.0$	$x_0 := 0.00 \text{ cm}$
$L_x := 2.9 \text{ m}$	$L_y := 2.9 \text{ m}$	$L_z := 2.90 \text{ m}$	$y_0 := 0.00 \text{ cm}$

##### I.4) Parâmetros Necessários ao Cálculo do Estado limite FLT

$$L_b := 2.9 \text{ m} \quad M_{\text{max}} := 33.1 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_A := 17.5 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_B := 2 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_C := 8 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

##### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{X,\text{sd}} := 33.1 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{Y,\text{sd}} := 8.51 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd,\text{max}} := 22.2 \text{ kN} \quad N_{sd} := 1462 \text{ kN}$$

**NBR 8800:2008 - 5.3.4 - Limitação do índice de esbeltez**

###### DIREÇÃO X

$$\frac{K_x \cdot L_x}{r_x} = 32.58$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_x} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

###### DIREÇÃO Y

$$\frac{K_y \cdot L_y}{r_y} = 56.20$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_y} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_y \cdot L_y}{r_y} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_índice\\_esbeltez\\_x = "VERIFICA"

verificação\\_índice\\_esbeltez\\_y = "VERIFICA"

---

**ANEXO E - Força axial de flambagem elástica e coeficiente de flambagem**

---

**E.1 - Valores da Força Axial de Flambagem Elástica**

---

**E.1.1 - Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto**

---

**II.1) Força Axial de Flambagem (Ne)****II.1.1) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal**

$$N_{ex} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad [N_{ex} = 9948.00 \cdot kN]$$

**II.1.2) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal**

$$N_{ey} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad [N_{ey} = 3349.80 \cdot kN]$$

**II.1.3) Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z**

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad [C_w = 166819.88 \cdot \text{cm}^6]$$

$$r_0 := \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2} \quad [r_0 = 10.29 \cdot \text{cm}]$$

$$N_{ez} := \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J_b \right] \quad [N_{ez} = 4895.89 \cdot kN]$$

**II.1.4) Força axial de flambagem (Ne)**

$$N_e := \min(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}) \quad [N_e = 3349.80 \cdot kN]$$


---

**ANEXO F - Flambagem local de barras axialmente comprimidas**

---

**F.2 - Elementos comprimidos AL**

---

**III.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AL (Qs) - GRUPO 4 - TABELA F.1****III.1.1) Cálculo dos valores limites de esbeltez ( $\lambda_{inf}$  e  $\lambda_{sup}$ )**

$$\lambda_{inf} := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{inf} = 11.97]$$

$$\lambda_{sup} := 1.03 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{sup} = 22.02]$$

**III.1.2) Esbeltez da mesa ( $\lambda$ )**

$$b := \frac{bf}{2} \quad [b = 10.20 \cdot \text{cm}]$$

$$t := tf \quad [t = 1.26 \cdot \text{cm}]$$

$$\lambda := \frac{b}{t} \quad [\lambda = 8.10]$$

### III.1.3) Fator de redução de flambagem local de elementos AL (Q<sub>s</sub>)

$$Q_s := \begin{cases} 1.00 & \text{if } \lambda \leq \lambda_{inf} \\ \left( 1.415 - 0.74 \cdot \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \right) & \text{if } \lambda_{inf} < \lambda \leq \lambda_{sup} \\ \left[ \frac{0.69 \cdot E}{f_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} \right] & \text{if } \lambda > \lambda_{sup} \end{cases}$$

Q<sub>s</sub> = 1.00

### **F.3 - Elementos comprimidos AA**

#### IV.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>) - GRUPO 2 - TABELA F.1

$$b := h_w \quad \boxed{b = 15.64 \cdot \text{cm}}$$

$$t := t_f \quad \boxed{t = 1.26 \cdot \text{cm}}$$

# Conservadoramente adota-se:  $\sigma := f_y$

#### IV.1.1) Cálculo da largura efetiva e área efetiva (bef e Aef)

$$bef := \min \left[ 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[ 1 - \frac{0.34}{\left( \frac{b}{t} \right)} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right], b \right] \quad \boxed{bef = 15.64 \cdot \text{cm}}$$

$$Aef := A_g - (b - bef) \cdot t \quad \boxed{Aef = 66.90 \cdot \text{cm}^2}$$

#### IV.1.2) Fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>)

$$Q_a := \frac{Aef}{A_g} \quad \boxed{Q_a = 1.00}$$

### **NBR 8800:2008 - 5.3 - Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão**

#### V.1) Força axial resistente de cálculo

##### V.1.1) Fator de redução de flambagem local total (Q)

$$Q := Q_s \cdot Q_a \quad \boxed{Q = 1.00}$$

##### V.1.2) Cálculo do índice de esbeltez reduzido ( $\lambda_0$ )

$$\lambda_0 := \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} \quad \boxed{\lambda_0 = 0.84}$$

##### V.1.3) Fator de Redução x

$$x := \begin{cases} 0.658 \frac{\lambda_0^2}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 \leq 1.5 \\ \frac{0.877}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 > 1.5 \end{cases} \quad \boxed{x = 0.75}$$

V.1.4) Força axial resistente de cálculo (NcRd)

$$N_{cRd} := \frac{X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_a 1} \quad N_{cRd} = 1588.70 \text{ kN}$$

**G.2 - Momento Fletor Resistente de Cálculo**

**G.2.1 - Flambagem Lateral com Torção - Estado Limite FLT**

II.1) Classificação da viga quanto a FLT

II.1.1) Cálculo de  $\lambda_p$  - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{pFLT} := 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{pFLT} = 37.63$$

II.1.2) Cálculo de  $\lambda_r$  - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$C_b := \min \left( 3.0, \frac{12.5 \cdot M_{max}}{2.5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \right) \quad C_b = 2.47$$

$$\beta_1 := \frac{(f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x}{E \cdot J_b} \quad \beta_1 = 2.37 \frac{1}{m}$$

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad C_w = 166819.88 \cdot \text{cm}^6$$

$$\lambda_{rFLT} := \frac{1.38 \cdot \sqrt{I_y \cdot J_b}}{r_y \cdot J_b \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} \quad \lambda_{rFLT} = 132.24$$

II.1.3) Cálculo de  $\lambda$  - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLT} := \frac{L_b}{r_y} \quad \lambda_{FLT} = 56.20$$

II.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLT} := \begin{cases} \text{"VIGA CURTA"} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{pFLT} \\ \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"} & \text{if } \lambda_{pFLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{rFLT} \\ \text{"VIGA LONGA"} & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{rFLT} \end{cases} \quad \text{classificação}_{FLT} = \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"}$$

II.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLT

$$M_{pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{pl} = 200.38 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := (f_y - 0.3f_y) \cdot W_x \quad M_r = 126.03 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{cr} := \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left( 1 + 0.039 \cdot \frac{J_b \cdot L_b^2}{C_w} \right)} \quad M_{cr} = 1030.81 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rdFLT} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_a 1} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{pFLT} \\ \min \left[ \left\lceil \frac{C_b}{\gamma_a 1} \cdot \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLT} - \lambda_{pFLT})}{(\lambda_{rFLT} - \lambda_{pFLT})} \right] \right\rceil, \left\lceil \frac{M_{pl}}{\gamma_a 1} \right\rceil \right] & \text{if } \lambda_{pFLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{rFLT} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{cr}}{\gamma_a 1} \right), \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_a 1} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{rFLT} \end{cases} \quad M_{rdFLT} = 182.16 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### G.2.1 - Flambagem Local da Alma - Estado Limite FLA

#### III.1) Classificação da viga quanto a FLA

##### III.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p\text{FLA}} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{p\text{FLA}} = 80.39}$$

##### III.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r\text{FLA}} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{r\text{FLA}} = 121.87}$$

##### III.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez

$$\lambda_{\text{FLA}} := \lambda_A \quad \boxed{\lambda_{\text{FLA}} = 19.80}$$

##### III.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{\text{FLA}} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{p\text{FLA}} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{p\text{FLA}} < \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{r\text{FLA}} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{r\text{FLA}} \end{cases} \quad \boxed{\text{classificação}_{\text{FLA}} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

#### III.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLA

##### III.2.1) Eixo de inércia X

$$M_{x\text{pl}} := Z_x \cdot f_y \quad \boxed{M_{x\text{pl}} = 200.38 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{x_r} := f_y \cdot W_x \quad \boxed{M_{x_r} = 180.04 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{xrd\text{FLA}} := \begin{cases} \frac{M_{x\text{pl}}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{p\text{FLA}} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{al}} \left[ M_{x\text{pl}} - (M_{x\text{pl}} - M_{x_r}) \cdot \frac{(\lambda_{\text{FLA}} - \lambda_{p\text{FLA}})}{(\lambda_{r\text{FLA}} - \lambda_{p\text{FLA}})} \right], \left( \frac{M_{x\text{pl}}}{\gamma_{al}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p\text{FLA}} < \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{r\text{FLA}} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{r\text{FLA}} \end{cases}$$

$$\boxed{M_{xrd\text{FLA}} = 182.16 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### III.2.2) Eixo de inércia Y

$$M_{y\text{pl}} := Z_y \cdot f_y \quad \boxed{M_{y\text{pl}} = 93.03 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{y_r} := f_y \cdot W_y \quad \boxed{M_{y_r} = 61.22 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{yrd\text{FLA}} := \begin{cases} \frac{M_{y\text{pl}}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{p\text{FLA}} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{al}} \left[ M_{y\text{pl}} - (M_{y\text{pl}} - M_{y_r}) \cdot \frac{(\lambda_{\text{FLA}} - \lambda_{p\text{FLA}})}{(\lambda_{r\text{FLA}} - \lambda_{p\text{FLA}})} \right], \left( \frac{M_{y\text{pl}}}{\gamma_{al}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p\text{FLA}} < \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{r\text{FLA}} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{r\text{FLA}} \end{cases} \quad \boxed{M_{yrd\text{FLA}} = 84.57 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### G.2.1 - Flambagem Local da Mesa Comprimida - Estado Limite FLM

#### IV.1) Classificação da viga quanto a FLM

##### IV.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p\text{FLM}} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{p\text{FLM}} = 8.12}$$

##### IV.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r\text{FLM}} := 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - 0.3f_y)}} \quad \boxed{\lambda_{r\text{FLM}} = 21.21}$$

##### IV.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{\text{FLM}} := \lambda_M \quad \boxed{\lambda_{\text{FLM}} = 8.10}$$

#### IV.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{\text{FLM}} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{p\text{FLM}} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{p\text{FLM}} < \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{r\text{FLM}} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} > \lambda_{r\text{FLM}} \end{cases} \quad \boxed{\text{classificação}_{\text{FLM}} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

#### IV.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLM

##### IV.2.1) Eixo de inércia X

$$M_{x\text{pl}} := Z_x \cdot f_y \quad \boxed{M_{x\text{pl}} = 200.38 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{x_r} := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x \quad \boxed{M_{x_r} = 126.03 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{x\text{cr}} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{\text{FLM}}^2} \cdot W_x \quad \boxed{M_{x\text{cr}} = 865.57 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{xrd\text{FLM}} := \begin{cases} \frac{M_{x\text{pl}}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{p\text{FLM}} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[ M_{x\text{pl}} - \left( M_{x\text{pl}} - M_{x_r} \right) \frac{(\lambda_{\text{FLM}} - \lambda_{p\text{FLM}})}{(\lambda_{r\text{FLM}} - \lambda_{p\text{FLM}})} \right], \left( \frac{M_{x\text{pl}}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p\text{FLM}} < \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{r\text{FLM}} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{x\text{cr}}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{M_{x\text{pl}}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} > \lambda_{r\text{FLM}} \end{cases}$$

$$\boxed{M_{xrd\text{FLM}} = 182.16 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2.2) Eixo de inércia Y

$$M_{y\text{pl}} := Z_y \cdot f_y \quad \boxed{M_{y\text{pl}} = 93.03 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{y_r} := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_y \quad \boxed{M_{y_r} = 42.85 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{y\text{cr}} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{\text{FLM}}^2} \cdot W_y \quad \boxed{M_{y\text{cr}} = 294.30 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$My_{rd,FLM} := \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ My_{pl} - (My_{pl} - My_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})} \right], \left( \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left( \frac{My_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases}$$

$$My_{rd,FLM} = 84.57 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### Momento Fletor Resistente de Cálculo (Mrd)

$$Mx_{rd} := \begin{cases} "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(M_{rd,FLT}, M_{rd,FLA}, M_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mx_{rd} = 182.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$My_{rd} := \begin{cases} "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(My_{rd,FLA}, My_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad My_{rd} = 84.57 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo

##### V) Força Cortante Resistente de Cálculo

###### V.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{lV}$ )

$$\lambda_A = 19.80 \quad \lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} = 52.59$$

$$verificação_{flV} := \begin{cases} "SEÇÃO COMPACTA" & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ "SEÇÃO NÃO COMPACTA" & \text{otherwise} \end{cases} \quad verificação_{flV} = "SEÇÃO COMPACTA"$$

###### VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento (Vpl)

$$Aw := d \cdot t_0 \quad Aw = 16.27 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} := 0.60 \cdot Aw \cdot f_y \quad V_{pl} = 341.75 \text{ kN}$$

###### VI.3) Força cortante resistente de cálculo (Vrd)

$$V_{rd} := \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad V_{rd} = 310.69 \text{ kN}$$

##### Verificação no Estado Limite Último (ELU)

#### NBR 8800:2008 - 5.5 - Barras prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes

###### VI.1) Atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores

###### VI.1.1) Relação $N_{sd}/N_{rd}$

$$\frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} = 0.92$$

### V.1.2) Equação de Interação

$$\text{interação} := \begin{cases} \left[ \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_{x,sd}}{M_{x,rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} \geq 0.2 \\ \left[ \frac{N_{sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left( \frac{M_{x,sd}}{M_{x,rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} < 0.2 \end{cases}$$

interação = 1.17

### V.1.2) Verificação da equação de interação

$$\text{verificação_interação} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{interação} \leq 1.0 \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_interação = "REDIMENSIONAR"

### Verificação ao cortante

$$\text{verificação_V_max} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd,\max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_V\_max = "VERIFICA"

Como previsto, com a remoção da coluna C8 a coluna C19 apresentou um acréscimo de carregamento, falhando na verificação da equação de interação com um valor de 1,16. Como alternativa, a coluna C19 é revisada para o perfil laminado W200x71. A coluna é revisada também no modelo estrutural e a seguir é apresentado o dimensionamento para o trecho e combinação mais crítica.

#### b) Trecho Térreo – Mezanino:

- Combinação ELU – Ndmax: As figuras 2-48 a 2-52 apresentam os esforços solicitantes.

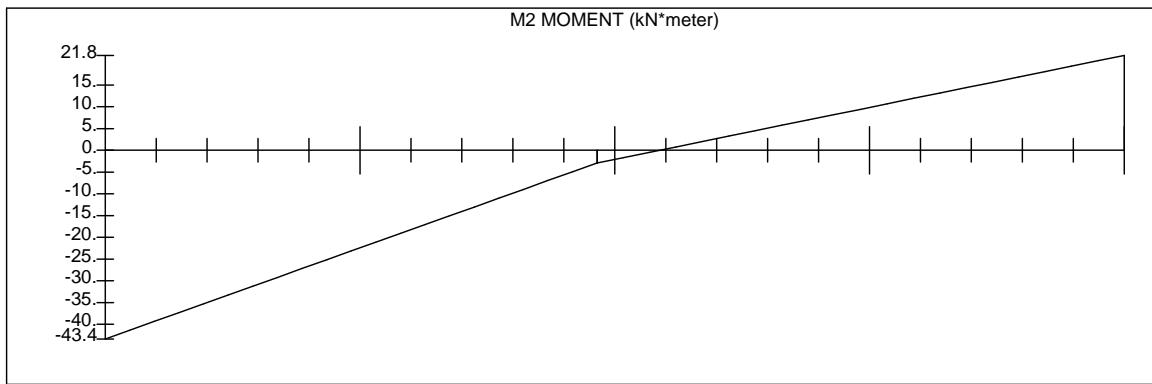


Figura 2-48 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Momento fletor solicitante de cálculo – Unidade kN.m

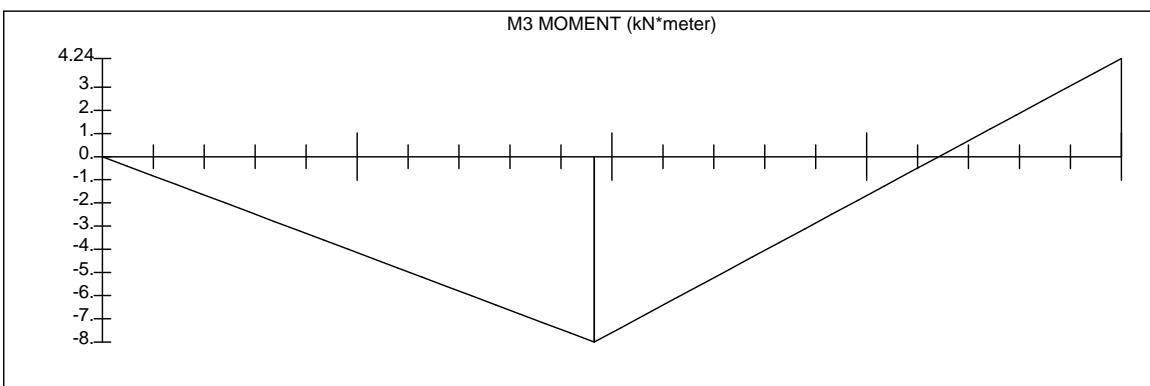


Figura 2-49 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Momento fletor solicitante de cálculo – Unidade kN.m

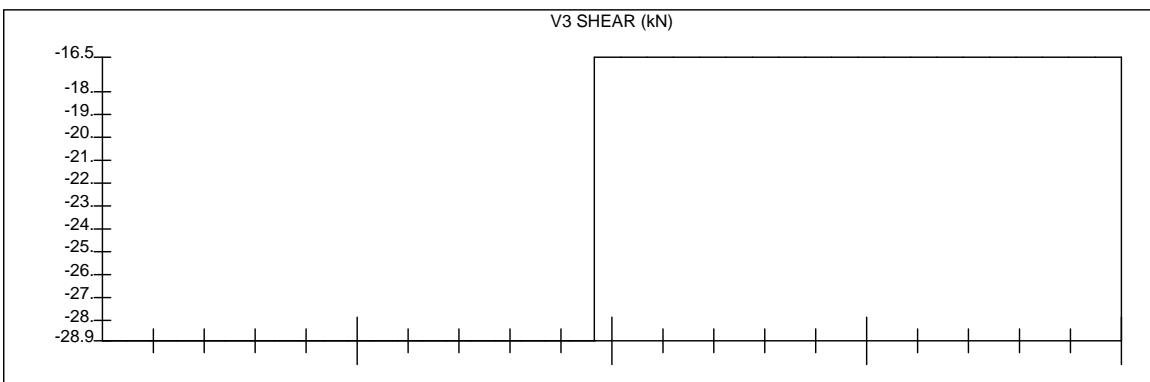
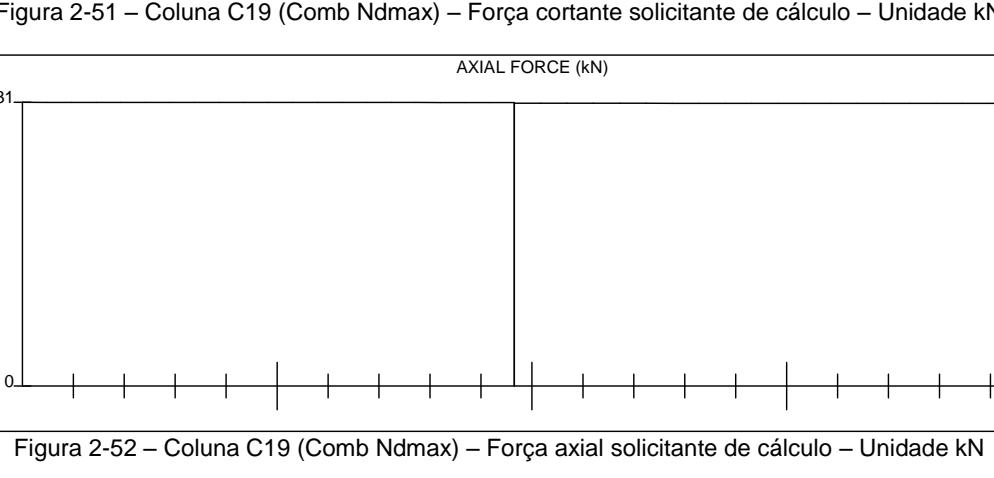
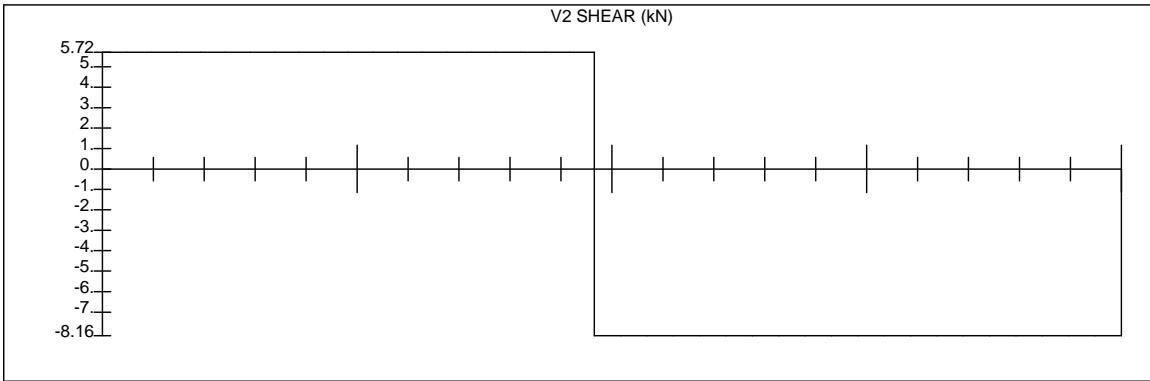


Figura 2-50 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Força cortante solicitante de cálculo – Unidade kN



**NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**

I) Dados Iniciais

I.1) Materiais

ACO (PERFIL)

$$f_y := 350 \text{ MPa} \quad \gamma_a := 1.1 \quad E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa} \quad \nu := 0.3$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_a} = 318.18 \text{ MPa} \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 61538.46 \text{ MPa}$$

I.2) Perfil Metálico - W200x71.0

<u>GERAL</u>	<u>ALMA</u>	<u>MESA</u>	<u>EIXO X</u>	<u>EIXO Y</u>	<u>TORÇÃO</u>
massa := 71 $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	t <sub>0</sub> := 10.2mm	t <sub>f</sub> := 17.4mm	I <sub>x</sub> := 7660 $\text{cm}^4$	I <sub>y</sub> := 2537 $\text{cm}^4$	J <sub>b</sub> := 81.7 $\text{cm}^4$
d := 216mm	h <sub>0</sub> := 181mm	b <sub>f</sub> := 206mm	W <sub>x</sub> := 709.2 $\text{cm}^3$	W <sub>y</sub> := 246.3 $\text{cm}^3$	
A <sub>g</sub> := 91 $\text{cm}^2$	h <sub>w</sub> := 161mm	$\lambda_M$ := 5.9	r <sub>x</sub> := 9.17cm	r <sub>y</sub> := 5.28cm	
		$\lambda_A$ := 15.8	Z <sub>x</sub> := 803.2 $\text{cm}^3$	Z <sub>y</sub> := 374.5 $\text{cm}^3$	

I.3) Parâmetros Necessários ao dimensionamento de peças comprimidas

<u>EIXO DE INÉRCIA X</u>	<u>EIXO DE INÉRCIA Y</u>	<u>EIXO LONGITUDINAL Z</u>	<u>CENTRO DE CISALHAMENTO</u>
K <sub>x</sub> := 1.0	K <sub>y</sub> := 1.0	K <sub>z</sub> := 1.0	x <sub>0</sub> := 0.00cm
L <sub>x</sub> := 2.90m	L <sub>y</sub> := 2.90m	L <sub>z</sub> := 2.90m	y <sub>0</sub> := 0.00cm

I.4) Parâmetros Necessários ao Cálculo do Estado limite FLT

$$L_b := 2.9 \text{ m} \quad M_{max} := 43.4 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_A := 22.5 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_B := 2 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_C := 10 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{sd} := 43.4 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{y,sd} := 8 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd,max} := 28.9 \text{ kN} \quad N_{sd} := 1531 \text{ kN}$$

**NBR 8800:2008 - 5.3.4 - Limitação do índice de esbeltez**

DIREÇÃO X

$$\frac{K_x \cdot L_x}{r_x} = 31.62$$

DIREÇÃO Y

$$\frac{K_y \cdot L_y}{r_y} = 54.92$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_x} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{verificação\_índice\_esbeltez\_y} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_y \cdot L_y}{r_y} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_índice\_esbeltez\_x = "VERIFICA"

verificação\_índice\_esbeltez\_y = "VERIFICA"

---

**ANEXO E - Força axial de flambagem elástica e coeficiente de flambagem**

---

**E.1 - Valores da Força Axial de Flambagem Elástica**

---

**E.1.1 - Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto**

---

**II.1) Força Axial de Flambagem (Ne)****II.1.1) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal**

$$N_{ex} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad [N_{ex} = 14383.10 \cdot kN]$$

**II.1.2) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal**

$$N_{ey} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad [N_{ey} = 4763.70 \cdot kN]$$

**II.1.3) Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z**

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad [C_w = 250160.63 \cdot cm^6]$$

$$r_0 := \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2} \quad [r_0 = 10.58 \cdot cm]$$

$$N_{ez} := \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J_b \right] \quad [N_{ez} = 8685.51 \cdot kN]$$

**II.1.4) Força axial de flambagem (Ne)**

$$N_e := \min(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}) \quad [N_e = 4763.70 \cdot kN]$$

---

**ANEXO F - Flambagem local de barras axialmente comprimidas**

---

**F.2 - Elementos comprimidos AL**

---

**III.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AL (Qs) - GRUPO 4 - TABELA F.1****III.1.1) Cálculo dos valores limites de esbeltez ( $\lambda_{inf}$  e  $\lambda_{sup}$ )**

$$\lambda_{inf} := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{inf} = 11.97]$$

$$\lambda_{sup} := 1.03 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{sup} = 22.02]$$

**III.1.2) Esbeltez da mesa ( $\lambda$ )**

$$b := \frac{b_f}{2} \quad [b = 10.30 \cdot cm]$$

$$t := t_f \quad [t = 1.74 \cdot cm]$$

$$\lambda := \frac{b}{t} \quad [\lambda = 5.92]$$

### III.1.3) Fator de redução de flambagem local de elementos AL (Q<sub>s</sub>)

$$Q_s := \begin{cases} 1.00 & \text{if } \lambda \leq \lambda_{\inf} \\ \left( 1.415 - 0.74 \cdot \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \right) & \text{if } \lambda_{\inf} < \lambda \leq \lambda_{\sup} \\ \left[ \frac{0.69 \cdot E}{f_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} \right] & \text{if } \lambda > \lambda_{\sup} \end{cases}$$

Q<sub>s</sub> = 1.00

### **F.3 - Elementos comprimidos AA**

#### IV.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>) - GRUPO 2 - TABELA F.1

$$b := h_w \quad \boxed{b = 16.10 \cdot \text{cm}}$$

$$t := t_f \quad \boxed{t = 1.74 \cdot \text{cm}}$$

# Conservadoramente adota-se:  $\sigma := f_y$

#### IV.1.1) Cálculo da largura efetiva e área efetiva (bef e Aef)

$$bef := \min \left[ 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[ 1 - \frac{0.34}{\left( \frac{b}{t} \right)} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right], b \right] \quad \boxed{bef = 15.31 \cdot \text{cm}}$$

$$Aef := A_g - (b - bef) \cdot t \quad \boxed{Aef = 89.63 \cdot \text{cm}^2}$$

#### IV.1.2) Fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>)

$$Q_a := \frac{Aef}{A_g} \quad \boxed{Q_a = 0.98}$$

### **NBR 8800:2008 - 5.3 - Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão**

#### V.1) Força axial resistente de cálculo

##### V.1.1) Fator de redução de flambagem local total (Q)

$$Q := Q_s \cdot Q_a \quad \boxed{Q = 0.98}$$

##### V.1.2) Cálculo do índice de esbeltez reduzido ( $\lambda_0$ )

$$\lambda_0 := \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} \quad \boxed{\lambda_0 = 0.81}$$

##### V.1.3) Fator de Redução x

$$x := \begin{cases} 0.658 \frac{\lambda_0^2}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 \leq 1.5 \\ \frac{0.877}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 > 1.5 \end{cases} \quad \boxed{x = 0.76}$$

#### V.1.4) Força axial resistente de cálculo (NcRd)

$$N_{c,Rd} := \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_a l} \quad N_{c,Rd} = 2164.78 \text{ kN}$$

#### G.2 - Momento Fletor Resistente de Cálculo

##### G.2.1 - Flambagem Lateral com Torção - Estado Limite FLT

###### II.1) Classificação da viga quanto a FLT

###### II.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLT} := 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p,FLT} = 37.63$$

###### II.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao inicio do escoamento

$$C_b := \min \left( 3.0, \frac{12.5 \cdot M_{max}}{2.5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \right) \quad C_b = 2.54$$

$$\beta_1 := \frac{(f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x}{E \cdot J_b} \quad \beta_1 = 1.33 \frac{1}{m}$$

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad C_w = 250160.63 \cdot \text{cm}^4$$

$$\lambda_{r,FLT} := \frac{1.38 \cdot \sqrt{I_y \cdot J_b}}{r_y \cdot J_b \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} \quad \lambda_{r,FLT} = 162.99$$

###### II.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLT} := \frac{L_b}{r_y} \quad \lambda_{FLT} = 54.92$$

###### II.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLT} := \begin{cases} \text{"VIGA CURTA"} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"} & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \text{"VIGA LONGA"} & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases}$$

classificação<sub>FLT</sub> = "VIGA INTERMEDIÁRIA"

###### II.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLT

$$M_{pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{pl} = 281.12 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := (f_y - 0.3f_y) \cdot W_x \quad M_r = 173.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{cr} := \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left( 1 + 0.039 \cdot \frac{J_b \cdot L_b^2}{C_w} \right)} \quad M_{cr} = 1725.79 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd,FLT} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_a l} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \min \left[ \frac{C_b}{\gamma_a l} \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLT} - \lambda_{p,FLT})}{(\lambda_{r,FLT} - \lambda_{p,FLT})} \right], \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_a l} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{cr}}{\gamma_a l} \right), \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_a l} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases}$$

$M_{rd,FLT} = 255.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$

### G.2.1 - Flambagem Local da Alma - Estado Limite FLA

#### III.1) Classificação da viga quanto a FLA

##### III.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p\text{FLA}} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{p\text{FLA}} = 80.39}$$

##### III.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r\text{FLA}} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{r\text{FLA}} = 121.87}$$

##### III.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez

$$\lambda_{\text{FLA}} := \lambda_A \quad \boxed{\lambda_{\text{FLA}} = 15.80}$$

##### III.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{\text{FLA}} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{p\text{FLA}} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{p\text{FLA}} < \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{r\text{FLA}} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{r\text{FLA}} \end{cases} \quad \boxed{\text{classificação}_{\text{FLA}} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

#### III.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLA

##### III.2.1) Eixo de inércia X

$$M_{x\text{pl}} := Z_x \cdot f_y \quad \boxed{M_{x\text{pl}} = 281.12 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{x_r} := f_y \cdot W_x \quad \boxed{M_{x_r} = 248.22 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{xd\text{FLA}} := \begin{cases} \frac{M_{x\text{pl}}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{p\text{FLA}} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[ M_{x\text{pl}} - (M_{x\text{pl}} - M_{x_r}) \cdot \frac{(\lambda_{\text{FLA}} - \lambda_{p\text{FLA}})}{(\lambda_{r\text{FLA}} - \lambda_{p\text{FLA}})} \right], \left( \frac{M_{x\text{pl}}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p\text{FLA}} < \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{r\text{FLA}} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{r\text{FLA}} \end{cases}$$

$$\boxed{M_{xd\text{FLA}} = 255.56 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### III.2.2) Eixo de inércia Y

$$M_{y\text{pl}} := Z_y \cdot f_y \quad \boxed{M_{y\text{pl}} = 131.08 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{y_r} := f_y \cdot W_y \quad \boxed{M_{y_r} = 86.21 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{yd\text{FLA}} := \begin{cases} \frac{M_{y\text{pl}}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{p\text{FLA}} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[ M_{y\text{pl}} - (M_{y\text{pl}} - M_{y_r}) \cdot \frac{(\lambda_{\text{FLA}} - \lambda_{p\text{FLA}})}{(\lambda_{r\text{FLA}} - \lambda_{p\text{FLA}})} \right], \left( \frac{M_{y\text{pl}}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p\text{FLA}} < \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{r\text{FLA}} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{r\text{FLA}} \end{cases} \quad \boxed{M_{yd\text{FLA}} = 119.16 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### G.2.1 - Flambagem Local da Mesa Comprimida - Estado Limite FLM

#### IV.1) Classificação da viga quanto a FLM

##### IV.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{pFLM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{pFLM} = 8.12}$$

##### IV.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{rFLM} := 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - 0.3f_y)}} \quad \boxed{\lambda_{rFLM} = 21.21}$$

##### IV.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLM} := \lambda_M \quad \boxed{\lambda_{FLM} = 5.90}$$

##### IV.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLM} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{pFLM} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{pFLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{rFLM} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{rFLM} \end{cases} \quad \boxed{\text{classificação}_{FLM} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

#### IV.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLM

##### IV.2.1) Eixo de inércia X

$$M_{x_{pl}} := Z_x \cdot f_y \quad \boxed{M_{x_{pl}} = 281.12 \cdot kN \cdot m}$$

$$M_{x_f} := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x \quad \boxed{M_{x_f} = 173.75 \cdot kN \cdot m}$$

$$M_{x_{cr}} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{FLM}^2} \cdot W_x \quad \boxed{M_{x_{cr}} = 2249.23 \cdot kN \cdot m}$$

$$M_{xd_{FLM}} := \begin{cases} \frac{M_{x_{pl}}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{pFLM} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{al}} \left[ M_{x_{pl}} - (M_{x_{pl}} - M_{x_f}) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM})}{(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM})} \right], \left( \frac{M_{x_{pl}}}{\gamma_{al}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{pFLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{rFLM} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{x_{cr}}}{\gamma_{al}} \right), \left( \frac{M_{x_{pl}}}{\gamma_{al}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{rFLM} \end{cases}$$

$$\boxed{M_{xd_{FLM}} = 255.56 \cdot kN \cdot m}$$

##### IV.2.2) Eixo de inércia Y

$$M_{y_{pl}} := Z_y \cdot f_y \quad \boxed{M_{y_{pl}} = 131.08 \cdot kN \cdot m}$$

$$M_{y_f} := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_y \quad \boxed{M_{y_f} = 60.34 \cdot kN \cdot m}$$

$$M_{y_{cr}} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{FLM}^2} \cdot W_y \quad \boxed{M_{y_{cr}} = 781.14 \cdot kN \cdot m}$$

$$My_{rd,FLM} := \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ My_{pl} - (My_{pl} - My_{cr}) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})} \right], \left( \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left( \frac{My_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases}$$

$$My_{rd,FLM} = 119.16 \cdot kN \cdot m$$

#### **Momento Fletor Resistente de Cálculo (Mrd)**

$$Mx_{rd} := \begin{cases} "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(Mrd_{FLT}, Mx_{rd,FLA}, Mx_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mx_{rd} = 255.56 \cdot kN \cdot m$$

$$My_{rd} := \begin{cases} "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(My_{rd,FLA}, My_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad My_{rd} = 119.16 \cdot kN \cdot m$$

#### **NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

##### **V) Força Cortante Resistente de Cálculo**

###### **V.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{l,V}$ )**

$$\lambda_A = 15.80 \quad \lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} = 52.59$$

$$verificação_{fl,V} := \begin{cases} "SEÇÃO COMPACTA" & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ "SEÇÃO NÃO COMPACTA" & \text{otherwise} \end{cases} \quad verificação_{fl,V} = "SEÇÃO COMPACTA"$$

###### **VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento (Vpl)**

$$Aw := d \cdot t_0 \quad Aw = 22.03 \cdot cm^2$$

$$Vpl := 0.60 \cdot Aw \cdot f_y \quad Vpl = 462.67 \cdot kN$$

###### **VI.3) Força cortante resistente de cálculo (Vrd)**

$$Vrd := \frac{Vpl}{\gamma_{a1}} \quad Vrd = 420.61 \cdot kN$$

#### **Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

#### **NBR 8800:2008 - 5.5 - Barras prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes**

###### **VI.1) Atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores**

###### **VI.1.1) Relação $Nsd/Nrd$**

$$\frac{Nsd}{Nc_{Rd}} = 0.71$$

### V.1.2) Equação de Interação

$$\text{interação} := \begin{cases} \left[ \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_{x,rd}}{M_{x,rd}} + \frac{M_{y,rd}}{M_{y,rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} \geq 0.2 \\ \left[ \frac{N_{sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left( \frac{M_{x,rd}}{M_{x,rd}} + \frac{M_{y,rd}}{M_{y,rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} < 0.2 \end{cases}$$

interação = 0.92

### V.1.2) Verificação da equação de interação

$$\text{verificação\_interação} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{interação} \leq 1.0 \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_interação = "VERIFICA"

### Verificação ao cortante

$$\text{verificação\_V}_{\max} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd,\max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_V\_max = "VERIFICA"

Observa-se da análise acima que a revisão do perfil da coluna C19 para o perfil laminado W200x71, atende as verificações no ELU.

## 2.5.2 Dimensionamento das vigas mistas

As vigas mistas são dimensionadas e verificadas para os estados limites ELU e ELS segundo critérios adotados pela norma NBR 8800 [1]. O dimensionamento é feito verificando a viga para a envoltória de solicitações. Nesta seção é apresentada apenas a verificação da viga mista mais solicitada. O dimensionamento para as demais vigas mistas é apresentado no Anexo B.

Como apresentado anteriormente, o dimensionamento no ELU é feito para vigas mistas de alma cheia, seção compacta, interação completa e construção escorada. A figura 2-51 apresenta a distribuição de tensões para vigas mistas sob a ação de momento positivo.

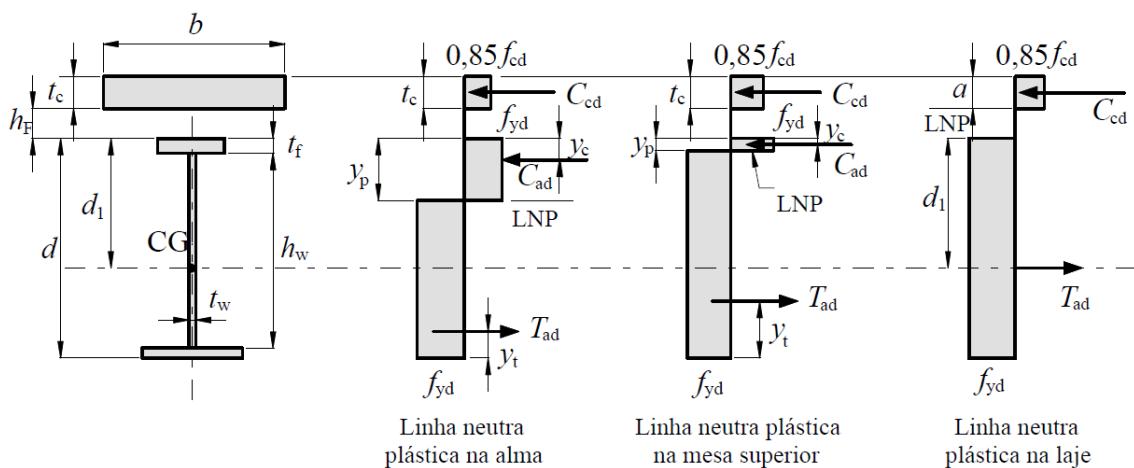


Figura 2-53 – Distribuição de tensões em vigas mistas de alma cheia sob momento positivo

( $h/t_w \leq 3,76\sqrt{E/f_y}$  e interação completa) - Figura extraída da NBR880 [1]

A figura 2-52 apresenta a distribuição de tensões para vigas mistas de seção compacta sob a ação de momento negativo. No dimensionamento é considerada a contribuição de resistência da armadura longitudinal na largura efetiva da laje de concreto.

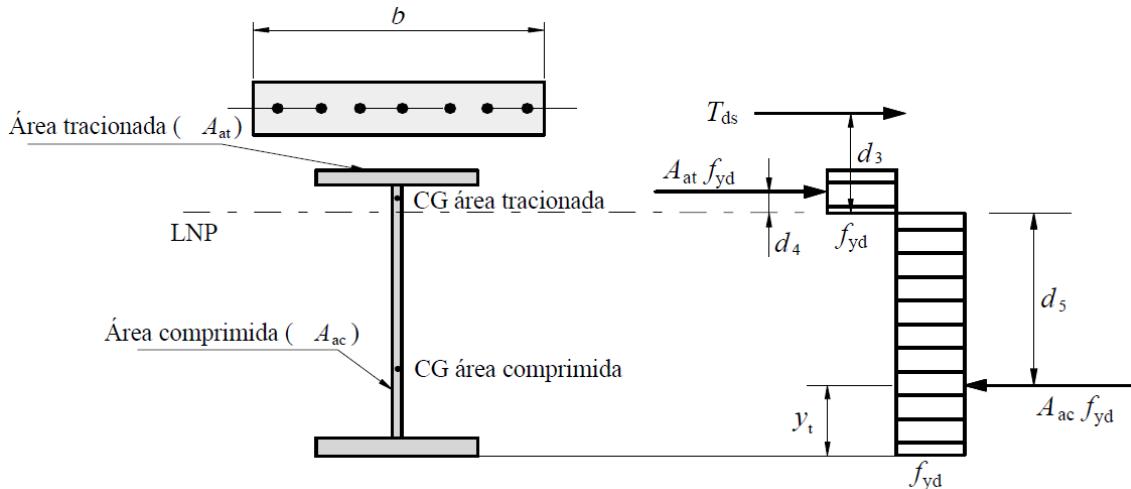


Figura 2-54 – Distribuição de tensões para o momento fletor negativo. Figura extraída da NBR880 [1]

Para verificação das vigas mistas no estado limite de serviço a norma [1] orienta que os efeitos de longa duração, fluênci a e retração do concreto, devem ser levados em conta utilizando-se a NBR 6118 [8]. Este efeito é levado em conta no dimensionamento no cálculo da seção homogeneizada onde para as combinações quase permanentes (CQP), a razão modular  $\alpha_E = E / Ec$ , sendo  $E$  e  $Ec$  os módulos de elasticidade do aço e do concreto, respectivamente, é tomado como  $3\alpha_E$ . Desta forma, para o cálculo da flecha da viga mista nas combinações CQP, as propriedades da seção homogeneizadas são revisadas no modelo estrutural para a razão modular  $3\alpha_E$ .

### 2.5.2.1 Nomenclatura utilizada

- a ⇒ espessura da região comprimida da laje;
- Aa ⇒ área bruta da seção transversal;
- Aac ⇒ área comprimida da seção do perfil de aço;
- Aaf ⇒ área da mesa superior do perfil de aço;
- Aat ⇒ área tracionada da seção do perfil de aço;
- Aaw ⇒ área da alma do perfil de aço, igual ao produto  $hw \times tw$ ;
- Acs ⇒ área da seção transversal do conector de cisalhamento;
- b ⇒ largura efetiva da laje de concreto;
- bf ⇒ largura da mesa;
- c ⇒ cobrimento da armadura longitudinal da laje de concreto;
- Cad ⇒ força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço;

Ccd	⇒ fora resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto;
CF	⇒ combinação frequente;
CQP	⇒ combinação quase permanente;
d	⇒ altura total do perfil de aço;
d3	⇒ distância do centro geométrico da armadura longitudinal à LNP;
d4	⇒ distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à LNP;
d5	⇒ distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à LNP;
E	⇒ módulo de elasticidade do aço;
Ec	⇒ módulo de elasticidade do concreto;
esp	⇒ espaçamento entre conectores;
fcd	⇒ resistência de cálculo do concreto à compressão;
fck	⇒ resistência característica à compressão do concreto;
fsd	⇒ resistência de cálculo ao escoamento do aço da armadura;
fucs	⇒ resistência à ruptura do aço do conector;
fy	⇒ resistência ao escoamento do aço;
fycs	⇒ resistência ao escoamento do aço do conector;
fyd	⇒ resistência de cálculo ao escoamento do aço;
fys	⇒ resistência ao escoamento do aço da armadura;
hf	⇒ altura da nervura da laje com fôrma de aço;
hw	⇒ altura da alma medida entre as faces internas das mesas;
Ix, ly	⇒ momento de inércia;
Jb	⇒ constante de torção da seção transversal;
Le	⇒ comprimento do trecho do momento positivo ou negativo;
LN	⇒ linha neutra;
LNP	⇒ linha neutra plástica;
MRd	⇒ momento fletor resistente de cálculo;
Msd	⇒ momento fletor solicitante de cálculo;
n	⇒ número de conectores de cisalhamento;
QRd	⇒ força resistente de cálculo individual dos conectores de cisalhamento;
Rcd	⇒ máxima resistência à compressão do concreto;
Rg	⇒ coeficiente para consideração do efeito de grupo dos conectores;
Rp	⇒ coeficiente para consideração da posição do conector;
Rtd	⇒ máxima resistência à tração do aço;
rx, ry	⇒ raio de giração;

Tad ⇒ força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço;  
 tc ⇒ espessura da laje de concreto acima da nervura da forma de aço;  
 tf ⇒ espessura da mesa do perfil de aço;  
 tw ⇒ espessura da alma;  
 Vpl ⇒ força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento;  
 VRd ⇒ força cortante resistente de cálculo;  
 Vsd ⇒ força cortante solicitante de cálculo;  
 Wx, Wy ⇒ módulo de resistência elástico;  
 yc ⇒ distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior do perfil;  
 yp ⇒ distância da linha neutra da seção plastificada até a face superior do perfil;  
 yt ⇒ distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior do perfil;  
 Zx, Zy ⇒ módulo de resistência plástico;  
 $\gamma_a 1, \gamma_c, \gamma_s$  ⇒ coeficientes de ponderação da resistência (Tabela 3 da NBR 8800 [1]);  
 $\gamma_{cs}$  ⇒ coeficientes de ponderação da resistência do conector;  
 $\lambda_A, \lambda_M$  ⇒ parâmetros de esbeltez da alma e da mesa do perfil de aço;  
 $\lambda_p$  ⇒ parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação;  
 $\lambda_r$  ⇒ parâmetro de esbeltez correspondente ao início de escoamento;  
 $\rho_s$  ⇒ taxa da armadura longitudinal da laje de concreto;  
 $\phi_{cs}$  ⇒ diâmetro do conector de cisalhamento;

#### 2.5.2.2 Viga mista V305+V306

- Combinações ELU – Envoltória de solicitações: As figuras 2-53 e 2-54 apresentam a envoltória dos esforços solicitantes.

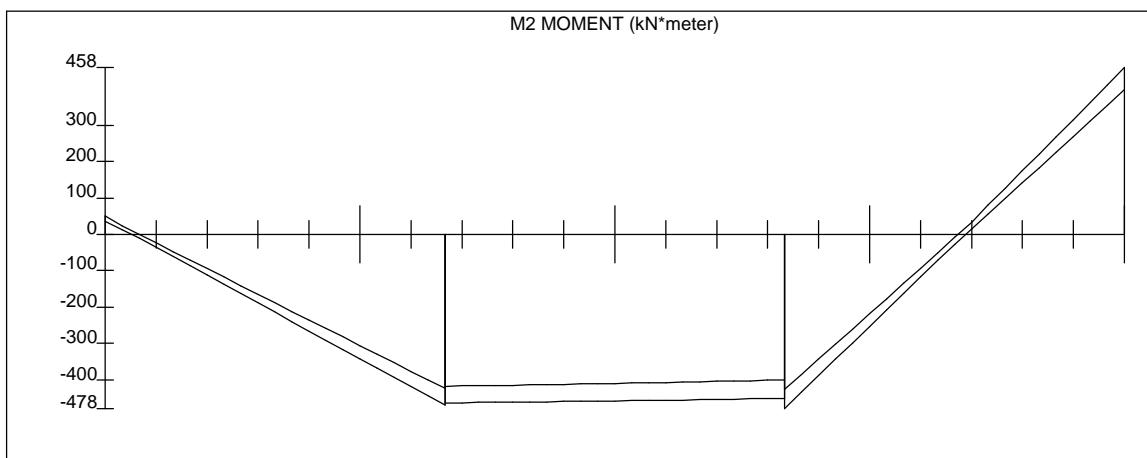


Figura 2-55 – Viga mista V305 (Envoltória de combinações) – Momento fletor solicitante de cálculo – Unidade kN.m

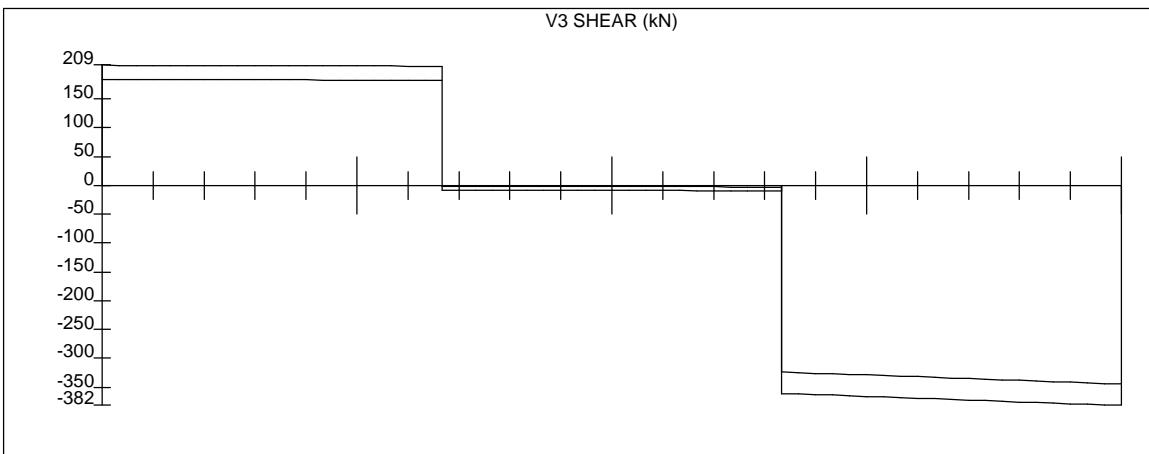


Figura 2-56 – Viga mista V305 (Envoltória de combinações) – Força cortante solicitante de cálculo –  
Unidade kN

- Combinações ELS – Verificação das flechas limites: As figuras 2-55 e 2-56 apresentam as flechas da viga para as combinações CF e CQP.

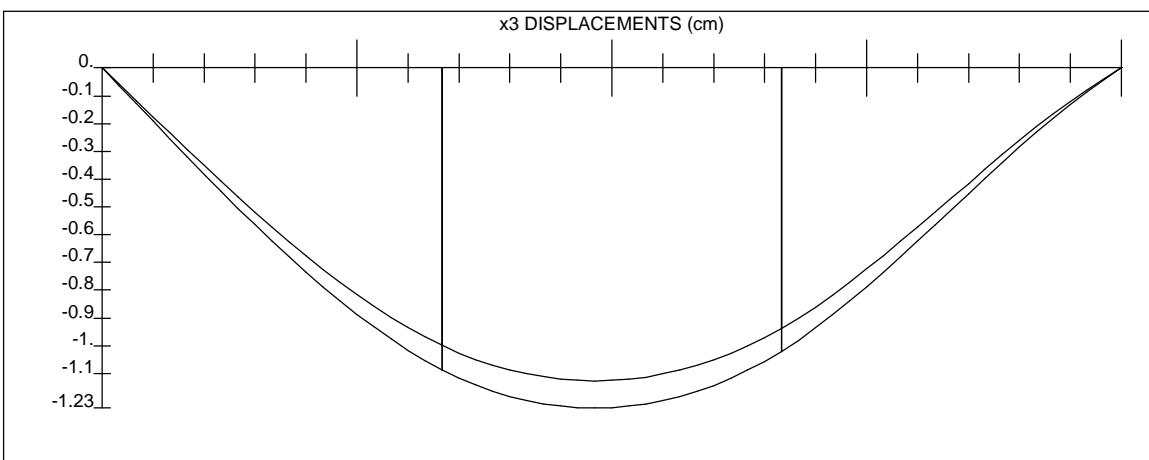


Figura 2-57 – Viga mista V305 (Combinação C.F.) – Flecha – Unidade cm

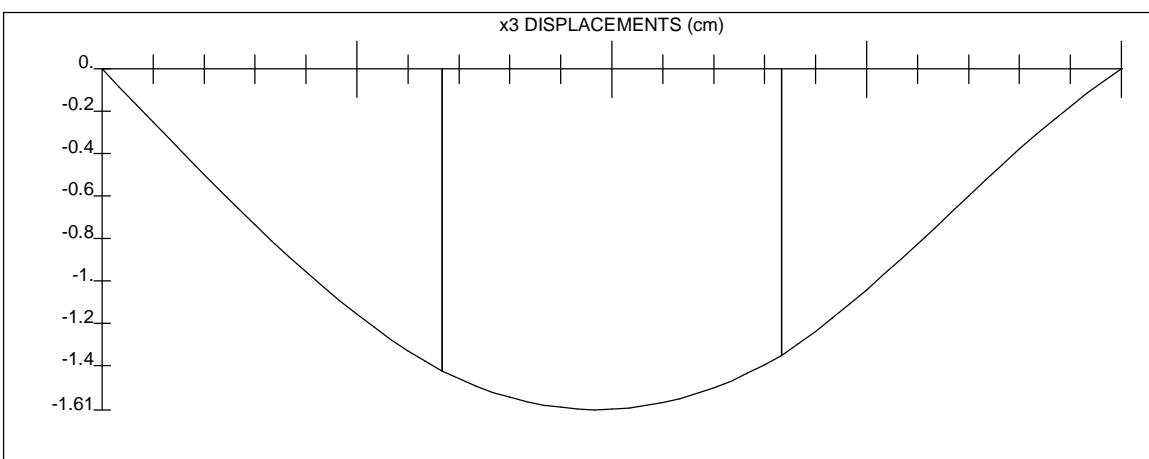


Figura 2-58 – Viga mista V305 (Combinação C.Q.P) – Flecha – Unidade cm

**NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**

**I) Dados Iniciais**

**I.1) Materiais**

<u>CONCRETO</u>	<u>AÇO (PERFIL)</u>	<u>ACO (ARMADURA DA LAJE)</u>	<u>AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)</u>
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_{ys} := 600 \text{ MPa}$	$f_{ycs} := 345 \text{ MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$	$\gamma_s := 1.15$	$\gamma_{cs} := 1.25$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa}$		
$f_{ed} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.86 \text{ MPa}$	$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa}$	$f_{sd} := \frac{f_{ys}}{\gamma_s} = 521.74 \text{ MPa}$	

**I.2) Perfil Metálico - W460x52.0**

<u>GERAL</u>	<u>ALMA</u>	<u>MESA</u>	<u>EIXO X</u>	<u>EIXO Y</u>	<u>TORÇÃO</u>
$m_{massa} := 52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_w := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 21.8 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_w := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_a := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

**I.3) Mesa colaborante**

<u>LARGURA DA MESA</u>	<u>ESPESSURA DA MESA</u>	<u>ALTURA DA NERVURA</u>	<u>COBRIMENTO DA ARMADURA</u>	<u>TAXA DA ARMADURA</u>
$b := 131.3 \text{ cm}$	$t_c := 15.0 \text{ cm}$	$h_f := 0.0 \text{ cm}$	$c := 3 \text{ cm}$	$\rho_s := \frac{1.13}{2} \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

**I.4) Conector de Cisalhamento**

$$\phi_{cs} := 19 \text{ mm} \quad L_{e\_pos} := 600 \text{ m} \quad L_{e\_neg} := 112.5 \text{ cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

**I.5) Esforços Solicitantes de Projeto**

$$M_{sd\_pos} := 478 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 458 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 382 \text{ kN}$$

**I.6) Deslocamentos Limites**

$$flecha_{CF} := 1.23 \text{ cm} \quad flecha_{CQP} := 1.61 \text{ cm} \quad flecha\_lim := 15 \text{ mm}$$

**II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)**

**ALMA (A)**

$$\lambda_{p_A} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{p_A} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\\_fl<sub>A</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"**

**MESA (M)**

$$\lambda_{p_M} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{p_M} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\\_fl<sub>M</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"**

## **ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto**

### **O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo**

#### **O.2.3.1 - Construção escorada**

**O.2.3.1.1 - Vigas mistas de alma cheia com**  $\frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

III) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

$$Rtd := A_a \cdot f_y = 2119.09 \text{ kN}$$

$$Rcd := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c = 2989.42 \text{ kN}$$

$$\text{verificação\_LN} := \begin{cases} \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"} & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"L.N. NA SEÇÃO DE AÇO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\_LN = "L.N. NA LAJE DE CONCRETO"**

##### III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculo

###### III.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (A_a \cdot f_y) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tad = 2119.09 \text{ kN}$$

###### Espessura da região comprimida da laje (a)

$$a := \begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = 10.63 \text{ cm}$$

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

$$d1 := \begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad d = 45.00 \text{ cm}$$

###### Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos\_1)

$$Mrd_{pos1} := \begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd_{pos1} = 682.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

###### III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO

- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

$$Ccd := \begin{cases} (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c) & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Ccd = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}$$

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$\text{Cad} := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (\text{Aa} \cdot \text{fyd} - \text{Ccd}) \right] & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Cad} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}}$

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$\text{Tad} := \begin{cases} (\text{Ccd} + \text{Cad}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Tad} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}}$

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$\text{Aaf} := \begin{cases} (\text{bf} \cdot \text{tf}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Aaf} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}^2}$

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$\text{Aaw} := \begin{cases} (\text{hw} \cdot \text{tw}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Aaw} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}^2}$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$\text{yp} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{\text{Cad}}{\text{Aaf} \cdot \text{fyd}} \cdot \text{tf} \right) \text{ if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \text{tf} + \text{hw} \cdot \left( \frac{\text{Cad} - \text{Aaf} \cdot \text{fyd}}{\text{Aaw} \cdot \text{fyd}} \right) \right] \text{ otherwise} \end{array} \right] \\ \text{"NÃO SE APLICA"} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{yp} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}}$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yt)

$$\text{yt} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \left[ \begin{array}{l} \frac{4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{bf} \cdot \text{yp}^2 + \text{hw}^2 \cdot \text{tw} + 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} - 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{yp} - 4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} \cdot \text{yp} + 2 \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} \cdot \text{tw}}{2 \cdot (2 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} - \text{bf} \cdot \text{yp} + \text{hw} \cdot \text{tw})} \end{array} \right] \text{ if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \begin{array}{l} \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{d}^2 \cdot \text{tw} - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2 - 2 \cdot \text{d} \cdot \text{tw} \cdot \text{yp}}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} + \text{d} \cdot \text{tw} - \text{tf} \cdot \text{tw} - \text{tw} \cdot \text{yp})} \end{array} \right] \text{ otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{yt} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}}$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil (yc)

$$\text{yc} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{\text{yp}}{2} \right) \text{ if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} - \text{tf} \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] \text{ otherwise} \end{array} \right] \\ \text{"NÃO SE APLICA"} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{yc} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}}$

- Momento fletor positivo resistente de cálculo ( $M_{rd\_pos_2}$ )

$$M_{rd\_pos_2} := \begin{cases} C_{ad}(d - yt - yc) + C_{cd}\left(\frac{tc}{2} + hf + d - yt\right) & \text{if } R_{td} > R_{cd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{rd\_pos_2} = \text{"NÃO SE APLICA".kN.m}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo ( $M_{rd\_pos}$ )

$$M_{rd\_pos} := \begin{cases} M_{rd\_pos_1} & \text{if } R_{td} \leq R_{cd} \\ M_{rd\_pos_2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad M_{rd\_pos} = 682.00 \cdot \text{kN.m}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$M_{rd\_neg_1} := Z_x \cdot f_y d \quad M_{rd\_neg_1} = 348.73 \cdot \text{kN.m}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

##### - Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$Asl := ps \cdot b \quad Asl = 0.74 \cdot \text{cm}^2$$

##### - Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$Tds := Asl \cdot f_{sd} \quad Tds = 38.70 \cdot \text{kN}$$

##### - Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$yp := \begin{cases} \left( \frac{Tds - d \cdot f_y d \cdot tw}{2 \cdot f_y d \cdot tw} \right) \text{ if } \left( \frac{Tds - d \cdot f_y d \cdot tw}{2 \cdot f_y d \cdot tw} \right) \geq tf & yp = 21.70 \cdot \text{cm} \\ \left( tf - \frac{Tds - f_y d \cdot hw \cdot tw}{2 \cdot bf \cdot f_y d} \right) \text{ otherwise} & \end{cases}$$

##### - Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$yc := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot bf \cdot tf^2 + bf \cdot yp^2 + hw^2 \cdot tw + 2 \cdot bf \cdot hw \cdot tf - 2 \cdot bf \cdot hw \cdot yp - 4 \cdot bf \cdot tf \cdot yp + 2 \cdot hw \cdot tf \cdot tw}{2 \cdot (2 \cdot bf \cdot tf - bf \cdot yp + hw \cdot tw)} \right] \text{ if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 + d^2 \cdot tw - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2 - 2 \cdot d \cdot tw \cdot yp}{2 \cdot (bf \cdot tf + d \cdot tw - tf \cdot tw - tw \cdot yp)} \right] \text{ otherwise} \end{cases} \quad yc = 6.45 \cdot \text{cm}$$

##### - Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$yt := \begin{cases} \left( \frac{yp}{2} \right) \text{ if } yp \leq tf & yt = 5.84 \cdot \text{cm} \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2}{2 \cdot (bf \cdot tf - tf \cdot tw + tw \cdot yp)} \right] \text{ otherwise} & \end{cases}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{at} = 32.09 \cdot \text{cm}^2$$

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{ac} = 33.30 \cdot \text{cm}^2$$

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$
$$d_3 = 33.70 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$
$$d_4 = 15.86 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$
$$d_5 = 16.85 \cdot \text{cm}$$

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd\_neg<sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$
$$M_{rd\_neg2} = 353.55 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg1}, M_{rd\_neg2})$$
$$M_{rd\_neg} = 353.55 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### O.4 - Conectores de Cisalhamento

##### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$
$$A_{cs} = 2.84 \cdot \text{cm}^2$$

V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$
$$Q_{Rd} = 56.48 \cdot \text{kN}$$

V.3) Cálculo do número de conectores

- Espaçamento Máximo

$$esp_{max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{mm})$$
$$esp_{max} = 91.50 \cdot \text{cm}$$

- Espaçamento Mínimo

$$esp_{min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$
$$esp_{min} = 7.60 \cdot \text{cm}$$

### V.3.1) Região de momento positivo

#### - Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(A_a \cdot f_yd, 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 37.52$$

#### - Espaçamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ esp_{min} \text{ if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} \text{ if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \text{ otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 91.50 \text{ cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

#### - Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$T_{ds} = 38.70 \text{ kN}$$

#### - Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{T_{ds}}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.69$$

#### - Espaçamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \wedge T_{ds} \neq 0.00 \text{ kN}) \\ esp_{min} \text{ if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} \text{ if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \text{ otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 91.50 \text{ cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 37.52 \quad esp_{pos} = 91.50 \text{ cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.69 \quad esp_{neg} = 91.50 \text{ cm}$$

---

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

---

VI) Força Cortante Resistente de Cálculo

VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento

- Parâmetro de esbeltez limite para secções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 53.24}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 53.20$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{LV}$ )

$$\text{verificação\_}f_{LV} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_}f_{LV} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 34.20 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}}$$

VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}}$$

---

**Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

---

VII) Verificação no ELU

MOMENTO POSITIVO

M<sub>sd</sub><sub>pos</sub> = 478.00 · kN · m

MOMENTO NEGATIVO

M<sub>sd</sub><sub>neg</sub> = 458.00 · kN · m

CORTANTE

V<sub>sd</sub><sub>max</sub> = 382.00 · kN

M<sub>rd</sub><sub>pos</sub> = 682.00 · kN · m

M<sub>rd</sub><sub>neg</sub> = 353.55 · kN · m

V<sub>rd</sub> = 652.91 · kN

$$\text{verificação\_}M_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{\text{sd}}_{\text{pos}} \leq M_{\text{rd}}_{\text{pos}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}V_{\text{max}} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{\text{sd}}_{\text{max}} \leq V_{\text{rd}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}M_{\text{neg}} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{\text{sd}}_{\text{neg}} \leq M_{\text{rd}}_{\text{neg}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_M<sub>pos</sub> = "VERIFICA"

verificação\\_M<sub>neg</sub> = "REDIMENSIONAR"

verificação\\_V<sub>max</sub> = "VERIFICA"

### **Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

#### VIII) Verificação no ELS

##### VII.1) Deslocamentos Máximos

###### VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada



###### CURTA DURAÇÃO (cd)

$$A_{cd} = 352.42 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{sup,cd} = 13.17 \cdot \text{cm}$$

$$y_{inf,cd} = 46.83 \cdot \text{cm}$$

$$I_{x,cd} = 75341.60 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{x,sup,cd} = 5720.96 \cdot \text{cm}^3$$

$$W_{x,inf,cd} = 1608.81 \cdot \text{cm}^3$$

###### LONGA DURAÇÃO (ld)

$$A_{ld} = 161.87 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{sup,ld} = 19.84 \cdot \text{cm}$$

$$y_{inf,ld} = 40.16 \cdot \text{cm}$$

$$I_{x,ld} = 58434.96 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{x,sup,ld} = 2944.86 \cdot \text{cm}^3$$

$$W_{x,inf,ld} = 1455.16 \cdot \text{cm}^3$$

###### Verificação

$$\text{flecha}_{CF} = 1.23 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha}_{CQP} = 1.61 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha\_lim} = 1.50 \cdot \text{cm}$$

```
verificação_flecha := | "VERIFICA" if max(flecha_CF, flecha_CQP) ≤ flecha_lim | verificação_flecha = "REDIMENSIONAR"
| "REDIMENSIONAR" otherwise
```

O aumento do vão da viga mista V305, devido à remoção da coluna metálica C8, acarretou no aumento do momento solicitante positivo e negativo e também da flecha. Analisando a verificação apresentada acima, observa-se que a viga mista falha na verificação das flechas limites, excedendo o valor de 1,5cm na combinação CQP e também que o momento fletor negativo solicitante de cálculo excede o momento fletor resistente. Tendo em vista a falha da viga mista na verificação ELS e ELU, o perfil de aço é revisado para o perfil laminado W460x68. O perfil é revisado também no modelo estrutural e a seguir é apresentado o dimensionamento.

- Combinações ELU – Envoltória de solicitações: As figuras 2-59 e 2-60 apresentam a envoltória dos esforços solicitantes.

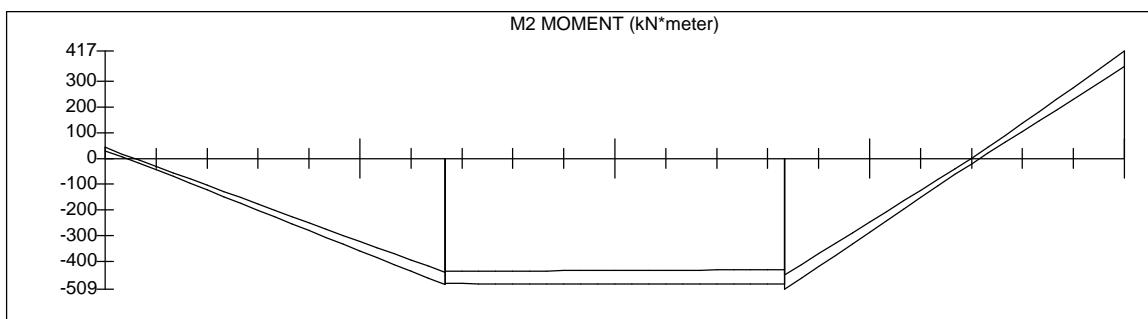


Figura 2-59 – Viga mista V305 (Envoltória de combinações) – Momento fletor solicitante de cálculo – Unidade kN.m

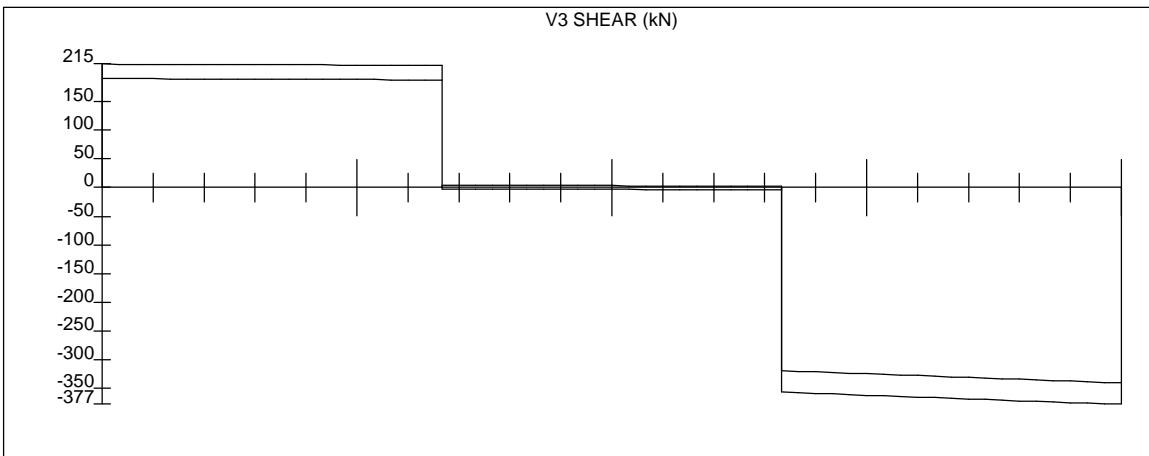


Figura 2-60 – Viga mista V305 (Envoltória de combinações) – Força cortante solicitante de cálculo –  
Unidade kN

- Combinações ELS – Verificação das flechas limites: As figuras 2-51 e 2-62 apresentam as flechas da viga para as combinações CF e CQP.

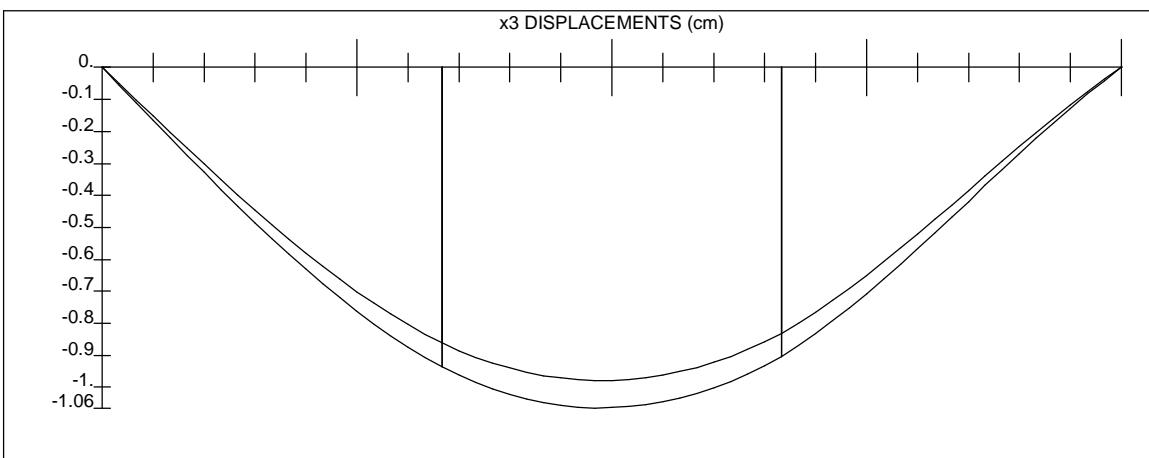


Figura 2-61 – Viga mista V305 (Combinação C.F.) – Flecha – Unidade cm

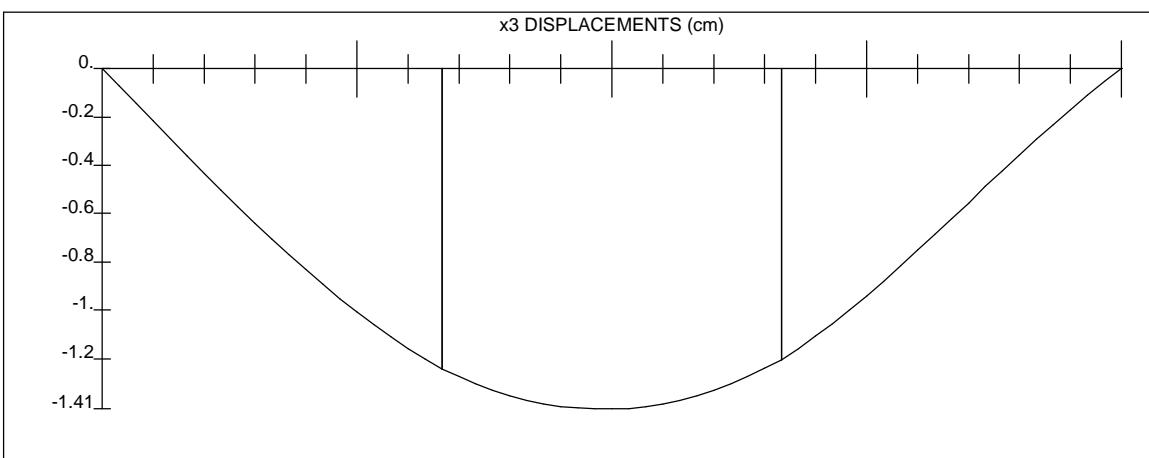


Figura 2-62 – Viga mista V305 (Combinação C.Q.P.) – Flecha – Unidade cm

**NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**

**I) Dados Iniciais**

**I.1) Materiais**

<u>CONCRETO</u>	<u>AÇO (PERFIL)</u>	<u>ACO (ARMADURA DA LAJE)</u>	<u>AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)</u>
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_{ys} := 600 \text{ MPa}$	$f_{ycs} := 345 \text{ MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$	$\gamma_s := 1.15$	$\gamma_{cs} := 1.25$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa}$		
$f_{ed} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.86 \text{ MPa}$	$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa}$	$f_{sd} := \frac{f_{ys}}{\gamma_s} = 521.74 \text{ MPa}$	

**I.2) Perfil Metálico - W460x68.0**

<u>GERAL</u>	<u>ALMA</u>	<u>MESA</u>	<u>EIXO X</u>	<u>EIXO Y</u>	<u>TORÇÃO</u>
$\text{massa} := 68 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_w := 9.1 \text{ mm}$	$t_f := 15.4 \text{ mm}$	$I_x := 29851 \text{ cm}^4$	$I_y := 941 \text{ cm}^4$	$J_b := 52.3 \text{ cm}^4$
$d := 459 \text{ mm}$	$h_w := 428 \text{ mm}$	$b_f := 154 \text{ mm}$	$W_x := 1301 \text{ cm}^3$	$W_y := 122.2 \text{ cm}^3$	
$A_a := 87.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 44.4$	$\lambda_M := 5$	$r_x := 18.46 \text{ cm}$	$r_y := 3.28 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1495 \text{ cm}^3$	$Z_y := 192.4 \text{ cm}^3$	

**I.3) Mesa colaborante**

<u>LARGURA DA MESA</u>	<u>ESPESSURA DA MESA</u>	<u>ALTURA DA NERVURA</u>	<u>COBRIMENTO DA ARMADURA</u>	<u>TAXA DA ARMADURA</u>
$b := 131.3 \text{ cm}$	$t_c := 15.0 \text{ cm}$	$h_f := 0.0 \text{ cm}$	$c := 3 \text{ cm}$	$\rho_s := \frac{1.13}{2} \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

**I.4) Conector de Cisalhamento**

$$\phi_{cs} := 19 \text{ mm} \quad L_{e\_pos} := 618.75 \text{ cm} \quad L_{e\_neg} := 112.5 \text{ cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

**I.5) Esforços Solicitantes de Projeto**

$$M_{sd\_pos} := 509 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 417 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 377 \text{ kN}$$

**I.6) Deslocamentos Limites**

$$\text{flecha}_{CF} := 1.06 \text{ cm} \quad \text{flecha}_{CQP} := 1.41 \text{ cm} \quad \text{flecha\_lim} := 15 \text{ mm}$$

**II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)**

**ALMA (A)**

$$\lambda_{pA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{pA} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{verificação\_fl}_A = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$

**MESA (M)**

$$\lambda_{pM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{pM} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{verificação\_fl}_M = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$

## **ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto**

### **O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo**

#### **O.2.3.1 - Construção escorada**

$$\text{O.2.3.1.1 - Vigas mistas de alma cheia com } \frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

#### III) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

$$Rtd := A_a \cdot f_y = 2787.27 \cdot kN$$

$$Rcd := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot tc = 2989.42 \cdot kN$$

$$\text{verificação\_LN} := \begin{cases} \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"} & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"L.N. NA SEÇÃO DE AÇO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_LN} = \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"}$$

#### III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (A_a \cdot f_y) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tad = 2787.27 \cdot kN$$

- Espessura da região comprimida da laje (a)

$$a := \begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = 13.99 \cdot cm$$

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

$$d1 := \begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad d = 45.90 \cdot cm$$

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>1</sub>)

$$Mrd_{pos1} := \begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + hf + tc - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd_{pos1} = 862.86 \cdot kN \cdot m$$

##### III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO

- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

$$Ccd := \begin{cases} (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot tc) & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Ccd = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot kN$$

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$\text{Cad} := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (\text{Aa} \cdot \text{fyd} - \text{Ccd}) \right] & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Cad} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}}$

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$\text{Tad} := \begin{cases} (\text{Ccd} + \text{Cad}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Tad} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}}$

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$\text{Aaf} := \begin{cases} (\text{bf} \cdot \text{tf}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Aaf} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}^2}$

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$\text{Aaw} := \begin{cases} (\text{hw} \cdot \text{tw}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Aaw} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}^2}$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$\text{yp} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{\text{Cad}}{\text{Aaf} \cdot \text{fyd}} \cdot \text{tf} \right) \text{ if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \text{tf} + \text{hw} \cdot \left( \frac{\text{Cad} - \text{Aaf} \cdot \text{fyd}}{\text{Aaw} \cdot \text{fyd}} \right) \right] \text{ otherwise} \end{array} \right] \\ \text{"NÃO SE APLICA"} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{yp} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}}$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yt)

$$\text{yt} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \left[ \begin{array}{l} \frac{4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{bf} \cdot \text{yp}^2 + \text{hw}^2 \cdot \text{tw} + 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} - 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{yp} - 4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} \cdot \text{yp} + 2 \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} \cdot \text{tw}}{2 \cdot (2 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} - \text{bf} \cdot \text{yp} + \text{hw} \cdot \text{tw})} \end{array} \right] \text{ if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \begin{array}{l} \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{d}^2 \cdot \text{tw} - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2 - 2 \cdot \text{d} \cdot \text{tw} \cdot \text{yp}}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} + \text{d} \cdot \text{tw} - \text{tf} \cdot \text{tw} - \text{tw} \cdot \text{yp})} \end{array} \right] \text{ otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{yt} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}}$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil (yc)

$$\text{yc} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{\text{yp}}{2} \right) \text{ if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} - \text{tf} \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] \text{ otherwise} \end{array} \right] \\ \text{"NÃO SE APLICA"} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{yc} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}}$

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>2</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 := \begin{cases} \left[ \text{Cad} \cdot (d - yt - yc) + \text{Ccd} \cdot \left( \frac{tc}{2} + hf + d - yt \right) \right] & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo (Mrd<sub>pos</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{Mrd}_{\text{pos}}_1 & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{Mrd}_{\text{pos}}_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}} = 862.86 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 := Zx \cdot fyd \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 = 475.68 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

###### - Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$\text{Asl} := \rho_s \cdot b \quad \boxed{\text{Asl} = 0.74 \cdot \text{cm}^2}$$

###### - Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$\text{Tds} := \text{Asl} \cdot f_{sd} \quad \boxed{\text{Tds} = 38.70 \cdot \text{kN}}$$

###### - Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$yp := \begin{cases} \left( \frac{-Tds - d \cdot fyd \cdot tw}{2 \cdot fyd \cdot tw} \right) & \text{if } \left( \frac{-Tds - d \cdot fyd \cdot tw}{2 \cdot fyd \cdot tw} \right) \geq tf \\ \left( tf - \frac{Tds - fyd \cdot hw \cdot tw}{2 \cdot bf \cdot fyd} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yp = 22.28 \cdot \text{cm}}$$

###### - Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$yc := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot bf \cdot tf^2 + bf \cdot yp^2 + hw^2 \cdot tw + 2 \cdot bf \cdot hw \cdot tf - 2 \cdot bf \cdot hw \cdot yp - 4 \cdot bf \cdot tf \cdot yp + 2 \cdot hw \cdot tf \cdot tw}{2 \cdot (2 \cdot bf \cdot tf - bf \cdot yp + hw \cdot tw)} \right] & \text{if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 + d^2 \cdot tw - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2 - 2 \cdot d \cdot tw \cdot yp}{2 \cdot (bf \cdot tf + d \cdot tw - tf \cdot tw - tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yc = 6.19 \cdot \text{cm}}$$

###### - Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$yt := \begin{cases} \left( \frac{yp}{2} \right) & \text{if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2}{2 \cdot (bf \cdot tf - tf \cdot tw + tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yt = 5.71 \cdot \text{cm}}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$

A<sub>at</sub> = 42.59 · cm<sup>2</sup>

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$

A<sub>ac</sub> = 43.81 · cm<sup>2</sup>

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$

d<sub>3</sub> = 34.28 · cm

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$

d<sub>4</sub> = 16.57 · cm

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$

d<sub>5</sub> = 17.43 · cm

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd<sub>neg</sub><sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg_2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$

M<sub>rd<sub>neg</sub><sub>2</sub></sub> = 480.86 · kN · m

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg_1}, M_{rd\_neg_2})$$

M<sub>rd<sub>neg</sub></sub> = 480.86 · kN · m

#### O.4 - Conectores de Cisalhamento

##### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

#### V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

##### V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$

A<sub>cs</sub> = 2.84 · cm<sup>2</sup>

##### V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$

Q<sub>Rd</sub> = 56.48 · kN

##### V.3) Cálculo do número de conectores

###### - Espaçamento Máximo

$$esp_{max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{ mm})$$

esp<sub>max</sub> = 91.50 · cm

###### - Espaçamento Mínimo

$$esp_{min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$

esp<sub>min</sub> = 7.60 · cm

### V.3.1) Região de momento positivo

- Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(A_a \cdot f_yd, 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 49.35$$

- Espacamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 7.60 \text{ cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

- Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$Tds = 38.70 \text{ kN}$$

- Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{Tds}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.69$$

- Espacamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m} \wedge Tds \neq 0.00 \text{ kN}) \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 91.50 \text{ cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 49.35 \quad esp_{pos} = 7.60 \text{ cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.69 \quad esp_{neg} = 91.50 \text{ cm}$$

---

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

---

VI) Força Cortante Resistente de Cálculo

VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento

- Parâmetro de esbeltez limite para secções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 52.59}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 44.40$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{LV}$ )

$$\text{verificação\_}f_{LV} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_}f_{LV} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 41.77 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 877.15 \cdot \text{kN}}$$

VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 797.41 \cdot \text{kN}}$$

---

**Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

---

VII) Verificação no ELU

MOMENTO POSITIVO

$$M_{sd, pos} = 509.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd, pos} = 862.86 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO NEGATIVO

$$M_{sd, neg} = 417.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd, neg} = 480.86 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

CORTANTE

$$V_{sd, max} = 377.00 \cdot \text{kN}$$

$$V_{rd} = 797.41 \cdot \text{kN}$$

$$\text{verificação\_}M_{pos} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd, pos} \leq M_{rd, pos} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}M_{neg} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd, neg} \leq M_{rd, neg} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}V_{max} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd, max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{verificação\_}M_{pos} = \text{"VERIFICA"}}$$

$$\boxed{\text{verificação\_}M_{neg} = \text{"VERIFICA"}}$$

$$\boxed{\text{verificação\_}V_{max} = \text{"VERIFICA"}}$$

---

**Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

---

**VIII) Verificação no ELS****VII.1) Deslocamentos Máximos****VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada**

█

**CURTA DURAÇÃO (cd)**

$$A_{cd} = 380.56 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{sup,cd} = 14.51 \cdot \text{cm}$$

$$y_{inf,cd} = 46.39 \cdot \text{cm}$$

$$I_{x,cd} = 97870.68 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{x,up,cd} = 6745.45 \cdot \text{cm}^3$$

$$W_{x,inf,cd} = 2109.70 \cdot \text{cm}^3$$

**LONGA DURAÇÃO (ld)**

$$A_{ld} = 185.25 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{sup,ld} = 21.90 \cdot \text{cm}$$

$$y_{inf,ld} = 39.00 \cdot \text{cm}$$

$$I_{x,ld} = 74497.61 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{x,up,ld} = 3401.92 \cdot \text{cm}^3$$

$$W_{x,inf,ld} = 1910.13 \cdot \text{cm}^3$$

**- Verificação**

$$\text{flecha}_{CF} = 1.06 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha}_{CQP} = 1.41 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha\_lim} = 1.50 \cdot \text{cm}$$

```
verificação_flecha := | "VERIFICA" if max(flecha_CF, flecha_CQP) ≤ flecha_lim
                      | "REDIMENSIONAR" otherwise
                      | verificaçao_flecha = "VERIFICA"
```

Observa-se da análise acima que a revisão do perfil da viga mista V305 para o perfil laminado W460x68, atende para as verificações no ELU e ELS.

### 2.5.3 Dimensionamento das vigas metálicas

As vigas metálicas são dimensionadas e verificadas para os estados limites ELU e ELS segundo critérios adotados pela norma NBR 8800 [1]. O dimensionamento é feito verificando a viga no ELU para as combinações de maior momento positivo e negativo e no ELS para a envoltória de deslocamento. Nesta seção é apresentada apenas a verificação da viga metálica mais solicitada. O dimensionamento para as demais vigas é apresentado no Anexo B.

#### 2.5.3.1 Nomenclatura utilizada

Para a nomenclatura utilizada nesta seção, consultar 2.5.1.1

### 2.5.3.2 Viga metálica V104

- Combinação ELU – Máximo Md positivo: As figuras 2-63 e 2-64 apresentam os esforços solicitantes.

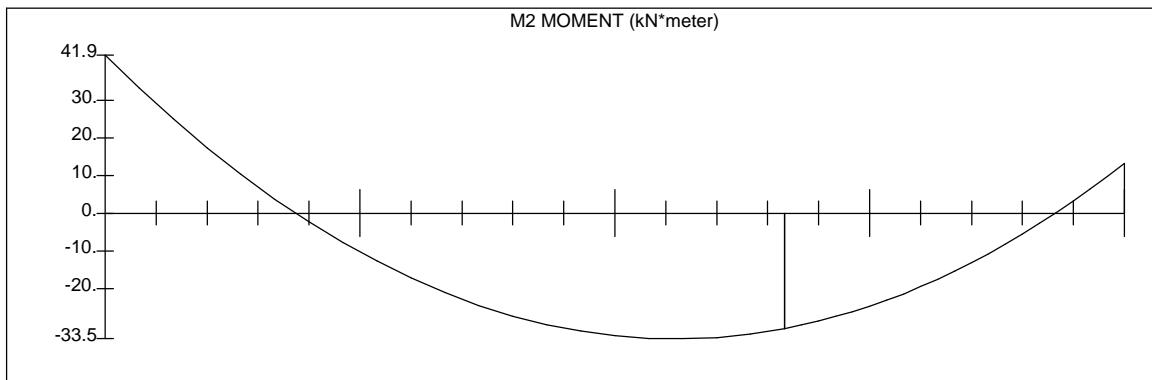


Figura 2-63 – Viga V104 (Combinação Mdpos Max) – Momento fletor solicitante de cálculo – Unidade kN.m

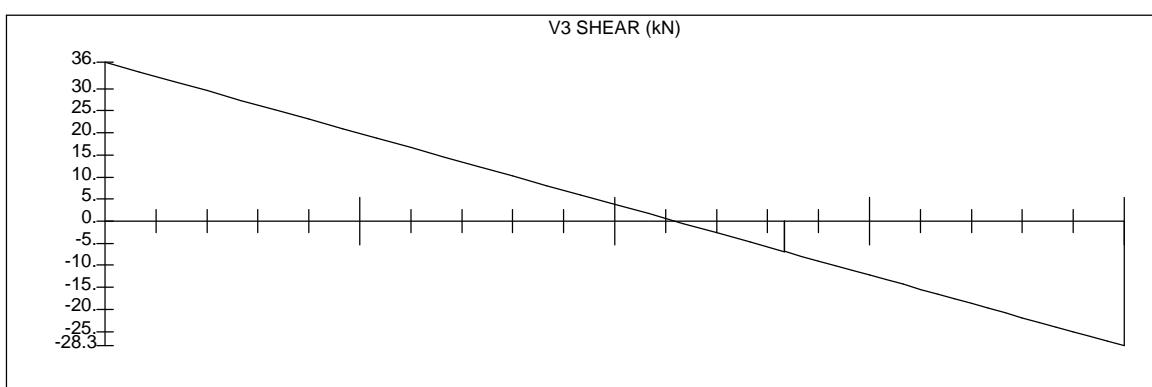


Figura 2-64 – Viga V104 (Combinação Mdpos Max) – Força cortante solicitante de cálculo – Unidade kN

- Combinações ELS – Verificação das flechas limites: A figura 2-65 apresenta a envoltória de flechas da viga para as combinações no ELS.

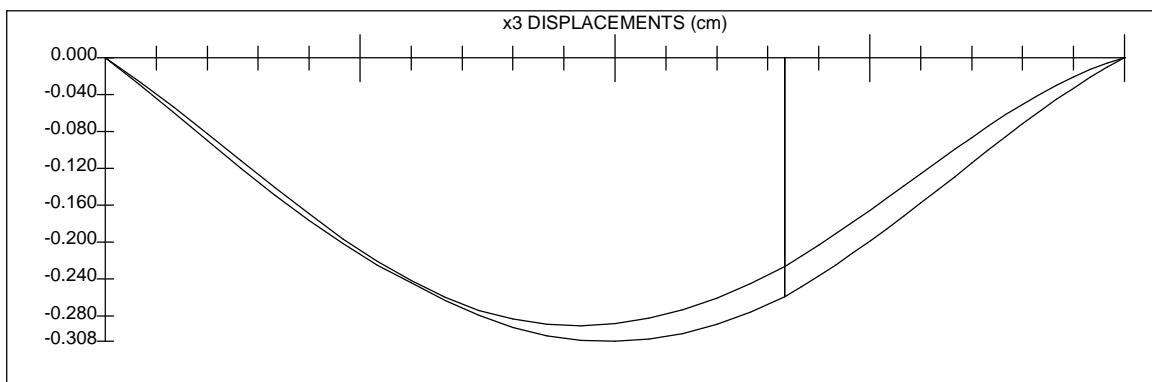


Figura 2-65 – Viga V104 (Envoltória de combinações) – Flecha – Unidade cm

**ANEXO G - Momento Fletor Resistente de Cálculo de vigas de alma não esbelta**

**I) Dados Iniciais**

**I.1) Materiais**

**AÇO (PERFIL)**

$$f_y := 350 \text{ MPa} \quad \gamma_{a1} := 1.1 \quad E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa} \quad \nu := 0.3$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa} \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 61538.46 \text{ MPa}$$

**I.2) Perfil Metálico - W460x52.0**

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
massa := 52 $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_0 := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 7.0 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_0 := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_g := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

**I.3) Parâmetros Necessários ao Cálculo do Estado limite FLT**

$$L_b := 7.5 \text{ m} \quad M_{\max} := 41.9 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_A := 10 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_B := 33 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_C := 25 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**I.4) Esforços Solicitantes de Projeto**

$$M_{sd\_pos} := 33.5 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 41.9 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 36 \text{ kN}$$

**I.5) Deslocamentos Limites**

$$\text{flecha} := 0.308 \text{ cm} \quad \text{flecha\_lim} := \frac{750 \text{ cm}}{350} = 2.14 \text{ cm}$$

**G.2 - Momento Fletor Resistente de Cálculo**

**G.2.1 - Flambagem Lateral com Torção - Estado Limite FLT**

**II.1) Classificação da viga quanto a FLT**

**II.1.1) Cálculo de  $\lambda_p$  - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação**

$$\lambda_{p\text{FLT}} := 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p\text{FLT}} = 37.63$$

**II.1.2) Cálculo de  $\lambda_r$  - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento**

$$C_b := \min \left( 3.0, \frac{12.5 \cdot M_{\max}}{2.5 \cdot M_{\max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \right) \quad C_b = 1.53$$

$$\beta_1 := \frac{(f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x}{E \cdot J_b} \quad \beta_1 = 20.78 \frac{1}{\text{m}}$$

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4}$$

$$C_w = 305741.17 \cdot \text{cm}^6$$

$$\lambda_{r\text{FLT}} := \frac{1.38 \cdot \sqrt{I_y \cdot J_b}}{r_y \cdot J_b \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$\lambda_{r\text{FLT}} = 101.72$$

#### II.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{\text{FLT}} := \frac{L_b}{r_y}$$

$$\lambda_{\text{FLT}} = 242.72$$

#### II.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{\text{FLT}} := \begin{cases} \text{"VIGA CURTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLT}} \leq \lambda_{p\text{FLT}} \\ \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"} & \text{if } \lambda_{p\text{FLT}} < \lambda_{\text{FLT}} \leq \lambda_{r\text{FLT}} \\ \text{"VIGA LONGA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLT}} > \lambda_{r\text{FLT}} \end{cases}$$

classificação<sub>FLT</sub> = "VIGA LONGA"

#### II.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLT

$$M_{pl} := Z_x \cdot f_y$$

$$M_{pl} = 383.60 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := (f_y - 0.3f_y) \cdot W_x$$

$$M_r = 232.75 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{cr} := \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left( 1 + 0.039 \cdot \frac{J_b \cdot L_b^2}{C_w} \right)}$$

$$M_{cr} = 73.42 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd\text{FLT}} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{\text{FLT}} \leq \lambda_{p\text{FLT}} \\ \min \left[ \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{\text{FLT}} - \lambda_{p\text{FLT}})}{(\lambda_{r\text{FLT}} - \lambda_{p\text{FLT}})} \right], \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p\text{FLT}} < \lambda_{\text{FLT}} \leq \lambda_{r\text{FLT}} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{\text{FLT}} > \lambda_{r\text{FLT}} \end{cases}$$

$$M_{rd\text{FLT}} = 66.74 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

---

#### G.2.1 - Flambagem Local da Alma - Estado Limite FLA

---

#### III.1) Classificação da viga quanto a FLA

##### III.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p\text{FLA}} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_{p\text{FLA}} = 80.39$$

##### III.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao inicio do escoamento

$$\lambda_{r\text{FLA}} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_{r\text{FLA}} = 121.87$$

##### III.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{\text{FLA}} := \lambda_A$$

$$\lambda_{\text{FLA}} = 53.20$$

### III.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{\text{FLA}} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{\text{p FLA}} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{\text{p FLA}} < \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{\text{r FLA}} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{\text{r FLA}} \end{cases}$$

classificação<sub>FLA</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

### III.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLA

$$M_{\text{pl}} := Z_x \cdot f_y \quad M_{\text{pl}} = 383.60 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := f_y \cdot W_x \quad M_r = 332.50 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{rd FLA}} := \begin{cases} \frac{M_{\text{pl}}}{\gamma_{\text{a1}}} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{\text{p FLA}} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{\text{a1}}} \cdot \left[ M_{\text{pl}} - (M_{\text{pl}} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{\text{FLA}} - \lambda_{\text{p FLA}})}{(\lambda_{\text{r FLA}} - \lambda_{\text{p FLA}})} \right], \left( \frac{M_{\text{pl}}}{\gamma_{\text{a1}}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{\text{p FLA}} < \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{\text{r FLA}} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{\text{r FLA}} \end{cases}$$

$$M_{\text{rd FLA}} = 348.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### G.2.1 - Flambagem Local da Mesa Comprimida - Estado Limite FLM

#### IV.1) Classificação da viga quanto a FLM

##### IV.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{\text{p FLM}} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{\text{p FLM}} = 8.12$$

##### IV.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{\text{r FLM}} := 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - 0.3f_y)}} \quad \lambda_{\text{r FLM}} = 21.21$$

##### IV.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{\text{FLM}} := \lambda_M \quad \lambda_{\text{FLM}} = 7.00$$

#### IV.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{\text{FLM}} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{\text{p FLM}} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{\text{p FLM}} < \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{\text{r FLM}} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} > \lambda_{\text{r FLM}} \end{cases}$$

classificação<sub>FLM</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

### IV.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLM

$$M_{\text{pl}} := Z_x \cdot f_y \quad M_{\text{pl}} = 383.60 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x \quad M_r = 232.75 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{cr}} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{\text{FLM}}^2} \cdot W_x \quad M_{\text{cr}} = 2140.41 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$Mrd_{FLM} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{pFLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{al}} \cdot \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM})}{(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM})}\right], \left(\frac{M_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{pFLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{rFLM} \\ \min\left[\left(\frac{M_{cr}}{\gamma_{al}}\right), \left(\frac{M_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{rFLM} \end{cases}$$

$Mrd_{FLM} = 348.73 \cdot kN \cdot m$

#### **Momento Fletor Resistente de Cálculo (Mrd)**

$$Mrd := \begin{cases} "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{rFLA} \\ \min(Mrd_{FLT}, Mrd_{FLA}, Mrd_{FLM}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd = 66.74 \cdot kN \cdot m$$

#### **NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

##### V) Força Cortante Resistente de Cálculo

###### V.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{ly}$ )

$$\lambda_A = 53.20 \quad \lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} = 53.24$$

$$\text{verificação\_fl}_V := \begin{cases} "SEÇÃO COMPACTA" & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ "SEÇÃO NÃO COMPACTA" & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{verificação\_fl}_V = "SEÇÃO COMPACTA"$$

###### VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento (Vpl)

$$Aw := d \cdot t_0 \quad Aw = 34.20 \cdot cm^2$$

$$Vpl := 0.60 \cdot Aw \cdot f_y \quad Vpl = 718.20 \cdot kN$$

###### VI.3) Força cortante resistente de cálculo (Vrd)

$$Vrd := \frac{Vpl}{\gamma_{al}} \quad Vrd = 652.91 \cdot kN$$

#### **Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

##### VI.1) Verificação no ELU

##### VI.2) Verificação

###### MOMENTO POSITIVO

$$Msd_{pos} = 33.50 \cdot kN \cdot m$$

###### MOMENTO NEGATIVO

$$Msd_{neg} = 41.90 \cdot kN \cdot m$$

###### CORTANTE

$$Vsd_{max} = 36.00 \cdot kN$$

$\text{verificação\_M}_{\text{pos}} :=$	$\begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{\text{rFLA}} \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{\text{sd},\text{pos}} \leq M_{\text{rd}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$	$\text{verificação\_M}_{\text{pos}} = \text{"VERIFICA"}$
$\text{verificação\_M}_{\text{neg}} :=$	$\begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{\text{rFLA}} \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{\text{sd},\text{neg}} \leq M_{\text{rd}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$	$\text{verificação\_M}_{\text{neg}} = \text{"VERIFICA"}$
$\text{verificação\_V}_{\text{max}} :=$	$\begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{\text{sd},\text{max}} \leq V_{\text{rd}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$	$\text{verificação\_V}_{\text{max}} = \text{"VERIFICA"}$

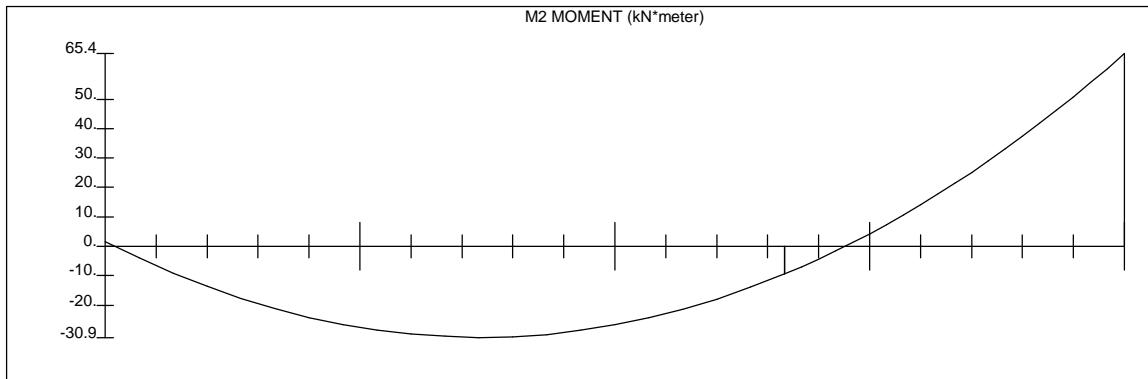
#### ***Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)***

##### **VII.2) Verificação da flecha limite**

$$\text{flecha} = 0.31 \cdot \text{cm} \quad \text{flecha\_lim} = 2.14 \cdot \text{cm}$$

$\text{verificação\_flecha} :=$	$\begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{flecha} \leq \text{flecha\_lim} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$	$\text{verificação\_flecha} = \text{"VERIFICA"}$
---------------------------------	---	--

- **Combinação ELU – Máximo Md negativo:** As figuras 2-66 e 2-67 apresentam os esforços solicitantes.



**NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**

**ANEXO G - Momento Fletor Resistente de Cálculo de vigas de alma não esbelta**

**I) Dados Iniciais**

**I.1) Materiais**

**ACO (PERFIL)**

$$f_y := 350 \text{ MPa} \quad \gamma_{a1} := 1.1 \quad E := 0.8200 \text{ GPa} \quad \nu := 0.3$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \cdot \text{MPa} \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 61538.46 \cdot \text{MPa}$$

**I.2) Perfil Metálico - W460x52.0**

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
massa := 52 $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_0 := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 7.0 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_0 := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_g := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

**I.3) Parâmetros Necessários ao Cálculo do Estado limite FLT**

$$L_b := 7.5 \text{ m} \quad M_{\max} := 65.4 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_A := 28 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_B := 28 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_C := 5 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**I.4) Esforços Solicitantes de Projeto**

$$M_{sd\_pos} := 30.9 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 65.4 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 40.6 \text{ kN}$$

**I.5) Deslocamentos Limites**

$$\text{flecha} := 0.308 \text{ cm} \quad \text{flecha\_lim} := \frac{750 \text{ cm}}{350} = 2.14 \cdot \text{cm}$$

**G.2 - Momento Fletor Resistente de Cálculo**

**G.2.1 - Flambagem Lateral com Torção - Estado Limite FLT**

**II.1) Classificação da viga quanto a FLT**

**II.1.1) Cálculo de  $\lambda_p$  - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação**

$$\lambda_{p\text{FLT}} := 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad |\lambda_{p\text{FLT}} = 37.63|$$

**II.1.2) Cálculo de  $\lambda_r$  - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento**

$$C_b := \min \left( 3.0, \frac{12.5 \cdot M_{\max}}{2.5 \cdot M_{\max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \right) \quad |C_b = 2.18|$$

$$\beta_1 := \frac{(f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x}{E \cdot J_b} \quad |\beta_1 = 20.78 \frac{1}{\text{m}}|$$

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4}$$

$$C_w = 305741.17 \cdot \text{cm}^6$$

$$\lambda_{r\text{FLT}} := \frac{1.38 \cdot \sqrt{I_y \cdot J_b}}{r_y \cdot J_b \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$\lambda_{r\text{FLT}} = 101.72$$

#### II.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{\text{FLT}} := \frac{L_b}{r_y}$$

$$\lambda_{\text{FLT}} = 242.72$$

#### II.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{\text{FLT}} := \begin{cases} \text{"VIGA CURTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLT}} \leq \lambda_{p\text{FLT}} \\ \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"} & \text{if } \lambda_{p\text{FLT}} < \lambda_{\text{FLT}} \leq \lambda_{r\text{FLT}} \\ \text{"VIGA LONGA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLT}} > \lambda_{r\text{FLT}} \end{cases}$$

classificação<sub>FLT</sub> = "VIGA LONGA"

#### II.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLT

$$M_{pl} := Z_x \cdot f_y$$

$$M_{pl} = 383.60 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := (f_y - 0.3f_y) \cdot W_x$$

$$M_r = 232.75 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{cr} := \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left( 1 + 0.039 \cdot \frac{J_b \cdot L_b^2}{C_w} \right)}$$

$$M_{cr} = 104.57 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd\text{FLT}} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{\text{FLT}} \leq \lambda_{p\text{FLT}} \\ \min \left[ \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{\text{FLT}} - \lambda_{p\text{FLT}})}{(\lambda_{r\text{FLT}} - \lambda_{p\text{FLT}})} \right], \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p\text{FLT}} < \lambda_{\text{FLT}} \leq \lambda_{r\text{FLT}} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{\text{FLT}} > \lambda_{r\text{FLT}} \end{cases}$$

$$M_{rd\text{FLT}} = 95.07 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

---

#### G.2.1 - Flambagem Local da Alma - Estado Limite FLA

---

#### III.1) Classificação da viga quanto a FLA

##### III.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p\text{FLA}} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_{p\text{FLA}} = 80.39$$

##### III.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao inicio do escoamento

$$\lambda_{r\text{FLA}} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_{r\text{FLA}} = 121.87$$

##### III.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{\text{FLA}} := \lambda_A$$

$$\lambda_{\text{FLA}} = 53.20$$

### III.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{\text{FLA}} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{p\text{FLA}} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{p\text{FLA}} < \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{r\text{FLA}} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{r\text{FLA}} \end{cases}$$

classificação<sub>FLA</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

### III.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLA

$$M_{pl} := Zx \cdot f_y \quad M_{pl} = 383.60 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := f_y \cdot W_x \quad M_r = 332.50 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd\text{FLA}} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{p\text{FLA}} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{\text{FLA}} - \lambda_{p\text{FLA}})}{(\lambda_{r\text{FLA}} - \lambda_{p\text{FLA}})} \right], \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p\text{FLA}} < \lambda_{\text{FLA}} \leq \lambda_{r\text{FLA}} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{r\text{FLA}} \end{cases}$$

$$M_{rd\text{FLA}} = 348.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### G.2.1 - Flambagem Local da Mesa Comprimida - Estado Limite FLM

#### IV.1) Classificação da viga quanto a FLM

##### IV.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p\text{FLM}} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p\text{FLM}} = 8.12$$

##### IV.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r\text{FLM}} := 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - 0.3f_y)}} \quad \lambda_{r\text{FLM}} = 21.21$$

##### IV.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{\text{FLM}} := \lambda_M \quad \lambda_{\text{FLM}} = 7.00$$

#### IV.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{\text{FLM}} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{p\text{FLM}} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{p\text{FLM}} < \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{r\text{FLM}} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} > \lambda_{r\text{FLM}} \end{cases}$$

classificação<sub>FLM</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

### IV.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLM

$$M_{pl} := Zx \cdot f_y \quad M_{pl} = 383.60 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x \quad M_r = 232.75 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{cr} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{\text{FLM}}^2} \cdot W_x \quad M_{cr} = 2140.41 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$Mrd_{FLM} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{al}} \cdot \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})}\right], \left(\frac{M_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left(\frac{M_{cr}}{\gamma_{al}}\right), \left(\frac{M_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases}$$

$Mrd_{FLM} = 348.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

#### **Momento Fletor Resistente de Cálculo (Mrd)**

$$Mrd := \begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(Mrd_{FLT}, Mrd_{FLA}, Mrd_{FLM}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd = 95.07 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### **NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

##### V) Força Cortante Resistente de Cálculo

###### V.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{ly}$ )

$$\lambda_A = 53.20 \quad \lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} = 53.24$$

$$\text{verificação\_fl}_V := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{verificação\_fl}_V = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$$

###### V.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$Aw := d \cdot t_0 \quad Aw = 34.20 \cdot \text{cm}^2$$

$$V_{pl} := 0.60 \cdot Aw \cdot f_y \quad V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}$$

###### V.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} \quad V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}$$

#### **Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

##### VI) Verificação no ELU

###### VI.2) Verificação

###### MOMENTO POSITIVO

$M_{sd, pos} = 30.90 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

###### MOMENTO NEGATIVO

$M_{sd, neg} = 65.40 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

###### CORTANTE

$V_{sd, max} = 40.60 \cdot \text{kN}$

$\text{verificação\_M}_{\text{pos}} :=$	$\begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{\text{rFLA}} \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{Msd}_{\text{pos}} \leq \text{Mrd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$	$\text{verificação\_M}_{\text{pos}} = \text{"VERIFICA"}$
$\text{verificação\_M}_{\text{neg}} :=$	$\begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{\text{FLA}} > \lambda_{\text{rFLA}} \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{Msd}_{\text{neg}} \leq \text{Mrd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$	$\text{verificação\_M}_{\text{neg}} = \text{"VERIFICA"}$
$\text{verificação\_V}_{\text{max}} :=$	$\begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{Vsd}_{\text{max}} \leq \text{Vrd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$	$\text{verificação\_V}_{\text{max}} = \text{"VERIFICA"}$

#### **Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

##### VII.2) Verificação da flecha limite

$$\text{flecha} = 0.31 \cdot \text{cm} \quad \text{flecha\_lim} = 2.14 \cdot \text{cm}$$

$\text{verificação\_flecha} :=$	$\begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{flecha} \leq \text{flecha\_lim} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$	$\text{verificação\_flecha} = \text{"VERIFICA"}$
---------------------------------	---	--

Observa-se das análises acima que a viga metálica V104 atende para as verificações no ELU e ELS.

### **2.5.4 Dimensionamento das placas de base das colunas e chumbadores**

As placas de base das colunas metálicas são dimensionadas e verificadas pelo critério dos estados limites segundo orientações do guia de dimensionamento em aço da AISC [9]. Os chumbadores são dimensionados segundo critérios adotados pela norma NBR 8800 [1]. O dimensionamento é feito verificando a base para as combinações de maior esforço normal e maior momento fletor. Nesta seção é apresentada apenas a verificação da placa de base e chumbadores da coluna C19, mais solicitada. O dimensionamento da placa de base da coluna C7 é apresentado no Anexo B.

#### **2.5.4.1 Nomenclatura utilizada**

- A1 ⇒ área da placa de base;
- A2 ⇒ área da base de concreto;
- Ag ⇒ área bruta da seção transversal;
- B ⇒ largura da placa de base;
- B2 ⇒ largura da base de concreto;
- bf ⇒ largura da mesa;
- d ⇒ altura total do perfil de aço;
- e ⇒ excentricidade;

- ercrit  $\Rightarrow$  excentricidade crítica;  
 f  $\Rightarrow$  distância longitudinal medida do eixo da coluna até centro do chumbador;  
 fc  $\Rightarrow$  resistência característica à compressão do concreto;  
 fp  $\Rightarrow$  tensão de compressão aplicada à base de concreto;  
 fpmax  $\Rightarrow$  tensão resistente do concreto;  
 fu  $\Rightarrow$  resistência à ruptura do aço;  
 Fy  $\Rightarrow$  resistência ao escoamento do aço;  
 mp, np  $\Rightarrow$  braços de alavanca (ver figura 3.1.1 da norma [7]);  
 Mu  $\Rightarrow$  momento fletor solicitante de cálculo;  
 N  $\Rightarrow$  comprimento da placa de base;  
 n  $\Rightarrow$  número de chumbadores;  
 N2  $\Rightarrow$  comprimento da base de concreto;  
 Pu  $\Rightarrow$  força normal solicitante de cálculo;  
 tf  $\Rightarrow$  espessura da mesa do perfil de aço;  
 tp  $\Rightarrow$  espessura da placa de base;  
 Tu  $\Rightarrow$  força axial de tração solicitante de cálculo;  
 VRd  $\Rightarrow$  força cortante resistente de cálculo;  
 Vsd  $\Rightarrow$  força cortante solicitante de cálculo;  
 x  $\Rightarrow$  distância longitudinal medida do plano médio da mesa à linha de centro do chumbador;  
 Y  $\Rightarrow$  comprimento comprimido da base de concreto;  
 ya2  $\Rightarrow$  coeficientes de ponderação da resistência (Tabela 3 da NBR 8800 [1]);  
 $\phi_c$   $\Rightarrow$  diâmetro do chumbador;

As figuras 2-68 a 2-70, retiradas da norma [9], ilustram a geometria do problema e a nomenclatura adotada.

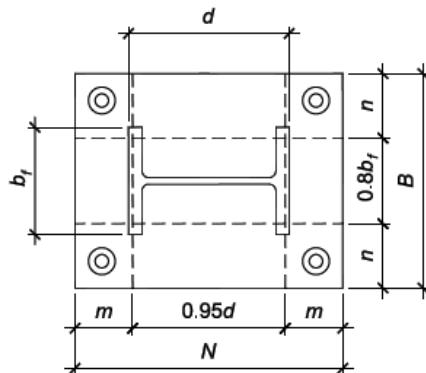


Figura 2-68 – Linhas de braço de alavanca considerado

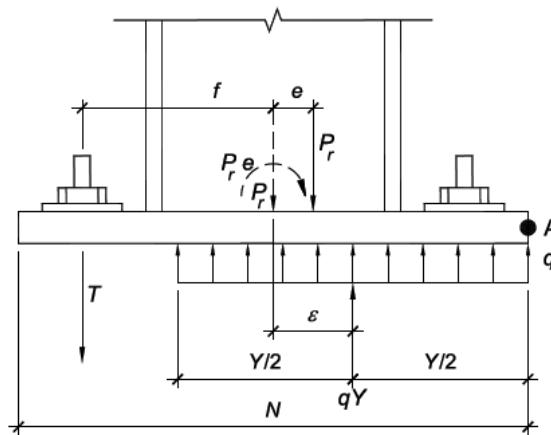


Figura 2-69 – Placa de base sob a ação de pequenos momentos fletores

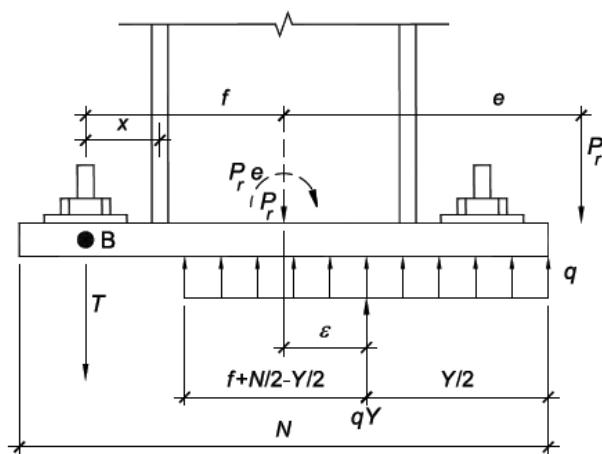


Figura 2-70 – Placa de base sob a ação de grandes momentos fletores

#### 2.5.4.2 Coluna C19

A geometria da base da coluna C19 é apresentada na figura 2-71, a seguir.

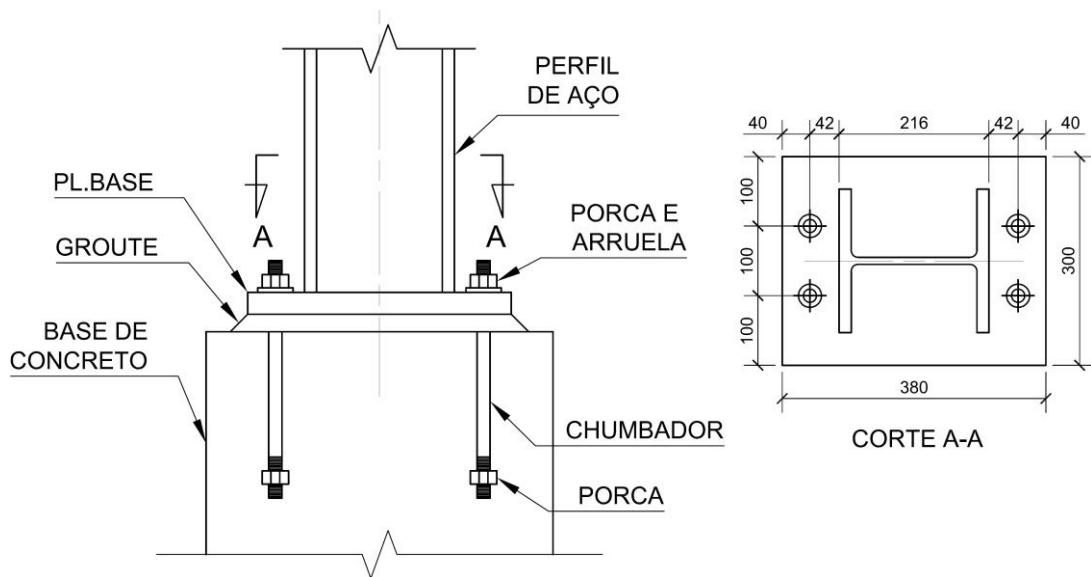


Figura 2-71 – Geometria da base da coluna C19 – Dimensões em mm

a) **Combinação ELU – Ndmax:** As figuras 2-72 a 2-74 apresentam os esforços solicitantes.

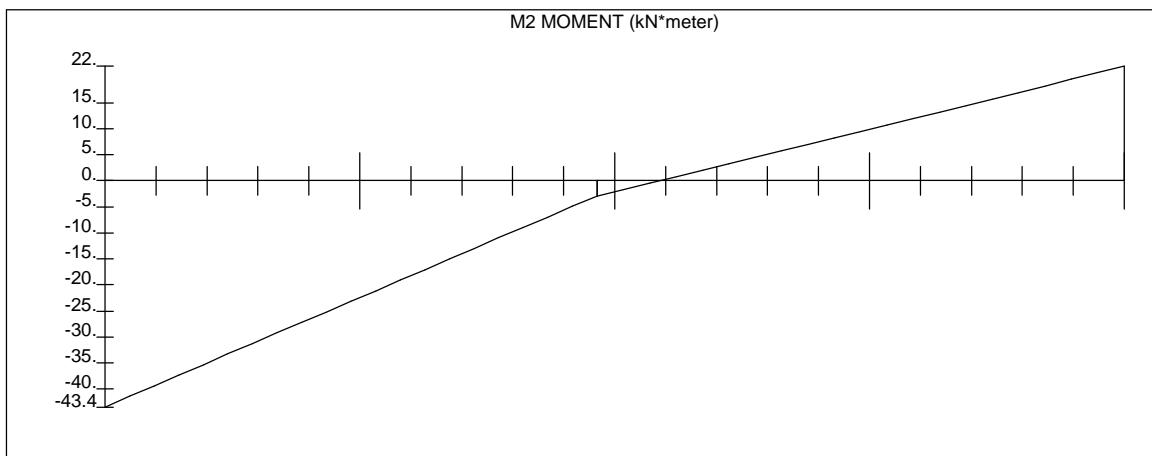


Figura 2-72 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Momento fletor solicitante de cálculo – Unidade kN.m

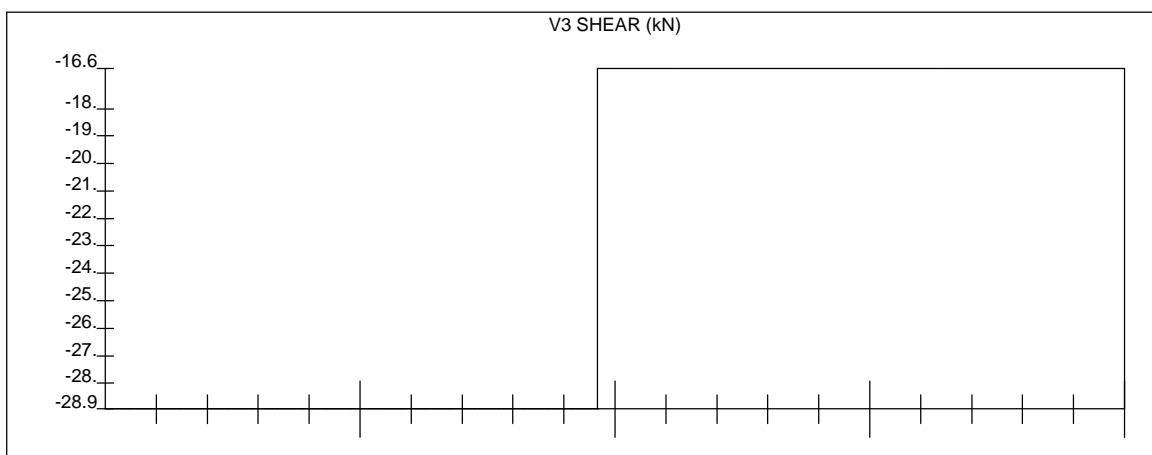


Figura 2-73 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Força cortante solicitante de cálculo – Unidade kN

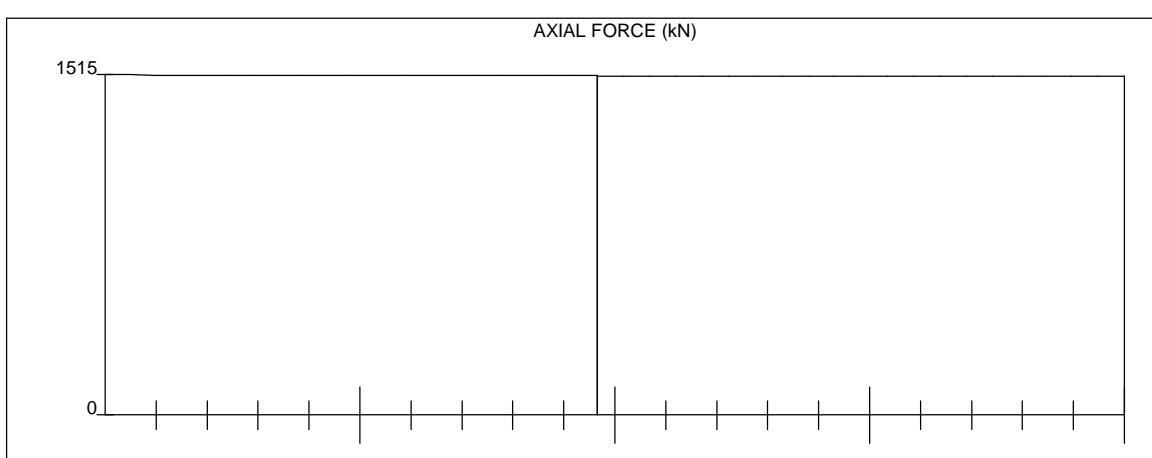


Figura 2-74 – Coluna C19 (Comb Ndmax) – Força axial solicitante de cálculo – Unidade kN

## - Dimensionamento da placa de base

**AISC - American Institute of Steel Construction**  
**Steel Design Guide 1 - Base Plate and Anchor Rod Design (2<sup>nd</sup> Edition)**

### 3.3 / 3.4) Design of Column Base Plates With Small / Large Moments (LRFD)

#### I) Dados Iniciais

Dimensionamento de acordo com nomenclatura adotada pela AISC, apresentada na figura abaixo.

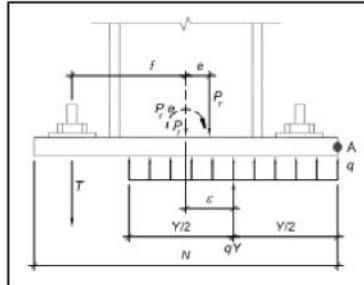


Figure 3.3.1. Base plate with small moments

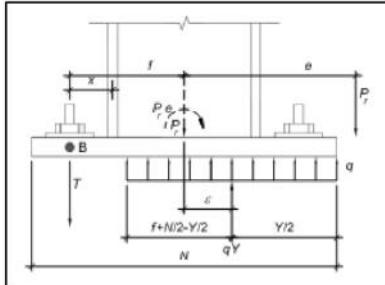
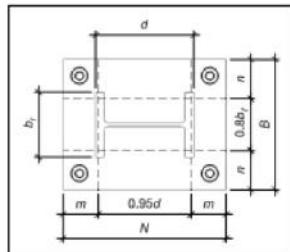


Figure 3.4.1. Base plate with large moments



(b) Assumed Bending Lines

#### I.1) Propriedades dos Materiais

PLACA DE BASE (PL)

$$F_y := 350 \text{ MPa}$$

CONCRETO (C)

$$f_c := 25 \text{ MPa}$$

#### I.2) Geometria

PLACA DE BASE (PL)

$$N := 38 \text{ cm}$$

CONCRETO (C)

$$N_2 := 50 \text{ cm}$$

PERFIL (PF)

$$d := 216 \text{ mm}$$

DETALHAMENTO

$$f := 15 \text{ cm}$$

$$B := 30 \text{ cm}$$

$$B_2 := 42 \text{ cm}$$

$$bf := 206 \text{ mm}$$

$$A_1 := N \cdot B$$

$$A_2 := N_2 \cdot B_2$$

$$tf := 17.4 \text{ mm}$$

#### I.3) Solicitações de Projeto

$$P_u := 1531 \text{ kN}$$

$$M_u := 43.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### II) Dimensionamento

##### II.1) Determinação da excentricidade (e) e excentricidade crítica ( $e_{crit}$ )

###### - Excentricidade da solicitação (e)

$$e := \frac{M_u}{P_u}$$

$$e = 2.83 \cdot \text{cm}$$

###### - Calculo da tensão resistente do concreto ( $f_{pmax}$ )

$$f_{pmax} := \min \left[ \left( 0.65 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \right), \left( 0.65 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \sqrt{4} \right) \right] \quad f_{pmax} = 18.75 \text{ MPa}$$

###### - Carga uniforme distribuída máxima ( $q_{max}$ )

$$q_{max} := f_{pmax} \cdot B$$

$$q_{max} = 5624.07 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Excentricidade crítica ( $e_{crit}$ )

$$e_{crit} := \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 \cdot q_{max}}$$

$$e_{crit} = 5.39 \cdot \text{cm}$$

- Verificação do tipo de dimensionamento (pequena ou grande excentricidade)

$$\text{verificação\_excentricidade} := \begin{cases} \text{"PEQUENA EXCENTRICIDADE"} & \text{if } e \leq e_{crit} \\ \text{"GRANDE EXCENTRICIDADE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_excentricidade} = \text{"PEQUENA EXCENTRICIDADE"}$$

II.2) Determinação da largura comprimida (Y) e verificação da tensão aplicada na base de concreto ( $f_p$ )

- Calculo da largura comprimida (Y)

$$Y := \begin{cases} (N - 2e) & \text{if } e \leq e_{crit} \\ \text{otherwise} \\ \left[ \left( f + \frac{N}{2} \right) - \sqrt{\left( f + \frac{N}{2} \right)^2 - \frac{2 \cdot P_u \cdot (e + f)}{q_{max}}} \right] & \text{if } \left[ \left( f + \frac{N}{2} \right)^2 \geq \frac{2 \cdot P_u \cdot (e + f)}{q_{max}} \right] \\ \text{"AUMENTAR PLACA DE BASE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Y = 32,33 \cdot \text{cm}$$

- Tensão de compressão aplicada à base de concreto ( $f_p$ )

$$f_p := \begin{cases} \frac{P_u}{B \cdot Y} & \text{if } e \leq e_{crit} \\ f_{p_{max}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_p = 15,78 \cdot \text{MPa}$$

- Verificação da tensão de compressão aplicada à base de concreto ( $f_p$ )

$$\text{verificação\_tensão} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } (f_p \leq f_{p_{max}}) \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_tensão} = \text{"VERIFICA"}$$

II.3) Força de tração solicitante de projeto ( $T_u$ )

$$T_u := \begin{cases} (q_{max} \cdot Y - P_u) & \text{if } e > e_{crit} \\ (0.00 \cdot \text{kN}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$T_u = 0 \cdot \text{kN}$$

II.4) Determinação da espessura mínima da placa

- Espessura devido ao braço de alavanca mp ( $tp_{mp}$ )

$$mp := \frac{N - 0.95 \cdot d}{2}$$

$$mp = 8.74 \cdot \text{cm}$$

$$tp_{mp} := \begin{cases} 1.5 \cdot mp \cdot \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} & \text{if } Y \geq mp \\ 2.11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot Y \cdot \left( mp - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} & \text{if } Y < mp \end{cases}$$

$$tp_{mp} = 2.78 \cdot \text{cm}$$

- Espessura devido ao braço de alavanca np (tp<sub>np</sub>)

$$np := \frac{B - 0.80 \cdot bf}{2} \quad tp_{np} = 6.76 \cdot \text{cm}$$

$$tp_{np} := \begin{cases} 1.5 \cdot np \cdot \sqrt{\frac{fp}{F_y}} & \text{if } Y \geq mp \\ 2.11 \cdot \sqrt{\frac{fp \cdot Y \cdot \left(np - \frac{Y}{2}\right)}{F_y}} & \text{if } Y < mp \end{cases} \quad tp_{np} = 2.15 \cdot \text{cm}$$

- Espessura devido à força de tração dos chumbadores (tp<sub>Tu</sub>)

$$x := f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \quad x = 5.07 \cdot \text{cm}$$

$$tp_{Tu} := 2.11 \cdot \sqrt{\frac{T_u \cdot x}{B \cdot F_y}} \quad tp_{Tu} = 0 \cdot \text{cm}$$

- Espessura mínima da placa (tp<sub>req</sub>)

$$tp_{req} := \max(tp_{mp}, tp_{np}, tp_{Tu}) \quad tp_{req} = 2.78 \cdot \text{cm}$$

- Dimensionamento dos chumbadores

Os chumbadores são dimensionados para resistir à força cisalhante na base da coluna. Da análise apresentada acima, observa-se que os chumbadores não trabalham à tração, sendo assim, estes são dimensionados à corte simples.

$$V_{sd} = 28,9 \text{kN}$$

$$n = 4$$

$$f_u = 40,0 \text{kN/cm}^2$$

$$\phi_c = \frac{3}{4}'' = 19,05 \text{mm}$$

$$A_g = (\pi \times \phi_c^2)/4 = 2,85 \text{cm}^2$$

$$\gamma_a 2 = 1,35$$

$$VRd = n \left( \frac{0,4 A_g f_u}{\gamma_a 2} \right) = 4 \left( \frac{0,4 \times 2,85 \times 40}{1,35} \right) = 135 \text{kN} > 28,9 \text{kN} (\text{OK})$$

b) **Combinação ELU – Mdmax:** As figuras 2-75 a 2-77 apresentam os esforços solicitantes.

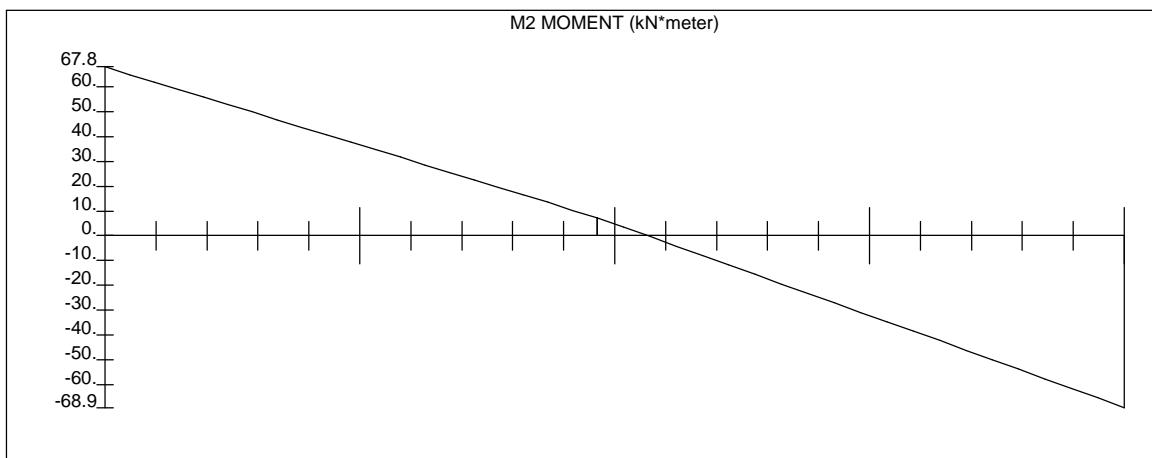


Figura 2-75 – Coluna C19 (Comb Mdmax) – Momento fletor solicitante de cálculo – Unidade kN.m

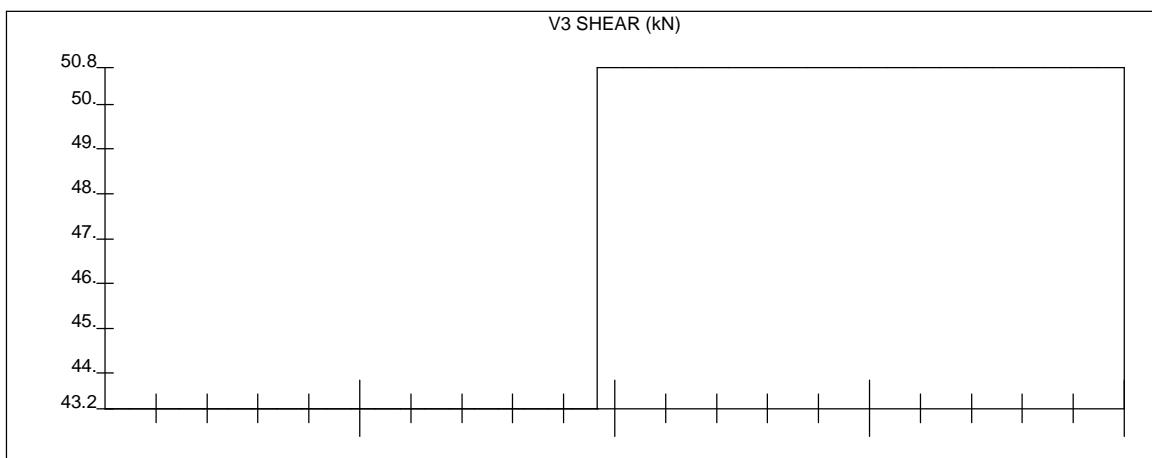


Figura 2-76 – Coluna C19 (Comb Mdmax) – Força cortante solicitante de cálculo – Unidade kN

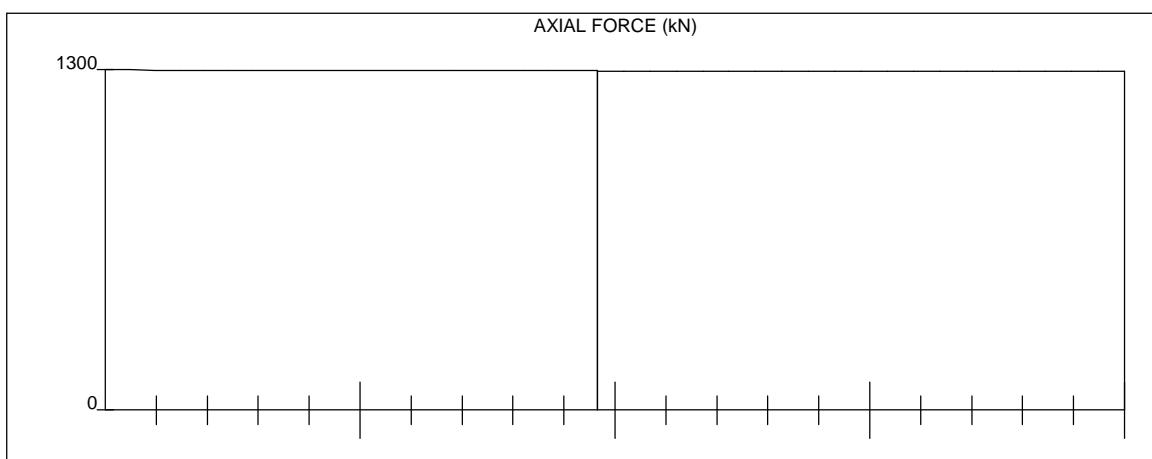


Figura 2-77 – Coluna C19 (Comb Mdmax) – Força axial solicitante de cálculo – Unidade kN

## - Dimensionamento da placa de base

**AISC - American Institute of Steel Construction**  
**Steel Design Guide 1 - Base Plate and Anchor Rod Design (2<sup>nd</sup> Edition)**

### 3.3 / 3.4) Design of Column Base Plates With Small / Large Moments (LRFD)

#### I) Dados Iniciais

Dimensionamento de acordo com nomenclatura adotada pela AISC, apresentada na figura abaixo.

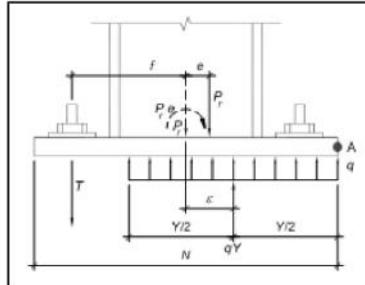


Figure 3.3.1. Base plate with small moments

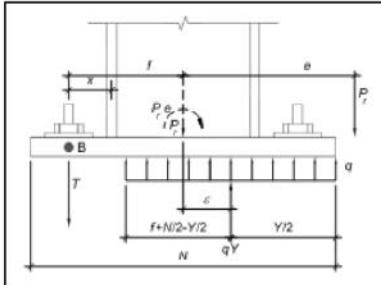
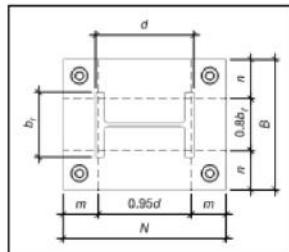


Figure 3.4.1. Base plate with large moments



(b) Assumed Bending Lines

#### I.1) Propriedades dos Materiais

PLACA DE BASE (PL)

$$F_y := 350 \text{ MPa}$$

CONCRETO (C)

$$f_c := 25 \text{ MPa}$$

#### I.2) Geometria

PLACA DE BASE (PL)

$$N := 38 \text{ cm}$$

CONCRETO (C)

$$N_2 := 50 \text{ cm}$$

PERFIL (PF)

$$d := 216 \text{ mm}$$

DETALHAMENTO

$$f := 15 \text{ cm}$$

$$B := 30 \text{ cm}$$

$$B_2 := 42 \text{ cm}$$

$$bf := 206 \text{ mm}$$

$$A_1 := N \cdot B$$

$$A_2 := N_2 \cdot B_2$$

$$tf := 17.4 \text{ mm}$$

#### I.3) Solicitações de Projeto

$$P_u := 1314 \text{ kN}$$

$$M_u := 67.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### II) Dimensionamento

##### II.1) Determinação da excentricidade (e) e excentricidade crítica ( $e_{crit}$ )

###### - Excentricidade da solicitação (e)

$$e := \frac{M_u}{P_u}$$

$$e = 5.16 \cdot \text{cm}$$

###### - Calculo da tensão resistente do concreto ( $f_{pmax}$ )

$$f_{pmax} := \min \left[ 0.65 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}, (0.65 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \sqrt{4}) \right] \quad f_{pmax} = 18.75 \text{ MPa}$$

###### - Carga uniforme distribuída máxima ( $q_{max}$ )

$$q_{max} := f_{pmax} \cdot B$$

$$q_{max} = 5624.07 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Excentricidade crítica ( $e_{crit}$ )

$$e_{crit} := \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 \cdot q_{max}}$$

$$e_{crit} = 7.32 \cdot \text{cm}$$

- Verificação do tipo de dimensionamento (pequena ou grande excentricidade)

$$\text{verificação\_excentricidade} := \begin{cases} \text{"PEQUENA EXCENTRICIDADE"} & \text{if } e \leq e_{crit} \\ \text{"GRANDE EXCENTRICIDADE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_excentricidade} = \text{"PEQUENA EXCENTRICIDADE"}$$

**II.2) Determinação da largura comprimida (Y) e verificação da tensão aplicada na base de concreto (fp)**

- Calculo da largura comprimida (Y)

$$Y := \begin{cases} (N - 2e) & \text{if } e \leq e_{crit} \\ \text{otherwise} \\ \left[ \left( f + \frac{N}{2} \right) - \sqrt{\left( f + \frac{N}{2} \right)^2 - \frac{2 \cdot P_u \cdot (e + f)}{q_{max}}} \right] & \text{if } \left[ \left( f + \frac{N}{2} \right)^2 \geq \frac{2 \cdot P_u \cdot (e + f)}{q_{max}} \right] \\ \text{"AUMENTAR PLACA DE BASE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Y = 27.68 \cdot \text{cm}$$

- Tensão de compressão aplicada à base de concreto (fp)

$$f_p := \begin{cases} \frac{P_u}{B \cdot Y} & \text{if } e \leq e_{crit} \\ f_{p_{max}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_p = 15.82 \cdot \text{MPa}$$

- Verificação da tensão de compressão aplicada à base de concreto (fp)

$$\text{verificação\_tensão} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } (f_p \leq f_{p_{max}}) \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_tensão} = \text{"VERIFICA"}$$

**II.3) Força de tração solicitante de projeto (Tu)**

$$T_u := \begin{cases} (q_{max} \cdot Y - P_u) & \text{if } e > e_{crit} \\ (0.00 \cdot \text{kN}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$T_u = 0 \cdot \text{kN}$$

**II.4) Determinação da espessura mínima da placa**

- Espessura devido ao braço de alavanca mp ( $tp_{mp}$ )

$$mp := \frac{N - 0.95 \cdot d}{2}$$

$$mp = 8.74 \cdot \text{cm}$$

$$tp_{mp} := \begin{cases} 1.5 \cdot mp \cdot \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} & \text{if } Y \geq mp \\ 2.11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot Y \cdot \left( mp - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} & \text{if } Y < mp \end{cases}$$

$$tp_{mp} = 2.79 \cdot \text{cm}$$

- Espessura devido ao braço de alavanca np ( $tp_{np}$ )

$$np := \frac{B - 0.80 \cdot bf}{2} \quad np = 6.76 \cdot \text{cm}$$

$$tp_{np} := \begin{cases} 1.5 \cdot np \cdot \sqrt{\frac{fp}{Fy}} & \text{if } Y \geq mp \\ 2.11 \cdot \sqrt{\frac{fp \cdot Y \cdot \left(np - \frac{Y}{2}\right)}{Fy}} & \text{if } Y < mp \end{cases} \quad tp_{np} = 2.16 \cdot \text{cm}$$

- Espessura devido à força de tração dos chumbadores ( $tp_{Tu}$ )

$$x := f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \quad x = 5.07 \cdot \text{cm}$$

$$tp_{Tu} := 2.11 \cdot \sqrt{\frac{Tu \cdot x}{B \cdot Fy}} \quad tp_{Tu} = 0 \cdot \text{cm}$$

- Espessura mínima da placa ( $tp_{req}$ )

$$tp_{req} := \max(tp_{mp}, tp_{np}, tp_{Tu}) \quad tp_{req} = 2.79 \cdot \text{cm}$$

– Dimensionamento dos chumbadores

Os chumbadores são dimensionados para resistir à força cisalhante na base da coluna. Da análise apresentada acima, observa-se que os chumbadores não trabalham à tração, sendo assim, estes são dimensionados à corte simples.

$$Vsd = 43,2 \text{kN}$$

$$n = 4$$

$$fu = 40,0 \text{kN/cm}^2$$

$$\phi c = \frac{3}{4}'' = 19,05 \text{mm}$$

$$Ag = (\pi \times \phi c^2)/4 = 2,85 \text{cm}^2$$

$$\gamma a2 = 1,35$$

$$VRd = n \left( \frac{0,4 Ag \cdot fu}{\gamma a2} \right) = 4 \left( \frac{0,4 \times 2,85 \times 40}{1,35} \right) = 135 \text{kN} > 43,2 \text{kN (OK)}$$

Das análises acima, a adoção de chumbadores com  $\frac{3}{4}''$  e placa de base com  $1\frac{1}{4}''$  satisfazem para as solicitações de cálculo.

## 2.5.5 Dimensionamento das ligações viga-viga e viga-coluna

Os dimensionamentos das ligações viga-viga e viga coluna são feitos segundo critérios adotados pela norma NBR 8800 [1]. Nesta seção é apresentada apenas a ligação viga-coluna entre a viga mista V305 e a coluna C19, mais solicitada. O dimensionamento completo para as demais ligações é apresentado no Anexo B.

### 2.5.5.1 Nomenclatura utilizada

- Ab      ⇒ área bruta do parafuso;
- Ae      ⇒ área líquida efetiva;
- Ag      ⇒ área bruta da seção transversal;
- Agv     ⇒ área bruta sujeita a cisalhamento;
- Ant     ⇒ área líquida sujeita à tração;
- Anv     ⇒ área líquida sujeita a cisalhamento;
- d       ⇒ altura total do perfil de aço;
- FcRd    ⇒ Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo;
- Fhsd    ⇒ componente horizontal da força solicitante;
- FrRd    ⇒ força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento;
- Fsd     ⇒ força solicitante de cálculo;
- fu      ⇒ resistência à ruptura do aço;
- fub     ⇒ resistência à ruptura do parafuso;
- FvRd    ⇒ força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso;
- Fvsd    ⇒ componente vertical da força solicitante;
- fy      ⇒ resistência ao escoamento do aço;
- If       ⇒ distância na direção da força entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre;
- Msd     ⇒ momento fletor solicitante de cálculo;
- n       ⇒ quantidade;
- NtRd    ⇒ força axial de tração resistente de cálculo;
- r       ⇒ distância do centro geométrico da ligação ao centro do parafuso;
- t       ⇒ espessura da chapa de ligação;
- tf      ⇒ espessura da mesa do perfil de aço; espessura da cantoneira;
- Vsd     ⇒ força cortante solicitante de cálculo;
- ya1, ya2 ⇒ coeficientes de ponderação da resistência (Tabela 3 da NBR 8800 [1]);
- φb     ⇒ diâmetro do parafuso;

### 2.5.5.2 Ligação viga-coluna (V305-C19)

A figura 2-78 ilustra a geometria da ligação viga-coluna.

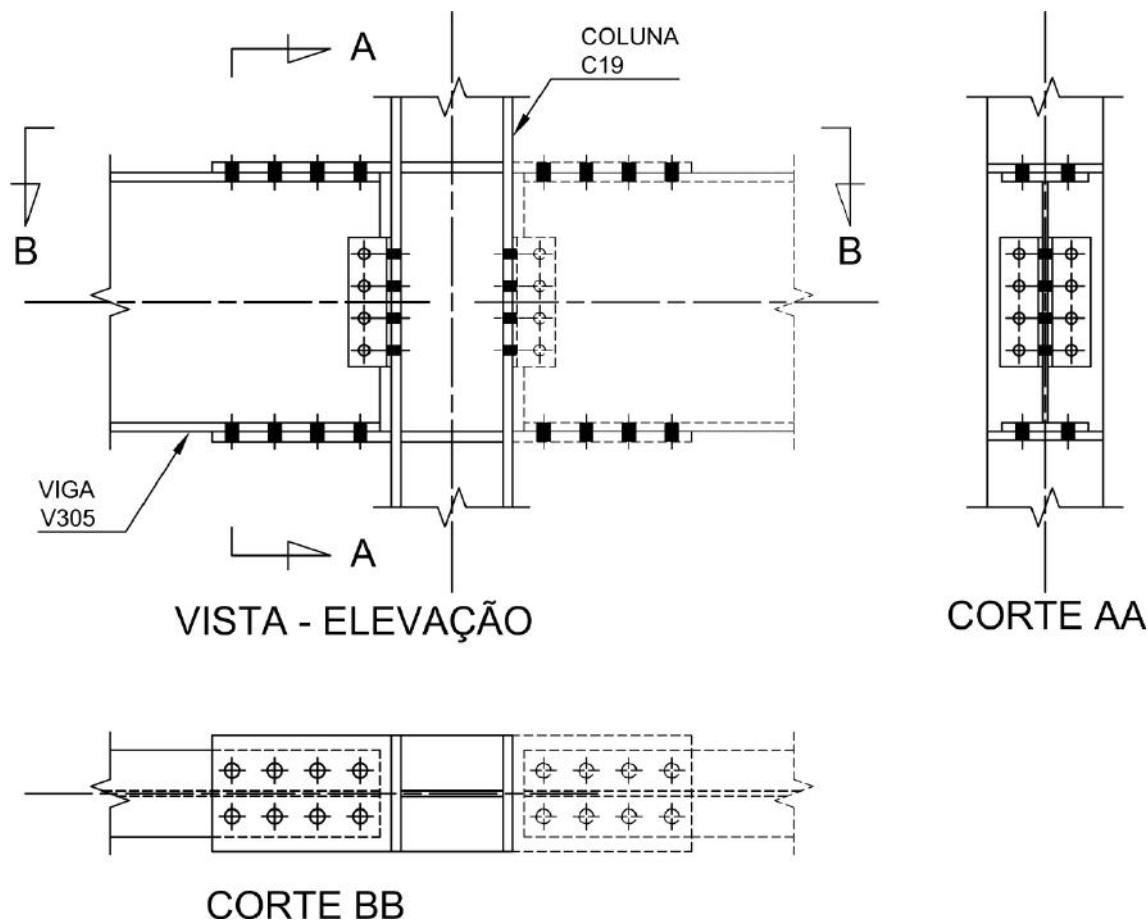


Figura 2-78 – Geometria da ligação viga-coluna (V305 – C19)

#### a) Dimensionamento ao momento fletor

##### I. Materiais utilizados

Chapa de ligação:

$$t = \frac{3}{4}'' = 19,05\text{mm}$$

$$f_y = 35,0\text{kN/cm}^2$$

$$f_u = 45,0\text{kN/cm}^2$$

Perfil de aço

$$f_y = 35,0\text{kN/cm}^2$$

$$f_u = 45,0\text{kN/cm}^2$$

$$t_f = 15,4\text{mm}$$

Parafusos

$$\phi_b = 1'' = 25,4\text{mm}$$

$$A_b = (\pi \cdot \phi_b^2)/4 = 5,07\text{cm}^2$$

$$f_{ub} = 82,5 \text{ kN/cm}^2$$

## II. Solicitações de cálculo

$$M_{sd} = 417 \text{ kN.m} \text{ (ver figura 2-59)}$$

Sendo a altura do perfil de aço da viga (W460x68)  $d=459\text{mm}$ , o momento fletor é resistido pelo binário ( $F_{sd}$ ) no plano de corte dos parafusos:

$$F_{sd} = 417 \text{ kNm} / 0,459\text{m} = 908,5\text{kN}$$

- III. **Dimensionamento dos parafusos:** Da figura 2-78 observa-se que a ligação é composta por  $n=8$  parafusos trabalhando em um plano de corte. Assim sendo, a força resistente dos parafusos na ligação é:

$$F_v R_d = n \left( \frac{0,4 A b \cdot f_{ub}}{\gamma a_2} \right) = 8 \left( \frac{0,4 \times 5,07 \times 82,5}{1,35} \right) = 991,5\text{kN} > 908,5\text{kN} \text{ (OK)}$$

- IV. **Dimensionamento da chapa de ligação:** Para o cálculo da resistência da chapa de ligação deve-se levar em conta que os furos dos parafusos são do tipo padrão com folga de 1,5mm. Considera-se também no dimensionamento, para o cálculo de seção líquida da chapa, que o processo de furação da chapa danifica o material. Este fato é levado em conta considerando um diâmetro fictício igual ao diâmetro do furo acrescido de 2,0mm.

- **Força axial de tração resistente de cálculo ( $N_t R_d$ ):** A figura 2-79 apresenta as dimensões da ligação.

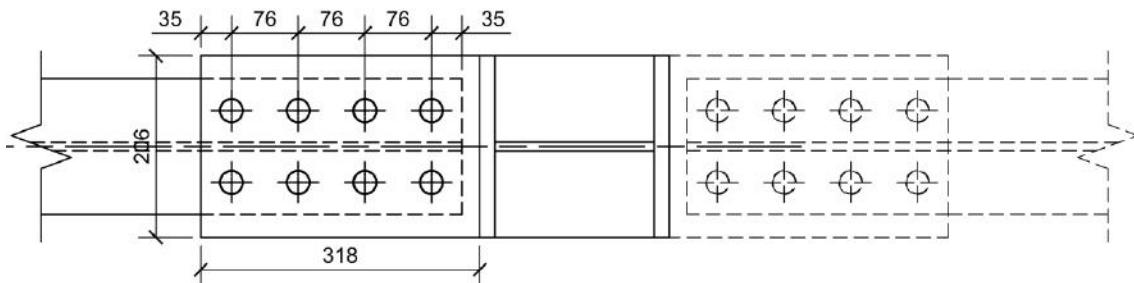


Figura 2-79 – Chapa de ligação – Dimensões em mm

- Para escoamento da seção bruta

$$A_g = 20,6\text{cm} \times 1,905\text{cm} = 39,24\text{cm}^2$$

$$N_t R_d = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma a_1} = \frac{39,24 \times 35}{1,1} = 1248,5\text{kN} > 908,5 \text{ (OK)}$$

Para ruptura da seção líquida

$$Ae = [20,6\text{cm} - 2x(2,54\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})]x 1,905\text{cm} = 28,23\text{cm}^2$$

$$NtRd = \frac{Ae.fu}{\gamma a2} = \frac{28,23 \times 45}{1,35} = 941\text{kN} > 908,5 (\text{OK})$$

- Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento (FrRd): A figura 2-80 apresenta a superfície verificada ao colapso.

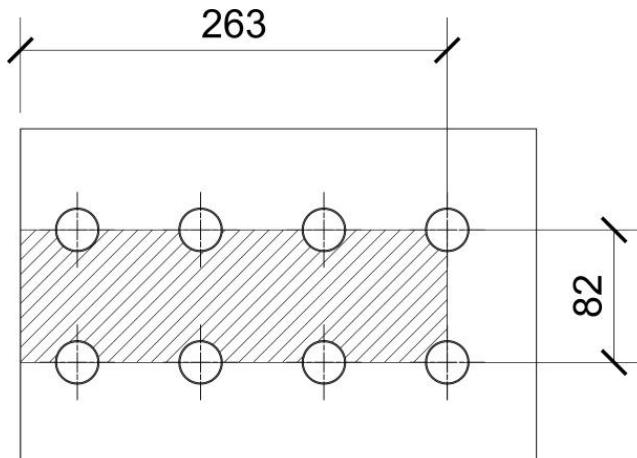


Figura 2-80 – Superfície de rasgamento considerada – Dimensões em mm

$$Agv = 2x(26,3\text{cm} \times 1,905\text{cm}) = 100,2\text{cm}^2$$

$$Anv = 2x[26,3\text{cm} - 3,5x(2,54\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 1,905\text{cm} = 61,67\text{cm}^2$$

$$Ant = [8,2\text{cm} - (2,54\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 1,905\text{cm} = 10,12\text{cm}^2$$

- Escoamento da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a2} (0,60fy, Agv + fu, Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} x (0,60 \times 35 \times 100,2 + 45 \times 10,12) = 1896\text{kN} > 908,5\text{kN} (\text{OK})$$

- Ruptura da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a2} (0,60fu. Anv + fu. Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} x (0,60 \times 45 \times 61,67 + 45 \times 10,12) = 1570\text{kN} > 908,5\text{kN} (\text{OK})$$

- Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo (FcRd): Para dimensões, ver figura 2-79.

- Parafusos de extremidade

$$n = 2 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 3,5\text{cm} - 0,5(2,54\text{cm} + 0,15\text{cm}) = 2,16\text{cm}$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2lf \cdot t.fu}{\gamma a2} \right) = 2 \times \left( \frac{1,2 \times 2,16 \times 1,905 \times 45}{1,35} \right) = 329,2kN$$

$$FcRd_2 = n \times \left( \frac{2,4\phi b \cdot t.fu}{\gamma a2} \right) = 2 \times \left( \frac{2,4 \times 2,54 \times 1,905 \times 45}{1,35} \right) = 774,2kN$$

$$FcRd = \text{menor valor } (FcRd_1, FcRd_2) = 329,2kN$$

- Parafusos internos

$$n = 6 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 7,6\text{cm} - (2,54\text{cm} + 0,15\text{cm}) = 4,91\text{cm}$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2lf \cdot t.fu}{\gamma a2} \right) = 6 \times \left( \frac{1,2 \times 4,91 \times 1,905 \times 45}{1,35} \right) = 2244kN$$

$$FcRd_2 = n \times \left( \frac{2,4\phi b \cdot t.fu}{\gamma a2} \right) = 6 \times \left( \frac{2,4 \times 2,54 \times 1,905 \times 45}{1,35} \right) = 2322kN$$

$$FcRd = \text{menor valor } (FcRd_1, FcRd_2) = 2244kN$$

- Resistência da ligação

$$FcRd = 329,2kN + 2244kN = 2573kN > 908,5kN (\text{OK})$$

V. **Dimensionamento do perfil de aço:** Para o cálculo da resistência leva-se em conta que os furos dos parafusos são do tipo padrão com folga de 1,5mm. Considera-se também no dimensionamento, para o cálculo de seção líquida da, que o processo de furação da chapa danifica o material. Este fato é levado em conta considerando um diâmetro fictício igual ao diâmetro do furo acrescido de 2,0mm.

- **Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento (FrRd):** A figura 2-79 apresenta a superfície verificada ao colapso.

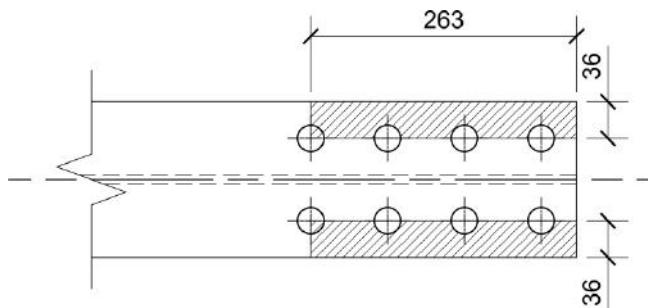


Figura 2-81 – Superfície de rasgamento considerada – Dimensões em mm

$$Agv = 2x(26,3\text{cm} \times 1,54\text{cm}) = 81,0\text{cm}^2$$

$$Anv = 2x[26,3\text{cm} - 3,5x(2,54\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 1,54\text{cm} = 49,85\text{cm}^2$$

$$Ant = 2x[3,6\text{cm} - 0,5(2,54\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 1,54\text{cm} = 6,64\text{cm}^2$$

- Escoamento da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a 2} (0,60fy \cdot Agv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 35 \times 81 + 45 \times 6,64) = 1481\text{kN} > 908,5\text{kN} (\text{OK})$$

- Ruptura da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a 2} (0,60fu \cdot Anv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 45 \times 49,85 + 45 \times 6,64) = 1218\text{kN} > 908,5\text{kN} (\text{OK})$$

- Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo (FcRd):

Para dimensões, ver figura 2-77.

- Parafusos de extremidade

$$n = 2 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 3,5\text{cm} - 0,5(2,54\text{cm} + 0,15\text{cm}) = 2,16\text{cm}$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2lf \cdot tf \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 2 \times \left( \frac{1,2 \times 2,16 \times 1,54 \times 45}{1,35} \right) = 266,1\text{kN}$$

$$FcRd_2 = n \left( \frac{2,4\phi b \cdot tf \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 2 \times \left( \frac{2,4 \times 2,54 \times 1,54 \times 45}{1,35} \right) = 625,8\text{kN}$$

$$FcRd = \text{menor valor } (FcRd_1, FcRd_2) = 266,1\text{kN}$$

- Parafusos internos

$$n = 6 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 7,6\text{cm} - (2,54\text{cm} + 0,15\text{cm}) = 4,91\text{cm}$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2lf \cdot tf \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 6 \times \left( \frac{1,2 \times 4,91 \times 1,54 \times 45}{1,35} \right) = 1814\text{kN}$$

$$FcRd_2 = n \left( \frac{2,4\phi b \cdot tf \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 6 \times \left( \frac{2,4 \times 2,54 \times 1,54 \times 45}{1,35} \right) = 1877\text{kN}$$

$$FcRd = \text{menor valor } (FcRd_1, FcRd_2) = 1814\text{kN}$$

- Resistência da ligação

$$FcRd = 266,1kN + 1814kN = 2080kN > 908,5kN (OK)$$

b) **Dimensionamento ao cortante:** A figura 2-82 apresenta as dimensões da ligação.

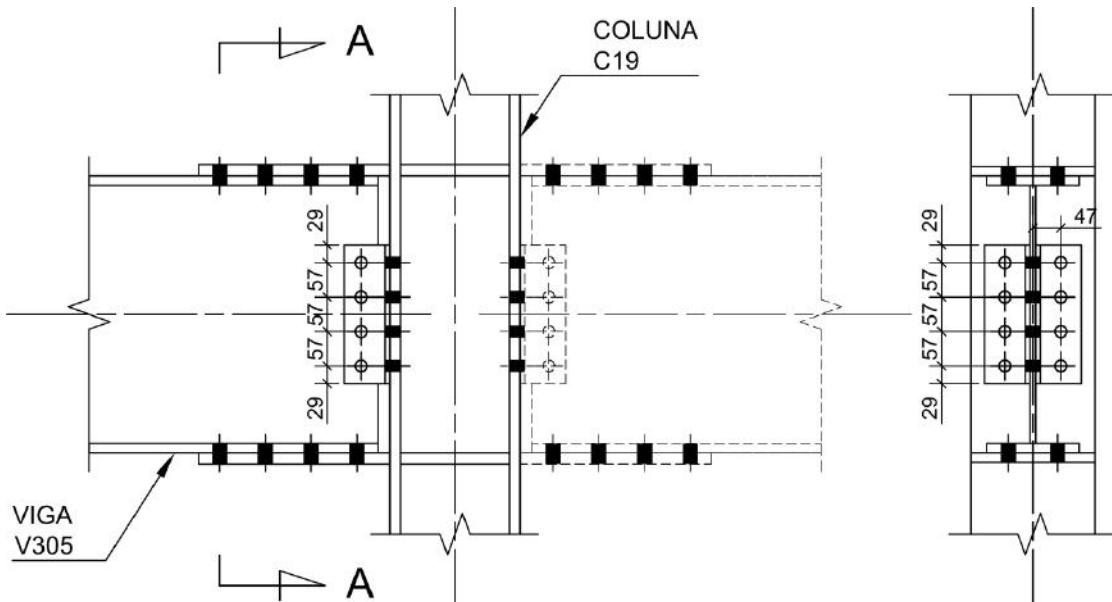


Figura 2-82 – Geometria da ligação – Dimensões em mm

### I. Materiais utilizados

#### Cantoneira (L76x9.1)

$$tf = 7,9\text{mm}$$

$$fy = 25,0\text{kN}/\text{cm}^2$$

$$fu = 40,0\text{kN}/\text{cm}^2$$

#### Parafusos

$$\phi b = \frac{3}{4}'' = 19,05\text{mm}$$

$$Ab = (\pi \cdot \phi b^2)/4 = 2,85\text{cm}^2$$

$$fub = 8,5 \text{ kN}/\text{cm}^2$$

### II. Solicitações de cálculo

$$V_{sd} = 377\text{kN} \text{ (ver figura 2-60)}$$

III. **Dimensionamento dos parafusos (ligação pela alma da viga):** Da figura 2-82 observa-se que a ligação é composta por  $n=4$  parafusos trabalhando em dois planos de corte. Assim sendo, a força resistente dos parafusos na ligação é:

$$F_{Vd} = n \left( \frac{0,4Ab, fub}{\gamma a2} \right) = 4 \times 2 \left( \frac{0,4 \times 2,85 \times 82,5}{1,35} \right) = 557,3\text{kN} > 377\text{kN} (OK)$$

**IV. Dimensionamento dos parafusos (ligação pela mesa da coluna):** Da figura 2-82 observa-se que a ligação é composta por n=8 parafusos trabalhando em um plano de corte com uma excentricidade de 47mm na ligação. Assim sendo, as forças de cálculo solicitante e resistente dos parafusos são:

- Cálculo da força solicitante considerando excentricidade (Fsd): Separando a ligação em dois lados, a força cortante no parafuso mais solicitado é:

$$Fv_{sd} = \frac{(377kN/2)}{4} = 47,13kN$$

$$M_{sd} = \frac{377kN}{2} \times 4,7cm = 886kN.cm$$

$$\sum r^2 = 2x\left(\frac{5,7cm}{2}\right)^2 + 2x\left(5,7cm + \frac{5,7cm}{2}\right)^2 = 162,45cm^2$$

$$r_{max} = 5,7cm + \frac{5,7cm}{2} = 8,55cm$$

$$F_{hsd} = \frac{Mvd.r}{\sum r^2} = \frac{886 \times 8,55}{162,45} = 45,58kN$$

$$Fsd = \sqrt{Fhd^2 + Fvd^2} = 65,56kN$$

- Cálculo da força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso (FvRd):

$$F_vRd = \frac{0,4Ab.fub}{\gamma a2} = \frac{0,4 \times 2,85 \times 82,5}{1,35} = 69,66kN > 65,56kN (OK)$$

**V. Dimensionamento da cantoneira:** Para o cálculo da resistência leva-se em conta que os furos dos parafusos são do tipo padrão com folga de 1,5mm. Considera-se também no dimensionamento, para o cálculo de seção líquida, que o processo de furação da chapa danifica o material. Este fato é levado em conta considerando um diâmetro fictício igual ao diâmetro do furo acrescido de 2,0mm. Como a geometria da ligação da cantoneira com a alma da viga e com a mesa da coluna são iguais, é apresentado a seguir um único dimensionamento.

- Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento (FrRd): A figura 2-83 apresenta a superfície verificada ao colapso.

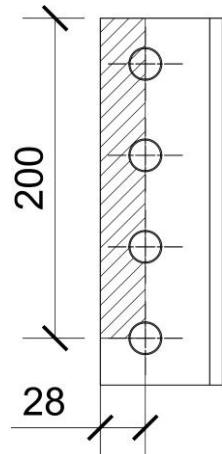


Figura 2-83 – Superfície de rasgamento considerada – Dimensões em mm

$$Agv = 20\text{cm} \times 0,79\text{cm} = 15,8\text{cm}^2$$

$$Anv = [20\text{cm} - 3,5x(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 0,79\text{cm} = 9,56\text{cm}^2$$

$$Ant = [2,8\text{cm} - 0,5x(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 0,79\text{cm} = 1,32\text{cm}^2$$

- Escoamento da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a2} (0,60fy \cdot Agv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 25 \times 15,8 + 40 \times 1,32) = 214,7\text{kN} > \frac{377\text{kN}}{2} (\text{OK})$$

- Ruptura da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a2} (0,60fu \cdot Anv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 40 \times 9,56 + 40 \times 1,32) = 209,1\text{kN} > \frac{377\text{kN}}{2} (\text{OK})$$

- Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo (FcRd):  
Para dimensões, ver figura 2-82.

- Parafusos de extremidade

$$n = 1 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 2,9\text{cm} - 0,5(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm}) = 1,87\text{cm}$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2lf \cdot tf \cdot fu}{\gamma a2} \right) = 1 \times \left( \frac{1,2 \times 1,87 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 52,53\text{kN}$$

$$FcRd_2 = n \left( \frac{2,4\phi b \cdot tf \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 1,0 \times \left( \frac{2,4 \times 1,905 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 107kN$$

$$FcRd = menor\ valor (FcRd_1, FcRd_2) = 52,53kN$$

- Parafusos internos

$$n = 3 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 5,7cm - (1,905cm + 0,15cm) = 3,65cm$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2lf \cdot tf \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 3 \times \left( \frac{1,2 \times 3,65 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 307,6kN$$

$$FcRd_2 = n \left( \frac{2,4\phi b \cdot tf \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 3 \times \left( \frac{2,4 \times 1,905 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 321,1kN$$

$$FcRd = menor\ valor (FcRd_1, FcRd_2) = 307,6kN$$

- Resistência da ligação

$$FcRd = 52,53kN + 307,6kN = 360,13kN > \frac{377kN}{2} \text{ (OK)}$$

## 2.5.6 Verificação dos deslocamentos máximos da estrutura

O anexo C da norma NBR 8800 [1], em sua tabela C.1, apresenta valores de deslocamento máximo que a estrutura deve atender. No caso de edifícios de dois ou mais pavimentos a norma limita o deslocamento horizontal do topo dos pilares em  $H/400$ , onde  $H$  é a altura total do pilar medida do topo à base, e o deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos em  $h/500$ , onde  $h$  é a altura do andar.

Analisando a figura 2-7, verificam-se as alturas  $h$  e  $H$ .

$$\begin{array}{lll} H = 940\text{cm} & \Rightarrow & \Delta H_{MAX} = H/400 = 1,88\text{cm} \\ h_1(\text{térreo} - \text{mezanino}) = 305\text{cm} & \Rightarrow & \Delta h_1_{MAX} = h_1/500 = 0,61\text{cm} \\ h_2(\text{mezanino} - 2^{\circ}\text{pav}) = 280\text{cm} & \Rightarrow & \Delta h_2_{MAX} = h_2/500 = 0,56\text{cm} \\ h_3(2^{\circ}\text{pav} - \text{cobertura}) = 355\text{cm} & \Rightarrow & \Delta h_3_{MAX} = h_3/500 = 0,71\text{cm} \end{array}$$

As figuras 2-84 e 2-85, a seguir, apresentam os máximos deslocamentos dos pavimentos nas direções longitudinal e transversal da edificação.

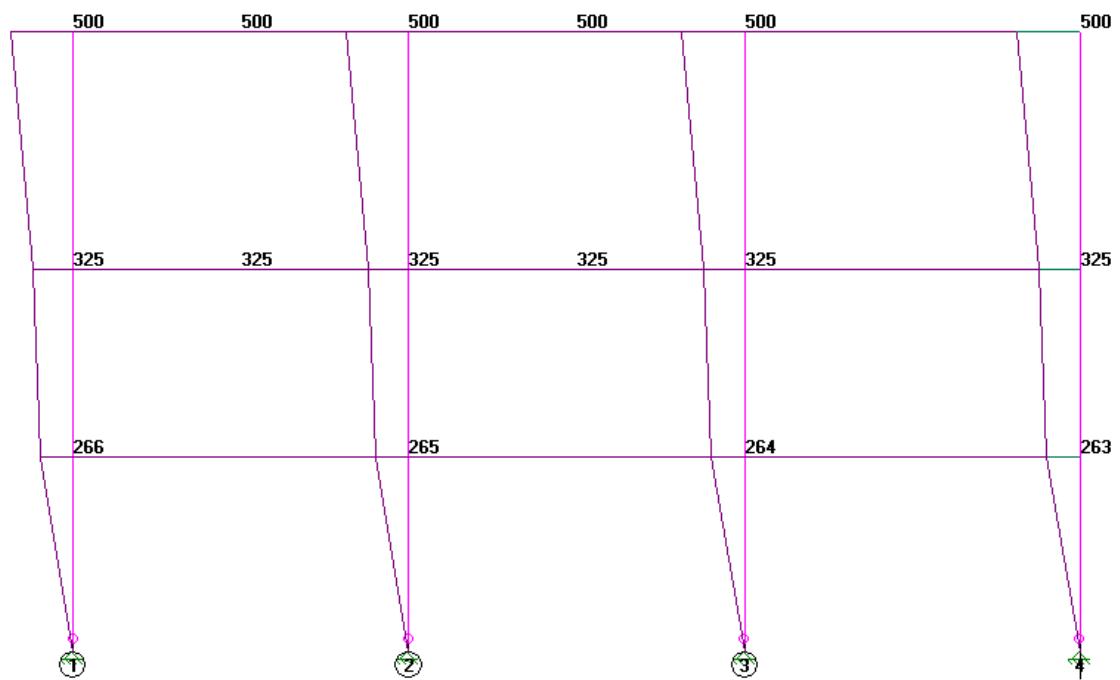


Figura 2-84 – Máximo deslocamento Dir.X – Eixo A (Longitudinal) – Valores estão  $10^3$  em cm

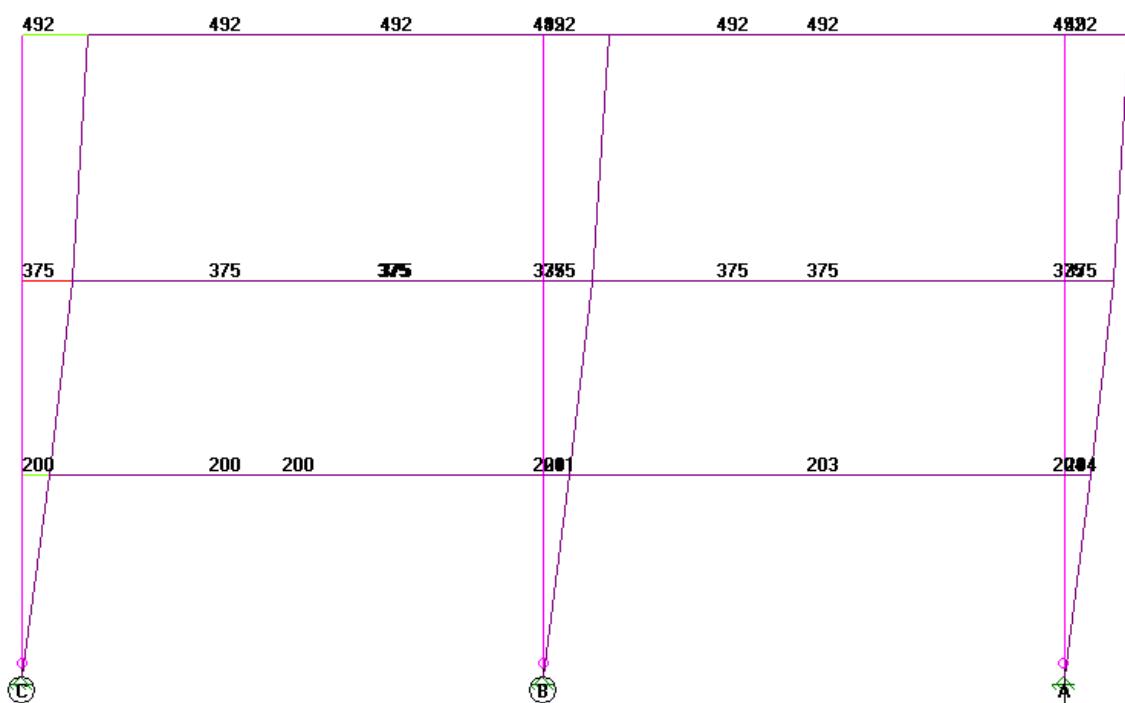


Figura 2-85 – Máximo deslocamento Dir.Y – Eixo 1 (Transversal) – Valores estão  $10^3$  em cm

### Direção X

$$\Delta H = 0,50\text{cm} - 0,00\text{cm} = 0,50\text{cm} < \Delta H_{MAX} (\text{OK})$$

$$\Delta h1 = 0,27\text{cm} - 0,00\text{cm} = 0,27\text{cm} < \Delta h1_{MAX} (\text{OK})$$

$$\Delta h2 = 0,33\text{cm} - 0,27\text{cm} = 0,06\text{cm} < \Delta h2_{MAX} (\text{OK})$$

$$\Delta h3 = 0,50\text{cm} - 0,33\text{cm} = 0,17\text{cm} < \Delta h3_{MAX} (\text{OK})$$

### Direção Y

$$\Delta H = 0,49\text{cm} - 0,00\text{cm} = 0,49\text{cm} < \Delta H_{MAX} (\text{OK})$$

$$\Delta h1 = 0,20\text{cm} - 0,00\text{cm} = 0,20\text{cm} < \Delta h1_{MAX} (\text{OK})$$

$$\Delta h2 = 0,38\text{cm} - 0,20\text{cm} = 0,18\text{cm} < \Delta h2_{MAX} (\text{OK})$$

$$\Delta h3 = 0,49\text{cm} - 0,38\text{cm} = 0,11\text{cm} < \Delta h3_{MAX} (\text{OK})$$

Da verificação apresentada acima, conclui-se que a estrutura atende aos limites máximos de deslocamentos horizontais da norma.

## **2.6 EXIGÊNCIAS DE RESISTÊNCIA AO FOGO (NBR14432)**

A norma NBR1442 [10] apresenta exigências mínimas de resistência ao fogo dos elementos construtivos da edificação. Estas exigências têm por objetivo garantir que a estrutura resista por um tempo suficiente em situação de incêndio, possibilitando a fuga dos ocupantes, realização das operações de combate ao incêndio e minimizar danos às estruturas adjacentes.

O laboratório Bioetanol, sendo um laboratório químico, a norma [10] classifica a ocupação do edifício como sendo industrial. Considerando a edificação do laboratório Bioetanol com altura total de dez metros, aproximadamente, a tabela A.1 da norma [10] exige que a estrutura resista em situação de incêndio por no mínimo sessenta minutos. Esta medida de tempo é tratada na norma como tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF).

A norma [10] apresenta diversas outras exigências e considerações aos elementos construtivos, baseadas em parâmetros como geometria da estrutura, carga de incêndio do pavimento e etc. Estas considerações não são abordadas neste trabalho, pois foge do escopo proposto, porém deve ser ressaltado que a avaliação da estrutura em situação de incêndio é requisito obrigatório na elaboração de projetos estruturais.

### **3 CONCLUSÃO**

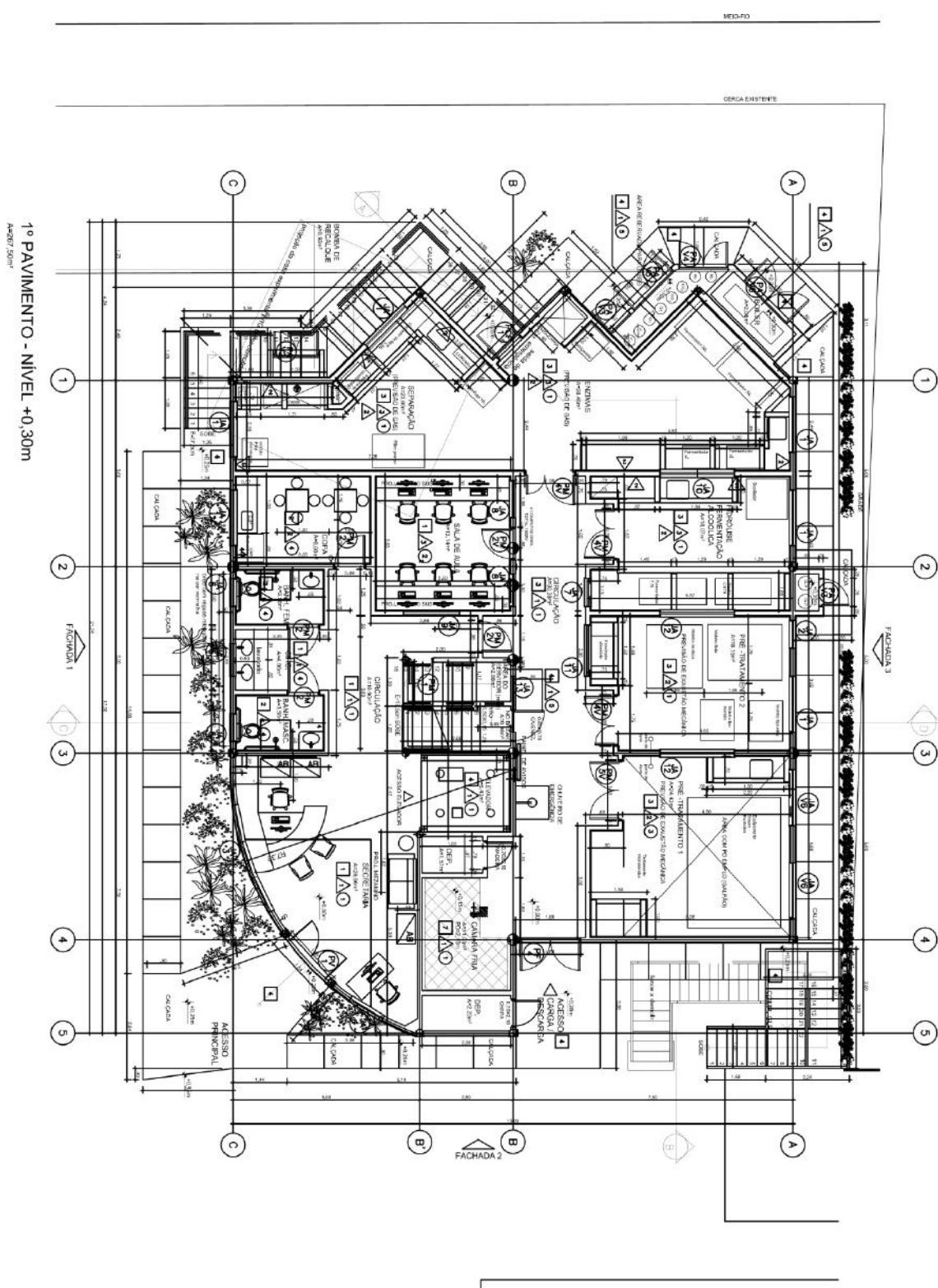
Ao longo do desenvolvimento do trabalho, observou-se que a remoção da coluna metálica C8 resultou na falha de alguns elementos estruturais, como foi o caso da viga mista V305 e da coluna metálica C19, nas verificações no ELU e ELS, devido ao aumento do vão e da carga, respectivamente. Como alternativa, foi proposta a revisão do perfil laminado da viga mista de um W460x52 para um W460x68 e da coluna metálica de um W200x52 para um W200x71, atendendo desta forma as verificações no ELU e ELS para a nova configuração da estrutura. A revisão representa acréscimo pouco significativo de consumo de material além de não interferir na arquitetura original da edificação.

#### **4 BIBLIOGRAFIA**

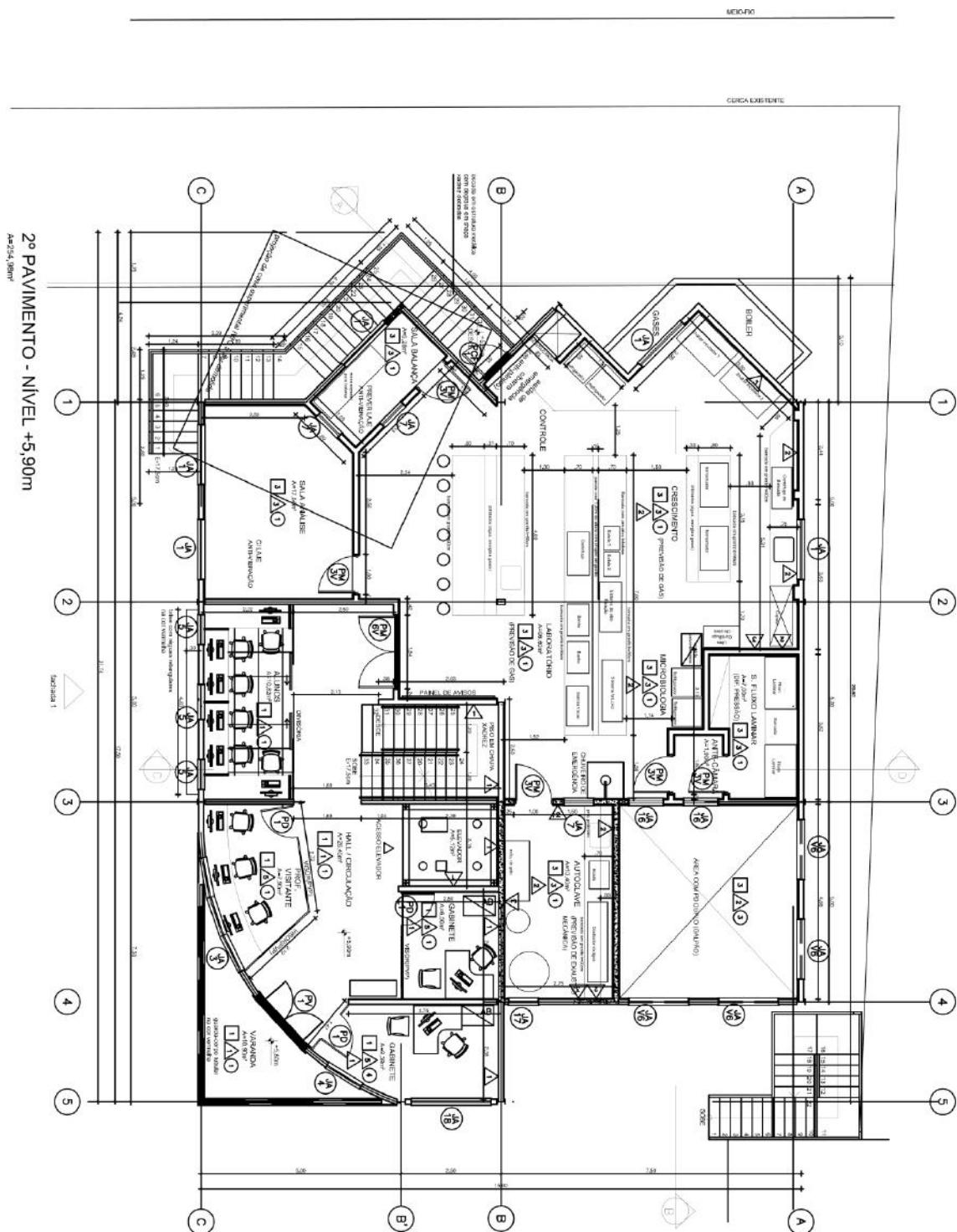
- [1] ABNT, NBR8800, **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.** 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.
- [2] ATIR Engineering Software, **STRAP V2009 – Structural Analysis Programs.** [S.I.:s.n]. Disponível em: <<http://www.atirsoft.com/>>. Acesso em: 25 junho. 2013, 18:40.
- [3] PTC Product & Service Advantage, **Mathcad V14.0.** [S.I.:s.n]. Disponível em: <<http://www.ptc.com/product/mathcad/>>. Acesso em: 26 julho. 2013, 16:49.
- [4] METFORM, **Steel Deck.** [S.I.:s.n]. Disponível em:  
<[http://www.metform.com.br/downloads.php?arquivo=material/steel\\_deck/dados\\_tecnicos/steel\\_deck\\_metform.pdf](http://www.metform.com.br/downloads.php?arquivo=material/steel_deck/dados_tecnicos/steel_deck_metform.pdf)>. Acesso em: 9 maio. 2013, 18:26.
- [5] GERDAU, **Tabela de Bitolas.** [S.I.:s.n]. Disponível em:  
<[http://www.comercialgerdau.com.br/produtos/download/tabela\\_bitolas.pdf](http://www.comercialgerdau.com.br/produtos/download/tabela_bitolas.pdf)>. Acesso em: 14 maio. 2013, 21:30.
- [6] ABNT, NBR6120, **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro, ABNT, 1980.
- [7] ABNT, NBR6123, **Forças devidas ao vento em edificações.** Rio de Janeiro, ABNT, 1988.
- [8] ABNT, NBR6118, **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** 1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.
- [9] Fisher, J. M. & Kloiber, L. A, **Base plate and anchor rod design. Steel Design Guide 1.** 2<sup>a</sup> ed. American Institute of Steel Construction, Chicago, 2006.
- [10] ABNT, NBR14432, **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento.** Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

## **ANEXO A – DESENHOS DE ARQUITETURA DO LABORATÓRIO BIOETANOL**

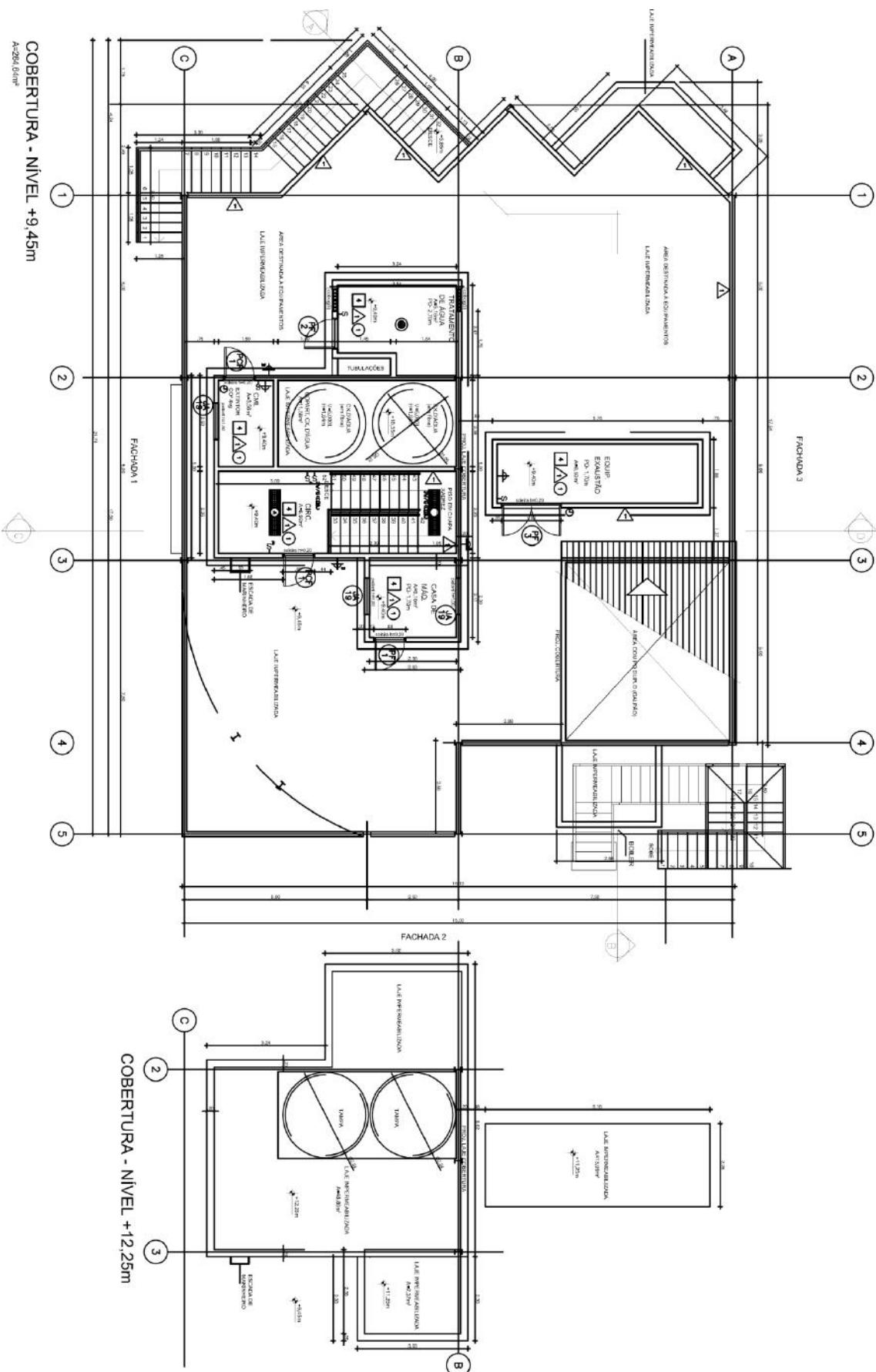
#### – Planta baixa do primeiro pavimento



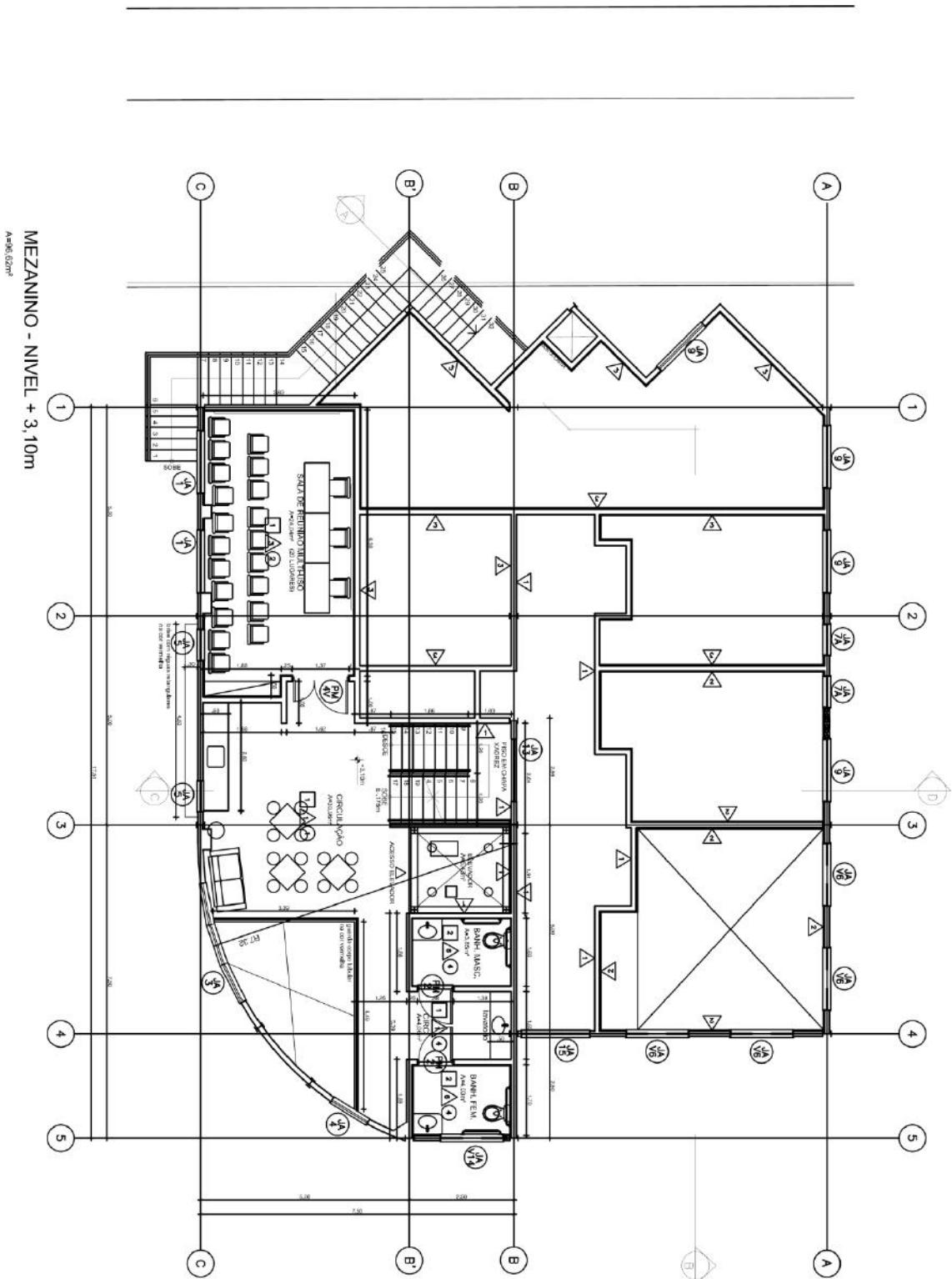
#### – Planta baixa do segundo pavimento



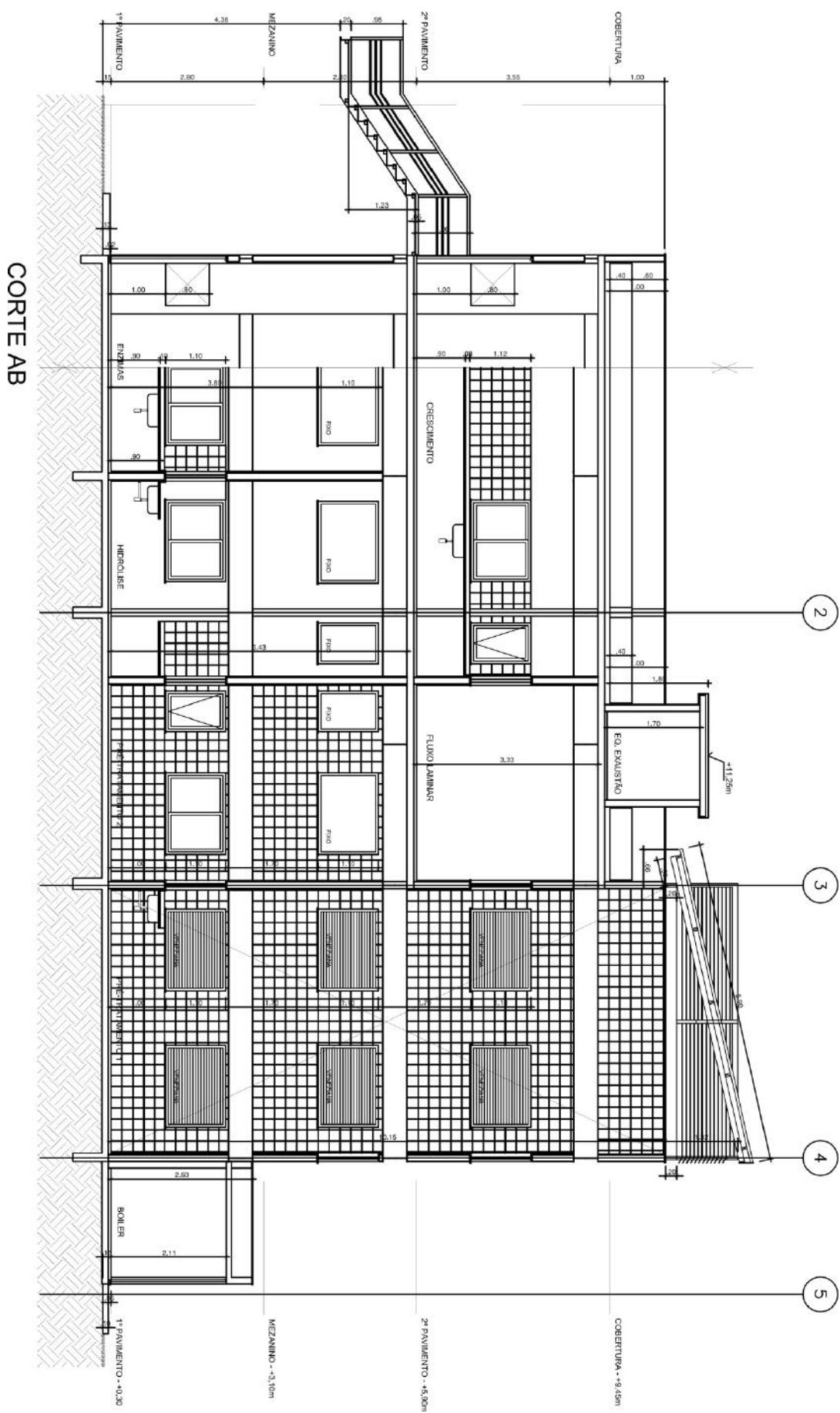
#### – Planta baixa da cobertura



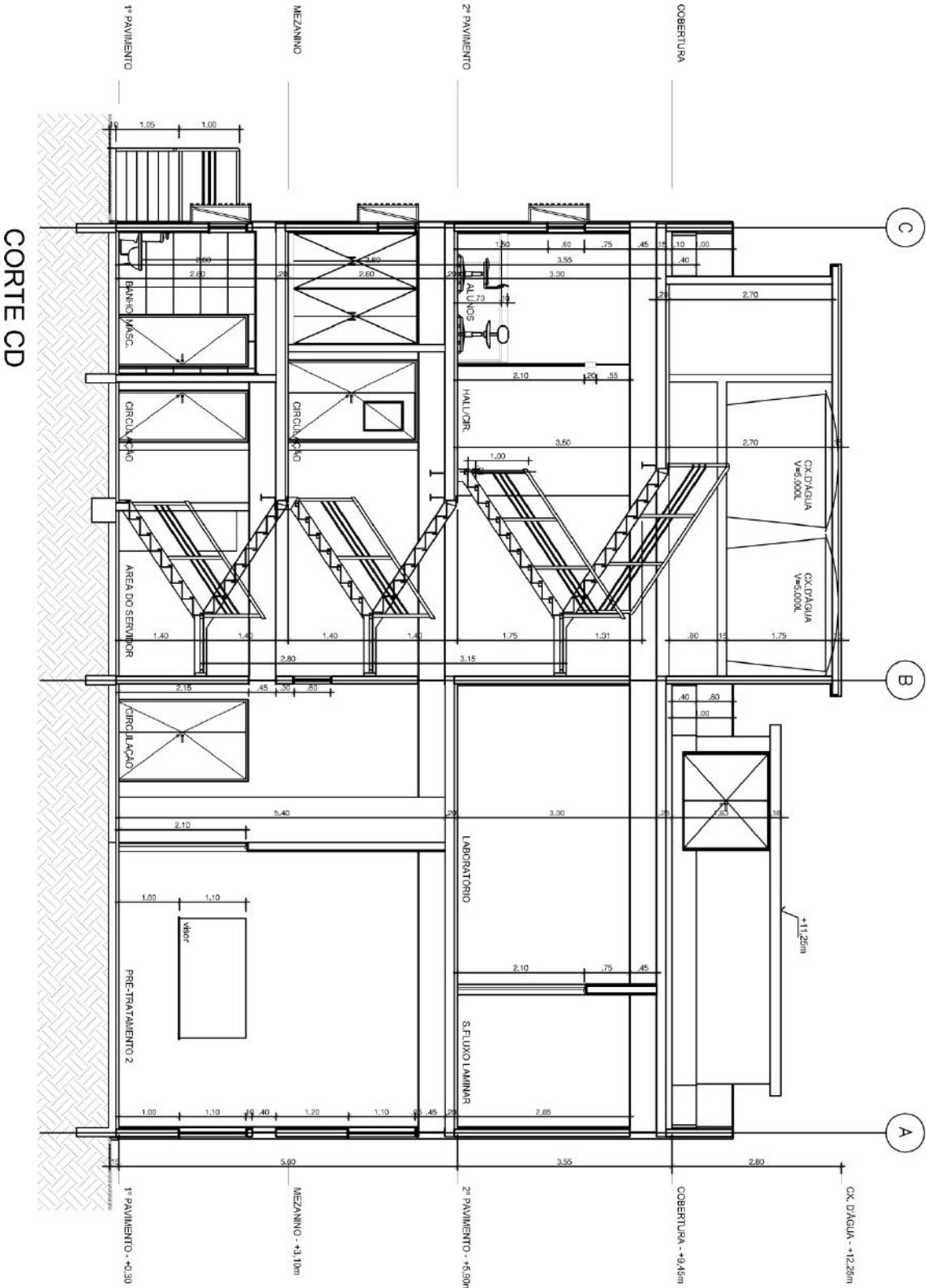
#### – Planta baixa do mezanino



- Corte AB

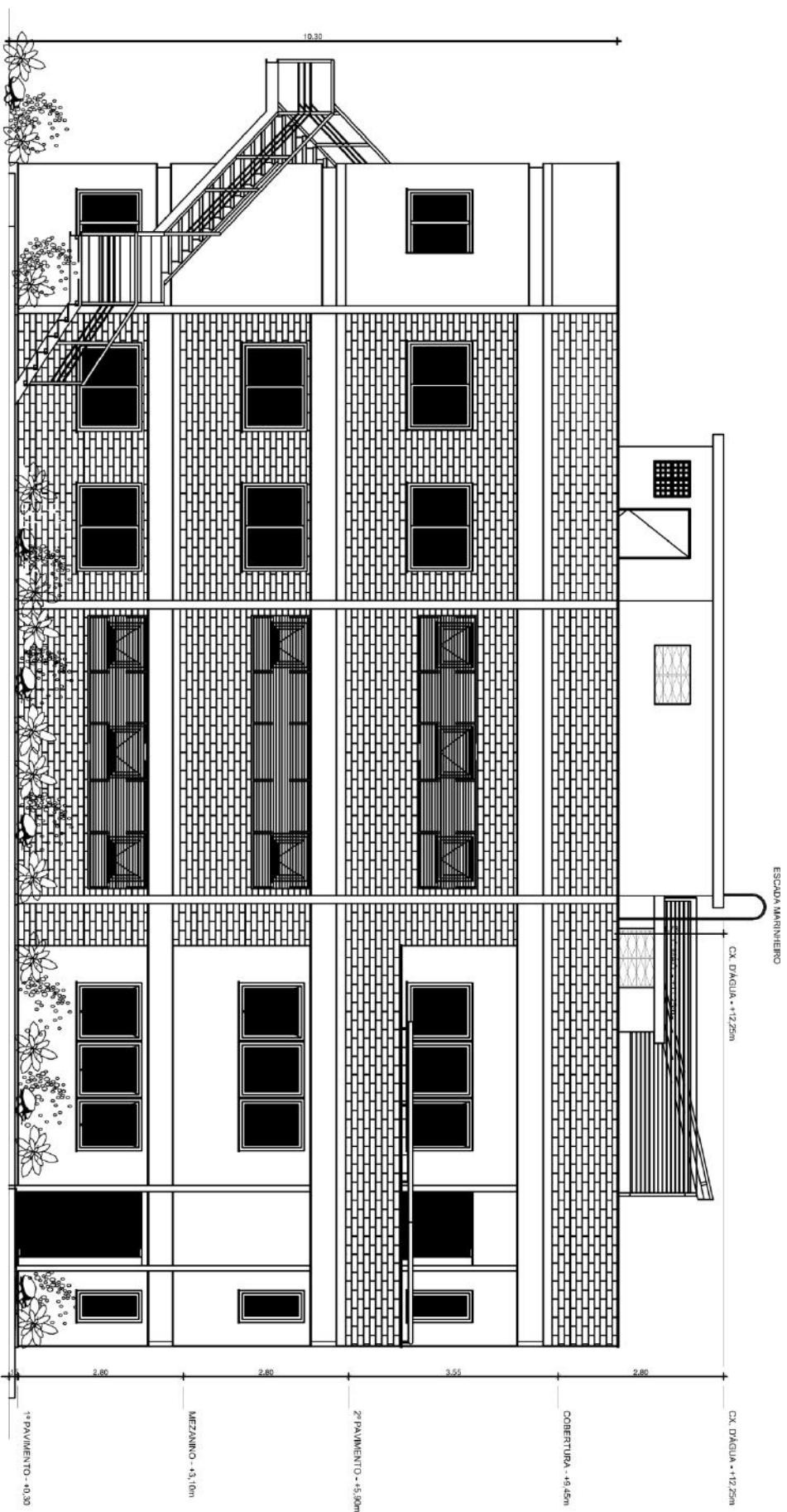


## – Corte CD



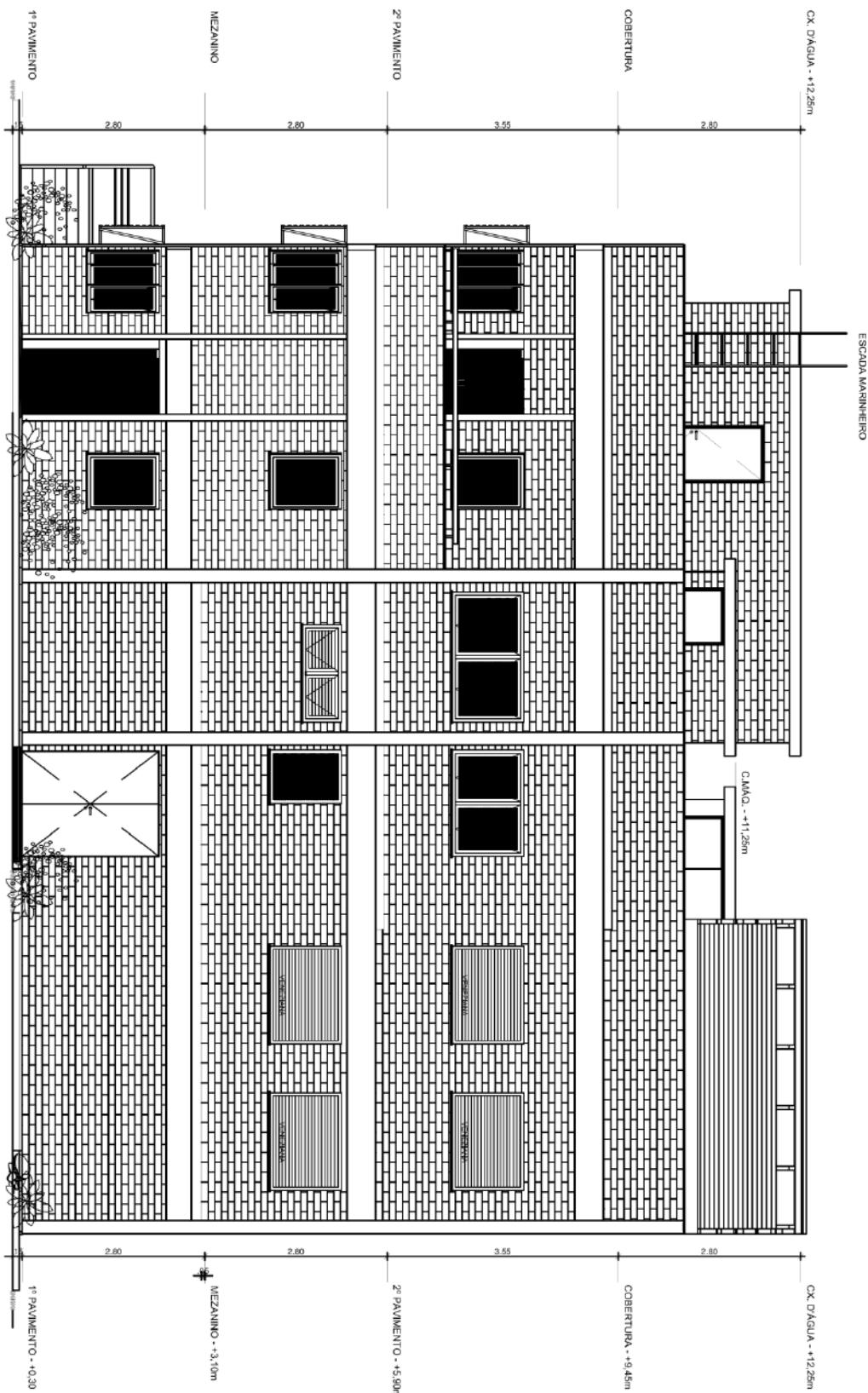
- Fachada 1

FACHADA 1

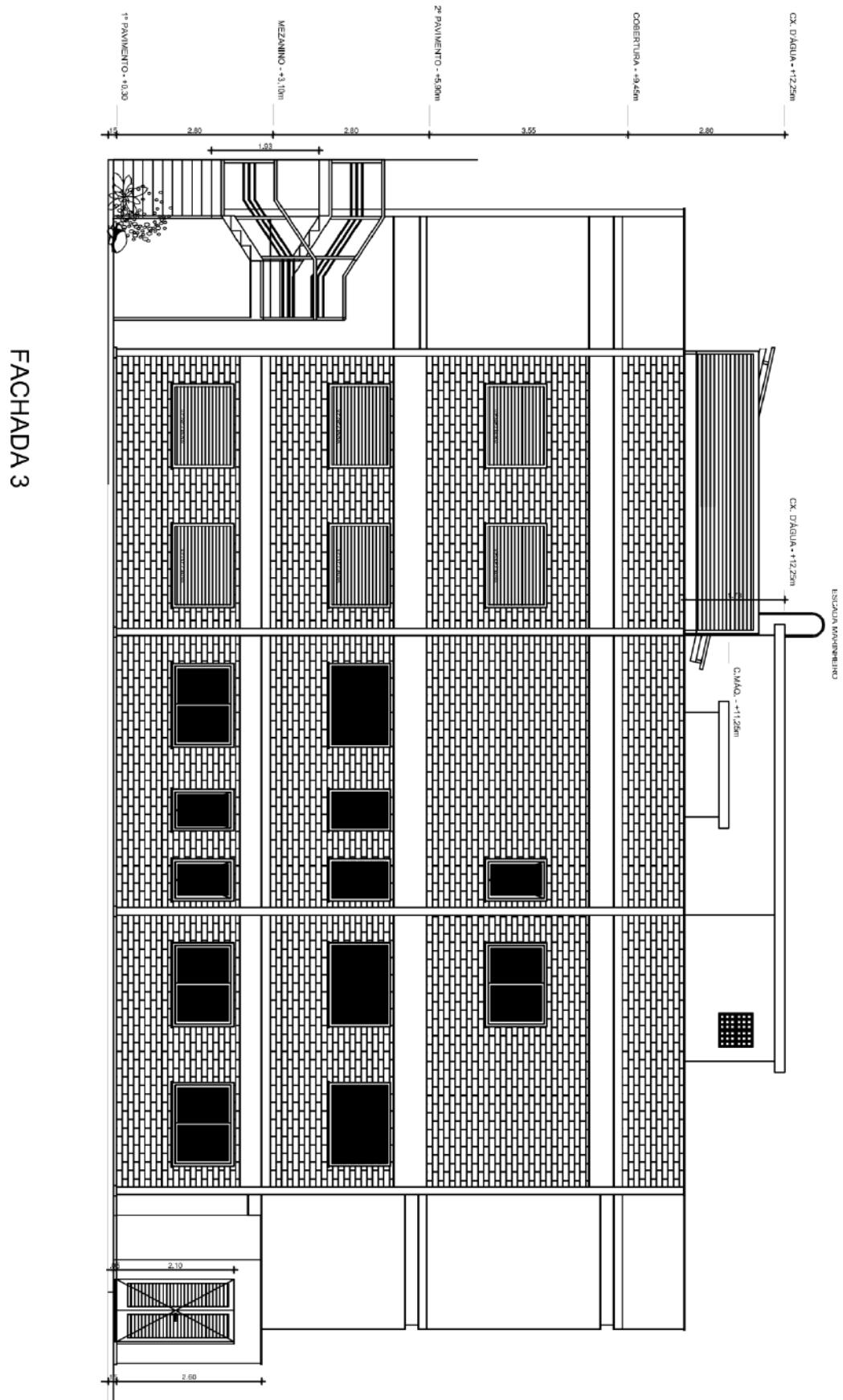


- Fachada 2

**FACHADA 2**



- Fachada 3



## **ANEXO B – MEMÓRIA DE CÁLCULO**

## B.1 – DIMENSIONAMENTO DAS COLUNAS METÁLICAS

É apresentado a seguir o dimensionamento das colunas metálicas para a combinação mais críticas nos trechos entre pavimentos.

### Coluna C19

#### c) Mezanino – 2º Pavimento:

- Combinação ELU – Md2max:

NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

#### I) Dados Iniciais

##### I.1) Materiais

###### ACO (PERFIL)

$$f_y := 350 \text{ MPa} \quad \gamma_{a1} := 1.1 \quad E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa} \quad \nu := 0.3$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa} \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 61538.46 \text{ MPa}$$

##### I.2) Perfil Metálico - W200x71.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
massa := 71 $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_0 := 10.2 \text{ mm}$	$t_f := 17.4 \text{ mm}$	$I_x := 7660 \text{ cm}^4$	$I_y := 2537 \text{ cm}^4$	$J_b := 81.7 \text{ cm}^4$
$d := 216 \text{ mm}$	$h_0 := 181 \text{ mm}$	$b_f := 206 \text{ mm}$	$W_x := 709.2 \text{ cm}^3$	$W_y := 246.3 \text{ cm}^3$	
$A_g := 91 \text{ cm}^2$	$h_w := 161 \text{ mm}$	$\lambda_M := 5.9$	$r_x := 9.17 \text{ cm}$	$r_y := 5.28 \text{ cm}$	
	$\lambda_A := 15.8$		$Z_x := 803.2 \text{ cm}^3$	$Z_y := 374.5 \text{ cm}^3$	

##### I.3) Parâmetros Necessários ao dimensionamento de peças comprimidas

EIXO DE INÉRCIA X	EIXO DE INÉRCIA Y	EIXO LONGITUDINAL Z	CENTRO DE CISALHAMENTO
$K_x := 1.0$	$K_y := 1.0$	$K_z := 1.0$	$x_0 := 0.00 \text{ cm}$
$L_x := 2.80 \text{ m}$	$L_y := 2.80 \text{ m}$	$L_z := 2.80 \text{ m}$	$y_0 := 0.00 \text{ cm}$

##### I.4) Parâmetros Necessários ao Cálculo do Estado limite FLT

$$L_b := 2.80 \text{ m} \quad M_{\max} := 92.1 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_A := 23 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_B := 5 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_C := 50 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

##### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{x,sd} := 92.1 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{y,sd} := 6.08 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd,\max} := 61.4 \text{ kN} \quad N_{sd} := 1220 \text{ kN}$$

NBR 8800:2008 - 5.3.4 - Limitação do índice de esbeltez

##### DIREÇÃO X

$$\frac{K_x \cdot L_x}{r_x} = 30.53$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_x} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{verificação\_índice\_esbeltez\_y} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_y \cdot L_y}{r_y} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

##### DIREÇÃO Y

$$\frac{K_y \cdot L_y}{r_y} = 53.03$$

verificação\\_índice\\_esbeltez\\_x = "VERIFICA"

verificação\\_índice\\_esbeltez\\_y = "VERIFICA"

---

**ANEXO E - Força axial de flambagem elástica e coeficiente de flambagem**

---

**E.1 - Valores da Força Axial de Flambagem Elástica**

---

**E.1.1 - Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto**

---

**II.1) Força Axial de Flambagem (Ne)****II.1.1) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal**

$$N_{ex} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad [N_{ex} = 15428.81 \cdot kN]$$

**II.1.2) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal**

$$N_{ey} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad [N_{ey} = 5110.04 \cdot kN]$$

**II.1.3) Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z**

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad [C_w = 250160.63 \cdot cm^6]$$
$$r_0 := \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2} \quad [r_0 = 10.58 \cdot cm]$$

$$N_{ez} := \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J_b \right] \quad [N_{ez} = 8990.52 \cdot kN]$$

**II.1.4) Força axial de flambagem (Ne)**

$$Ne := \min(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}) \quad [Ne = 5110.04 \cdot kN]$$

---

**ANEXO F - Flambagem local de barras axialmente comprimidas**

---

**F.2 - Elementos comprimidos AL**

---

**III.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AL (Qs) - GRUPO 4 - TABELA F.1****III.1.1) Cálculo dos valores limites de esbeltez ( $\lambda_{inf}$  e  $\lambda_{sup}$ )**

$$\lambda_{inf} := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{inf} = 11.97]$$

$$\lambda_{sup} := 1.03 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{sup} = 22.02]$$

**III.1.2) Esbeltez da mesa ( $\lambda$ )**

$$b := \frac{bf}{2} \quad [b = 10.30 \cdot cm]$$

$$t := tf \quad [t = 1.74 \cdot cm]$$

$$\lambda := \frac{b}{t} \quad [\lambda = 5.92]$$

### III.1.3) Fator de redução de flambagem local de elementos AL (Q<sub>s</sub>)

$$Q_s := \begin{cases} 1.00 & \text{if } \lambda \leq \lambda_{\inf} \\ \left( 1.415 - 0.74 \cdot \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \right) & \text{if } \lambda_{\inf} < \lambda \leq \lambda_{\sup} \\ \left[ \frac{0.69 \cdot E}{f_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} \right] & \text{if } \lambda > \lambda_{\sup} \end{cases}$$

Q<sub>s</sub> = 1.00

### F.3 - Elementos comprimidos AA

#### IV.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>) - GRUPO 2 - TABELA F.1

$$b := h_w \quad \boxed{b = 16.10 \cdot \text{cm}}$$

$$t := t_f \quad \boxed{t = 1.74 \cdot \text{cm}}$$

# Conservadoramente adota-se:  $\sigma := f_y$

#### IV.1.1) Cálculo da largura efetiva e área efetiva (bef e Aef)

$$bef := \min \left[ 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[ 1 - \frac{0.34}{\left( \frac{b}{t} \right)} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right], b \right] \quad \boxed{bef = 15.31 \cdot \text{cm}}$$

$$Aef := Ag - (b - bef) \cdot t \quad \boxed{Aef = 89.63 \cdot \text{cm}^2}$$

#### IV.1.2) Fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>)

$$Q_a := \frac{Aef}{Ag} \quad \boxed{Q_a = 0.98}$$

### NBR 8800:2008 - 5.3 - Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão

#### V.1) Força axial resistente de cálculo

##### V.1.1) Fator de redução de flambagem local total (Q)

$$Q := Q_s \cdot Q_a \quad \boxed{Q = 0.98}$$

##### V.1.2) Cálculo do índice de esbeltez reduzido ( $\lambda_0$ )

$$\lambda_0 := \sqrt{\frac{Q \cdot Ag \cdot f_y}{N_e}} \quad \boxed{\lambda_0 = 0.78}$$

##### V.1.3) Fator de Redução $\chi$

$$\chi := \begin{cases} 0.658 \frac{\lambda_0^2}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 \leq 1.5 \\ \frac{0.877}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 > 1.5 \end{cases} \quad \boxed{\chi = 0.77}$$

#### V.1.4) Força axial resistente de cálculo (NcRd)

$$N_{c,Rd} := \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad N_{c,Rd} = 2205.60 \text{ kN}$$

#### G.2 - Momento Fletor Resistente de Cálculo

##### G.2.1 - Flambagem Lateral com Torção - Estado Limite FLT

###### II.1) Classificação da viga quanto a FLT

###### II.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLT} := 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p,FLT} = 37.63$$

###### II.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$C_b := \min \left( 3.0, \frac{12.5 \cdot M_{max}}{2.5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \right) \quad C_b = 2.45$$

$$\beta_1 := \frac{(f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x}{E \cdot J_b} \quad \beta_1 = 1.33 \frac{1}{m}$$

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad C_w = 250160.63 \cdot \text{cm}^6$$

$$\lambda_{r,FLT} := \frac{1.38 \cdot \sqrt{J_y \cdot J_b}}{r_y \cdot J_b \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} \quad \lambda_{r,FLT} = 162.99$$

###### II.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLT} := \frac{L_b}{r_y} \quad \lambda_{FLT} = 53.03$$

###### II.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLT} := \begin{cases} \text{"VIGA CURTA"} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"} & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \text{"VIGA LONGA"} & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases} \quad \text{classificação}_{FLT} = \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"}$$

###### II.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLT

$$M_{pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{pl} = 281.12 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := (f_y - 0.3f_y) \cdot W_x \quad M_r = 173.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{cr} := \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left( 1 + 0.039 \cdot \frac{J_b \cdot L_b^2}{C_w} \right)} \quad M_{cr} = 1759.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd,FLT} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \min \left[ \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLT} - \lambda_{p,FLT})}{(\lambda_{r,FLT} - \lambda_{p,FLT})} \right], \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases}$$

$M_{rd,FLT} = 255.56 \cdot kN \cdot m$

#### G.2.1 - Flambagem Local da Alma - Estado Limite FLA

##### III.1) Classificação da viga quanto a FLA

###### III.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p,FLA} = 80.39$$

###### III.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r,FLA} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{r,FLA} = 121.87$$

###### III.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez

$$\lambda_{FLA} := \lambda_A \quad \lambda_{FLA} = 15.80$$

###### III.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLA} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

$\text{classificação}_{FLA} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$

##### III.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLA

###### III.2.1) Eixo de inércia X

$$M_{x,pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{x,pl} = 281.12 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{x,r} := f_y \cdot W_x \quad M_{x,r} = 248.22 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{xd,FLA} := \begin{cases} \frac{M_{x,pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[ M_{x,pl} - (M_{x,pl} - M_{x,r}) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{p,FLA})}{(\lambda_{r,FLA} - \lambda_{p,FLA})} \right], \left( \frac{M_{x,pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

$M_{xd,FLA} = 255.56 \cdot kN \cdot m$

###### III.2.2) Eixo de inércia Y

$$M_{y,pl} := Z_y \cdot f_y \quad M_{y,pl} = 131.08 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{y,r} := f_y \cdot W_y \quad M_{y,r} = 86.21 \cdot kN \cdot m$$

$$My_{rdFLA} := \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{pFLA} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ My_{pl} - \left( My_{pl} - My_r \right) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})} \right], \left( \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{pFLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{rFLA} \\ "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{rFLA} \end{cases}$$

$My_{rdFLA} = 119.16 \cdot kN \cdot m$

#### **G.2.1 - Flambagem Local da Mesa Comprimida - Estado Limite FLM**

##### IV.1) Classificação da viga quanto a FLM

###### IV.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{pFLM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{pFLM} = 8.12}$$

###### IV.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{rFLM} := 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - 0.3f_y)}} \quad \boxed{\lambda_{rFLM} = 21.21}$$

###### IV.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLM} := \lambda_M \quad \boxed{\lambda_{FLM} = 5.90}$$

###### IV.1.4) Classificação da seção

$$classificação_{FLM} := \begin{cases} "SEÇÃO COMPACTA" & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{pFLM} \\ "SEÇÃO SEMI-COMPACTA" & \text{if } \lambda_{pFLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{rFLM} \\ "SEÇÃO ESBELTA" & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{rFLM} \end{cases}$$

$classificação_{FLM} = "SEÇÃO COMPACTA"$

##### IV.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLM

###### IV.2.1) Eixo de inércia X

$$Mx_{pl} := Zx \cdot f_y \quad \boxed{Mx_{pl} = 281.12 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_r := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot Wx \quad \boxed{Mx_r = 173.75 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_{cr} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{FLM}^2} \cdot Wx \quad \boxed{Mx_{cr} = 2249.23 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_{rdFLM} := \begin{cases} \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{pFLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ Mx_{pl} - \left( Mx_{pl} - Mx_r \right) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{pFLM})}{(\lambda_{rFLM} - \lambda_{pFLM})} \right], \left( \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{pFLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{rFLM} \\ \min\left[\left( \frac{Mx_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{rFLM} \end{cases}$$

$Mx_{rdFLM} = 255.56 \cdot kN \cdot m$

###### IV.2.2) Eixo de inércia Y

$$My_{pl} := Zy \cdot f_y \quad \boxed{My_{pl} = 131.08 \cdot kN \cdot m}$$

$$My_r := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot Wy$$

$$My_r = 60.34 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$My_{cr} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{FLM}^2} \cdot Wy$$

$$My_{cr} = 781.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\begin{aligned} My_{rd,FLM} &:= \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{al}} \cdot \left[My_{pl} - (My_{pl} - My_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})}\right], \left(\frac{My_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left(\frac{My_{cr}}{\gamma_{al}}\right), \left(\frac{My_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases} \\ My_{rd,FLM} &= 119.16 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$My_{rd,FLM} = 119.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### Momento Fletor Resistente de Cálculo (Mrd)

$$Mx_{rd} := \begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(Mrd_{FLT}, Mx_{rd,FLA}, Mx_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mx_{rd} = 255.56 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$My_{rd} := \begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(My_{rd,FLA}, My_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad My_{rd} = 119.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo

##### V) Força Cortante Resistente de Cálculo

###### V.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{l,V}$ )

$$\lambda_A = 15.80 \quad \lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} = 52.59$$

$$\text{verificação\_fl}_V := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{verificação\_fl}_V = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$$

###### VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$Aw := d \cdot t_0 \quad Aw = 22.03 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} := 0.60 \cdot Aw \cdot f_y \quad V_{pl} = 462.67 \text{ kN}$$

###### VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} \quad V_{rd} = 420.61 \text{ kN}$$

#### Verificação no Estado Limite Último (ELU)

#### NBR 8800:2008 - 5.5 - Barras prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes

VI.1) Atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores

VI.1.1) Relação Nsd/Nrd

$$\frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} = 0.55$$

V.1.2) Equação de Interação

$$\text{interação} := \begin{cases} \left[ \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_{x, sd}}{M_{x, rd}} + \frac{M_{y, sd}}{M_{y, rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} \geq 0.2 \\ \left[ \frac{N_{sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left( \frac{M_{x, sd}}{M_{x, rd}} + \frac{M_{y, sd}}{M_{y, rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} < 0.2 \end{cases}$$

interação = 0,92

V.1.2) Verificação da equação de interação

$$\text{verificação\_interação} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{interação} \leq 1.0 \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_interação = "VERIFICA"

---

**Verificação ao cortante**

---

$$\text{verificação\_V}_{\max} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd,\max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_V\_max = "VERIFICA"

**d) 2º Pavimento – 3º Pavimento:**

- Combinação ELU – Md2max:

**NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**

I) Dados Iniciais

I.1) Materiais

ACO (PERFIL)

$$f_y := 350 \text{ MPa} \quad \gamma_a := 1.1 \quad E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa} \quad \nu := 0.3$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_a} = 318.18 \text{ MPa} \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 61538.46 \text{ MPa}$$

I.2) Perfil Metálico - W200x71.0

<u>GERAL</u>	<u>ALMA</u>	<u>MESA</u>	<u>EIXO X</u>	<u>EIXO Y</u>	<u>TORÇÃO</u>
massa := 71 $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	t <sub>0</sub> := 10.2mm	t <sub>f</sub> := 17.4mm	I <sub>x</sub> := 7660 $\text{cm}^4$	I <sub>y</sub> := 2537 $\text{cm}^4$	J <sub>b</sub> := 81.7 $\text{cm}^4$
d := 216mm	h <sub>0</sub> := 181mm	b <sub>f</sub> := 206mm	W <sub>x</sub> := 709.2 $\text{cm}^3$	W <sub>y</sub> := 246.3 $\text{cm}^3$	
A <sub>g</sub> := 91 $\text{cm}^2$	h <sub>w</sub> := 161mm	$\lambda_M$ := 5.9	r <sub>x</sub> := 9.17cm	r <sub>y</sub> := 5.28cm	
		$\lambda_A$ := 15.8	Z <sub>x</sub> := 803.2 $\text{cm}^3$	Z <sub>y</sub> := 374.5 $\text{cm}^3$	

I.3) Parâmetros Necessários ao dimensionamento de peças comprimidas

<u>EIXO DE INÉRCIA X</u>	<u>EIXO DE INÉRCIA Y</u>	<u>EIXO LONGITUDINAL Z</u>	<u>CENTRO DE CISALHAMENTO</u>
K <sub>x</sub> := 1.0	K <sub>y</sub> := 1.0	K <sub>z</sub> := 1.0	x <sub>0</sub> := 0.00cm
L <sub>x</sub> := 3.55m	L <sub>y</sub> := 3.55m	L <sub>z</sub> := 3.55m	y <sub>0</sub> := 0.00cm

I.4) Parâmetros Necessários ao Cálculo do Estado limite FLT

$$L_b := 3.55 \text{ m} \quad M_{\max} := 96.6 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_A := 38 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_B := 0 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_C := 50 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{x,sd} := 96.6 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{y,sd} := 9.28 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd,\max} := 53.4 \text{ kN} \quad N_{sd} := 813 \text{ kN}$$

**NBR 8800:2008 - 5.3.4 - Limitação do índice de esbeltez**

DIREÇÃO X

$$\frac{K_x \cdot L_x}{r_x} = 38.71$$

DIREÇÃO Y

$$\frac{K_y \cdot L_y}{r_y} = 67.23$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_x} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{verificação\_índice\_esbeltez\_y} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_y \cdot L_y}{r_y} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_índice\\_esbeltez\\_x = "VERIFICA"

verificação\\_índice\\_esbeltez\\_y = "VERIFICA"

---

**ANEXO E - Força axial de flambagem elástica e coeficiente de flambagem**

---

**E.1 - Valores da Força Axial de Flambagem Elástica**

---

**E.1.1 - Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto**

---

**II.1) Força Axial de Flambagem (Ne)****II.1.1) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal**

$$N_{ex} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad [N_{ex} = 9598.24 \cdot kN]$$

**II.1.2) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal**

$$N_{ey} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad [N_{ey} = 3178.95 \cdot kN]$$

**II.1.3) Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z**

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad [C_w = 250160.63 \cdot \text{cm}^6]$$

$$r_0 := \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2} \quad [r_0 = 10.58 \cdot \text{cm}]$$

$$N_{ez} := \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J_b \right] \quad [N_{ez} = 7289.89 \cdot kN]$$

**II.1.4) Força axial de flambagem (Ne)**

$$N_e := \min(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}) \quad [N_e = 3178.95 \cdot kN]$$

---

**ANEXO F - Flambagem local de barras axialmente comprimidas**

---

**F.2 - Elementos comprimidos AL**

---

**III.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AL (Qs) - GRUPO 4 - TABELA F.1****III.1.1) Cálculo dos valores limites de esbeltez ( $\lambda_{inf}$  e  $\lambda_{sup}$ )**

$$\lambda_{inf} := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{inf} = 11.97]$$

$$\lambda_{sup} := 1.03 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{sup} = 22.02]$$

**III.1.2) Esbeltez da mesa ( $\lambda$ )**

$$b := \frac{bf}{2} \quad [b = 10.30 \cdot \text{cm}]$$

$$t := tf \quad [t = 1.74 \cdot \text{cm}]$$

$$\lambda := \frac{b}{t} \quad [\lambda = 5.92]$$

### III.1.3) Fator de redução de flambagem local de elementos AL (Q<sub>s</sub>)

$$Q_s := \begin{cases} (1.00) & \text{if } \lambda \leq \lambda_{\inf} \\ \left( 1.415 - 0.74 \cdot \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \right) & \text{if } \lambda_{\inf} < \lambda \leq \lambda_{\sup} \\ \left[ \frac{0.69 \cdot E}{f_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} \right] & \text{if } \lambda > \lambda_{\sup} \end{cases}$$

Q<sub>s</sub> = 1.00

### **F.3 - Elementos comprimidos AA**

#### IV.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>) - GRUPO 2 - TABELA F.1

$$b := h_w \quad \boxed{b = 16.10 \cdot \text{cm}}$$

$$t := t_f \quad \boxed{t = 1.74 \cdot \text{cm}}$$

# Conservadoramente adota-se:  $\sigma := f_y$

#### IV.1.1) Cálculo da largura efetiva e área efetiva (bef e Aef)

$$bef := \min \left[ 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[ 1 - \frac{0.34}{\left( \frac{b}{t} \right)} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right], b \right] \quad \boxed{bef = 15.31 \cdot \text{cm}}$$

$$Aef := A_g - (b - bef) \cdot t \quad \boxed{Aef = 89.63 \cdot \text{cm}^2}$$

#### IV.1.2) Fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>)

$$Q_a := \frac{Aef}{A_g} \quad \boxed{Q_a = 0.98}$$

**NBR 8800:2008 - 5.3 - Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão**

### V.1) Força axial resistente de cálculo

#### V.1.1) Fator de redução de flambagem local total (Q)

$$Q := Q_s \cdot Q_a \quad \boxed{Q = 0.98}$$

#### V.1.2) Cálculo do índice de esbeltez reduzido ( $\lambda_0$ )

$$\lambda_0 := \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} \quad \boxed{\lambda_0 = 0.99}$$

#### V.1.3) Fator de Redução $\chi$

$$\chi := \begin{cases} 0.658 \frac{\lambda_0^2}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 \leq 1.5 \\ \frac{0.877}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 > 1.5 \end{cases} \quad \boxed{\chi = 0.66}$$

#### V.1.4) Força axial resistente de cálculo (NcRd)

$$N_{c,Rd} := \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad N_{c,Rd} = 1886.87 \text{ kN}$$

#### G.2 - Momento Fletor Resistente de Cálculo

##### G.2.1 - Flambagem Lateral com Torção - Estado Limite FLT

###### II.1) Classificação da viga quanto a FLT

###### II.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLT} := 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p,FLT} = 37.63$$

###### II.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$C_b := \min \left( 3.0, \frac{12.5 \cdot M_{max}}{2.5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \right) \quad C_b = 2.39$$

$$\beta_1 := \frac{(f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x}{E \cdot J_b} \quad \beta_1 = 1.33 \frac{1}{m}$$

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad C_w = 250160.63 \cdot \text{cm}^6$$

$$\lambda_{r,FLT} := \frac{1.38 \cdot \sqrt{J_y \cdot J_b}}{r_y \cdot J_b \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} \quad \lambda_{r,FLT} = 162.99$$

###### II.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLT} := \frac{L_b}{r_y} \quad \lambda_{FLT} = 67.23$$

###### II.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLT} := \begin{cases} \text{"VIGA CURTA"} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"} & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \text{"VIGA LONGA"} & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases} \quad \text{classificação}_{FLT} = \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"}$$

###### II.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLT

$$M_{pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{pl} = 281.12 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := (f_y - 0.3f_y) \cdot W_x \quad M_r = 173.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{cr} := \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left( 1 + 0.039 \cdot \frac{J_b \cdot L_b^2}{C_w} \right)} \quad M_{cr} = 1217.08 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd,FLT} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \min \left[ \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLT} - \lambda_{p,FLT})}{(\lambda_{r,FLT} - \lambda_{p,FLT})} \right], \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases}$$

$M_{rd,FLT} = 255.56 \cdot kN \cdot m$

#### G.2.1 - Flambagem Local da Alma - Estado Limite FLA

##### III.1) Classificação da viga quanto a FLA

###### III.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p,FLA} = 80.39$$

###### III.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r,FLA} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{r,FLA} = 121.87$$

###### III.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez

$$\lambda_{FLA} := \lambda_A \quad \lambda_{FLA} = 15.80$$

###### III.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLA} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

$\text{classificação}_{FLA} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$

##### III.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLA

###### III.2.1) Eixo de inércia X

$$M_{x,pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{x,pl} = 281.12 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{x,r} := f_y \cdot W_x \quad M_{x,r} = 248.22 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{xd,FLA} := \begin{cases} \frac{M_{x,pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[ M_{x,pl} - (M_{x,pl} - M_{x,r}) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{p,FLA})}{(\lambda_{r,FLA} - \lambda_{p,FLA})} \right], \left( \frac{M_{x,pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

$M_{xd,FLA} = 255.56 \cdot kN \cdot m$

###### III.2.2) Eixo de inércia Y

$$M_{y,pl} := Z_y \cdot f_y \quad M_{y,pl} = 131.08 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{y,r} := f_y \cdot W_y \quad M_{y,r} = 86.21 \cdot kN \cdot m$$

$$My_{rd,FLA} := \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ My_{pl} - \left( My_{pl} - My_r \right) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{p,FLA})}{(\lambda_{r,FLA} - \lambda_{p,FLA})} \right], \left( \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

$My_{rd,FLA} = 119.16 \cdot kN \cdot m$

#### **G.2.1 - Flambagem Local da Mesa Comprimida - Estado Limite FLM**

##### IV.1) Classificação da viga quanto a FLM

###### IV.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{p,FLM} = 8.12}$$

###### IV.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r,FLM} := 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - 0.3f_y)}} \quad \boxed{\lambda_{r,FLM} = 21.21}$$

###### IV.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLM} := \lambda_M \quad \boxed{\lambda_{FLM} = 5.90}$$

###### IV.1.4) Classificação da seção

$$classificação_{FLM} := \begin{cases} "SEÇÃO COMPACTA" & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ "SEÇÃO SEMI-COMPACTA" & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ "SEÇÃO ESBELTA" & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases}$$

$classificação_{FLM} = "SEÇÃO COMPACTA"$

##### IV.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLM

###### IV.2.1) Eixo de inércia X

$$Mx_{pl} := Zx \cdot f_y \quad \boxed{Mx_{pl} = 281.12 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_r := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot Wx \quad \boxed{Mx_r = 173.75 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_{cr} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{FLM}^2} \cdot Wx \quad \boxed{Mx_{cr} = 2249.23 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_{rd,FLM} := \begin{cases} \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ Mx_{pl} - \left( Mx_{pl} - Mx_r \right) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})} \right], \left( \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left( \frac{Mx_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases}$$

$Mx_{rd,FLM} = 255.56 \cdot kN \cdot m$

###### IV.2.2) Eixo de inércia Y

$$My_{pl} := Zy \cdot f_y \quad \boxed{My_{pl} = 131.08 \cdot kN \cdot m}$$

$$My_r := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot Wy$$

$$My_r = 60.34 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$My_{cr} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{FLM}^2} \cdot Wy$$

$$My_{cr} = 781.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\begin{aligned} My_{rd,FLM} &:= \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{al}} \cdot \left[My_{pl} - (My_{pl} - My_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})}\right], \left(\frac{My_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left(\frac{My_{cr}}{\gamma_{al}}\right), \left(\frac{My_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases} \\ My_{rd,FLM} &= 119.16 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$My_{rd,FLM} = 119.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### **Momento Fletor Resistente de Cálculo (Mrd)**

$$Mx_{rd} := \begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(Mrd_{FLT}, Mx_{rd,FLA}, Mx_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Mx_{rd} = 255.56 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$My_{rd} := \begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(My_{rd,FLA}, My_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$My_{rd} = 119.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### **NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

##### **V) Força Cortante Resistente de Cálculo**

###### **V.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{l,V}$ )**

$$\lambda_A = 15.80 \quad \lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} = 52.59$$

$$\text{verificação\_fl}_V := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{verificação\_fl}_V = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$$

###### **VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )**

$$Aw := d \cdot t_0 \quad Aw = 22.03 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} := 0.60 \cdot Aw \cdot f_y \quad V_{pl} = 462.67 \text{ kN}$$

###### **VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )**

$$V_{rd} := \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} \quad V_{rd} = 420.61 \text{ kN}$$

#### **Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

#### **NBR 8800:2008 - 5.5 - Barras prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes**

VI.1) Atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores

VI.1.1) Relação Nsd/Nrd

$$\frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} = 0.43$$

V.1.2) Equação de Interação

$$\text{interação} := \begin{cases} \left[ \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_{x, sd}}{M_{x, rd}} + \frac{M_{y, sd}}{M_{y, rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} \geq 0.2 \\ \left[ \frac{N_{sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left( \frac{M_{x, sd}}{M_{x, rd}} + \frac{M_{y, sd}}{M_{y, rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} < 0.2 \end{cases}$$

interação = 0,84

V.1.2) Verificação da equação de interação

$$\text{verificação\_interação} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{interação} \leq 1.0 \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_interação = "VERIFICA"

---

**Verificação ao cortante**

---

$$\text{verificação\_V}_{\max} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd,\max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_V\_max = "VERIFICA"

## Coluna C7

### a) Térreo – mezanino:

- Combinação ELU – Md2max:

NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

#### I) Dados Iniciais

##### I.1) Materiais

###### AÇO (PERFIL)

$$f_y := 350 \text{ MPa} \quad \gamma_{a1} := 1.1 \quad E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa} \quad \nu := 0.3$$

$$\hat{f}_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa} \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 61538.46 \text{ MPa}$$

##### I.2) Perfil Metálico - W200x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
massa := 52 $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_0 := 7.9 \text{ mm}$	$t_f := 12.6 \text{ mm}$	$I_x := 5298 \text{ cm}^4$	$I_y := 1784 \text{ cm}^4$	$J_b := 33.3 \text{ cm}^4$
$d := 206 \text{ mm}$	$h_0 := 181 \text{ mm}$	$b_f := 204 \text{ mm}$	$W_x := 514.4 \text{ cm}^3$	$W_y := 174.9 \text{ cm}^3$	
$A_g := 66.9 \text{ cm}^2$	$h_w := 156.4 \text{ mm}$	$\lambda_M := 8.1$	$r_x := 8.9 \text{ cm}$	$r_y := 5.16 \text{ cm}$	
$\lambda_A := 19.8$			$Z_x := 572.5 \text{ cm}^3$	$Z_y := 265.8 \text{ cm}^3$	

##### I.3) Parâmetros Necessários ao dimensionamento de peças comprimidas

EIXO DE INÉRCIA X	EIXO DE INÉRCIA Y	EIXO LONGITUDINAL Z	CENTRO DE CISALHAMENTO
$K_x := 1.0$	$K_y := 1.0$	$K_z := 1.0$	$x_0 := 0.00 \text{ cm}$
$L_x := 2.90 \text{ m}$	$L_y := 2.90 \text{ m}$	$L_z := 2.90 \text{ m}$	$y_0 := 0.00 \text{ cm}$

##### I.4) Parâmetros Necessários ao Cálculo do Estado limite FLT

$$L_b := 2.90 \text{ m} \quad M_{\max} := 61 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_A := 30 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_B := 0 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_C := 30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

##### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{x,sd} := 61 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{y,sd} := 3.22 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd,\max} := 40.8 \text{ kN} \quad N_{sd} := 860 \text{ kN}$$

NBR 8800:2008 - 5.3.4 - Limitação do índice de esbeltez

##### DIREÇÃO X

$$\frac{K_x \cdot L_x}{r_x} = 32.58$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_x} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

##### DIREÇÃO Y

$$\frac{K_y \cdot L_y}{r_y} = 56.20$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_y} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_y \cdot L_y}{r_y} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_índice\\_esbeltez\\_x = "VERIFICA"

verificação\\_índice\\_esbeltez\\_y = "VERIFICA"

---

**ANEXO E - Força axial de flambagem elástica e coeficiente de flambagem**

---

**E.1 - Valores da Força Axial de Flambagem Elástica**

---

**E.1.1 - Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto**

---

**II.1) Força Axial de Flambagem (Ne)****II.1.1) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal**

$$N_{ex} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad [N_{ex} = 9948.00 \cdot kN]$$

**II.1.2) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal**

$$N_{ey} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad [N_{ey} = 3349.80 \cdot kN]$$

**II.1.3) Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z**

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad [C_w = 166819.88 \cdot \text{cm}^6]$$

$$r_0 := \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2} \quad [r_0 = 10.29 \cdot \text{cm}]$$

$$N_{ez} := \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J_b \right] \quad [N_{ez} = 4895.89 \cdot kN]$$

**II.1.4) Força axial de flambagem (Ne)**

$$N_e := \min(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}) \quad [N_e = 3349.80 \cdot kN]$$


---

**ANEXO F - Flambagem local de barras axialmente comprimidas**

---

**F.2 - Elementos comprimidos AL**

---

**III.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AL (Qs) - GRUPO 4 - TABELA F.1****III.1.1) Cálculo dos valores limites de esbeltez ( $\lambda_{inf}$  e  $\lambda_{sup}$ )**

$$\lambda_{inf} := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{inf} = 11.97]$$

$$\lambda_{sup} := 1.03 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{sup} = 22.02]$$

**III.1.2) Esbeltez da mesa ( $\lambda$ )**

$$b := \frac{bf}{2} \quad [b = 10.20 \cdot \text{cm}]$$

$$t := tf \quad [t = 1.26 \cdot \text{cm}]$$

$$\lambda := \frac{b}{t} \quad [\lambda = 8.10]$$

### III.1.3) Fator de redução de flambagem local de elementos AL (Q<sub>s</sub>)

$$Q_s := \begin{cases} 1.00 & \text{if } \lambda \leq \lambda_{inf} \\ \left( 1.415 - 0.74 \cdot \frac{b}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} \right) & \text{if } \lambda_{inf} < \lambda \leq \lambda_{sup} \\ \left[ \frac{0.69 \cdot E}{f_y \cdot \left( \frac{b}{t} \right)^2} \right] & \text{if } \lambda > \lambda_{sup} \end{cases}$$

Q<sub>s</sub> = 1.00

### **F.3 - Elementos comprimidos AA**

#### IV.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>) - GRUPO 2 - TABELA F.1

$$b := h_w \quad \boxed{b = 15.64 \cdot \text{cm}}$$

$$t := t_f \quad \boxed{t = 1.26 \cdot \text{cm}}$$

# Conservadoramente adota-se:  $\sigma := f_y$

#### IV.1.1) Cálculo da largura efetiva e área efetiva (bef e Aef)

$$bef := \min \left[ 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[ 1 - \frac{0.34}{\left( \frac{b}{t} \right)} \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right], b \right] \quad \boxed{bef = 15.64 \cdot \text{cm}}$$

$$Aef := A_g - (b - bef) \cdot t \quad \boxed{Aef = 66.90 \cdot \text{cm}^2}$$

#### IV.1.2) Fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>)

$$Q_a := \frac{Aef}{A_g} \quad \boxed{Q_a = 1.00}$$

**NBR 8800:2008 - 5.3 - Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão**

#### V.1) Força axial resistente de cálculo

##### V.1.1) Fator de redução de flambagem local total (Q)

$$Q := Q_s \cdot Q_a \quad \boxed{Q = 1.00}$$

##### V.1.2) Cálculo do índice de esbeltez reduzido ( $\lambda_0$ )

$$\lambda_0 := \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} \quad \boxed{\lambda_0 = 0.84}$$

##### V.1.3) Fator de Redução x

$$x := \begin{cases} 0.658 \cdot \frac{\lambda_0^2}{1.5} & \text{if } \lambda_0 \leq 1.5 \\ \frac{0.877}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 > 1.5 \end{cases} \quad \boxed{x = 0.75}$$

**V.1.4) Força axial resistente de cálculo ( $N_{c,Rd}$ )**

$$N_{c,Rd} := \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_a l}$$

$$N_{c,Rd} = 1588.70 \text{ kN}$$

**G.2 - Momento Fletor Resistente de Cálculo**

**G.2.1 - Flambagem Lateral com Torção - Estado Limite FLT**

**II.1) Classificação da viga quanto a FLT**

**II.1.1) Cálculo de  $\lambda_p$  - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação**

$$\lambda_{p,FLT} := 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p,FLT} = 37.63$$

**II.1.2) Cálculo de  $\lambda_r$  - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento**

$$C_b := \min \left( 3.0, \frac{12.5 \cdot M_{max}}{2.5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \right) \quad C_b = 2.29$$

$$\beta_1 := \frac{(f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x}{E \cdot J_b} \quad \beta_1 = 2.37 \frac{1}{m}$$

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad C_w = 166819.88 \cdot \text{cm}^6$$

$$\lambda_{r,FLT} := \frac{1.38 \cdot \sqrt{I_y \cdot J_b}}{r_y \cdot J_b \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1}{I_y}}} \quad \lambda_{r,FLT} = 132.24$$

**II.1.3) Cálculo de  $\lambda$  - Parâmetro de esbeltez da viga**

$$\lambda_{FLT} := \frac{L_b}{r_y} \quad \lambda_{FLT} = 56.20$$

**II.1.4) Classificação da seção**

$$\text{classificação}_{FLT} := \begin{cases} \text{"VIGA CURTA"} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"} & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \text{"VIGA LONGA"} & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases}$$

$\text{classificação}_{FLT} = \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"}$

**II.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLT**

$$M_{pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{pl} = 200.38 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := (f_y - 0.3f_y) \cdot W_x \quad M_r = 126.03 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{cr} := \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left( 1 + 0.039 \cdot \frac{J_b \cdot L_b^2}{C_w} \right)} \quad M_{cr} = 955.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd,FLT} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_a l} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \min \left[ \frac{C_b}{\gamma_a l} \cdot \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLT} - \lambda_{p,FLT})}{(\lambda_{r,FLT} - \lambda_{p,FLT})} \right], \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_a l} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{cr}}{\gamma_a l} \right), \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_a l} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases}$$

$$M_{rd,FLT} = 182.16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### G.2.1 - Flambagem Local da Alma - Estado Limite FLA

#### III.1) Classificação da viga quanto a FLA

##### III.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{pFLA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{pFLA} = 80.39}$$

##### III.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{rFLA} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{rFLA} = 121.87}$$

##### III.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez

$$\lambda_{FLA} := \lambda_A \quad \boxed{\lambda_{FLA} = 19.80}$$

##### III.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLA} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{pFLA} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{pFLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{rFLA} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{rFLA} \end{cases} \quad \boxed{\text{classificação}_{FLA} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

#### III.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLA

##### III.2.1) Eixo de inércia X

$$M_{x_{pl}} := Z_x \cdot f_y \quad \boxed{M_{x_{pl}} = 200.38 \cdot kN \cdot m}$$

$$M_{x_r} := f_y \cdot W_x \quad \boxed{M_{x_r} = 180.04 \cdot kN \cdot m}$$

$$M_{xd_{FLA}} := \begin{cases} \frac{M_{x_{pl}}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{pFLA} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ M_{x_{pl}} - (M_{x_{pl}} - M_{x_r}) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})} \right], \left( \frac{M_{x_{pl}}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{pFLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{rFLA} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{rFLA} \end{cases}$$

$$\boxed{M_{xd_{FLA}} = 182.16 \cdot kN \cdot m}$$

##### III.2.2) Eixo de inércia Y

$$M_{y_{pl}} := Z_y \cdot f_y \quad \boxed{M_{y_{pl}} = 93.03 \cdot kN \cdot m}$$

$$M_{y_r} := f_y \cdot W_y \quad \boxed{M_{y_r} = 61.22 \cdot kN \cdot m}$$

$$M_{yd_{FLA}} := \begin{cases} \frac{M_{y_{pl}}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{pFLA} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ M_{y_{pl}} - (M_{y_{pl}} - M_{y_r}) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{pFLA})}{(\lambda_{rFLA} - \lambda_{pFLA})} \right], \left( \frac{M_{y_{pl}}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{pFLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{rFLA} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{rFLA} \end{cases} \quad \boxed{M_{yd_{FLA}} = 84.57 \cdot kN \cdot m}$$

### G.2.1 - Flambagem Local da Mesa Comprimida - Estado Limite FLM

#### IV.1) Classificação da viga quanto a FLM

##### IV.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p\text{FLM}} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{p\text{FLM}} = 8.12}$$

##### IV.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r\text{FLM}} := 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - 0.3f_y)}} \quad \boxed{\lambda_{r\text{FLM}} = 21.21}$$

##### IV.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{\text{FLM}} := \lambda_M \quad \boxed{\lambda_{\text{FLM}} = 8.10}$$

#### IV.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{\text{FLM}} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{p\text{FLM}} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{p\text{FLM}} < \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{r\text{FLM}} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} > \lambda_{r\text{FLM}} \end{cases} \quad \boxed{\text{classificação}_{\text{FLM}} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

#### IV.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLM

##### IV.2.1) Eixo de inércia X

$$M_{x\text{pl}} := Z_x \cdot f_y \quad \boxed{M_{x\text{pl}} = 200.38 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{x_r} := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x \quad \boxed{M_{x_r} = 126.03 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{x\text{cr}} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{\text{FLM}}^2} \cdot W_x \quad \boxed{M_{x\text{cr}} = 865.57 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{xrd\text{FLM}} := \begin{cases} \frac{M_{x\text{pl}}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{p\text{FLM}} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[ M_{x\text{pl}} - \left( M_{x\text{pl}} - M_{x_r} \right) \frac{(\lambda_{\text{FLM}} - \lambda_{p\text{FLM}})}{(\lambda_{r\text{FLM}} - \lambda_{p\text{FLM}})} \right], \left( \frac{M_{x\text{pl}}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p\text{FLM}} < \lambda_{\text{FLM}} \leq \lambda_{r\text{FLM}} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{x\text{cr}}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{M_{x\text{pl}}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{\text{FLM}} > \lambda_{r\text{FLM}} \end{cases}$$

$$\boxed{M_{xrd\text{FLM}} = 182.16 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2.2) Eixo de inércia Y

$$M_{y\text{pl}} := Z_y \cdot f_y \quad \boxed{M_{y\text{pl}} = 93.03 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{y_r} := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_y \quad \boxed{M_{y_r} = 42.85 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{y\text{cr}} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{\text{FLM}}^2} \cdot W_y \quad \boxed{M_{y\text{cr}} = 294.30 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

$$My_{rd,FLM} := \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ My_{pl} - (My_{pl} - My_{tr}) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})} \right], \left( \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left( \frac{My_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{My_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases}$$

$$My_{rd,FLM} = 84.57 \cdot kN \cdot m$$

#### **Momento Fletor Resistente de Cálculo (Mrd)**

$$Mx_{rd} := \begin{cases} "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(Mrd_{FLT}, Mx_{rd,FLA}, Mx_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mx_{rd} = 182.16 \cdot kN \cdot m$$

$$My_{rd} := \begin{cases} "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(My_{rd,FLA}, My_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad My_{rd} = 84.57 \cdot kN \cdot m$$

#### **NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

##### **V) Força Cortante Resistente de Cálculo**

###### **V.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{ly}$ )**

$$\lambda_A = 19.80 \quad \lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} = 52.59$$

$$\text{verificação\_fl}_V := \begin{cases} "SEÇÃO COMPACTA" & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ "SEÇÃO NÃO COMPACTA" & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{verificação\_fl}_V = "SEÇÃO COMPACTA"$$

###### **VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento (Vpl)**

$$Aw := d \cdot t_0 \quad Aw = 16.27 \cdot cm^2$$

$$Vpl := 0.60 \cdot Aw \cdot f_y \quad Vpl = 341.75 \cdot kN$$

###### **VI.3) Força cortante resistente de cálculo (Vrd)**

$$Vrd := \frac{Vpl}{\gamma_{a1}} \quad Vrd = 310.69 \cdot kN$$

#### **Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

#### **NBR 8800:2008 - 5.5 - Barras prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes**

###### **VI.1) Atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores**

###### **VI.1.1) Relação $Nsd/Nrd$**

$$\frac{Nsd}{Nc_{Rd}} = 0.54$$

V.1.2) Equação de Interação

$$\text{interação} := \begin{cases} \left[ \frac{\text{Nsd}}{\text{Nc}_{\text{Rd}}} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{\text{Mx}_{\text{sd}}}{\text{Mx}_{\text{rd}}} + \frac{\text{My}_{\text{sd}}}{\text{My}_{\text{rd}}} \right) \right] & \text{if } \frac{\text{Nsd}}{\text{Nc}_{\text{Rd}}} \geq 0.2 \\ \left[ \frac{\text{Nsd}}{2 \cdot \text{Nc}_{\text{Rd}}} + \left( \frac{\text{Mx}_{\text{sd}}}{\text{Mx}_{\text{rd}}} + \frac{\text{My}_{\text{sd}}}{\text{My}_{\text{rd}}} \right) \right] & \text{if } \frac{\text{Nsd}}{\text{Nc}_{\text{Rd}}} < 0.2 \end{cases}$$

interação = 0.87

V.1.2) Verificação da equação de interação

$$\text{verificação\_interação} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{interação} \leq 1.0 \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_interação = "VERIFICA"

---

**Verificação ao cortante**

---

$$\text{verificação\_V}_{\text{max}} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{Vsd}_{\text{max}} \leq \text{Vrd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_V<sub>max</sub> = "VERIFICA"

**b) Mezanino – 2º Pavimento:**

- Combinação ELU – Md2max:

NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

I) Dados Iniciais

I.1) Materiais

AÇO (PERFIL)

$$f_y := 350 \text{ MPa} \quad \gamma_{a1} := 1.1 \quad E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa} \quad \nu := 0.3$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa} \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 61538.46 \text{ MPa}$$

I.2) Perfil Metálico - W200x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
massa := 52 $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_0 := 7.9 \text{ mm}$	$t_f := 12.6 \text{ mm}$	$I_x := 5298 \text{ cm}^4$	$I_y := 1784 \text{ cm}^4$	$J_b := 33.3 \text{ cm}^4$
$d := 206 \text{ mm}$	$h_0 := 181 \text{ mm}$	$b_f := 204 \text{ mm}$	$W_x := 514.4 \text{ cm}^3$	$W_y := 174.9 \text{ cm}^3$	
$A_g := 66.9 \text{ cm}^2$	$h_w := 156.4 \text{ mm}$	$\lambda_M := 8.1$	$r_x := 8.9 \text{ cm}$	$r_y := 5.16 \text{ cm}$	
$\lambda_A := 19.8$			$Z_x := 572.5 \text{ cm}^3$	$Z_y := 265.8 \text{ cm}^3$	

I.3) Parâmetros Necessários ao dimensionamento de peças comprimidas

EIXO DE INÉRCIA X	EIXO DE INÉRCIA Y	EIXO LONGITUDINAL Z	CENTRO DE CISALHAMENTO
$K_x := 1.0$	$K_y := 1.0$	$K_z := 1.0$	$x_0 := 0.00 \text{ cm}$
$L_x := 2.80 \text{ m}$	$L_y := 2.80 \text{ m}$	$L_z := 2.80 \text{ m}$	$y_0 := 0.00 \text{ cm}$

I.4) Parâmetros Necessários ao Cálculo do Estado limite FLT

$$L_b := 2.80 \text{ m} \quad M_{\max} := 54.9 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_A := 30 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_B := 2 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_C := 23 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{x,sd} := 54.9 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{y,sd} := 25.5 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd,\max} := 37.5 \text{ kN} \quad N_{sd} := 724 \text{ kN}$$

NBR 8800:2008 - 5.3.4 - Limitação do índice de esbeltez

DIREÇÃO X

$$\frac{K_x \cdot L_x}{r_x} = 31.46$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_x} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

DIREÇÃO Y

$$\frac{K_y \cdot L_y}{r_y} = 54.26$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_y} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_y \cdot L_y}{r_y} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_índice\\_esbeltez\\_x = "VERIFICA"

verificação\\_índice\\_esbeltez\\_y = "VERIFICA"

---

**ANEXO E - Força axial de flambagem elástica e coeficiente de flambagem**

---

**E.1 - Valores da Força Axial de Flambagem Elástica**

---

**E.1.1 - Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto**

---

**II.1) Força Axial de Flambagem (Ne)****II.1.1) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal**

$$N_{ex} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad [N_{ex} = 10671.26 \text{ kN}]$$

**II.1.2) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal**

$$N_{ey} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad [N_{ey} = 3593.34 \text{ kN}]$$

**II.1.3) Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z**

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad [C_w = 166819.88 \text{ cm}^6]$$

$$r_0 := \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2} \quad [r_0 = 10.29 \text{ cm}]$$

$$N_{ez} := \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J_b \right] \quad [N_{ez} = 5111.06 \text{ kN}]$$

**II.1.4) Força axial de flambagem (Ne)**

$$N_e := \min(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}) \quad [N_e = 3593.34 \text{ kN}]$$

---

**ANEXO F - Flambagem local de barras axialmente comprimidas**

---

**F.2 - Elementos comprimidos AL**

---

**III.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AL (Q<sub>s</sub>) - GRUPO 4 - TABELA F.1****III.1.1) Cálculo dos valores limites de esbeltez ( $\lambda_{inf}$  e  $\lambda_{sup}$ )**

$$\lambda_{inf} := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{inf} = 11.97]$$

$$\lambda_{sup} := 1.03 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{sup} = 22.02]$$

**III.1.2) Esbeltez da mesa ( $\lambda$ )**

$$b := \frac{b_f}{2} \quad [b = 10.20 \text{ cm}]$$

$$t := t_f \quad [t = 1.26 \text{ cm}]$$

$$\lambda := \frac{b}{t} \quad [\lambda = 8.10]$$

### III.1.3) Fator de redução de flambagem local de elementos AL (Q<sub>s</sub>)

$$Q_s := \begin{cases} (1.00) & \text{if } \lambda \leq \lambda_{\inf} \\ \left( 1.415 - 0.74 \cdot \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \right) & \text{if } \lambda_{\inf} < \lambda \leq \lambda_{\sup} \\ \left[ \frac{0.69 \cdot E}{f_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} \right] & \text{if } \lambda > \lambda_{\sup} \end{cases}$$

Q<sub>s</sub> = 1.00

### **F.3 - Elementos comprimidos AA**

#### IV.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>) - GRUPO 2 - TABELA F.1

$$b := h_w \quad \boxed{b = 15.64 \cdot \text{cm}}$$

$$t := t_f \quad \boxed{t = 1.26 \cdot \text{cm}}$$

# Conservadoramente adota-se:  $\sigma := f_y$

#### IV.1.1) Cálculo da largura efetiva e área efetiva (bef e Aef)

$$bef := \min \left[ 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[ 1 - \frac{0.34}{\left( \frac{b}{t} \right)} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right], b \right] \quad \boxed{bef = 15.64 \cdot \text{cm}}$$

$$Aef := A_g - (b - bef) \cdot t \quad \boxed{Aef = 66.90 \cdot \text{cm}^2}$$

#### IV.1.2) Fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>)

$$Q_a := \frac{Aef}{A_g} \quad \boxed{Q_a = 1.00}$$

**NBR 8800:2008 - 5.3 - Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão**

### V.1) Força axial resistente de cálculo

#### V.1.1) Fator de redução de flambagem local total (Q)

$$Q := Q_s \cdot Q_a \quad \boxed{Q = 1.00}$$

#### V.1.2) Cálculo do índice de esbeltez reduzido ( $\lambda_0$ )

$$\lambda_0 := \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} \quad \boxed{\lambda_0 = 0.81}$$

#### V.1.3) Fator de Redução $\chi$

$$\chi := \begin{cases} 0.658 \frac{\lambda_0^2}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 \leq 1.5 \\ \frac{0.877}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 > 1.5 \end{cases} \quad \boxed{\chi = 0.76}$$

#### V.1.4) Força axial resistente de cálculo (NcRd)

$$N_{c,Rd} := \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad N_{c,Rd} = 1620.52 \text{ kN}$$

#### G.2 - Momento Fletor Resistente de Cálculo

##### G.2.1 - Flambagem Lateral com Torção - Estado Limite FLT

###### II.1) Classificação da viga quanto a FLT

###### II.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLT} := 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p,FLT} = 37.63$$

###### II.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$C_b := \min \left( 3.0, \frac{12.5 \cdot M_{max}}{2.5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \right) \quad C_b = 2.26$$

$$\beta_1 := \frac{(f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x}{E \cdot J_b} \quad \beta_1 = 2.37 \frac{1}{m}$$

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad C_w = 166819.88 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_{r,FLT} := \frac{1.38 \cdot \sqrt{J_y \cdot J_b}}{r_y \cdot J_b \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} \quad \lambda_{r,FLT} = 132.24$$

###### II.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLT} := \frac{L_b}{r_y} \quad \lambda_{FLT} = 54.26$$

###### II.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLT} := \begin{cases} \text{"VIGA CURTA"} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"} & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \text{"VIGA LONGA"} & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases} \quad \text{classificação}_{FLT} = \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"}$$

###### II.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLT

$$M_{pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{pl} = 200.38 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_r := (f_y - 0.3f_y) \cdot W_x \quad M_r = 126.03 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{cr} := \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left( 1 + 0.039 \cdot \frac{J_b \cdot L_b^2}{C_w} \right)} \quad M_{cr} = 994.57 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{rd,FLT} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \min \left[ \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLT} - \lambda_{p,FLT})}{(\lambda_{r,FLT} - \lambda_{p,FLT})} \right], \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases}$$

$M_{rd,FLT} = 182.16 \cdot kN \cdot m$

#### G.2.1 - Flambagem Local da Alma - Estado Limite FLA

##### III.1) Classificação da viga quanto a FLA

###### III.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p,FLA} = 80.39$$

###### III.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r,FLA} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{r,FLA} = 121.87$$

###### III.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez

$$\lambda_{FLA} := \lambda_A \quad \lambda_{FLA} = 19.80$$

###### III.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLA} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

$\text{classificação}_{FLA} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$

##### III.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLA

###### III.2.1) Eixo de inércia X

$$M_{x,pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{x,pl} = 200.38 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{x,r} := f_y \cdot W_x \quad M_{x,r} = 180.04 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{xd,FLA} := \begin{cases} \frac{M_{x,pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ M_{x,pl} - (M_{x,pl} - M_{x,r}) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{p,FLA})}{(\lambda_{r,FLA} - \lambda_{p,FLA})} \right], \left( \frac{M_{x,pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

$M_{xd,FLA} = 182.16 \cdot kN \cdot m$

###### III.2.2) Eixo de inércia Y

$$M_{y,pl} := Z_y \cdot f_y \quad M_{y,pl} = 93.03 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{y,r} := f_y \cdot W_y \quad M_{y,r} = 61.22 \cdot kN \cdot m$$

$$My_{rd,FLA} := \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{al}} \cdot \left[ My_{pl} - \left( My_{pl} - My_r \right) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{p,FLA})}{(\lambda_{r,FLA} - \lambda_{p,FLA})} \right], \left( \frac{My_{pl}}{\gamma_{al}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

My<sub>rd,FLA</sub> = 84.57·kN·m

#### **G.2.1 - Flambagem Local da Mesa Comprimida - Estado Limite FLM**

##### IV.1) Classificação da viga quanto a FLM

###### IV.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{p,FLM} = 8.12}$$

###### IV.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r,FLM} := 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - 0.3f_y)}} \quad \boxed{\lambda_{r,FLM} = 21.21}$$

###### IV.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLM} := \lambda_M \quad \boxed{\lambda_{FLM} = 8.10}$$

###### IV.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLM} := \begin{cases} "SEÇÃO COMPACTA" & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ "SEÇÃO SEMI-COMPACTA" & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ "SEÇÃO ESBELTA" & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases}$$

classificação<sub>FLM</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

##### IV.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLM

###### IV.2.1) Eixo de inércia X

$$Mx_{pl} := Zx \cdot f_y \quad \boxed{Mx_{pl} = 200.38 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_r := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot Wx \quad \boxed{Mx_r = 126.03 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_{cr} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{FLM}^2} \cdot Wx \quad \boxed{Mx_{cr} = 865.57 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_{rd,FLM} := \begin{cases} \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{al}} \cdot \left[ Mx_{pl} - \left( Mx_{pl} - Mx_r \right) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})} \right], \left( \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{al}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left( \frac{Mx_{cr}}{\gamma_{al}} \right), \left( \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{al}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases}$$

Mx<sub>rd,FLM</sub> = 182.16·kN·m

###### IV.2.2) Eixo de inércia Y

$$My_{pl} := Zy \cdot f_y \quad \boxed{My_{pl} = 93.03 \cdot kN \cdot m}$$

$$My_r := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot Wy$$

$$My_r = 42.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$My_{cr} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{FLM}^2} \cdot Wy$$

$$My_{cr} = 294.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\begin{aligned} My_{rd,FLM} &:= \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{al}} \cdot \left[My_{pl} - (My_{pl} - My_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})}\right], \left(\frac{My_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left(\frac{My_{cr}}{\gamma_{al}}\right), \left(\frac{My_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases} \\ My_{rd,FLM} &= 84.57 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$My_{rd,FLM} = 84.57 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### **Momento Fletor Resistente de Cálculo (Mrd)**

$$Mx_{rd} := \begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(Mrd_{FLT}, Mx_{rd,FLA}, Mx_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Mx_{rd} = 182.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$My_{rd} := \begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(My_{rd,FLA}, My_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$My_{rd} = 84.57 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### **NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

##### **V) Força Cortante Resistente de Cálculo**

###### **V.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{l,V}$ )**

$$\lambda_A = 19.80 \quad \lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} = 52.59$$

$$\text{verificação\_fl}_V := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_fl}_V = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$$

###### **VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )**

$$Aw := d \cdot t_0 \quad Aw = 16.27 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} := 0.60 \cdot Aw \cdot f_y \quad V_{pl} = 341.75 \text{ kN}$$

###### **VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )**

$$V_{rd} := \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} \quad V_{rd} = 310.69 \text{ kN}$$

#### **Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

#### **NBR 8800:2008 - 5.5 - Barras prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes**

VI.1) Atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores

VI.1.1) Relação Nsd/Nrd

$$\frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} = 0.45$$

V.1.2) Equação de Interação

$$\text{interação} := \begin{cases} \left[ \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_{x, sd}}{M_{x, rd}} + \frac{M_{y, sd}}{M_{y, rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} \geq 0.2 \\ \left[ \frac{N_{sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left( \frac{M_{x, sd}}{M_{x, rd}} + \frac{M_{y, sd}}{M_{y, rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} < 0.2 \end{cases}$$

interação = 0.98

V.1.2) Verificação da equação de interação

$$\text{verificação\_interação} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{interação} \leq 1.0 \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_interação = "VERIFICA"

---

**Verificação ao cortante**

---

$$\text{verificação\_V}_{\max} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd,\max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_V\_max = "VERIFICA"

### c) 2º Pavimento – 3º Pavimento

- Combinação ELU – Md2max:

**NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**

#### I) Dados Iniciais

##### I.1) Materiais

###### AÇO (PERFIL)

$$f_y := 350 \text{ MPa} \quad \gamma_{a1} := 1.1 \quad E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa} \quad \nu := 0.3$$

$$\hat{f}_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa} \quad G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 61538.46 \text{ MPa}$$

##### I.2) Perfil Metálico - W200x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
massa := 52 $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_0 := 7.9 \text{ mm}$	$t_f := 12.6 \text{ mm}$	$I_x := 5298 \text{ cm}^4$	$I_y := 1784 \text{ cm}^4$	$J_b := 33.3 \text{ cm}^4$
$d := 206 \text{ mm}$	$h_0 := 181 \text{ mm}$	$b_f := 204 \text{ mm}$	$W_x := 514.4 \text{ cm}^3$	$W_y := 174.9 \text{ cm}^3$	
$A_g := 66.9 \text{ cm}^2$	$h_w := 156.4 \text{ mm}$	$\lambda_M := 8.1$	$r_x := 8.9 \text{ cm}$	$r_y := 5.16 \text{ cm}$	
$\lambda_A := 19.8$			$Z_x := 572.5 \text{ cm}^3$	$Z_y := 265.8 \text{ cm}^3$	

##### I.3) Parâmetros Necessários ao dimensionamento de peças comprimidas

EIXO DE INÉRCIA X	EIXO DE INÉRCIA Y	EIXO LONGITUDINAL Z	CENTRO DE CISALHAMENTO
$K_x := 1.0$	$K_y := 1.0$	$K_z := 1.0$	$x_0 := 0.00 \text{ cm}$
$L_x := 3.55 \text{ m}$	$L_y := 3.55 \text{ m}$	$L_z := 3.55 \text{ m}$	$y_0 := 0.00 \text{ cm}$

##### I.4) Parâmetros Necessários ao Cálculo do Estado limite FLT

$$L_b := 3.55 \text{ m} \quad M_{\max} := 22.9 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_A := 12 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_B := 0 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_C := 10 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

##### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{x,sd} := 22.9 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{y,sd} := 36.8 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd,\max} := 19.5 \text{ kN} \quad N_{sd} := 356 \text{ kN}$$

**NBR 8800:2008 - 5.3.4 - Limitação do índice de esbeltez**

##### DIREÇÃO X

$$\frac{K_x \cdot L_x}{r_x} = 39.89$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_x} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

##### DIREÇÃO Y

$$\frac{K_y \cdot L_y}{r_y} = 68.80$$

$$\text{verificação\_índice\_esbeltez\_y} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \frac{K_y \cdot L_y}{r_y} \leq 200 \\ \text{"NÃO VERIFICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\\_índice\\_esbeltez\\_x = "VERIFICA"**

**verificação\\_índice\\_esbeltez\\_y = "VERIFICA"**

---

**ANEXO E - Força axial de flambagem elástica e coeficiente de flambagem**

---

**E.1 - Valores da Força Axial de Flambagem Elástica**

---

**E.1.1 - Seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto**

---

**II.1) Força Axial de Flambagem (Ne)****II.1.1) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal**

$$N_{ex} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad [N_{ex} = 6638.58 \cdot kN]$$

**II.1.2) Flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal**

$$N_{ey} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad [N_{ey} = 2235.41 \cdot kN]$$

**II.1.3) Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z**

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad [C_w = 166819.88 \cdot \text{cm}^6]$$

$$r_0 := \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2} \quad [r_0 = 10.29 \cdot \text{cm}]$$

$$N_{ez} := \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J_b \right] \quad [N_{ez} = 3911.29 \cdot kN]$$

**II.1.4) Força axial de flambagem (Ne)**

$$Ne := \min(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}) \quad [Ne = 2235.41 \cdot kN]$$

---

**ANEXO F - Flambagem local de barras axialmente comprimidas**

---

**F.2 - Elementos comprimidos AL**

---

**III.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AL (Qs) - GRUPO 4 - TABELA F.1****III.1.1) Cálculo dos valores limites de esbeltez ( $\lambda_{inf}$  e  $\lambda_{sup}$ )**

$$\lambda_{inf} := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{inf} = 11.97]$$

$$\lambda_{sup} := 1.03 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad [\lambda_{sup} = 22.02]$$

**III.1.2) Esbeltez da mesa ( $\lambda$ )**

$$b := \frac{bf}{2} \quad [b = 10.20 \cdot \text{cm}]$$

$$t := tf \quad [t = 1.26 \cdot \text{cm}]$$

$$\lambda := \frac{b}{t} \quad [\lambda = 8.10]$$

### III.1.3) Fator de redução de flambagem local de elementos AL (Q<sub>s</sub>)

$$Q_s := \begin{cases} (1.00) & \text{if } \lambda \leq \lambda_{\inf} \\ \left( 1.415 - 0.74 \cdot \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \right) & \text{if } \lambda_{\inf} < \lambda \leq \lambda_{\sup} \\ \left[ \frac{0.69 \cdot E}{f_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} \right] & \text{if } \lambda > \lambda_{\sup} \end{cases}$$

Q<sub>s</sub> = 1.00

### **F.3 - Elementos comprimidos AA**

#### IV.1) Cálculo do fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>) - GRUPO 2 - TABELA F.1

$$b := h_w \quad \boxed{b = 15.64 \cdot \text{cm}}$$

$$t := t_f \quad \boxed{t = 1.26 \cdot \text{cm}}$$

# Conservadoramente adota-se:  $\sigma := f_y$

#### IV.1.1) Cálculo da largura efetiva e área efetiva (bef e Aef)

$$bef := \min \left[ 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[ 1 - \frac{0.34}{\left( \frac{b}{t} \right)} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right], b \right] \quad \boxed{bef = 15.64 \cdot \text{cm}}$$

$$Aef := A_g - (b - bef) \cdot t \quad \boxed{Aef = 66.90 \cdot \text{cm}^2}$$

#### IV.1.2) Fator de redução de flambagem local de elementos AA (Q<sub>a</sub>)

$$Q_a := \frac{Aef}{A_g} \quad \boxed{Q_a = 1.00}$$

**NBR 8800:2008 - 5.3 - Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão**

### V.1) Força axial resistente de cálculo

#### V.1.1) Fator de redução de flambagem local total (Q)

$$Q := Q_s \cdot Q_a \quad \boxed{Q = 1.00}$$

#### V.1.2) Cálculo do índice de esbeltez reduzido ( $\lambda_0$ )

$$\lambda_0 := \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} \quad \boxed{\lambda_0 = 1.02}$$

#### V.1.3) Fator de Redução $\chi$

$$\chi := \begin{cases} 0.658^{\frac{\lambda_0^2}{2}} & \text{if } \lambda_0 \leq 1.5 \\ \frac{0.877}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 > 1.5 \end{cases}$$

χ = 0.65

#### V.1.4) Força axial resistente de cálculo ( $N_{c,Rd}$ )

$$N_{c,Rd} := \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad N_{c,Rd} = 1373.10 \text{ kN}$$

#### G.2 - Momento Fletor Resistente de Cálculo

##### G.2.1 - Flambagem Lateral com Torção - Estado Limite FLT

###### II.1) Classificação da viga quanto a FLT

###### II.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLT} := 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p,FLT} = 37.63$$

###### II.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$C_b := \min \left( 3.0, \frac{12.5 \cdot M_{max}}{2.5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \right) \quad C_b = 2.32$$

$$\beta_1 := \frac{(f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot W_x}{E \cdot J_b} \quad \beta_1 = 2.37 \frac{1}{m}$$

$$C_w := \frac{I_y \cdot (d - t_f)^2}{4} \quad C_w = 166819.88 \cdot \text{cm}^6$$

$$\lambda_{r,FLT} := \frac{1.38 \cdot \sqrt{J_y \cdot J_b}}{r_y \cdot J_b \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} \quad \lambda_{r,FLT} = 132.24$$

###### II.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLT} := \frac{L_b}{r_y} \quad \lambda_{FLT} = 68.80$$

###### II.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLT} := \begin{cases} \text{"VIGA CURTA"} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"} & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \text{"VIGA LONGA"} & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases} \quad \text{classificação}_{FLT} = \text{"VIGA INTERMEDIÁRIA"}$$

###### II.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLT

$$M_{pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{pl} = 200.38 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r := (f_y - 0.3f_y) \cdot W_x \quad M_r = 126.03 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{cr} := \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left( 1 + 0.039 \cdot \frac{J_b \cdot L_b^2}{C_w} \right)} \quad M_{cr} = 706.64 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd,FLT} := \begin{cases} \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLT} \leq \lambda_{p,FLT} \\ \min \left[ \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLT} - \lambda_{p,FLT})}{(\lambda_{r,FLT} - \lambda_{p,FLT})} \right], \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLT} < \lambda_{FLT} \leq \lambda_{r,FLT} \\ \min \left[ \left( \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \right), \left( \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLT} > \lambda_{r,FLT} \end{cases}$$

$M_{rd,FLT} = 182.16 \cdot kN \cdot m$

#### G.2.1 - Flambagem Local da Alma - Estado Limite FLA

##### III.1) Classificação da viga quanto a FLA

###### III.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{p,FLA} = 80.39$$

###### III.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r,FLA} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_{r,FLA} = 121.87$$

###### III.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez

$$\lambda_{FLA} := \lambda_A \quad \lambda_{FLA} = 19.80$$

###### III.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLA} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \text{"SEÇÃO SEMI-COMPACTA"} & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ \text{"SEÇÃO ESBELTA"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

$\text{classificação}_{FLA} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$

##### III.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLA

###### III.2.1) Eixo de inércia X

$$M_{x,pl} := Z_x \cdot f_y \quad M_{x,pl} = 200.38 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{x,r} := f_y \cdot W_x \quad M_{x,r} = 180.04 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{xd,FLA} := \begin{cases} \frac{M_{x,pl}}{\gamma_{a1}} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \min \left[ \frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[ M_{x,pl} - (M_{x,pl} - M_{x,r}) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{p,FLA})}{(\lambda_{r,FLA} - \lambda_{p,FLA})} \right], \left( \frac{M_{x,pl}}{\gamma_{a1}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

$M_{xd,FLA} = 182.16 \cdot kN \cdot m$

###### III.2.2) Eixo de inércia Y

$$M_{y,pl} := Z_y \cdot f_y \quad M_{y,pl} = 93.03 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{y,r} := f_y \cdot W_y \quad M_{y,r} = 61.22 \cdot kN \cdot m$$

$$My_{rd,FLA} := \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLA} \leq \lambda_{p,FLA} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{al}} \cdot \left[ My_{pl} - \left( My_{pl} - My_r \right) \cdot \frac{(\lambda_{FLA} - \lambda_{p,FLA})}{(\lambda_{r,FLA} - \lambda_{p,FLA})} \right], \left( \frac{My_{pl}}{\gamma_{al}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLA} < \lambda_{FLA} \leq \lambda_{r,FLA} \\ "CONSULTAR ANEXO H" & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \end{cases}$$

My<sub>rd,FLA</sub> = 84.57·kN·m

#### **G.2.1 - Flambagem Local da Mesa Comprimida - Estado Limite FLM**

##### IV.1) Classificação da viga quanto a FLM

###### IV.1.1) Cálculo de $\lambda_p$ - Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação

$$\lambda_{p,FLM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_{p,FLM} = 8.12}$$

###### IV.1.2) Cálculo de $\lambda_r$ - Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

$$\lambda_{r,FLM} := 0.83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - 0.3f_y)}} \quad \boxed{\lambda_{r,FLM} = 21.21}$$

###### IV.1.3) Cálculo de $\lambda$ - Parâmetro de esbeltez da viga

$$\lambda_{FLM} := \lambda_M \quad \boxed{\lambda_{FLM} = 8.10}$$

###### IV.1.4) Classificação da seção

$$\text{classificação}_{FLM} := \begin{cases} "SEÇÃO COMPACTA" & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ "SEÇÃO SEMI-COMPACTA" & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ "SEÇÃO ESBELTA" & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases}$$

classificação<sub>FLM</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

##### IV.2) Momento Fletor Resistente de Cálculo - Estado Limite FLM

###### IV.2.1) Eixo de inércia X

$$Mx_{pl} := Zx \cdot f_y \quad \boxed{Mx_{pl} = 200.38 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_r := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot Wx \quad \boxed{Mx_r = 126.03 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_{cr} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{FLM}^2} \cdot Wx \quad \boxed{Mx_{cr} = 865.57 \cdot kN \cdot m}$$

$$Mx_{rd,FLM} := \begin{cases} \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{al}} \cdot \left[ Mx_{pl} - \left( Mx_{pl} - Mx_r \right) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})} \right], \left( \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{al}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left( \frac{Mx_{cr}}{\gamma_{al}} \right), \left( \frac{Mx_{pl}}{\gamma_{al}} \right) \right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases}$$

Mx<sub>rd,FLM</sub> = 182.16·kN·m

###### IV.2.2) Eixo de inércia Y

$$My_{pl} := Zy \cdot f_y \quad \boxed{My_{pl} = 93.03 \cdot kN \cdot m}$$

$$My_r := (f_y - 0.3 \cdot f_y) \cdot Wy$$

$$My_r = 42.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$My_{cr} := \frac{0.69 \cdot E}{\lambda_{FLM}^2} \cdot Wy$$

$$My_{cr} = 294.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\begin{aligned} My_{rd,FLM} &:= \begin{cases} \frac{My_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_{FLM} \leq \lambda_{p,FLM} \\ \min\left[\frac{1}{\gamma_{al}} \cdot \left[My_{pl} - (My_{pl} - My_r) \cdot \frac{(\lambda_{FLM} - \lambda_{p,FLM})}{(\lambda_{r,FLM} - \lambda_{p,FLM})}\right], \left(\frac{My_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{p,FLM} < \lambda_{FLM} \leq \lambda_{r,FLM} \\ \min\left[\left(\frac{My_{cr}}{\gamma_{al}}\right), \left(\frac{My_{pl}}{\gamma_{al}}\right)\right] & \text{if } \lambda_{FLM} > \lambda_{r,FLM} \end{cases} \\ My_{rd,FLM} &= 84.57 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$My_{rd,FLM} = 84.57 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### **Momento Fletor Resistente de Cálculo (Mrd)**

$$Mx_{rd} := \begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(Mrd_{FLT}, Mx_{rd,FLA}, Mx_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Mx_{rd} = 182.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$My_{rd} := \begin{cases} \text{"CONSULTAR ANEXO H"} & \text{if } \lambda_{FLA} > \lambda_{r,FLA} \\ \min(My_{rd,FLA}, My_{rd,FLM}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$My_{rd} = 84.57 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### **NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

##### **V) Força Cortante Resistente de Cálculo**

###### **V.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{l,V}$ )**

$$\lambda_A = 19.80 \quad \lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} = 52.59$$

$$\text{verificação\_fl}_V := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_fl}_V = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$$

###### **VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )**

$$Aw := d \cdot t_0 \quad Aw = 16.27 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} := 0.60 \cdot Aw \cdot f_y \quad V_{pl} = 341.75 \text{ kN}$$

###### **VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )**

$$V_{rd} := \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} \quad V_{rd} = 310.69 \text{ kN}$$

#### **Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

#### **NBR 8800:2008 - 5.5 - Barras prismáticas submetidas à combinação de esforços solicitantes**

VI.1) Atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores

VI.1.1) Relação Nsd/Nrd

$$\frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} = 0.26$$

V.1.2) Equação de Interação

$$\text{interação} := \begin{cases} \left[ \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_{x, sd}}{M_{x, rd}} + \frac{M_{y, sd}}{M_{y, rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} \geq 0.2 \\ \left[ \frac{N_{sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left( \frac{M_{x, sd}}{M_{x, rd}} + \frac{M_{y, sd}}{M_{y, rd}} \right) \right] & \text{if } \frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} < 0.2 \end{cases}$$

interação = 0.76

V.1.2) Verificação da equação de interação

$$\text{verificação\_interação} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \text{interação} \leq 1.0 \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_interação = "VERIFICA"

---

**Verificação ao cortante**

---

$$\text{verificação\_V}_{\max} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd,\max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_V\_max = "VERIFICA"

## B.2 – DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS MISTAS

### a) Viga Mista V204

**NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**

#### I) Dados Iniciais

##### I.1) Materiais

CONCRETO	AÇO (PERFIL)	AÇO (ARMADURA DA LAJE)	AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_{sk} := 600 \text{ MPa}$	$f_{ycs} := 345 \text{ MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$		$f_{ues} := 415 \text{ MPa}$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa}$		$\gamma_{cs} := 1.25$
$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.86 \text{ MPa}$	$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa}$	$f_{sd} := \frac{f_{sk}}{\gamma_{a1}} = 545.45 \text{ MPa}$	

##### I.2) Perfil Metálico - W460x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
$m := 52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_w := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 21.8 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_w := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_a := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

##### I.3) Mesa colaborante

LARGURA DA MESA	ESPESSURA DA MESA	ALTURA DA NERVURA	COBRIMENTO DA ARMADURA	TAXA DA ARMADURA
$b := 131.3 \text{ cm}$	$t_c := 15 \text{ cm}$	$h_f := 0 \text{ cm}$	$c := 3 \text{ cm}$	$\rho_s := \frac{1.13}{2} \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

##### I.4) Conector de Cisalhamento

$$\phi_{es} := 19 \text{ mm} \quad L_{e\_pos} := 600 \text{ cm} \quad L_{e\_neg} := 112.5 \text{ cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

##### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{sd\_pos} := 361 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 345 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 250 \text{ kN}$$

##### I.6) Deslocamentos Limites

$$\text{flecha}_{CF} := 0.849 \text{ cm} \quad \text{flecha}_{CQP} := 1.09 \text{ cm} \quad \text{flecha\_lim} := \frac{750}{350} \text{ cm}$$

#### II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)

##### ALMA (A)

$$\lambda_{pA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{pA} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\\_fl<sub>A</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"**

##### MESA (M)

$$\lambda_{pM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{pM} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\\_fl<sub>M</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"**

---

***ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto***

---

**O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo****O.2.3.1 - Construção escorada**

**O.2.3.1.1 - Vigas mistas de alma cheia com**  $\frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

III) Momento fletor positivo resistente de cálculoIII.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

Rtd := Aa·fyd = 2119.09·kN

Rcd := 0.85·fc·b·tc = 2989.42·kN

verificação\_LN := 
$$\begin{cases} "L.N. NA LAJE DE CONCRETO" & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ "L.N. NA SEÇÃO DE AÇO" & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_LN = "L.N. NA LAJE DE CONCRETO"

III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculoIII.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

Tad := 
$$\begin{cases} (Aa·fyd) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$
 Tad = 2119.09·kN

- Espessura da região comprimida da laje (a)

a := 
$$\begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot fcd \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$
 a = 10.63·cm

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

d1 := 
$$\begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$
 d = 45.00·cm

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>1</sub>)

Mrd\_pos<sub>1</sub> := 
$$\begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + hf + tc - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$
 Mrd\_pos<sub>1</sub> = 682.00·kN·m

III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

Ccd := 
$$\begin{cases} (0.85 \cdot fcd \cdot b \cdot tc) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$
 Ccd = "NÃO SE APLICA"·kN

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$\text{Cad} := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (\text{Aa} \cdot \text{fyd} - \text{Ccd}) \right] & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Cad} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}}$

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$\text{Tad} := \begin{cases} (\text{Ccd} + \text{Cad}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Tad} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}}$

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$\text{Aaf} := \begin{cases} (\text{bf} \cdot \text{tf}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Aaf} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}^2}$

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$\text{Aaw} := \begin{cases} (\text{hw} \cdot \text{tw}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Aaw} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}^2}$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$\text{yp} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \begin{cases} \left( \frac{\text{Cad}}{\text{Aaf} \cdot \text{fyd}} \cdot \text{tf} \right) & \text{if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \text{tf} + \text{hw} \cdot \left( \frac{\text{Cad} - \text{Aaf} \cdot \text{fyd}}{\text{Aaw} \cdot \text{fyd}} \right) \right] & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{yp} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}}$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yt)

$$\text{yt} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{bf} \cdot \text{yp}^2 + \text{hw}^2 \cdot \text{tw} + 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} - 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{yp} - 4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} \cdot \text{yp} + 2 \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} \cdot \text{tw}}{2 \cdot (2 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} - \text{bf} \cdot \text{yp} + \text{hw} \cdot \text{tw})} \right] & \text{if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{d}^2 \cdot \text{tw} - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2 - 2 \cdot \text{d} \cdot \text{tw} \cdot \text{yp}}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} + \text{d} \cdot \text{tw} - \text{tf} \cdot \text{tw} - \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{yt} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}}$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil (yc)

$$\text{yc} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \begin{cases} \left( \frac{\text{yp}}{2} \right) & \text{if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} - \text{tf} \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{yc} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}}$

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>2</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 := \begin{cases} \text{Cad} \cdot (d - yt - yc) + \text{Ccd} \left( \frac{tc}{2} + hf + d - yt \right) & \text{if } Rtd > Red \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo (Mrd<sub>pos</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{Mrd}_{\text{pos}}_1 & \text{if } Rtd \leq Red \\ \text{Mrd}_{\text{pos}}_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}} = 682.00 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 := Zx \cdot fyd \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 = 348.73 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

- Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$\text{Asl} := ps \cdot b \quad \boxed{\text{Asl} = 0.74 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$\text{Tds} := \text{Asl} \cdot fsd \quad \boxed{\text{Tds} = 40.46 \cdot \text{kN}}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$yp := \begin{cases} \left( \frac{-Tds - d \cdot fyd \cdot tw}{2 \cdot fyd \cdot tw} \right) & \text{if } \left( \frac{-Tds - d \cdot fyd \cdot tw}{2 \cdot fyd \cdot tw} \right) \geq tf \\ \left( tf - \frac{Tds - fyd \cdot hw \cdot tw}{2 \cdot bf \cdot fyd} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yp = 21.66 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$yc := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot bf \cdot tf^2 + bf \cdot yp^2 + hw^2 \cdot tw + 2 \cdot bf \cdot hw \cdot tf - 2 \cdot bf \cdot hw \cdot yp - 4 \cdot bf \cdot tf \cdot yp + 2 \cdot hw \cdot tf \cdot tw}{2 \cdot (2 \cdot bf \cdot tf - bf \cdot yp + hw \cdot tw)} \right] & \text{if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 + d^2 \cdot tw - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2 - 2 \cdot d \cdot tw \cdot yp}{2 \cdot (bf \cdot tf + d \cdot tw - tf \cdot tw - tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yc = 6.46 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$yt := \begin{cases} \left( \frac{yp}{2} \right) & \text{if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2}{2 \cdot (bf \cdot tf - tf \cdot tw + tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yt = 5.83 \cdot \text{cm}}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{at} = 32.06 \cdot \text{cm}^2$$

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{ac} = 33.33 \cdot \text{cm}^2$$

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$
$$d_3 = 33.66 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$
$$d_4 = 15.84 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$
$$d_5 = 16.88 \cdot \text{cm}$$

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd\_neg<sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$
$$M_{rd\_neg2} = 354.15 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg1}, M_{rd\_neg2})$$
$$M_{rd\_neg} = 354.15 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### O.4 - Conectores de Cisalhamento

##### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$
$$A_{cs} = 2.84 \cdot \text{cm}^2$$

V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$
$$Q_{Rd} = 56.48 \cdot \text{kN}$$

V.3) Cálculo do número de conectores

- Espaçamento Máximo

$$\text{esp}_{\max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{mm})$$
$$\text{esp}_{\max} = 91.50 \cdot \text{cm}$$

- Espaçamento Mínimo

$$\text{esp}_{\min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$
$$\text{esp}_{\min} = 7.60 \cdot \text{cm}$$

### V.3.1) Região de momento positivo

#### - Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(Aa \cdot fy_d, 0.85 \cdot fcd \cdot b \cdot tc)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 37.52$$

#### - Espaçamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{kN}\cdot\text{m} \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 8.00 \text{-cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

#### - Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$Tds = 40.46 \text{ kN}$$

#### - Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{Tds}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.72$$

#### - Espaçamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{kN}\cdot\text{m} \wedge Tds \neq 0.00 \text{kN}) \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 91.50 \text{-cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 37.52 \quad esp_{pos} = 8.00 \text{-cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.72 \quad esp_{neg} = 91.50 \text{-cm}$$

---

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

---

VI) Força Cortante Resistente de Cálculo

VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento

- Parâmetro de esbeltez limite para secções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 53.24}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 53.20$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{lV}$ )

$$\text{verificação\_}f_{lV} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_}f_{lV} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 34.20 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}}$$

---

VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}}$$

---

**Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

---

VII) Verificação no ELU

MOMENTO POSITIVO

$M_{sd\_pos} = 361.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

MOMENTO NEGATIVO

$M_{sd\_neg} = 345.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

CORTANTE

$V_{sd\_max} = 250.00 \cdot \text{kN}$

$M_{rd\_pos} = 682.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{rd\_neg} = 354.15 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}$

$$\text{verificação\_}M_{pos} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_pos} \leq M_{rd\_pos} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}V_{max} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd\_max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}M_{neg} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_neg} \leq M_{rd\_neg} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_ $M_{pos}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $M_{neg}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $V_{max}$  = "VERIFICA"

#### **Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

#### VIII) Verificação no ELS

### VII.1) Deslocamentos Máximos

#### VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada

#### CURTA DURAÇÃO (cd)

$$A_{cd} = 352.42 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{sup_{cd}} = 13.17 \cdot cm$$

$$y_{inf cd} = 46.83 \cdot cm$$

$$I_{x_{cd}} = 75341.60 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{xsup{cd}} = 5720.96 \cdot cm^3$$

$$W_{xinf_{cd}} = 1608.81 \cdot \text{cm}^3$$

#### - Verificação

#### LONGA DURAÇÃO (Id)

$$A_{ld} = 161.87 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{supId} = 19.84 \cdot cm$$

$$y_{inf|d} = 40.16 \cdot cm$$

$$I_x I_d = 58434.96 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{xsup{Id}} = 2944.86 \cdot cm^3$$

$$W_{xinf}|_d = 1455.16 \cdot \text{cm}^3$$

### - Verificação

$$\text{flecha}_{\text{CF}} = 0.85 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha}_{\text{CQP}} = 1.09 \cdot \text{cm}$$

$$flecha\_lim = 2.14 \cdot cm$$

$$\text{verificação_flecha} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \max(\text{flecha}_{\text{CF}}, \text{flecha}_{\text{CQP}}) \leq \text{flecha\_lim} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

## b) Viga Mista V221

NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

### I) Dados Iniciais

#### I.1) Materiais

CONCRETO	AÇO (PERFIL)	AÇO (ARMADURA DA LAJE)	AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_{sk} := 600 \text{ MPa}$	$f_{ycs} := 345 \text{ MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$		$f_{ues} := 415 \text{ MPa}$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa}$		$\gamma_{cs} := 1.25$
$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.86 \text{ MPa}$	$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa}$	$f_{sd} := \frac{f_{sk}}{\gamma_{a1}} = 545.45 \text{ MPa}$	

#### I.2) Perfil Metálico - W460x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
$m := 52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_w := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 21.8 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_w := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_a := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

#### I.3) Mesa colaborante

LARGURA DA MESA	ESPESSURA DA MESA	ALTURA DA NERVURA	COBRIMENTO DA ARMADURA	TAXA DA ARMADURA
$b := 187.5 \text{ cm}$	$t_c := 9 \text{ cm}$	$h_f := 0 \text{ cm}$	$c := 3 \text{ cm}$	$\rho_s := 1.13 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

#### I.4) Conector de Cisalhamento

$$\phi_{es} := 19 \text{ mm} \quad L_{epos} := 750 \text{ cm} \quad L_{eneg} := 0.00 \text{ cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

#### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{sd\_pos} := 211 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 107 \text{ kN}$$

#### I.6) Deslocamentos Limites

$$flecha_{CF} := 0.655 \text{ cm} \quad flecha_{CQP} := 0.841 \text{ cm} \quad flecha\_lim := 15 \text{ mm}$$

### II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)

#### ALMA (A)

$$\lambda_{pA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{pA} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>A</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

#### MESA (M)

$$\lambda_{pM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{pM} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>M</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

## **ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto**

### **O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo**

#### **O.2.3.1 - Construção escorada**

**O.2.3.1.1 - Vigas mistas de alma cheia com**  $\frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

III) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

$$Rtd := A_a \cdot f_y = 2119.09 \text{ kN}$$

$$Rcd := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c = 2561.38 \text{ kN}$$

$$\text{verificação\_LN} := \begin{cases} \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"} & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"L.N. NA SEÇÃO DE AÇO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\_LN = "L.N. NA LAJE DE CONCRETO"**

##### III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculo

###### III.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (A_a \cdot f_y) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tad = 2119.09 \text{ kN}$$

###### Espessura da região comprimida da laje (a)

$$a := \begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = 7.45 \text{ cm}$$

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

$$d1 := \begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad d = 45.00 \text{ cm}$$

###### Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos\_1)

$$Mrd_{pos1} := \begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd_{pos1} = 588.62 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

###### III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO

- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

$$Ccd := \begin{cases} (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c) & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Ccd = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}$$

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$\text{Cad} := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (\text{Aa} \cdot \text{fyd} - \text{Ccd}) \right] & \text{if } \text{Rtd} > \text{Red} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (Ccd + Cad) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "N\AAO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$Aaf := \begin{cases} (bf\cdot tf) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "N\ddot{A}O SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$Aaw := \begin{cases} (hw-tw) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$y_p := \begin{cases} \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \left( \frac{\text{Cad}}{\text{Aaf} \cdot \text{fyd}} \cdot \text{tf} \right) \text{ if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \text{tf} + \text{hw} \cdot \left( \frac{\text{Cad} - \text{Aaf} \cdot \text{fyd}}{\text{Aaw} \cdot \text{fyd}} \right) \right] \text{ otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} \text{ otherwise} \end{cases}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil ( $y_t$ )

$$yt := \begin{cases} \text{if } Rtd > Rcd \\ \left[ \frac{4 \cdot bf \cdot tf^2 + bf \cdot yp^2 + hw^2 \cdot tw + 2 \cdot bf \cdot hw \cdot tf - 2 \cdot bf \cdot hw \cdot yp - 4 \cdot bf \cdot tf \cdot yp + 2 \cdot hw \cdot tf \cdot tw}{2 \cdot (2 \cdot bf \cdot tf - bf \cdot yp + hw \cdot tw)} \right] \text{ if } Cad \leq Aaf \cdot syd \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 + d^2 \cdot tw - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2 - 2 \cdot d \cdot tw \cdot yp}{2 \cdot (bf \cdot tf + d \cdot tw - tf \cdot tw - tw \cdot yp)} \right] \text{ otherwise} \\ "N\AAO SE APLICA" \text{ otherwise} \end{cases}$$

yt = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil ( $y_C$ )

$$yc := \begin{cases} \text{if } Rtd > Red \\ \left( \frac{yp}{2} \right) \text{ if } Cad \leq Aaf \cdot fyd \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2}{2 \cdot (bf \cdot tf - tf \cdot tw + tw \cdot yp)} \right] \text{ otherwise} \\ "NÃO SE APLICA" \text{ otherwise} \end{cases}$$

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>2</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 := \begin{cases} \left[ \text{Cad} \cdot (d - yt - yc) + \text{Ccd} \cdot \left( \frac{tc}{2} + hf + d - yt \right) \right] & \text{if } Rtd > Red \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo (Mrd<sub>pos</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{Mrd}_{\text{pos}}_1 & \text{if } Rtd \leq Red \\ \text{Mrd}_{\text{pos}}_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}} = 588.62 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 := Zx \cdot fyd \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 = 348.73 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

- Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$\text{Asl} := ps \cdot b \quad \boxed{\text{Asl} = 2.12 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$\text{Tds} := Asl \cdot fsd \quad \boxed{\text{Tds} = 115.57 \cdot \text{kN}}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$yp := \begin{cases} \left( \frac{-Tds - d \cdot fyd \cdot tw}{2 \cdot fyd \cdot tw} \right) & \text{if } \left( \frac{-Tds - d \cdot fyd \cdot tw}{2 \cdot fyd \cdot tw} \right) \geq tf \\ \left( tf - \frac{Tds - fyd \cdot hw \cdot tw}{2 \cdot bf \cdot fyd} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yp = 20.11 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$yc := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot bf \cdot tf^2 + bf \cdot yp^2 + hw^2 \cdot tw + 2 \cdot bf \cdot hw \cdot tf - 2 \cdot bf \cdot hw \cdot yp - 4 \cdot bf \cdot tf \cdot yp + 2 \cdot hw \cdot tf \cdot tw}{2 \cdot (2 \cdot bf \cdot tf - bf \cdot yp + hw \cdot tw)} \right] & \text{if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 + d^2 \cdot tw - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2 - 2 \cdot d \cdot tw \cdot yp}{2 \cdot (bf \cdot tf + d \cdot tw - tf \cdot tw - tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yc = 7.07 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$yt := \begin{cases} \left( \frac{yp}{2} \right) & \text{if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2}{2 \cdot (bf \cdot tf - tf \cdot tw + tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yt = 5.25 \cdot \text{cm}}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{at} = 30.88 \cdot \text{cm}^2$$

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{ac} = 34.51 \cdot \text{cm}^2$$

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$
$$d_3 = 26.11 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$
$$d_4 = 14.86 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$
$$d_5 = 17.82 \cdot \text{cm}$$

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd\_neg<sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$
$$M_{rd\_neg2} = 371.91 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg1}, M_{rd\_neg2})$$
$$M_{rd\_neg} = 371.91 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### O.4 - Conectores de Cisalhamento

##### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$
$$A_{cs} = 2.84 \cdot \text{cm}^2$$

V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$
$$Q_{Rd} = 56.48 \cdot \text{kN}$$

V.3) Cálculo do número de conectores

- Espaçamento Máximo

$$\text{esp}_{\max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{mm})$$
$$\text{esp}_{\max} = 72.00 \cdot \text{cm}$$

- Espaçamento Mínimo

$$\text{esp}_{\min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$
$$\text{esp}_{\min} = 7.60 \cdot \text{cm}$$

### V.3.1) Região de momento positivo

#### - Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(A_a \cdot f_y d, 0.85 \cdot f_c d \cdot b \cdot t_c)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 37.52$$

#### - Espaçamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ esp_{min} \text{ if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} \text{ if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \text{ otherwise} \\ (0.00) \text{ otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 9.99 \text{ cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

#### - Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$T_{ds} = 115.57 \text{ kN}$$

#### - Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{T_{ds}}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.00$$

#### - Espaçamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \wedge T_{ds} \neq 0.00 \text{ kN}) \\ esp_{min} \text{ if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} \text{ if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \text{ otherwise} \\ (0.00) \text{ otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 0.00 \text{ cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 37.52 \quad esp_{pos} = 9.99 \text{ cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.00 \quad esp_{neg} = 0.00 \text{ cm}$$

---

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

---

VI) Força Cortante Resistente de Cálculo

VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento

- Parâmetro de esbeltez limite para secções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 53.24}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 53.20$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{lV}$ )

$$\text{verificação\_}f_{lV} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_}f_{lV} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 34.20 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}}$$

---

VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}}$$

---

Verificação no Estado Limite Último (ELU)

---

VII) Verificação no ELU

MOMENTO POSITIVO

$M_{sd\_pos} = 211.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

MOMENTO NEGATIVO

$M_{sd\_neg} = 0.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

CORTANTE

$V_{sd\_max} = 107.00 \cdot \text{kN}$

$M_{rd\_pos} = 588.62 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{rd\_neg} = 371.91 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}$

$$\text{verificação\_}M_{pos} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_pos} \leq M_{rd\_pos} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}V_{max} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd\_max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}M_{neg} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_neg} \leq M_{rd\_neg} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_ $M_{pos}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $M_{neg}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $V_{max}$  = "VERIFICA"

#### **Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

#### VIII) Verificação no ELS

### VII.1) Deslocamentos Máximos

#### VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada

CURTA DURAÇÃO (cd)	LONGA DURAÇÃO (ld)
$A_{cd} = 311.49 \cdot \text{cm}^2$	$A_{ld} = 148.23 \cdot \text{cm}^2$
$y_{sup,cd} = 10.27 \cdot \text{cm}$	$y_{sup,ld} = 16.63 \cdot \text{cm}$
$y_{inf,cd} = 43.73 \cdot \text{cm}$	$y_{inf,ld} = 37.37 \cdot \text{cm}$
$Ix_{cd} = 61193.71 \cdot \text{cm}^4$	$Ix_{ld} = 48658.34 \cdot \text{cm}^4$
$Wx_{sup,cd} = 5956.85 \cdot \text{cm}^3$	$Wx_{sup,ld} = 2925.75 \cdot \text{cm}^3$
$Wx_{inf,cd} = 1399.44 \cdot \text{cm}^3$	$Wx_{inf,ld} = 1302.11 \cdot \text{cm}^3$

#### - Verificação

$$\text{flecha}_{\text{CF}} = 0.66 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha}_{\text{CQP}} = 0.84 \cdot \text{cm}$$

flecha\_lim = 1.50·cm

$$\text{verificação_flecha} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \max(\text{flecha}_{\text{CF}}, \text{flecha}_{\text{CQP}}) \leq \text{flecha\_lim} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

### c) Viga Mista V222

NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

#### I) Dados Iniciais

##### I.1) Materiais

CONCRETO	AÇO (PERFIL)	AÇO (ARMADURA DA LAJE)	AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_{sk} := 600 \text{ MPa}$	$f_{ycs} := 345 \text{ MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$		$f_{ues} := 415 \text{ MPa}$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa}$		$\gamma_{cs} := 1.25$
$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.86 \text{ MPa}$	$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa}$	$f_{sd} := \frac{f_{sk}}{\gamma_{a1}} = 545.45 \text{ MPa}$	

##### I.2) Perfil Metálico - W460x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
$m := 52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_w := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 21.8 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_w := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_a := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

##### I.3) Mesa colaborante

LARGURA DA MESA	ESPESSURA DA MESA	ALTURA DA NERVURA	COBRIMENTO DA ARMADURA	TAXA DA ARMADURA
$b := 186.9 \text{ cm}$	$t_c := 10 \text{ cm}$	$h_f := 5 \text{ cm}$	$c := 3 \text{ cm}$	$\rho_s := 1.13 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

##### I.4) Conector de Cisalhamento

$$\phi_{es} := 19 \text{ mm} \quad L_{epos} := 750 \text{ cm} \quad L_{eneg} := 0.00 \text{ cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

##### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{sd\_pos} := 171 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 91.1 \text{ kN}$$

##### I.6) Deslocamentos Limites

$$flecha_{CF} := 0.433 \text{ cm} \quad flecha_{CQP} := 0.554 \text{ cm} \quad flecha\_lim := \frac{750 \text{ cm}}{350}$$

#### II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)

##### ALMA (A)

$$\lambda_{pA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{pA} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>A</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

##### MESA (M)

$$\lambda_{pM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{pM} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>M</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

## **ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto**

### **O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo**

#### **O.2.3.1 - Construção escorada**

**O.2.3.1.1 - Vigas mistas de alma cheia com**  $\frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

#### III) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

$$Rtd := A_a \cdot f_y = 2119.09 \text{ kN}$$

$$Rcd := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c = 2836.88 \text{ kN}$$

$$\text{verificação\_LN} := \begin{cases} \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"} & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"L.N. NA SEÇÃO DE AÇO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_LN} = \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"}$$

##### III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculo

###### III.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (A_a \cdot f_y) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tad = 2119.09 \text{ kN}$$

###### Espessura da região comprimida da laje (a)

$$a := \begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = 7.47 \text{ cm}$$

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

$$d1 := \begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad d = 45.00 \text{ cm}$$

###### Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>1</sub>)

$$Mrd_{pos1} := \begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd_{pos1} = 715.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

###### III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO

- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

$$Ccd := \begin{cases} (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c) & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Ccd = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}$$

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$\text{Cad} := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (\text{Aa} \cdot \text{fyd} - \text{Ced}) \right] & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Cad = "NÃO SE APLICA" · kN

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$\text{Tad} := \begin{cases} (\text{Ced} + \text{Cad}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tad = "NÃO SE APLICA" · kN

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$\text{Aaf} := \begin{cases} (\text{bf} \cdot \text{tf}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Aaf = "NÃO SE APLICA" · cm<sup>2</sup>

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$\text{Aaw} := \begin{cases} (\text{hw} \cdot \text{tw}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Aaw = "NÃO SE APLICA" · cm<sup>2</sup>

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$\text{yp} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \text{if } \text{cad} \\ \left( \frac{\text{cad}}{\text{aaf} \cdot \text{fyd}} \cdot \text{tf} \right) & \text{if } \text{cad} \leq \text{aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \text{tf} + \text{hw} \cdot \left( \frac{\text{cad} - \text{aaf} \cdot \text{fyd}}{\text{aaw} \cdot \text{fyd}} \right) \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

yp = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yt)

$$\text{yt} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \text{if } \text{cad} \\ \left[ \frac{4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{bf} \cdot \text{yp}^2 + \text{hw}^2 \cdot \text{tw} + 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} - 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{yp} - 4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} \cdot \text{yp} + 2 \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} \cdot \text{tw}}{2 \cdot (2 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} - \text{bf} \cdot \text{yp} + \text{hw} \cdot \text{tw})} \right] & \text{if } \text{cad} \leq \text{aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{d}^2 \cdot \text{tw} - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2 - 2 \cdot \text{d} \cdot \text{tw} \cdot \text{yp}}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} + \text{d} \cdot \text{tw} - \text{tf} \cdot \text{tw} - \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

yt = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil (yc)

$$\text{yc} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \text{if } \text{cad} \\ \left( \frac{\text{yp}}{2} \right) & \text{if } \text{cad} \leq \text{aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} - \text{tf} \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

yc = "NÃO SE APLICA" · cm

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>2</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 := \begin{cases} \left[ \text{C}_{\text{ad}} \cdot (d - y_t - y_c) + \text{C}_{\text{ed}} \cdot \left( \frac{t_c}{2} + h_f + d - y_t \right) \right] & \text{if } R_{\text{td}} > R_{\text{ed}} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo (Mrd<sub>pos</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{Mrd}_{\text{pos}}_1 & \text{if } R_{\text{td}} \leq R_{\text{ed}} \\ \text{Mrd}_{\text{pos}}_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}} = 715.51 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 := Z_x \cdot f_y d \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 = 348.73 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

- Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$\text{Asl} := \rho_s \cdot b \quad \boxed{\text{Asl} = 2.11 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$\text{Tds} := \text{Asl} \cdot f_{sd} \quad \boxed{\text{Tds} = 115.20 \cdot \text{kN}}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$y_p := \begin{cases} \left( \frac{T_{\text{ds}} - d \cdot f_y d \cdot t_w}{2 \cdot f_y d \cdot t_w} \right) & \text{if } \left( \frac{T_{\text{ds}} - d \cdot f_y d \cdot t_w}{2 \cdot f_y d \cdot t_w} \right) \geq t_f \\ \left( t_f - \frac{T_{\text{ds}} - f_y d \cdot h_w \cdot t_w}{2 \cdot b_f \cdot f_y d} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_p = 20.12 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$y_c := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot b_f \cdot t_f^2 + b_f \cdot y_p^2 + h_w^2 \cdot t_w + 2 \cdot b_f \cdot h_w \cdot t_f^2 - 2 \cdot b_f \cdot h_w \cdot y_p - 4 \cdot b_f \cdot t_f \cdot y_p + 2 \cdot h_w \cdot t_f \cdot t_w}{2 \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f - b_f \cdot y_p + h_w \cdot t_w)} \right] & \text{if } y_p \leq t_f \\ \left[ \frac{b_f \cdot t_f^2 + d^2 \cdot t_w - t_f^2 \cdot t_w + t_w \cdot y_p^2 - 2 \cdot d \cdot t_w \cdot y_p}{2 \cdot (b_f \cdot t_f + d \cdot t_w - t_f \cdot t_w - t_w \cdot y_p)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_c = 7.06 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$y_t := \begin{cases} \left( \frac{y_p}{2} \right) & \text{if } y_p \leq t_f \\ \left[ \frac{b_f \cdot t_f^2 - t_f^2 \cdot t_w + t_w \cdot y_p^2}{2 \cdot (b_f \cdot t_f - t_f \cdot t_w + t_w \cdot y_p)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_t = 5.25 \cdot \text{cm}}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{at} = 30.88 \cdot \text{cm}^2$$

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{ac} = 34.51 \cdot \text{cm}^2$$

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$
$$d_3 = 32.12 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$
$$d_4 = 14.87 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$
$$d_5 = 17.82 \cdot \text{cm}$$

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd\_neg<sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$
$$M_{rd\_neg2} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg1}, M_{rd\_neg2})$$
$$M_{rd\_neg} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### O.4 - Conectores de Cisalhamento

#### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$
$$A_{cs} = 2.84 \cdot \text{cm}^2$$

V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{uc}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$
$$Q_{Rd} = 56.48 \cdot \text{kN}$$

V.3) Cálculo do número de conectores

- Espaçamento Máximo

$$\text{esp}_{\max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{mm})$$
$$\text{esp}_{\max} = 80.00 \cdot \text{cm}$$

- Espaçamento Mínimo

$$\text{esp}_{\min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$
$$\text{esp}_{\min} = 7.60 \cdot \text{cm}$$

### V.3.1) Região de momento positivo

#### - Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(Aa \cdot fyd, 0.85 \cdot fcd \cdot b \cdot tc)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 37.52$$

#### - Espaçamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ esp_{min} \text{ if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} \text{ if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \text{ otherwise} \\ (0.00) \text{ otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 9.99 \text{ cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

#### - Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$T_{ds} = 115.20 \text{ kN}$$

#### - Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{T_{ds}}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.00$$

#### - Espaçamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \wedge T_{ds} \neq 0.00 \text{ kN}) \\ esp_{min} \text{ if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} \text{ if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \text{ otherwise} \\ (0.00) \text{ otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 0.00 \text{ cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 37.52 \quad esp_{pos} = 9.99 \text{ cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.00 \quad esp_{neg} = 0.00 \text{ cm}$$

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

**VI) Força Cortante Resistente de Cálculo**

**VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento**

- Parâmetro de esbeltez limite para seções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 53.24}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 53.20$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{l,V}$ )

$$\text{verificação\_} f_{l,V} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_} f_{l,V} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

**VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )**

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 34.20 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}}$$

**VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )**

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}}$$

**Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

**VII) Verificação no ELU**

**MOMENTO POSITIVO**

$$M_{sd, \text{pos}} = 171.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd, \text{pos}} = 715.51 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

**MOMENTO NEGATIVO**

$$M_{sd, \text{neg}} = 0.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{rd, \text{neg}} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

**CORTANTE**

$$V_{sd, \text{max}} = 91.10 \cdot \text{kN}$$

$$V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}$$

$$\text{verificação\_} M_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd, \text{pos}} \leq M_{rd, \text{pos}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_} M_{\text{neg}} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd, \text{neg}} \leq M_{rd, \text{neg}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_} V_{\text{max}} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd, \text{max}} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{verificação\_} M_{\text{pos}} = \text{"VERIFICA"}}$$

$$\boxed{\text{verificação\_} M_{\text{neg}} = \text{"VERIFICA"}}$$

$$\boxed{\text{verificação\_} V_{\text{max}} = \text{"VERIFICA"}}$$

---

***Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)***

---

**VIII) Verificação no ELS****VII.1) Deslocamentos Máximos****VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada**

█

**CURTA DURAÇÃO (cd)**

$$A_{cd} = 337.83 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{sup,cd} = 11.41 \cdot \text{cm}$$

$$y_{inf,cd} = 48.59 \cdot \text{cm}$$

$$I_{x,cd} = 80108.54 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{x,upper,cd} = 7022.74 \cdot \text{cm}^3$$

$$W_{x,lower,cd} = 1648.56 \cdot \text{cm}^3$$

**LONGA DURAÇÃO (ld)**

$$A_{ld} = 157.01 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{sup,ld} = 18.79 \cdot \text{cm}$$

$$y_{inf,ld} = 41.21 \cdot \text{cm}$$

$$I_{x,ld} = 62630.61 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{x,upper,ld} = 3333.96 \cdot \text{cm}^3$$

$$W_{x,lower,ld} = 1519.63 \cdot \text{cm}^3$$

**- Verificação**

$$flecha_{CF} = 0.43 \cdot \text{cm}$$

$$flecha_{CQP} = 0.55 \cdot \text{cm}$$

$$flecha\_lim = 2.14 \cdot \text{cm}$$

```
verificação_flecha := | "VERIFICA" if max(flecha_CF, flecha_CQP) ≤ flecha_lim
                      | "REDIMENSIONAR" otherwise
                      | "VERIFICA"
```

## d) Viga Mista V223

NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

### I) Dados Iniciais

#### I.1) Materiais

CONCRETO	AÇO (PERFIL)	AÇO (ARMADURA DA LAJE)	AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_{sk} := 600 \text{ MPa}$	$f_{ycs} := 345 \text{ MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$		$f_{ues} := 415 \text{ MPa}$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa}$		$\gamma_{cs} := 1.25$
$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.86 \text{ MPa}$	$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa}$	$f_{sd} := \frac{f_{sk}}{\gamma_{a1}} = 545.45 \text{ MPa}$	

#### I.2) Perfil Metálico - W460x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
$m := 52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_w := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 21.8 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_w := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_a := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

#### I.3) Mesa colaborante

LARGURA DA MESA	ESPESSURA DA MESA	ALTURA DA NERVURA	COBRIMENTO DA ARMADURA	TAXA DA ARMADURA
$b := 187.5 \text{ cm}$	$t_c := 9 \text{ cm}$	$h_f := 0 \text{ cm}$	$c := 3 \text{ cm}$	$\rho_s := 1.13 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

#### I.4) Conector de Cisalhamento

$$\phi_{es} := 19 \text{ mm} \quad L_{epos} := 750 \text{ cm} \quad L_{eneg} := 0.00 \text{ cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

#### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{sd\_pos} := 220 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 120 \text{ kN}$$

#### I.6) Deslocamentos Limites

$$flecha_{CF} := 0.718 \text{ cm} \quad flecha_{CQP} := 0.921 \text{ cm} \quad flecha\_lim := 15 \text{ mm}$$

### II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)

#### ALMA (A)

$$\lambda_{pA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{pA} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>A</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

#### MESA (M)

$$\lambda_{pM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{pM} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>M</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

## **ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto**

### **O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo**

#### **O.2.3.1 - Construção escorada**

**O.2.3.1.1 - Vigas mistas de alma cheia com**  $\frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

III) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

$$Rtd := A_a \cdot f_y = 2119.09 \text{ kN}$$

$$Rcd := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c = 2561.38 \text{ kN}$$

$$\text{verificação\_LN} := \begin{cases} \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"} & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"L.N. NA SEÇÃO DE AÇO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\\_LN = "L.N. NA LAJE DE CONCRETO"**

##### III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculo

###### III.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (A_a \cdot f_y) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tad = 2119.09 \text{ kN}$$

###### Espessura da região comprimida da laje (a)

$$a := \begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = 7.45 \text{ cm}$$

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

$$d1 := \begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad d = 45.00 \text{ cm}$$

###### Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>1</sub>)

$$Mrd_{pos1} := \begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd_{pos1} = 588.62 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

###### III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO

- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

$$Ccd := \begin{cases} (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c) & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Ccd = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}$$

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$\text{Cad} := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (\text{Aa} \cdot \text{fyd} - \text{Ced}) \right] & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Cad} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}}$

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$\text{Tad} := \begin{cases} (\text{Ced} + \text{Cad}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Tad} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}}$

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$\text{Aaf} := \begin{cases} (\text{bf} \cdot \text{tf}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Aaf} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}^2}$

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$\text{Aaw} := \begin{cases} (\text{hw} \cdot \text{tw}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{Aaw} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}^2}$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$\text{yp} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \boxed{\text{yp} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}} \\ \left( \frac{\text{Cad}}{\text{Aaf} \cdot \text{fyd}} \cdot \text{tf} \right) & \text{if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \text{tf} + \text{hw} \cdot \left( \frac{\text{Cad} - \text{Aaf} \cdot \text{fyd}}{\text{Aaw} \cdot \text{fyd}} \right) \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yt)

$$\text{yt} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \boxed{\text{yt} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}} \\ \left[ \frac{4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{bf} \cdot \text{yp}^2 + \text{hw}^2 \cdot \text{tw} + 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} - 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{yp} - 4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} \cdot \text{yp} + 2 \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} \cdot \text{tw}}{2 \cdot (2 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} - \text{bf} \cdot \text{yp} + \text{hw} \cdot \text{tw})} \right] & \text{if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{d}^2 \cdot \text{tw} - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2 - 2 \cdot \text{d} \cdot \text{tw} \cdot \text{yp}}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} + \text{d} \cdot \text{tw} - \text{tf} \cdot \text{tw} - \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\boxed{\text{yt} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}}$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil (yc)

$$\text{yc} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \boxed{\text{yc} = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{cm}} \\ \left( \frac{\text{yp}}{2} \right) & \text{if } \text{Cad} \leq \text{Aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} - \text{tf} \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>2</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 := \begin{cases} \left[ \text{C}_{\text{ad}} \cdot (d - y_t - y_c) + \text{C}_{\text{ed}} \cdot \left( \frac{t_c}{2} + h_f + d - y_t \right) \right] & \text{if } R_{\text{td}} > R_{\text{ed}} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo (Mrd<sub>pos</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{Mrd}_{\text{pos}}_1 & \text{if } R_{\text{td}} \leq R_{\text{ed}} \\ \text{Mrd}_{\text{pos}}_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}} = 588.62 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 := Z_x \cdot f_y d \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 = 348.73 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

- Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$\text{Asl} := \rho_s \cdot b \quad \boxed{\text{Asl} = 2.12 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$\text{Tds} := \text{Asl} \cdot f_{sd} \quad \boxed{\text{Tds} = 115.57 \cdot \text{kN}}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$y_p := \begin{cases} \left( \frac{T_{\text{ds}} - d \cdot f_y d \cdot t_w}{2 \cdot f_y d \cdot t_w} \right) & \text{if } \left( \frac{T_{\text{ds}} - d \cdot f_y d \cdot t_w}{2 \cdot f_y d \cdot t_w} \right) \geq t_f \\ \left( t_f - \frac{T_{\text{ds}} - f_y d \cdot h_w \cdot t_w}{2 \cdot b_f \cdot f_y d} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_p = 20.11 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$y_c := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot b_f \cdot t_f^2 + b_f \cdot y_p^2 + h_w^2 \cdot t_w + 2 \cdot b_f \cdot h_w \cdot t_f^2 - 2 \cdot b_f \cdot h_w \cdot y_p - 4 \cdot b_f \cdot t_f \cdot y_p + 2 \cdot h_w \cdot t_f \cdot t_w}{2 \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f - b_f \cdot y_p + h_w \cdot t_w)} \right] & \text{if } y_p \leq t_f \\ \left[ \frac{b_f \cdot t_f^2 + d^2 \cdot t_w - t_f^2 \cdot t_w + t_w \cdot y_p^2 - 2 \cdot d \cdot t_w \cdot y_p}{2 \cdot (b_f \cdot t_f + d \cdot t_w - t_f \cdot t_w - t_w \cdot y_p)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_c = 7.07 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$y_t := \begin{cases} \left( \frac{y_p}{2} \right) & \text{if } y_p \leq t_f \\ \left[ \frac{b_f \cdot t_f^2 - t_f^2 \cdot t_w + t_w \cdot y_p^2}{2 \cdot (b_f \cdot t_f - t_f \cdot t_w + t_w \cdot y_p)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_t = 5.25 \cdot \text{cm}}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{at} = 30.88 \cdot \text{cm}^2$$

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{ac} = 34.51 \cdot \text{cm}^2$$

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$
$$d_3 = 26.11 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$
$$d_4 = 14.86 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$
$$d_5 = 17.82 \cdot \text{cm}$$

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd\_neg<sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$
$$M_{rd\_neg2} = 371.91 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg1}, M_{rd\_neg2})$$
$$M_{rd\_neg} = 371.91 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### O.4 - Conectores de Cisalhamento

#### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$
$$A_{cs} = 2.84 \cdot \text{cm}^2$$

V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$
$$Q_{Rd} = 56.48 \cdot \text{kN}$$

V.3) Cálculo do número de conectores

- Espaçamento Máximo

$$\text{esp}_{\max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{mm})$$
$$\text{esp}_{\max} = 72.00 \cdot \text{cm}$$

- Espaçamento Mínimo

$$\text{esp}_{\min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$
$$\text{esp}_{\min} = 7.60 \cdot \text{cm}$$

### V.3.1) Região de momento positivo

- Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(A_a \cdot f_y d, 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 37.52$$

- Espaçamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

- Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$T_{ds} = 115.57 \cdot \text{kN}$$

- Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{T_{ds}}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.00$$

- Espaçamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \wedge T_{ds} \neq 0.00 \text{ kN}) \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 37.52 \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.00 \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

---

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

---

VI) Força Cortante Resistente de Cálculo

VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento

- Parâmetro de esbeltez limite para secções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 53.24}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 53.20$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{lV}$ )

$$\text{verificação\_}f_{lV} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_}f_{lV} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 34.20 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}}$$

---

VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}}$$

---

**Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

---

VII) Verificação no ELU

MOMENTO POSITIVO

$M_{sd\_pos} = 220.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

MOMENTO NEGATIVO

$M_{sd\_neg} = 0.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

CORTANTE

$V_{sd\_max} = 120.00 \cdot \text{kN}$

$M_{rd\_pos} = 588.62 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{rd\_neg} = 371.91 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}$

$$\text{verificação\_}M_{pos} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_pos} \leq M_{rd\_pos} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}V_{max} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd\_max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}M_{neg} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_neg} \leq M_{rd\_neg} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_ $M_{pos}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $M_{neg}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $V_{max}$  = "VERIFICA"

#### **Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

#### VIII) Verificação no ELS

### VII.1) Deslocamentos Máximos

#### VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada

### CURTA DURAÇÃO (cd)

$$A_{cd} = 311.49 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{sup_{cd}} = 10.27 \cdot cm$$

$$y_{inf cd} = 43.73 \cdot cm$$

$$I_{x_{cd}} = 61193.71 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{xsup{cd}} = 5956.85 \cdot cm^3$$

$$W_{xinf_{cd}} = 1399.44 \cdot \text{cm}^3$$

### - Verificação

### LONGA DURAÇÃO (Id)

$$A_{ld} = 148.23 \cdot cm^2$$

$$y_{sup1d} = 16.63 \cdot cm$$

$$y_{inf|d} = 37.37 \cdot cm$$

$$I_x I_d = 48658.34 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{xsup1d} = 2925.75 \cdot cm^3$$

$$W_{xinf} = 1302.11 \cdot cm^3$$

### - Verificação

$$\text{flecha}_{\text{CF}} = 0.72 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha}_{\text{CQP}} = 0.92 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha\_lim} = 1.50\cdot\text{cm}$$

$$\text{verificação_flecha} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \max(\text{flecha}_{\text{CF}}, \text{flecha}_{\text{CQP}}) \leq \text{flecha\_lim} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

## e) Viga Mista V224

NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

### I) Dados Iniciais

#### I.1) Materiais

CONCRETO	AÇO (PERFIL)	AÇO (ARMADURA DA LAJE)	AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_{sk} := 600 \text{ MPa}$	$f_{ycs} := 345 \text{ MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$		$f_{ues} := 415 \text{ MPa}$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa}$		$\gamma_{cs} := 1.25$
$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.86 \text{ MPa}$	$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa}$	$f_{sd} := \frac{f_{sk}}{\gamma_{a1}} = 545.45 \text{ MPa}$	

#### I.2) Perfil Metálico - W460x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
$m := 52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_w := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 21.8 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_w := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_a := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

#### I.3) Mesa colaborante

LARGURA DA MESA	ESPESSURA DA MESA	ALTURA DA NERVURA	COBRIMENTO DA ARMADURA	TAXA DA ARMADURA
$b := 186.9 \text{ cm}$	$t_c := 10 \text{ cm}$	$h_f := 5 \text{ cm}$	$c := 3 \text{ cm}$	$\rho_s := 1.13 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

#### I.4) Conector de Cisalhamento

$$\phi_{es} := 19 \text{ mm} \quad L_{epos} := 750 \text{ cm} \quad L_{eneg} := 0.00 \text{ cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

#### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{sd\_pos} := 208 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 111 \text{ kN}$$

#### I.6) Deslocamentos Limites

$$flecha_{CF} := 0.551 \text{ cm} \quad flecha_{CQP} := 0.705 \text{ cm} \quad flecha\_lim := \frac{750}{350} \text{ cm}$$

### II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)

#### ALMA (A)

$$\lambda_{pA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{pA} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{verificação\_fl}_A = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$

#### MESA (M)

$$\lambda_{pM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{pM} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{verificação\_fl}_M = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}$

## **ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto**

### **O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo**

#### **O.2.3.1 - Construção escorada**

**O.2.3.1.1 - Vigas mistas de alma cheia com**  $\frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

#### III) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

$$Rtd := A_a \cdot f_y = 2119.09 \text{ kN}$$

$$Rcd := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c = 2836.88 \text{ kN}$$

$$\text{verificação\_LN} := \begin{cases} \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"} & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"L.N. NA SEÇÃO DE AÇO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_LN} = \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"}$$

##### III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculo

###### III.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (A_a \cdot f_y) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tad = 2119.09 \text{ kN}$$

###### Espessura da região comprimida da laje (a)

$$a := \begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = 7.47 \text{ cm}$$

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

$$d1 := \begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad d = 45.00 \text{ cm}$$

###### Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>1</sub>)

$$Mrd_{pos1} := \begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd_{pos1} = 715.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

###### III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO

- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

$$Ccd := \begin{cases} (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c) & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Ccd = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}$$

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$\text{Cad} := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (\text{Aa} \cdot \text{fyd} - \text{Ced}) \right] & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Cad = "NÃO SE APLICA" · kN

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$\text{Tad} := \begin{cases} (\text{Ced} + \text{Cad}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tad = "NÃO SE APLICA" · kN

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$\text{Aaf} := \begin{cases} (\text{bf} \cdot \text{tf}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Aaf = "NÃO SE APLICA" · cm<sup>2</sup>

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$\text{Aaw} := \begin{cases} (\text{hw} \cdot \text{tw}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Aaw = "NÃO SE APLICA" · cm<sup>2</sup>

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$\text{yp} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \text{if } \text{cad} \\ \left( \frac{\text{cad}}{\text{aaf} \cdot \text{fyd}} \cdot \text{tf} \right) & \text{if } \text{cad} \leq \text{aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \text{tf} + \text{hw} \cdot \left( \frac{\text{cad} - \text{aaf} \cdot \text{fyd}}{\text{aaw} \cdot \text{fyd}} \right) \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

yp = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yt)

$$\text{yt} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \text{if } \text{cad} \\ \left[ \frac{4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{bf} \cdot \text{yp}^2 + \text{hw}^2 \cdot \text{tw} + 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} - 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{yp} - 4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} \cdot \text{yp} + 2 \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} \cdot \text{tw}}{2 \cdot (2 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} - \text{bf} \cdot \text{yp} + \text{hw} \cdot \text{tw})} \right] & \text{if } \text{cad} \leq \text{aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{d}^2 \cdot \text{tw} - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2 - 2 \cdot \text{d} \cdot \text{tw} \cdot \text{yp}}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} + \text{d} \cdot \text{tw} - \text{tf} \cdot \text{tw} - \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

yt = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil (yc)

$$\text{yc} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \text{if } \text{cad} \\ \left( \frac{\text{yp}}{2} \right) & \text{if } \text{cad} \leq \text{aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} - \text{tf} \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

yc = "NÃO SE APLICA" · cm

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>2</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 := \begin{cases} \left[ \text{C}_{\text{ad}} \cdot (d - y_t - y_c) + \text{C}_{\text{ed}} \cdot \left( \frac{t_c}{2} + h_f + d - y_t \right) \right] & \text{if } R_{\text{td}} > R_{\text{ed}} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo (Mrd<sub>pos</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{Mrd}_{\text{pos}}_1 & \text{if } R_{\text{td}} \leq R_{\text{ed}} \\ \text{Mrd}_{\text{pos}}_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}} = 715.51 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 := Z_x \cdot f_y d \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 = 348.73 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

- Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$\text{Asl} := \rho_s \cdot b \quad \boxed{\text{Asl} = 2.11 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$\text{Tds} := \text{Asl} \cdot f_{sd} \quad \boxed{\text{Tds} = 115.20 \cdot \text{kN}}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$y_p := \begin{cases} \left( \frac{T_{\text{ds}} - d \cdot f_y d \cdot t_w}{2 \cdot f_y d \cdot t_w} \right) & \text{if } \left( \frac{T_{\text{ds}} - d \cdot f_y d \cdot t_w}{2 \cdot f_y d \cdot t_w} \right) \geq t_f \\ \left( t_f - \frac{T_{\text{ds}} - f_y d \cdot h_w \cdot t_w}{2 \cdot b_f \cdot f_y d} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_p = 20.12 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$y_c := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot b_f \cdot t_f^2 + b_f \cdot y_p^2 + h_w^2 \cdot t_w + 2 \cdot b_f \cdot h_w \cdot t_f^2 - 2 \cdot b_f \cdot h_w \cdot y_p - 4 \cdot b_f \cdot t_f \cdot y_p + 2 \cdot h_w \cdot t_f \cdot t_w}{2 \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f - b_f \cdot y_p + h_w \cdot t_w)} \right] & \text{if } y_p \leq t_f \\ \left[ \frac{b_f \cdot t_f^2 + d^2 \cdot t_w - t_f^2 \cdot t_w + t_w \cdot y_p^2 - 2 \cdot d \cdot t_w \cdot y_p}{2 \cdot (b_f \cdot t_f + d \cdot t_w - t_f \cdot t_w - t_w \cdot y_p)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_c = 7.06 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$y_t := \begin{cases} \left( \frac{y_p}{2} \right) & \text{if } y_p \leq t_f \\ \left[ \frac{b_f \cdot t_f^2 - t_f^2 \cdot t_w + t_w \cdot y_p^2}{2 \cdot (b_f \cdot t_f - t_f \cdot t_w + t_w \cdot y_p)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_t = 5.25 \cdot \text{cm}}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{at} = 30.88 \cdot \text{cm}^2$$

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{ac} = 34.51 \cdot \text{cm}^2$$

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$
$$d_3 = 32.12 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$
$$d_4 = 14.87 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$
$$d_5 = 17.82 \cdot \text{cm}$$

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd\_neg<sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$
$$M_{rd\_neg2} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg1}, M_{rd\_neg2})$$
$$M_{rd\_neg} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### O.4 - Conectores de Cisalhamento

##### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$
$$A_{cs} = 2.84 \cdot \text{cm}^2$$

V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$
$$Q_{Rd} = 56.48 \cdot \text{kN}$$

V.3) Cálculo do número de conectores

- Espaçamento Máximo

$$\text{esp}_{\max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{mm})$$
$$\text{esp}_{\max} = 80.00 \cdot \text{cm}$$

- Espaçamento Mínimo

$$\text{esp}_{\min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$
$$\text{esp}_{\min} = 7.60 \cdot \text{cm}$$

### V.3.1) Região de momento positivo

- Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(A_a \cdot f_y d, 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 37.52$$

- Espaçamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

- Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$T_{ds} = 115.20 \cdot \text{kN}$$

- Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{T_{ds}}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.00$$

- Espaçamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \wedge T_{ds} \neq 0.00 \text{ kN}) \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 37.52 \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.00 \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

---

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

---

VI) Força Cortante Resistente de Cálculo

VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento

- Parâmetro de esbeltez limite para secções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 53.24}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 53.20$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{lV}$ )

$$\text{verificação\_}f_{lV} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_}f_{lV} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 34.20 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}}$$

---

VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}}$$

---

Verificação no Estado Limite Último (ELU)

---

VII) Verificação no ELU

MOMENTO POSITIVO

$M_{sd\_pos} = 208.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

MOMENTO NEGATIVO

$M_{sd\_neg} = 0.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

CORTANTE

$V_{sd\_max} = 111.00 \cdot \text{kN}$

$M_{rd\_pos} = 715.51 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{rd\_neg} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}$

$$\text{verificação\_}M_{pos} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_pos} \leq M_{rd\_pos} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}V_{max} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd\_max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}M_{neg} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_neg} \leq M_{rd\_neg} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_ $M_{pos}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $M_{neg}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $V_{max}$  = "VERIFICA"

#### **Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

#### VIII) Verificação no ELS

### VII.1) Deslocamentos Máximos

#### VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada

▶

CURTA DURAÇÃO (cd)	LONGA DURAÇÃO (ld)
$A_{cd} = 337.83 \cdot \text{cm}^2$	$A_{ld} = 157.01 \cdot \text{cm}^2$
$y_{sup,cd} = 11.41 \cdot \text{cm}$	$y_{sup,ld} = 18.79 \cdot \text{cm}$
$y_{inf,cd} = 48.59 \cdot \text{cm}$	$y_{inf,ld} = 41.21 \cdot \text{cm}$
$I_{x,cd} = 80108.54 \cdot \text{cm}^4$	$I_{x,ld} = 62630.61 \cdot \text{cm}^4$
$W_{xsup,cd} = 7022.74 \cdot \text{cm}^3$	$W_{xsup,ld} = 3333.96 \cdot \text{cm}^3$
$W_{xinf,cd} = 1648.56 \cdot \text{cm}^3$	$W_{xinf,ld} = 1519.63 \cdot \text{cm}^3$

### - Verificação

$$\text{flecha}_{\text{CF}} = 0.55 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha}_{\text{CQP}} = 0.71 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha\_lim} = 2.14\cdot\text{cm}$$

$$\text{verificação_flecha} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \max(\text{flecha}_{\text{CF}}, \text{flecha}_{\text{CQP}}) \leq \text{flecha\_lim} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

## f) Viga Mista V321

NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

### I) Dados Iniciais

#### I.1) Materiais

CONCRETO	AÇO (PERFIL)	AÇO (ARMADURA DA LAJE)	AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_{sk} := 600 \text{ MPa}$	$f_{ycs} := 345 \text{ MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$		$f_{ues} := 415 \text{ MPa}$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa}$		$\gamma_{cs} := 1.25$
$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.86 \text{ MPa}$	$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa}$	$f_{sd} := \frac{f_{sk}}{\gamma_{a1}} = 545.45 \text{ MPa}$	

#### I.2) Perfil Metálico - W460x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
$m := 52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_w := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 21.8 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_w := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_a := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

#### I.3) Mesa colaborante

LARGURA DA MESA	ESPESSURA DA MESA	ALTURA DA NERVURA	COBRIMENTO DA ARMADURA	TAXA DA ARMADURA
$b := 186.9 \text{ cm}$	$t_c := 10.0 \text{ cm}$	$h_f := 5.0 \text{ cm}$	$c := 3 \text{ cm}$	$\rho_s := 1.13 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

#### I.4) Conector de Cisalhamento

$$\phi_{es} := 19 \text{ mm} \quad L_{epos} := 750 \text{ cm} \quad L_{eneg} := 0.00 \text{ cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

#### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{sd\_pos} := 202 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 120 \text{ kN}$$

#### I.6) Deslocamentos Limites

$$flecha_{CF} := 0.563 \text{ cm} \quad flecha_{CQP} := 0.720 \text{ cm} \quad flecha\_lim := 15 \text{ mm}$$

### II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)

#### ALMA (A)

$$\lambda_{pA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{pA} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>A</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

#### MESA (M)

$$\lambda_{pM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{pM} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>M</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

## **ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto**

### **O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo**

#### **O.2.3.1 - Construção escorada**

$$O.2.3.1.1 - \text{Vigas mistas de alma cheia com } \frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

#### III) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

$$Rtd := A_a \cdot f_y = 2119.09 \cdot kN$$

$$Rcd := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot tc = 2836.88 \cdot kN$$

$$\text{verificação\_LN} := \begin{cases} \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"} & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"L.N. NA SEÇÃO DE AÇO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_LN} = \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"}$$

#### III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (A_a \cdot f_y) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tad = 2119.09 \cdot kN$$

- Espessura da região comprimida da laje (a)

$$a := \begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = 7.47 \cdot cm$$

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

$$d1 := \begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad d = 45.00 \cdot cm$$

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>1</sub>)

$$Mrd_{pos1} := \begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + hf + tc - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd_{pos1} = 715.51 \cdot kN \cdot m$$

##### III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO

- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

$$Ccd := \begin{cases} (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot tc) & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Ccd = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot kN$$

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$\text{Cad} := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (\text{Aa} \cdot \text{fyd} - \text{Ccd}) \right] & \text{if } \text{Rtd} > \text{Red} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (Ccd + Cad) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "N\AAO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$Aaf := \begin{cases} (bf\cdot tf) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "N\ddot{A}O SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$Aaw := \begin{cases} (hw-tw) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$y_p := \begin{cases} \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \left[ \frac{\text{Cad}}{\text{Aaf.fyd}} \cdot \text{tf} \right] \text{ if } \text{Cad} \leq \text{Aaf.fyd} \\ \left[ \text{tf} + \text{hw} \cdot \left( \frac{\text{Cad} - \text{Aaf.fyd}}{\text{Aaw.fyd}} \right) \right] \text{ otherwise} \end{cases}$$

$y_p = "NÃO SE APLICA" \cdot \text{cm}$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil ( $y_t$ )

$$yt := \begin{cases} \text{if } Rtd > Rcd \\ \left[ \frac{4 \cdot bf \cdot tf^2 + bf \cdot yp^2 + hw^2 \cdot tw + 2 \cdot bf \cdot hw \cdot tf - 2 \cdot bf \cdot hw \cdot yp - 4 \cdot bf \cdot tf \cdot yp + 2 \cdot hw \cdot tf \cdot tw}{2 \cdot (2 \cdot bf \cdot tf - bf \cdot yp + hw \cdot tw)} \right] \text{ if } Cad \leq Aaf \cdot syd \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 + d^2 \cdot tw - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2 - 2 \cdot d \cdot tw \cdot yp}{2 \cdot (bf \cdot tf + d \cdot tw - tf \cdot tw - tw \cdot yp)} \right] \text{ otherwise} \\ "N\AAO SE APLICA" \text{ otherwise} \end{cases}$$

yt = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil ( $y_C$ )

$$yc := \begin{cases} \text{if } Rtd > Red \\ \left( \frac{yp}{2} \right) \text{ if } Cad \leq Aaf \cdot fyd \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2}{2 \cdot (bf \cdot tf - tf \cdot tw + tw \cdot yp)} \right] \text{ otherwise} \\ "NÃO SE APLICA" \text{ otherwise} \end{cases}$$

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>2</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 := \begin{cases} \text{Cad} \cdot (d - yt - yc) + \text{Ccd} \left( \frac{tc}{2} + hf + d - yt \right) & \text{if } Rtd > Red \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo (Mrd<sub>pos</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{Mrd}_{\text{pos}}_1 & \text{if } Rtd \leq Red \\ \text{Mrd}_{\text{pos}}_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}} = 715.51 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 := Zx \cdot fyd \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 = 348.73 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

- Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$\text{Asl} := ps \cdot b \quad \boxed{\text{Asl} = 2.11 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$\text{Tds} := Asl \cdot fsd \quad \boxed{\text{Tds} = 115.20 \cdot \text{kN}}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$yp := \begin{cases} \left( \frac{Tds - d \cdot fyd \cdot tw}{2 \cdot fyd \cdot tw} \right) & \text{if } \left( \frac{Tds - d \cdot fyd \cdot tw}{2 \cdot fyd \cdot tw} \right) \geq tf \\ \left( tf - \frac{Tds - fyd \cdot hw \cdot tw}{2 \cdot bf \cdot fyd} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yp = 20.12 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$yc := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot bf \cdot tf^2 + bf \cdot yp^2 + hw^2 \cdot tw + 2 \cdot bf \cdot hw \cdot tf - 2 \cdot bf \cdot hw \cdot yp - 4 \cdot bf \cdot tf \cdot yp + 2 \cdot hw \cdot tf \cdot tw}{2 \cdot (2 \cdot bf \cdot tf - bf \cdot yp + hw \cdot tw)} \right] & \text{if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 + d^2 \cdot tw - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2 - 2 \cdot d \cdot tw \cdot yp}{2 \cdot (bf \cdot tf + d \cdot tw - tf \cdot tw - tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yc = 7.06 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$yt := \begin{cases} \left( \frac{yp}{2} \right) & \text{if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2}{2 \cdot (bf \cdot tf - tf \cdot tw + tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yt = 5.25 \cdot \text{cm}}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{at} = 30.88 \cdot \text{cm}^2$$

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{ac} = 34.51 \cdot \text{cm}^2$$

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$
$$d_3 = 32.12 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$
$$d_4 = 14.87 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$
$$d_5 = 17.82 \cdot \text{cm}$$

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd\_neg<sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$
$$M_{rd\_neg2} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg1}, M_{rd\_neg2})$$
$$M_{rd\_neg} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### O.4 - Conectores de Cisalhamento

##### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$
$$A_{cs} = 2.84 \cdot \text{cm}^2$$

V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$
$$Q_{Rd} = 56.48 \cdot \text{kN}$$

V.3) Cálculo do número de conectores

- Espaçamento Máximo

$$\text{esp}_{\max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{mm})$$
$$\text{esp}_{\max} = 80.00 \cdot \text{cm}$$

- Espaçamento Mínimo

$$\text{esp}_{\min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$
$$\text{esp}_{\min} = 7.60 \cdot \text{cm}$$

### V.3.1) Região de momento positivo

- Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(A_a \cdot f_y d, 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 37.52$$

- Espaçamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

- Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$T_{ds} = 115.20 \cdot \text{kN}$$

- Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{T_{ds}}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.00$$

- Espaçamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \wedge T_{ds} \neq 0.00 \text{ kN}) \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 37.52 \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.00 \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

---

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

---

VI) Força Cortante Resistente de Cálculo

VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento

- Parâmetro de esbeltez limite para secções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 53.24}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 53.20$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{LV}$ )

$$\text{verificação\_}f_{LV} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_}f_{LV} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 34.20 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}}$$

---

VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}}$$

---

**Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

---

VII) Verificação no ELU

MOMENTO POSITIVO

$M_{sd\_pos} = 202.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

MOMENTO NEGATIVO

$M_{sd\_neg} = 0.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

CORTANTE

$V_{sd\_max} = 120.00 \cdot \text{kN}$

$M_{rd\_pos} = 715.51 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{rd\_neg} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}$

$$\text{verificação\_}M_{pos} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_pos} \leq M_{rd\_pos} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}V_{max} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd\_max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}M_{neg} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_neg} \leq M_{rd\_neg} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_ $M_{pos}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $M_{neg}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $V_{max}$  = "VERIFICA"

#### **Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

#### VIII) Verificação no ELS

### VII.1) Deslocamentos Máximos

#### VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada

### CURTA DURAÇÃO (cd)

$$A_{cd} = 337.83 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{sup_{cd}} = 11.41 \cdot cm$$

$$y_{inf cd} = 48.59 \cdot cm$$

$$I_{x_{cd}} = 80108.54 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{xsup{cd}} = 7022.74 \cdot cm^3$$

$$W_{xinf_{cd}} = 1648.56 \cdot \text{cm}^3$$

### - Verificação

### LONGA DURAÇÃO (Id)

$$A_{ld} = 157.01 \cdot \text{cm}^2$$

$$y_{supId} = 18.79 \cdot cm$$

$$y_{inf|d} = 41.21 \cdot cm$$

$$I_x I_d = 62630.61 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{xsup{Id}} = 3333.96 \cdot cm^3$$

$$W_{xinf} = 1519.63 \cdot \text{cm}^3$$

### - Verificação

$$\text{flecha}_{\text{CF}} = 0.56 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha}_{\text{CQP}} = 0.72 \cdot \text{cm}$$

$$flecha\_lim = 1.50\cdot cm$$

$$\text{verificação_flecha} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \max(\text{flecha}_{\text{CF}}, \text{flecha}_{\text{CQP}}) \leq \text{flecha\_lim} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

## g) Viga Mista V322

NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

### I) Dados Iniciais

#### I.1) Materiais

CONCRETO	AÇO (PERFIL)	AÇO (ARMADURA DA LAJE)	AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_{sk} := 600 \text{ MPa}$	$f_{ycs} := 345 \text{ MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$		$f_{ues} := 415 \text{ MPa}$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa}$		$\gamma_{cs} := 1.25$
$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.86 \text{ MPa}$	$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa}$	$f_{sd} := \frac{f_{sk}}{\gamma_{a1}} = 545.45 \text{ MPa}$	

#### I.2) Perfil Metálico - W460x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
$m := 52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_w := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 21.8 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_w := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_a := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

#### I.3) Mesa colaborante

LARGURA DA MESA	ESPESSURA DA MESA	ALTURA DA NERVURA	COBRIMENTO DA ARMADURA	TAXA DA ARMADURA
$b := 186.9 \text{ cm}$	$t_c := 10.0 \text{ cm}$	$h_f := 5.0 \text{ cm}$	$c := 3 \text{ cm}$	$\rho_s := 1.13 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

#### I.4) Conector de Cisalhamento

$$\phi_{es} := 19 \text{ mm} \quad L_{e\_pos} := 750 \text{ cm} \quad L_{e\_neg} := 0.00 \text{ cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

#### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{sd\_pos} := 171 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 91.1 \text{ kN}$$

#### I.6) Deslocamentos Limites

$$flecha_{CF} := 0.433 \text{ cm} \quad flecha_{CQP} := 0.554 \text{ cm} \quad flecha\_lim := \frac{750}{350} \text{ cm}$$

### II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)

#### ALMA (A)

$$\lambda_{pA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{pA} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>A</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

#### MESA (M)

$$\lambda_{pM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{pM} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>M</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

## **ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto**

### **O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo**

#### **O.2.3.1 - Construção escorada**

**O.2.3.1.1 - Vigas mistas de alma cheia com**  $\frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

#### III) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

$$Rtd := A_a \cdot f_y = 2119.09 \text{ kN}$$

$$Rcd := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c = 2836.88 \text{ kN}$$

$$\text{verificação\_LN} := \begin{cases} \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"} & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"L.N. NA SEÇÃO DE AÇO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_LN} = \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"}$$

##### III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculo

###### III.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (A_a \cdot f_y) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tad = 2119.09 \text{ kN}$$

###### Espessura da região comprimida da laje (a)

$$a := \begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = 7.47 \text{ cm}$$

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

$$d1 := \begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad d = 45.00 \text{ cm}$$

###### Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>1</sub>)

$$Mrd_{pos1} := \begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd_{pos1} = 715.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

###### III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO

- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

$$Ccd := \begin{cases} (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c) & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Ccd = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}$$

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$\text{Cad} := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (\text{Aa} \cdot \text{fyd} - \text{Ccd}) \right] & \text{if } \text{Rtd} > \text{Red} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (Ccd + Cad) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "N\AAO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$Aaf := \begin{cases} (bf\cdot tf) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$Aaw := \begin{cases} (hw-tw) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$y_p := \begin{cases} \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \left[ \frac{\text{Cad}}{\text{Aaf.fyd}} \cdot \text{tf} \right] \text{ if } \text{Cad} \leq \text{Aaf.fyd} \\ \left[ \text{tf} + \text{hw} \cdot \left( \frac{\text{Cad} - \text{Aaf.fyd}}{\text{Aaw.fyd}} \right) \right] \text{ otherwise} \end{cases}$$

$y_p = "NÃO SE APLICA" \cdot \text{cm}$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil ( $y_t$ )

$$yt := \begin{cases} \text{if } Rtd > Rcd \\ \left[ \frac{4 \cdot bf \cdot tf^2 + bf \cdot yp^2 + hw^2 \cdot tw + 2 \cdot bf \cdot hw \cdot tf - 2 \cdot bf \cdot hw \cdot yp - 4 \cdot bf \cdot tf \cdot yp + 2 \cdot hw \cdot tf \cdot tw}{2 \cdot (2 \cdot bf \cdot tf - bf \cdot yp + hw \cdot tw)} \right] \text{ if } Cad \leq Aaf \cdot syd \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 + d^2 \cdot tw - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2 - 2 \cdot d \cdot tw \cdot yp}{2 \cdot (bf \cdot tf + d \cdot tw - tf \cdot tw - tw \cdot yp)} \right] \text{ otherwise} \\ "N\AAO SE APLICA" \text{ otherwise} \end{cases}$$

yt = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil ( $y_C$ )

$$yc := \begin{cases} \text{if } Rtd > Red \\ \left( \frac{yp}{2} \right) \text{ if } Cad \leq Aaf \cdot fyd \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2}{2 \cdot (bf \cdot tf - tf \cdot tw + tw \cdot yp)} \right] \text{ otherwise} \\ "NÃO SE APLICA" \text{ otherwise} \end{cases}$$

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>2</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 := \begin{cases} \text{Cad} \cdot (d - yt - yc) + \text{Ccd} \left( \frac{tc}{2} + hf + d - yt \right) & \text{if } Rtd > Red \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo (Mrd<sub>pos</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{Mrd}_{\text{pos}}_1 & \text{if } Rtd \leq Red \\ \text{Mrd}_{\text{pos}}_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}} = 715.51 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 := Zx \cdot fyd \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 = 348.73 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

- Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$\text{Asl} := ps \cdot b \quad \boxed{\text{Asl} = 2.11 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$\text{Tds} := Asl \cdot fsd \quad \boxed{\text{Tds} = 115.20 \cdot \text{kN}}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$yp := \begin{cases} \left( \frac{Tds - d \cdot fyd \cdot tw}{2 \cdot fyd \cdot tw} \right) & \text{if } \left( \frac{Tds - d \cdot fyd \cdot tw}{2 \cdot fyd \cdot tw} \right) \geq tf \\ \left( tf - \frac{Tds - fyd \cdot hw \cdot tw}{2 \cdot bf \cdot fyd} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yp = 20.12 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$yc := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot bf \cdot tf^2 + bf \cdot yp^2 + hw^2 \cdot tw + 2 \cdot bf \cdot hw \cdot tf - 2 \cdot bf \cdot hw \cdot yp - 4 \cdot bf \cdot tf \cdot yp + 2 \cdot hw \cdot tf \cdot tw}{2 \cdot (2 \cdot bf \cdot tf - bf \cdot yp + hw \cdot tw)} \right] & \text{if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 + d^2 \cdot tw - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2 - 2 \cdot d \cdot tw \cdot yp}{2 \cdot (bf \cdot tf + d \cdot tw - tf \cdot tw - tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yc = 7.06 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$yt := \begin{cases} \left( \frac{yp}{2} \right) & \text{if } yp \leq tf \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2}{2 \cdot (bf \cdot tf - tf \cdot tw + tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{yt = 5.25 \cdot \text{cm}}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{at} = 30.88 \cdot \text{cm}^2$$

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{ac} = 34.51 \cdot \text{cm}^2$$

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$
$$d_3 = 32.12 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$
$$d_4 = 14.87 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$
$$d_5 = 17.82 \cdot \text{cm}$$

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd\_neg<sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$
$$M_{rd\_neg2} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg1}, M_{rd\_neg2})$$
$$M_{rd\_neg} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### O.4 - Conectores de Cisalhamento

##### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$
$$A_{cs} = 2.84 \cdot \text{cm}^2$$

V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$
$$Q_{Rd} = 56.48 \cdot \text{kN}$$

V.3) Cálculo do número de conectores

- Espaçamento Máximo

$$\text{esp}_{\max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{mm})$$
$$\text{esp}_{\max} = 80.00 \cdot \text{cm}$$

- Espaçamento Mínimo

$$\text{esp}_{\min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$
$$\text{esp}_{\min} = 7.60 \cdot \text{cm}$$

### V.3.1) Região de momento positivo

- Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(A_a \cdot f_y d, 0.85 \cdot f_c d \cdot b \cdot t_c)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 37.52$$

- Espaçamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

- Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$T_{ds} = 115.20 \cdot \text{kN}$$

- Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{T_{ds}}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.00$$

- Espaçamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \wedge T_{ds} \neq 0.00 \text{ kN}) \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 37.52 \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.00 \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

---

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

---

VI) Força Cortante Resistente de Cálculo

VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento

- Parâmetro de esbeltez limite para secções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 53.24}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 53.20$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{lV}$ )

$$\text{verificação\_}f_{lV} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_}f_{lV} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 34.20 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}}$$

---

VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}}$$

---

**Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

---

VII) Verificação no ELU

MOMENTO POSITIVO

M<sub>sd</sub><sub>pos</sub> = 171.00 · kN · m

MOMENTO NEGATIVO

M<sub>sd</sub><sub>neg</sub> = 0.00 · kN · m

CORTANTE

V<sub>sd</sub><sub>max</sub> = 91.10 · kN

M<sub>rd</sub><sub>pos</sub> = 715.51 · kN · m

M<sub>rd</sub><sub>neg</sub> = 378.73 · kN · m

V<sub>rd</sub> = 652.91 · kN

$$\text{verificação\_}M_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{\text{sd}}_{\text{pos}} \leq M_{\text{rd}}_{\text{pos}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}V_{\text{max}} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{\text{sd}}_{\text{max}} \leq V_{\text{rd}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}M_{\text{neg}} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{\text{sd}}_{\text{neg}} \leq M_{\text{rd}}_{\text{neg}} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_M<sub>pos</sub> = "VERIFICA"

verificação\\_M<sub>neg</sub> = "VERIFICA"

verificação\\_V<sub>max</sub> = "VERIFICA"

#### **Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

#### VIII) Verificação no ELS

### VII.1) Deslocamentos Máximos

#### VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada

### CURTA DURAÇÃO (cd)

$$A_{cd} = 337.83 \cdot \text{cm}^2$$

### LONGA DURAÇÃO (Id)

$$y_{sup_{cd}} = 11.41 \cdot cm$$

$$y_{supId} = 18.79 \cdot cm$$

$$y_{inf cd} = 48.59 \cdot cm$$

$$y_{inf|d} = 41.21 \cdot cm$$

$$I_{x_{cd}} = 80108.54 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_x I_d = 62630.61 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{xsup{cd}} = 7022.74 \cdot cm^3$$

$$W_{xsup{Id}} = 3333.96 \cdot cm^3$$

$$W_{xinf_{cd}} = 1648.56 \cdot \text{cm}^3$$

$$W_{xinf}|_d = 1519.63 \cdot \text{cm}^3$$

#### - Verificação

$$\text{flecha}_{\text{CF}} = 0.43 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha}_{\text{CQP}} = 0.55 \cdot \text{cm}$$

$$\boxed{\text{flecha\_lim} = 2.14\cdot\text{cm}}$$

```
verificação_flecha := ["VERIFICA" if max(flecha_CF,flecha_CQP) ≤ flecha_lim
                      "REDIMENSIONAR" otherwise]
```

## **h) Viga Mista V323**

**NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**

### I) Dados Iniciais

#### I.1) Materiais

<u>CONCRETO</u>	<u>AÇO (PERFIL)</u>	<u>AÇO (ARMADURA DA LAJE)</u>	<u>AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)</u>
$fck := 25\text{MPa}$	$fy := 350\text{MPa}$	$fsk := 600\text{MPa}$	$fycs := 345\text{MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$		$fues := 415\text{MPa}$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \sqrt{fck} \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{GPa}$		$\gamma_{cs} := 1.25$
$fcd := \frac{fck}{\gamma_c} = 17.86 \cdot \text{MPa}$	$fyd := \frac{fy}{\gamma_{a1}} = 318.18 \cdot \text{MPa}$	$fsd := \frac{fsk}{\gamma_{a1}} = 545.45 \cdot \text{MPa}$	

#### I.2) Perfil Metálico - W460x52.0

<u>GERAL</u>	<u>ALMA</u>	<u>MESA</u>	<u>EIXO X</u>	<u>EIXO Y</u>	<u>TORÇÃO</u>
$massa := 52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$tw := 7.6\text{mm}$	$tf := 10.8\text{mm}$	$I_x := 21370\text{cm}^4$	$I_y := 634\text{cm}^4$	$J_b := 21.8\text{cm}^4$
$d := 450\text{mm}$	$hw := 428\text{mm}$	$bf := 152\text{mm}$	$W_x := 950\text{cm}^3$	$W_y := 83.5\text{cm}^3$	
$A_a := 66.6\text{cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91\text{cm}$	$r_y := 3.09\text{cm}$	
			$Z_x := 1096\text{cm}^3$	$Z_y := 131.7\text{cm}^3$	

#### I.3) Mesa colaborante

<u>LARGURA DA MESA</u>	<u>ESPESSURA DA MESA</u>	<u>ALTURA DA NERVURA</u>	<u>COBRIMENTO DA ARMADURA</u>	<u>TAXA DA ARMADURA</u>
$b := 186.9\text{cm}$	$t_c := 10.0\text{cm}$	$h_f := 5.0\text{cm}$	$c := 3\text{cm}$	$\rho_s := 1.13 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

#### I.4) Conector de Cisalhamento

$$\phi_{es} := 19\text{mm} \quad L_{e\_pos} := 750\text{cm} \quad L_{e\_neg} := 0.00\text{cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

#### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{sd\_pos} := 398\text{kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 0.00\text{kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 214\text{kN}$$

#### I.6) Deslocamentos Limites

$$flecha_{CF} := 1.12\text{cm} \quad flecha_{CQP} := 1.44\text{cm} \quad flecha\_lim := 15\text{mm}$$

### II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)

#### ALMA (A)

$$\lambda_{pA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{pA} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\\_fl<sub>A</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"**

#### MESA (M)

$$\lambda_{pM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{pM} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\\_fl<sub>M</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"**

## **ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto**

### **O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo**

#### **O.2.3.1 - Construção escorada**

**O.2.3.1.1 - Vigas mistas de alma cheia com**  $\frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

III) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

$$Rtd := A_a \cdot f_y = 2119.09 \text{ kN}$$

$$Rcd := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c = 2836.88 \text{ kN}$$

$$\text{verificação\_LN} := \begin{cases} \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"} & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"L.N. NA SEÇÃO DE AÇO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\\_LN = "L.N. NA LAJE DE CONCRETO"**

##### III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculo

###### III.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (A_a \cdot f_y) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tad = 2119.09 \text{ kN}$$

###### Espessura da região comprimida da laje (a)

$$a := \begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = 7.47 \text{ cm}$$

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

$$d1 := \begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad d = 45.00 \text{ cm}$$

###### Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>1</sub>)

$$Mrd_{pos1} := \begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd_{pos1} = 715.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

###### III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO

- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

$$Ccd := \begin{cases} (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c) & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Ccd = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}$$

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$\text{Cad} := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (\text{Aa} \cdot \text{fyd} - \text{Ced}) \right] & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Cad = "NÃO SE APLICA" · kN

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$\text{Tad} := \begin{cases} (\text{Ced} + \text{Cad}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tad = "NÃO SE APLICA" · kN

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$\text{Aaf} := \begin{cases} (\text{bf} \cdot \text{tf}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Aaf = "NÃO SE APLICA" · cm<sup>2</sup>

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$\text{Aaw} := \begin{cases} (\text{hw} \cdot \text{tw}) & \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Aaw = "NÃO SE APLICA" · cm<sup>2</sup>

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$\text{yp} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \text{if } \text{cad} \\ \left( \frac{\text{cad}}{\text{aaf} \cdot \text{fyd}} \cdot \text{tf} \right) & \text{if } \text{cad} \leq \text{aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \text{tf} + \text{hw} \cdot \left( \frac{\text{cad} - \text{aaf} \cdot \text{fyd}}{\text{aaw} \cdot \text{fyd}} \right) \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

yp = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yt)

$$\text{yt} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \text{if } \text{cad} \\ \left[ \frac{4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{bf} \cdot \text{yp}^2 + \text{hw}^2 \cdot \text{tw} + 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} - 2 \cdot \text{bf} \cdot \text{hw} \cdot \text{yp} - 4 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} \cdot \text{yp} + 2 \cdot \text{hw} \cdot \text{tf} \cdot \text{tw}}{2 \cdot (2 \cdot \text{bf} \cdot \text{tf} - \text{bf} \cdot \text{yp} + \text{hw} \cdot \text{tw})} \right] & \text{if } \text{cad} \leq \text{aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 + \text{d}^2 \cdot \text{tw} - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2 - 2 \cdot \text{d} \cdot \text{tw} \cdot \text{yp}}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} + \text{d} \cdot \text{tw} - \text{tf} \cdot \text{tw} - \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

yt = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil (yc)

$$\text{yc} := \begin{cases} \text{if } \text{Rtd} > \text{Rcd} & \text{if } \text{cad} \\ \left( \frac{\text{yp}}{2} \right) & \text{if } \text{cad} \leq \text{aaf} \cdot \text{fyd} \\ \left[ \frac{\text{bf} \cdot \text{tf}^2 - \text{tf}^2 \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp}^2}{2 \cdot (\text{bf} \cdot \text{tf} - \text{tf} \cdot \text{tw} + \text{tw} \cdot \text{yp})} \right] & \text{otherwise} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

yc = "NÃO SE APLICA" · cm

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>2</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 := \begin{cases} \left[ \text{C}_{\text{ad}} \cdot (d - y_t - y_c) + \text{C}_{\text{ed}} \cdot \left( \frac{t_c}{2} + h_f + d - y_t \right) \right] & \text{if } R_{\text{td}} > R_{\text{ed}} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo (Mrd<sub>pos</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{Mrd}_{\text{pos}}_1 & \text{if } R_{\text{td}} \leq R_{\text{ed}} \\ \text{Mrd}_{\text{pos}}_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}} = 715.51 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 := Z_x \cdot f_y d \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 = 348.73 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

- Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$\text{Asl} := \rho_s \cdot b \quad \boxed{\text{Asl} = 2.11 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$\text{Tds} := \text{Asl} \cdot f_{sd} \quad \boxed{\text{Tds} = 115.20 \cdot \text{kN}}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$y_p := \begin{cases} \left( \frac{T_{\text{ds}} - d \cdot f_y d \cdot t_w}{2 \cdot f_y d \cdot t_w} \right) & \text{if } \left( \frac{T_{\text{ds}} - d \cdot f_y d \cdot t_w}{2 \cdot f_y d \cdot t_w} \right) \geq t_f \\ \left( t_f - \frac{T_{\text{ds}} - f_y d \cdot h_w \cdot t_w}{2 \cdot b_f \cdot f_y d} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_p = 20.12 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$y_c := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot b_f \cdot t_f^2 + b_f \cdot y_p^2 + h_w^2 \cdot t_w + 2 \cdot b_f \cdot h_w \cdot t_f^2 - 2 \cdot b_f \cdot h_w \cdot y_p - 4 \cdot b_f \cdot t_f \cdot y_p + 2 \cdot h_w \cdot t_f \cdot t_w}{2 \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f - b_f \cdot y_p + h_w \cdot t_w)} \right] & \text{if } y_p \leq t_f \\ \left[ \frac{b_f \cdot t_f^2 + d^2 \cdot t_w - t_f^2 \cdot t_w + t_w \cdot y_p^2 - 2 \cdot d \cdot t_w \cdot y_p}{2 \cdot (b_f \cdot t_f + d \cdot t_w - t_f \cdot t_w - t_w \cdot y_p)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_c = 7.06 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$y_t := \begin{cases} \left( \frac{y_p}{2} \right) & \text{if } y_p \leq t_f \\ \left[ \frac{b_f \cdot t_f^2 - t_f^2 \cdot t_w + t_w \cdot y_p^2}{2 \cdot (b_f \cdot t_f - t_f \cdot t_w + t_w \cdot y_p)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_t = 5.25 \cdot \text{cm}}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{at} = 30.88 \cdot \text{cm}^2$$

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{ac} = 34.51 \cdot \text{cm}^2$$

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$
$$d_3 = 32.12 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$
$$d_4 = 14.87 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$
$$d_5 = 17.82 \cdot \text{cm}$$

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd\_neg<sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$
$$M_{rd\_neg2} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg1}, M_{rd\_neg2})$$
$$M_{rd\_neg} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### O.4 - Conectores de Cisalhamento

##### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$
$$A_{cs} = 2.84 \cdot \text{cm}^2$$

V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$
$$Q_{Rd} = 56.48 \cdot \text{kN}$$

V.3) Cálculo do número de conectores

- Espaçamento Máximo

$$\text{esp}_{\max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{mm})$$
$$\text{esp}_{\max} = 80.00 \cdot \text{cm}$$

- Espaçamento Mínimo

$$\text{esp}_{\min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$
$$\text{esp}_{\min} = 7.60 \cdot \text{cm}$$

### V.3.1) Região de momento positivo

- Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(A_a \cdot f_y d, 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 37.52$$

- Espaçamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

- Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$T_{ds} = 115.20 \cdot \text{kN}$$

- Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{T_{ds}}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.00$$

- Espaçamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \wedge T_{ds} \neq 0.00 \text{ kN}) \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 37.52 \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.00 \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

---

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

---

VI) Força Cortante Resistente de Cálculo

VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento

- Parâmetro de esbeltez limite para secções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 53.24}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 53.20$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{lV}$ )

$$\text{verificação\_}f_{lV} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_}f_{lV} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 34.20 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}}$$

---

VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}}$$

---

**Verificação no Estado Limite Último (ELU)**

---

VII) Verificação no ELU

MOMENTO POSITIVO

$M_{sd\_pos} = 398.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

MOMENTO NEGATIVO

$M_{sd\_neg} = 0.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

CORTANTE

$V_{sd\_max} = 214.00 \cdot \text{kN}$

$M_{rd\_pos} = 715.51 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{rd\_neg} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}$

$$\text{verificação\_}M_{pos} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_pos} \leq M_{rd\_pos} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}V_{max} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd\_max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}M_{neg} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_neg} \leq M_{rd\_neg} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_ $M_{pos}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $M_{neg}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $V_{max}$  = "VERIFICA"

### **Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

#### VIII) Verificação no ELS

### VII.1) Deslocamentos Máximos

#### VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada

CURTA DURAÇÃO (cd)	LONGA DURAÇÃO (ld)
$A_{cd} = 337.83 \cdot \text{cm}^2$	$A_{ld} = 157.01 \cdot \text{cm}^2$
$y_{sup,cd} = 11.41 \cdot \text{cm}$	$y_{sup,ld} = 18.79 \cdot \text{cm}$
$y_{inf,cd} = 48.59 \cdot \text{cm}$	$y_{inf,ld} = 41.21 \cdot \text{cm}$
$I_{x,cd} = 80108.54 \cdot \text{cm}^4$	$I_{x,ld} = 62630.61 \cdot \text{cm}^4$
$W_{xsup,cd} = 7022.74 \cdot \text{cm}^3$	$W_{xsup,ld} = 3333.96 \cdot \text{cm}^3$
$W_{xinf,cd} = 1648.56 \cdot \text{cm}^3$	$W_{xinf,ld} = 1519.63 \cdot \text{cm}^3$

#### - Verificação

$$\text{flecha}_{\text{CF}} = 1.12 \cdot \text{cm}$$

$$\text{flecha}_{\text{CQP}} = 1.44 \cdot \text{cm}$$

flecha\_lim = 1.50·cm

verificação\_flecha := | "V

$$\max(\text{flecha}_{\text{CF}}, \text{flecha}_{\text{CQP}})$$

$$W_{xinf_{cd}} = 1648.56 \cdot \text{cm}^3$$

$$Wxinf_{Id} = 1519.63 \cdot \text{cm}^3$$

| "REDIMENSIONAR" otherwise

"REDIMENSIONAR" otherwise

## i) Viga Mista V324

NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

### I) Dados Iniciais

#### I.1) Materiais

CONCRETO	AÇO (PERFIL)	AÇO (ARMADURA DA LAJE)	AÇO (CONECTOR DE CISALHAMENTO)
$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_{sk} := 600 \text{ MPa}$	$f_{ycs} := 345 \text{ MPa}$
$\gamma_c := 1.4$	$\gamma_{a1} := 1.1$		$f_{ues} := 415 \text{ MPa}$
$E_c := 0.85 \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\text{MPa}}$	$E := 0.8 \cdot 200 \text{ GPa}$		$\gamma_{cs} := 1.25$
$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17.86 \text{ MPa}$	$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 318.18 \text{ MPa}$	$f_{sd} := \frac{f_{sk}}{\gamma_{a1}} = 545.45 \text{ MPa}$	

#### I.2) Perfil Metálico - W460x52.0

GERAL	ALMA	MESA	EIXO X	EIXO Y	TORÇÃO
$m := 52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	$t_w := 7.6 \text{ mm}$	$t_f := 10.8 \text{ mm}$	$I_x := 21370 \text{ cm}^4$	$I_y := 634 \text{ cm}^4$	$J_b := 21.8 \text{ cm}^4$
$d := 450 \text{ mm}$	$h_w := 428 \text{ mm}$	$b_f := 152 \text{ mm}$	$W_x := 950 \text{ cm}^3$	$W_y := 83.5 \text{ cm}^3$	
$A_a := 66.6 \text{ cm}^2$	$\lambda_A := 53.2$	$\lambda_M := 7.0$	$r_x := 17.91 \text{ cm}$	$r_y := 3.09 \text{ cm}$	
			$Z_x := 1096 \text{ cm}^3$	$Z_y := 131.7 \text{ cm}^3$	

#### I.3) Mesa colaborante

LARGURA DA MESA	ESPESSURA DA MESA	ALTURA DA NERVURA	COBRIMENTO DA ARMADURA	TAXA DA ARMADURA
$b := 186.9 \text{ cm}$	$t_c := 10.0 \text{ cm}$	$h_f := 5.0 \text{ cm}$	$c := 3 \text{ cm}$	$\rho_s := 1.13 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$

#### I.4) Conector de Cisalhamento

$$\phi_{es} := 19 \text{ mm} \quad L_{epos} := 750 \text{ cm} \quad L_{eneg} := 0.00 \text{ cm} \quad R_g := 1.00 \quad R_p := 0.60$$

#### I.5) Esforços Solicitantes de Projeto

$$M_{sd\_pos} := 188 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{sd\_neg} := 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{sd\_max} := 100 \text{ kN}$$

#### I.6) Deslocamentos Limites

$$flecha_{CF} := 0.488 \text{ cm} \quad flecha_{CQP} := 0.624 \text{ cm} \quad flecha\_lim := \frac{750}{350} \text{ cm}$$

### II) Verificação da seção de aço quanto a flambagem local (fl)

#### ALMA (A)

$$\lambda_{pA} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 80.39$$

$$\text{verificação\_fl}_A := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_{pA} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>A</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

#### MESA (M)

$$\lambda_{pM} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 8.12$$

$$\text{verificação\_fl}_M := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_M \leq \lambda_{pM} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_fl<sub>M</sub> = "SEÇÃO COMPACTA"

## **ANEXO O - Vigas mistas de aço e concreto**

### **O.2.3 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento positivo**

#### **O.2.3.1 - Construção escorada**

**O.2.3.1.1 - Vigas mistas de alma cheia com**  $\frac{h}{tw} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

III) Momento fletor positivo resistente de cálculo

##### III.1) Posição da Linha Neutra (L.N.)

- Máxima resistência à tração da seção de aço (Rtd)    - Máxima resistência à compressão na seção de concreto (Rcd)

$$Rtd := A_a \cdot f_y = 2119.09 \text{ kN}$$

$$Rcd := 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c = 2836.88 \text{ kN}$$

$$\text{verificação\_LN} := \begin{cases} \text{"L.N. NA LAJE DE CONCRETO"} & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"L.N. NA SEÇÃO DE AÇO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**verificação\_LN = "L.N. NA LAJE DE CONCRETO"**

##### III.2) Momento fletor positivo resistente de cálculo

###### III.2.1) L.N. NA LAJE DE CONCRETO

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (A_a \cdot f_y) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tad = 2119.09 \text{ kN}$$

###### Espessura da região comprimida da laje (a)

$$a := \begin{cases} \left( \frac{Tad}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = 7.47 \text{ cm}$$

- Distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil (d1)

$$d1 := \begin{cases} \left( \frac{d}{2} \right) & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad d = 45.00 \text{ cm}$$

###### Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos\_1)

$$Mrd_{pos1} := \begin{cases} \left[ Tad \cdot \left( d1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right) \right] & \text{if } Rtd \leq Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Mrd_{pos1} = 715.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

###### III.2.2) L.N. NA SEÇÃO DE AÇO

- Força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (Ccd)

$$Ccd := \begin{cases} (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c) & \text{if } Rtd > Rcd \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Ccd = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}$$

- Força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (Cad)

$$Cad := \begin{cases} \left[ \frac{1}{2} \cdot (Aa \cdot fyd - Ced) \right] & \text{if } Rtd > Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

Cad = "NÃO SE APLICA" · kN

- Força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço (Tad)

$$Tad := \begin{cases} (Ced + Cad) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tad = "NÃO SE APLICA" · kN

- Área da mesa superior do perfil de aço (Aaf)

$$Aaf := \begin{cases} (bf \cdot tf) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

Aaf = "NÃO SE APLICA" · cm<sup>2</sup>

- Área da alma do perfil de aço (Aaw)

$$Aaw := \begin{cases} (hw \cdot tw) & \text{if } Rtd > Rcd \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

Aaw = "NÃO SE APLICA" · cm<sup>2</sup>

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$yp := \begin{cases} \text{if } Rtd > Rcd \\ \left( \frac{Cad}{Aaf \cdot fyd} \cdot tf \right) & \text{if } Cad \leq Aaf \cdot fyd \\ \left[ tf + hw \cdot \left( \frac{Cad - Aaf \cdot fyd}{Aaw \cdot fyd} \right) \right] & \text{otherwise} \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

yp = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yt)

$$yt := \begin{cases} \text{if } Rtd > Rcd \\ \left[ \frac{4 \cdot bf \cdot tf^2 + bf \cdot yp^2 + hw^2 \cdot tw + 2 \cdot bf \cdot hw \cdot tf - 2 \cdot bf \cdot hw \cdot yp - 4 \cdot bf \cdot tf \cdot yp + 2 \cdot hw \cdot tf \cdot tw}{2 \cdot (2 \cdot bf \cdot tf - bf \cdot yp + hw \cdot tw)} \right] & \text{if } Cad \leq Aaf \cdot fyd \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 + d^2 \cdot tw - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2 - 2 \cdot d \cdot tw \cdot yp}{2 \cdot (bf \cdot tf + d \cdot tw - tf \cdot tw - tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

yt = "NÃO SE APLICA" · cm

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil (yc)

$$yc := \begin{cases} \text{if } Rtd > Rcd \\ \left( \frac{yp}{2} \right) & \text{if } Cad \leq Aaf \cdot fyd \\ \left[ \frac{bf \cdot tf^2 - tf^2 \cdot tw + tw \cdot yp^2}{2 \cdot (bf \cdot tf - tf \cdot tw + tw \cdot yp)} \right] & \text{otherwise} \\ "NÃO SE APLICA" & \text{otherwise} \end{cases}$$

yc = "NÃO SE APLICA" · cm

- Momento fletor positivo resistente de cálculo (Mrd\_pos<sub>2</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 := \begin{cases} \left[ \text{C}_{\text{ad}} \cdot (d - y_t - y_c) + \text{C}_{\text{ed}} \cdot \left( \frac{t_c}{2} + h_f + d - y_t \right) \right] & \text{if } R_{\text{td}} > R_{\text{ed}} \\ \text{"NÃO SE APLICA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}}_2 = \text{"NÃO SE APLICA"} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### III.2.3) Momento Fletor Positivo Resistente de Cálculo (Mrd<sub>pos</sub>)

$$\text{Mrd}_{\text{pos}} := \begin{cases} \text{Mrd}_{\text{pos}}_1 & \text{if } R_{\text{td}} \leq R_{\text{ed}} \\ \text{Mrd}_{\text{pos}}_2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{pos}} = 715.51 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

### O.2.4 - Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momento negativo

#### IV) Momento fletor negativo resistente de cálculo

##### IV.1) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO)

$$\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 := Z_x \cdot f_y d \quad \boxed{\text{Mrd}_{\text{neg}}_1 = 348.73 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}}$$

##### IV.2) MOMENTO RESISTENTE (SEÇÃO DE AÇO + ARMADURA DA LAJE)

- Área da armadura longitudinal dentro da largura efetiva da laje de concreto (Asl)

$$\text{Asl} := \rho_s \cdot b \quad \boxed{\text{Asl} = 2.11 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força resistente de tração de cálculo das barras da armadura longitudinal da laje de concreto (Tds)

$$\text{Tds} := \text{Asl} \cdot f_{sd} \quad \boxed{\text{Tds} = 115.20 \cdot \text{kN}}$$

- Posição da L.N. da seção plastificada medida a partir do topo do perfil de aço (yp)

$$y_p := \begin{cases} \left( \frac{T_{\text{ds}} - d \cdot f_y d \cdot t_w}{2 \cdot f_y d \cdot t_w} \right) & \text{if } \left( \frac{T_{\text{ds}} - d \cdot f_y d \cdot t_w}{2 \cdot f_y d \cdot t_w} \right) \geq t_f \\ \left( t_f - \frac{T_{\text{ds}} - f_y d \cdot h_w \cdot t_w}{2 \cdot b_f \cdot f_y d} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_p = 20.12 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face inferior desse perfil (yc)

$$y_c := \begin{cases} \left[ \frac{4 \cdot b_f \cdot t_f^2 + b_f \cdot y_p^2 + h_w^2 \cdot t_w + 2 \cdot b_f \cdot h_w \cdot t_f^2 - 2 \cdot b_f \cdot h_w \cdot y_p - 4 \cdot b_f \cdot t_f \cdot y_p + 2 \cdot h_w \cdot t_f \cdot t_w}{2 \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f - b_f \cdot y_p + h_w \cdot t_w)} \right] & \text{if } y_p \leq t_f \\ \left[ \frac{b_f \cdot t_f^2 + d^2 \cdot t_w - t_f^2 \cdot t_w + t_w \cdot y_p^2 - 2 \cdot d \cdot t_w \cdot y_p}{2 \cdot (b_f \cdot t_f + d \cdot t_w - t_f \cdot t_w - t_w \cdot y_p)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_c = 7.06 \cdot \text{cm}}$$

- Distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face superior desse perfil (yt)

$$y_t := \begin{cases} \left( \frac{y_p}{2} \right) & \text{if } y_p \leq t_f \\ \left[ \frac{b_f \cdot t_f^2 - t_f^2 \cdot t_w + t_w \cdot y_p^2}{2 \cdot (b_f \cdot t_f - t_f \cdot t_w + t_w \cdot y_p)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{y_t = 5.25 \cdot \text{cm}}$$

- Área tracionada da seção do perfil de aço (Aat)

$$A_{at} := \begin{cases} (y_p \cdot b_f) & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{at} = 30.88 \cdot \text{cm}^2$$

- Área comprimida da seção do perfil de aço (Aac)

$$A_{ac} := \begin{cases} [b_f \cdot t_f + t_w \cdot h_w + (t_f - y_p) \cdot b_f] & \text{if } y_p \leq t_f \\ [b_f \cdot t_f + (d - y_p - t_f) \cdot t_w] & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$A_{ac} = 34.51 \cdot \text{cm}^2$$

- Distância do centro geométrico da armadura longitudinal à L.N (d3)

$$d_3 := t_c + h_f + y_p - c$$
$$d_3 = 32.12 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de tração, situada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à L.N (d4)

$$d_4 := y_p - y_t$$
$$d_4 = 14.87 \cdot \text{cm}$$

- Distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à L.N (d5)

$$d_5 := d - y_c - y_p$$
$$d_5 = 17.82 \cdot \text{cm}$$

- Momento fletor negativo resistente de cálculo (Mrd\_neg<sub>2</sub>)

$$M_{rd\_neg2} := T_{ds} \cdot d_3 + A_{at} \cdot f_y \cdot d_4 + A_{ac} \cdot f_y \cdot d_5$$
$$M_{rd\_neg2} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### IV.3) Momento Fletor Negativo Resistente de Cálculo

$$M_{rd\_neg} := \max(M_{rd\_neg1}, M_{rd\_neg2})$$
$$M_{rd\_neg} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### O.4 - Conectores de Cisalhamento

##### O.4.2.1 - Pinos com cabeça

V) Dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça

V.1) Área da seção transversal do conector (Acs)

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot \phi_{cs}^2}{4}$$
$$A_{cs} = 2.84 \cdot \text{cm}^2$$

V.2) Força resistente de cálculo de 1 (um) conector tipo pino com cabeça (Q<sub>Rd</sub>)

$$Q_{Rd} := \min \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{\gamma_{cs}} \right), \left( \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right) \right]$$
$$Q_{Rd} = 56.48 \cdot \text{kN}$$

V.3) Cálculo do número de conectores

- Espaçamento Máximo

$$\text{esp}_{\max} := \min(8 \cdot t_c, 915 \text{mm})$$
$$\text{esp}_{\max} = 80.00 \cdot \text{cm}$$

- Espaçamento Mínimo

$$\text{esp}_{\min} := 4 \cdot \phi_{cs}$$
$$\text{esp}_{\min} = 7.60 \cdot \text{cm}$$

### V.3.1) Região de momento positivo

- Número de conectores para região de momento positivo ( $n_{pos}$ )

$$n_{pos} := \begin{cases} \left( \frac{\min(A_a \cdot f_y d, 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot t_c)}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{pos} = 37.52$$

- Espaçamento ( $esp_{pos}$ )

$$esp_{pos} := \begin{cases} \text{if } M_{sd, pos} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, pos}}{2 \cdot n_{pos}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

### V.3.2) Região de momento negativo

- Força resistente de tração de cálculo nas barras da armadura longitudinal da laje (Tds)

$$T_{ds} = 115.20 \cdot \text{kN}$$

- Número de conectores para região de momento negativo ( $n_{neg}$ )

$$n_{neg} := \begin{cases} \left( \frac{T_{ds}}{Q_{Rd}} \right) & \text{if } M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{neg} = 0.00$$

- Espaçamento ( $esp_{neg}$ )

$$esp_{neg} := \begin{cases} \text{if } (M_{sd, neg} \neq 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m} \wedge T_{ds} \neq 0.00 \text{ kN}) \\ esp_{min} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \leq esp_{min} \\ esp_{max} & \text{if } \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} \geq esp_{max} \\ \frac{L_{e, neg}}{n_{neg}} & \text{otherwise} \\ (0.00) & \text{otherwise} \end{cases} \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

### V.5) Resumo dos conectores adotados

#### V.5.1) Região de momentos positivos

$$n_{pos} = 37.52 \quad esp_{pos} = 9.99 \cdot \text{cm}$$

#### V.5.2) Região de momentos negativos

$$n_{neg} = 0.00 \quad esp_{neg} = 0.00 \cdot \text{cm}$$

---

**NBR 8800:2008 - 5.4.3 - Força Cortante Resistente de Cálculo**

---

VI) Força Cortante Resistente de Cálculo

VI.1) Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento

- Parâmetro de esbeltez limite para secções compactas ( $\lambda_p$ )

$$\lambda_p := 1.10 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot E}{f_y}} \quad \boxed{\lambda_p = 53.24}$$

- Índice de esbeltez da alma ( $\lambda_A$ )  $\lambda_A = 53.20$

- Verificação da esbeltez da alma do perfil ao cisalhamento ( $f_{lV}$ )

$$\text{verificação\_}f_{lV} := \begin{cases} \text{"SEÇÃO COMPACTA"} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{\text{verificação\_}f_{lV} = \text{"SEÇÃO COMPACTA"}}$$

VI.2) Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

- Área efetiva de cisalhamento ( $A_w$ )

$$A_w := d \cdot t_w \quad \boxed{A_w = 34.20 \cdot \text{cm}^2}$$

- Força cortante de plastificação da alma por cisalhamento ( $V_{pl}$ )

$$V_{pl} := 0.60 \cdot A_w \cdot f_y \quad \boxed{V_{pl} = 718.20 \cdot \text{kN}}$$

---

VI.3) Força cortante resistente de cálculo ( $V_{rd}$ )

$$V_{rd} := \begin{cases} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} & \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}}$$

---

Verificação no Estado Limite Último (ELU)

---

VII) Verificação no ELU

MOMENTO POSITIVO

$M_{sd\_pos} = 188.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

MOMENTO NEGATIVO

$M_{sd\_neg} = 0.00 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

CORTANTE

$V_{sd\_max} = 100.00 \cdot \text{kN}$

$M_{rd\_pos} = 715.51 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$M_{rd\_neg} = 378.73 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$V_{rd} = 652.91 \cdot \text{kN}$

$$\text{verificação\_}M_{pos} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_pos} \leq M_{rd\_pos} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}V_{max} := \begin{cases} \text{if } \lambda_A \leq \lambda_p \\ \text{"VERIFICA"} & \text{if } V_{sd\_max} \leq V_{rd} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \\ \text{"SEÇÃO NÃO COMPACTA"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_}M_{neg} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } M_{sd\_neg} \leq M_{rd\_neg} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\\_ $M_{pos}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $M_{neg}$  = "VERIFICA"

verificação\\_ $V_{max}$  = "VERIFICA"

#### **Verificação no Estado Limite de Serviço (ELS)**

#### VIII) Verificação no ELS

### VII.1) Deslocamentos Máximos

#### VII.1.1) Propriedades da seção homogeneizada

CURTA DURAÇÃO (cd)	LONGA DURAÇÃO (ld)
$A_{cd} = 337.83 \cdot \text{cm}^2$	$A_{ld} = 157.01 \cdot \text{cm}^2$
$y_{sup,cd} = 11.41 \cdot \text{cm}$	$y_{sup,ld} = 18.79 \cdot \text{cm}$
$y_{inf,cd} = 48.59 \cdot \text{cm}$	$y_{inf,ld} = 41.21 \cdot \text{cm}$
$I_{x,cd} = 80108.54 \cdot \text{cm}^4$	$I_{x,ld} = 62630.61 \cdot \text{cm}^4$
$W_{xsup,cd} = 7022.74 \cdot \text{cm}^3$	$W_{xsup,ld} = 3333.96 \cdot \text{cm}^3$
$W_{xinf,cd} = 1648.56 \cdot \text{cm}^3$	$W_{xinf,ld} = 1519.63 \cdot \text{cm}^3$

#### - Verificação

$$\boxed{\text{flecha}_{\text{CF}} = 0.49 \cdot \text{cm}}$$

$$\text{flecha}_{\text{CQP}} = 0.62 \cdot \text{cm}$$

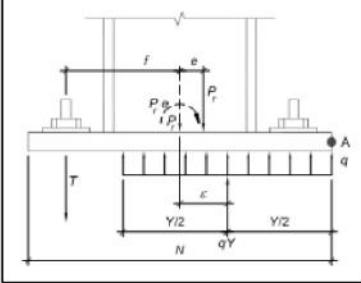
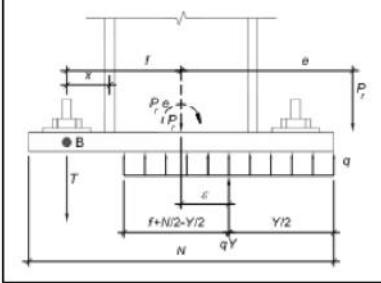
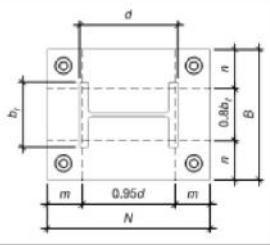
$$\text{flecha\_lim} = 2.14\cdot\text{cm}$$

$$\text{verificação_flecha} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } \max(\text{flecha}_{\text{CF}}, \text{flecha}_{\text{CQP}}) \leq \text{flecha\_lim} \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

## B.3 – DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS DE BASE E CHUMBADORES

### a) Coluna C07

- Combinação ELU – Ndmax

<p><i>AISC - American Institute of Steel Construction Steel Design Guide 1 - Base Plate and Anchor Rod Design (2<sup>nd</sup> Edition)</i></p> <hr/> <p><b>3.3 / 3.4) Design of Column Base Plates With Small / Large Moments (LRFD)</b></p> <hr/> <p>I) Dados Iniciais</p>																						
<p>Dimensionamento de acordo com nomenclatura adotada pela AISC, apresentada na figura abaixo.</p>																						
																						
<p>Figure 3.3.1. Base plate with small moments</p>	<p>Figure 3.4.1. Base plate with large moments</p>	<p>(b) Assumed Bending Lines</p>																				
<p><b>I.1) Propriedades dos Materiais</b></p> <table> <tr> <th>PLACA DE BASE (PL)</th> <th>CONCRETO (C)</th> <th>CHUMBADOR (CH)</th> </tr> <tr> <td><math>f_y := 350 \text{ MPa}</math></td> <td><math>f_c := 25 \text{ MPa}</math></td> <td></td> </tr> </table>	PLACA DE BASE (PL)	CONCRETO (C)	CHUMBADOR (CH)	$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_c := 25 \text{ MPa}$																	
PLACA DE BASE (PL)	CONCRETO (C)	CHUMBADOR (CH)																				
$f_y := 350 \text{ MPa}$	$f_c := 25 \text{ MPa}$																					
<p><b>I.2) Geometria</b></p> <table> <tr> <th>PLACA DE BASE (PL)</th> <th>CONCRETO (C)</th> <th>CHUMBADOR (CH)</th> <th>PERFIL (PF)</th> <th>DETALHAMENTO</th> </tr> <tr> <td><math>N := 37 \text{ cm}</math></td> <td><math>N_2 := 50 \text{ cm}</math></td> <td></td> <td><math>d := 206 \text{ mm}</math></td> <td><math>f := 14.5 \text{ cm}</math></td> </tr> <tr> <td><math>B := 37 \text{ cm}</math></td> <td><math>B_2 := 50 \text{ cm}</math></td> <td></td> <td><math>bf := 204 \text{ mm}</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>A_1 := N \cdot B</math></td> <td><math>A_2 := N_2 \cdot B_2</math></td> <td></td> <td><math>tf := 12.6 \text{ mm}</math></td> <td></td> </tr> </table>	PLACA DE BASE (PL)	CONCRETO (C)	CHUMBADOR (CH)	PERFIL (PF)	DETALHAMENTO	$N := 37 \text{ cm}$	$N_2 := 50 \text{ cm}$		$d := 206 \text{ mm}$	$f := 14.5 \text{ cm}$	$B := 37 \text{ cm}$	$B_2 := 50 \text{ cm}$		$bf := 204 \text{ mm}$		$A_1 := N \cdot B$	$A_2 := N_2 \cdot B_2$		$tf := 12.6 \text{ mm}$			
PLACA DE BASE (PL)	CONCRETO (C)	CHUMBADOR (CH)	PERFIL (PF)	DETALHAMENTO																		
$N := 37 \text{ cm}$	$N_2 := 50 \text{ cm}$		$d := 206 \text{ mm}$	$f := 14.5 \text{ cm}$																		
$B := 37 \text{ cm}$	$B_2 := 50 \text{ cm}$		$bf := 204 \text{ mm}$																			
$A_1 := N \cdot B$	$A_2 := N_2 \cdot B_2$		$tf := 12.6 \text{ mm}$																			
<p><b>I.3) Solicitações de Projeto</b></p> <table> <tr> <td><math>P_u := 950 \text{ kN}</math></td> <td><math>M_u := 5.6 \text{ kN} \cdot \text{m}</math></td> </tr> </table> <hr/> <p><b>II) Dimensionamento</b></p> <p><b>II.1) Determinação da excentricidade (<math>e</math>) e excentricidade crítica (<math>e_{crit}</math>)</b></p> <p>- Excentricidade da solicitação (<math>e</math>)</p>	$P_u := 950 \text{ kN}$	$M_u := 5.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$e := \frac{M_u}{P_u}$	$e = 0.59 \cdot \text{cm}$																		
$P_u := 950 \text{ kN}$	$M_u := 5.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$																					
<p>- Calculo da tensão resistente do concreto (<math>f_{pmax}</math>)</p>	$f_{pmax} := \min \left[ \left( 0.65 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \right), \left( 0.65 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \sqrt{4} \right) \right]$	$f_{pmax} = 18.67 \cdot \text{MPa}$																				
<p>- Carga uniforme distribuída máxima (<math>q_{max}</math>)</p>	$q_{max} := f_{pmax} \cdot B$	$q_{max} = 6906.25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$																				

- Excentricidade crítica ( $e_{crit}$ )

$$e_{crit} := \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 \cdot q_{max}}$$

$$e_{crit} = 11.62 \cdot \text{cm}$$

- Verificação do tipo de dimensionamento (pequena ou grande excentricidade)

$$\text{verificação\_excentricidade} := \begin{cases} \text{"PEQUENA EXCENTRICIDADE"} & \text{if } e \leq e_{crit} \\ \text{"GRANDE EXCENTRICIDADE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_excentricidade} = \text{"PEQUENA EXCENTRICIDADE"}$$

**II.2) Determinação da largura comprimida (Y) e verificação da tensão aplicada na base de concreto (f<sub>p</sub>)**

- Calculo da largura comprimida (Y)

$$Y := \begin{cases} (N - 2e) & \text{if } e \leq e_{crit} \\ \text{otherwise} \\ \left[ \left( f + \frac{N}{2} \right) - \sqrt{\left( f + \frac{N}{2} \right)^2 - \frac{2 \cdot P_u \cdot (e + f)}{q_{max}}} \right] & \text{if } \left[ \left( f + \frac{N}{2} \right)^2 \geq \frac{2 \cdot P_u \cdot (e + f)}{q_{max}} \right] \\ \text{"AUMENTAR PLACA DE BASE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Y = 35.82 \cdot \text{cm}$$

- Tensão de compressão aplicada à base de concreto (f<sub>p</sub>)

$$f_p := \begin{cases} \frac{P_u}{B \cdot Y} & \text{if } e \leq e_{crit} \\ f_{p_{max}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_p = 7.17 \cdot \text{MPa}$$

- Verificação da tensão de compressão aplicada à base de concreto (f<sub>p</sub>)

$$\text{verificação\_tensão} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } (f_p \leq f_{p_{max}}) \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_tensão} = \text{"VERIFICA"}$$

**II.3) Força de tração solicitante de projeto (T<sub>u</sub>)**

$$T_u := \begin{cases} (q_{max} \cdot Y - P_u) & \text{if } e > e_{crit} \\ (0.00 \cdot \text{kip}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$T_u = 0 \cdot \text{kN}$$

**II.4) Determinação da espessura mínima da placa**

- Espessura devido ao braço de alavanca mp (t<sub>p<sub>mp</sub></sub>)

$$mp := \frac{N - 0.95 \cdot d}{2}$$

$$mp = 8.71 \cdot \text{cm}$$

$$t_{p_{mp}} := \begin{cases} 1.5 \cdot mp \cdot \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} & \text{if } Y \geq mp \\ 2.11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot Y \cdot \left( mp - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} & \text{if } Y < mp \end{cases}$$

$$t_{p_{mp}} = 1.87 \cdot \text{cm}$$

- Espessura devido ao braço de alavanca np (tp<sub>np</sub>)

$$np := \frac{B - 0.80 \cdot bf}{2} \quad np = 10.34 \cdot \text{cm}$$

$$tp_{np} := \begin{cases} 1.5 \cdot np \cdot \sqrt{\frac{fp}{Fy}} & \text{if } Y \geq mp \\ 2.11 \cdot \sqrt{\frac{fp \cdot Y \cdot \left(np - \frac{Y}{2}\right)}{Fy}} & \text{if } Y < mp \end{cases} \quad tp_{np} = 2.22 \cdot \text{cm}$$

- Espessura devido à força de tração dos chumbadores (tp<sub>Tu</sub>)

$$x := f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \quad x = 4.83 \cdot \text{cm}$$

$$tp_{Tu} := 2.11 \cdot \sqrt{\frac{T_u \cdot x}{B \cdot F_y}} \quad tp_{Tu} = 0 \cdot \text{cm}$$

- Espessura mínima da placa (tp<sub>req</sub>)

$$tp_{req} := \max(tp_{mp}, tp_{np}, tp_{Tu}) \quad tp_{req} = 2.22 \cdot \text{cm}$$

## - Combinação ELU – Ndmín

**AISC - American Institute of Steel Construction**  
**Steel Design Guide 1 - Base Plate and Anchor Rod Design (2<sup>nd</sup> Edition)**

### 3.3 / 3.4) Design of Column Base Plates With Small / Large Moments (LRFD)

#### I) Dados Iniciais

Dimensionamento de acordo com nomenclatura adotada pela AISC, apresentada na figura abaixo.

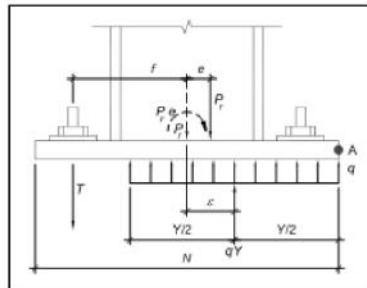


Figure 3.3.1. Base plate with small moments

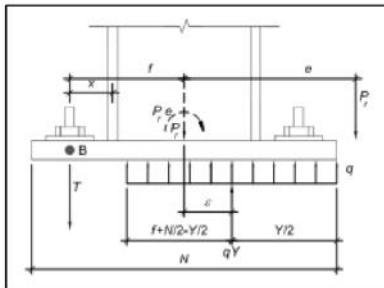
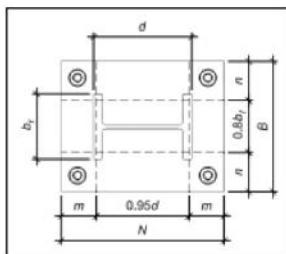


Figure 3.4.1. Base plate with large moments



(b) Assumed Bending Lines

#### I.1) Propriedades dos Materiais

PLACA DE BASE (PL)

$$F_y := 350 \text{ MPa}$$

CONCRETO (C)

$$f_c := 25 \text{ MPa}$$

CHUMBADOR (CH)

$$\text{PERFIL (PF)}$$

$$d := 206 \text{ mm}$$

$$f := 14.5 \text{ cm}$$

#### I.2) Geometria

PLACA DE BASE (PL)

$$N := 37 \text{ cm}$$

CONCRETO (C)

$$N_2 := 50 \text{ cm}$$

CHUMBADOR (CH)

$$bf := 204 \text{ mm}$$

$$B := 37 \text{ cm}$$

$$B_2 := 50 \text{ cm}$$

$$A_1 := N \cdot B$$

$$A_2 := N_2 \cdot B_2$$

$$tf := 12.6 \text{ mm}$$

#### I.3) Solicitações de Projeto

$$P_u := 843 \text{ kN}$$

$$M_u := 31.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### II) Dimensionamento

##### II.1) Determinação da excentricidade (e) e excentricidade crítica (e<sub>crit</sub>)

###### - Excentricidade da solicitação (e)

$$e := \frac{M_u}{P_u} \quad e = 3.69 \cdot \text{cm}$$

###### - Cálculo da tensão resistente do concreto (f<sub>pmax</sub>)

$$f_{p\max} := \min \left[ \left( 0.65 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \right), \left( 0.65 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \sqrt{4} \right) \right] \quad f_{p\max} = 18.67 \cdot \text{MPa}$$

###### - Carga uniforme distribuída máxima (q<sub>max</sub>)

$$q_{\max} := f_{p\max} \cdot B \quad q_{\max} = 6906.25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Excentricidade crítica ( $e_{crit}$ )

$$e_{crit} := \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 \cdot q_{max}}$$

$$e_{crit} = 12.4 \text{ cm}$$

- Verificação do tipo de dimensionamento (pequena ou grande excentricidade)

$$\text{verificação\_excentricidade} := \begin{cases} \text{"PEQUENA EXCENTRICIDADE"} & \text{if } e \leq e_{crit} \\ \text{"GRANDE EXCENTRICIDADE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_excentricidade} = \text{"PEQUENA EXCENTRICIDADE"}$$

**II.2) Determinação da largura comprimida (Y) e verificação da tensão aplicada na base de concreto (fp)**

- Calculo da largura comprimida (Y)

$$Y := \begin{cases} (N - 2e) & \text{if } e \leq e_{crit} \\ \text{otherwise} \\ \left[ \left( f + \frac{N}{2} \right) - \sqrt{\left( f + \frac{N}{2} \right)^2 - \frac{2 \cdot P_u \cdot (e + f)}{q_{max}}} \right] & \text{if } \left[ \left( f + \frac{N}{2} \right)^2 \geq \frac{2 \cdot P_u \cdot (e + f)}{q_{max}} \right] \\ \text{"AUMENTAR PLACA DE BASE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Y = 29.62 \text{ cm}$$

- Tensão de compressão aplicada à base de concreto (fp)

$$f_p := \begin{cases} \frac{P_u}{B \cdot Y} & \text{if } e \leq e_{crit} \\ f_{p_{max}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_p = 7.69 \text{ MPa}$$

- Verificação da tensão de compressão aplicada à base de concreto (fp)

$$\text{verificação\_tensão} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } (f_p \leq f_{p_{max}}) \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{verificação\_tensão} = \text{"VERIFICA"}$$

**II.3) Força de tração solicitante de projeto (Tu)**

$$T_u := \begin{cases} (q_{max} \cdot Y - P_u) & \text{if } e > e_{crit} \\ (0.00 \cdot \text{kip}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$T_u = 0 \text{ kN}$$

**II.4) Determinação da espessura mínima da placa**

- Espessura devido ao braço de alavanca mp ( $t_{p_{mp}}$ )

$$m_p := \frac{N - 0.95 \cdot d}{2}$$

$$m_p = 8.71 \text{ cm}$$

$$t_{p_{mp}} := \begin{cases} 1.5 \cdot m_p \cdot \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} & \text{if } Y \geq m_p \\ 2.11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot Y \cdot \left( m_p - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} & \text{if } Y < m_p \end{cases}$$

$$t_{p_{mp}} = 1.94 \text{ cm}$$

- Espessura devido ao braço de alavanca np (tp<sub>np</sub>)

$$np := \frac{B - 0.80 \cdot bf}{2} \quad tp_{np} = 10.34 \cdot \text{cm}$$

$$tp_{np} := \begin{cases} 1.5 \cdot np \cdot \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} & \text{if } Y \geq mp \\ 2.11 \cdot \sqrt{\frac{f_p \cdot Y \cdot \left( np - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} & \text{if } Y < mp \end{cases} \quad tp_{np} = 2.3 \cdot \text{cm}$$

- Espessura devido à força de tração dos chumbadores (tp<sub>Tu</sub>)

$$x := f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \quad x = 4.83 \cdot \text{cm}$$

$$tp_{Tu} := 2.11 \cdot \sqrt{\frac{T_u \cdot x}{B \cdot F_y}} \quad tp_{Tu} = 0 \cdot \text{cm}$$

- Espessura mínima da placa (tp<sub>req</sub>)

$$tp_{req} := \max(tp_{mp}, tp_{np}, tp_{Tu}) \quad tp_{req} = 2.3 \cdot \text{cm}$$

## - Combinação ELU – Mdmax

**AISC - American Institute of Steel Construction**  
**Steel Design Guide 1 - Base Plate and Anchor Rod Design (2<sup>nd</sup> Edition)**

### 3.3 / 3.4) Design of Column Base Plates With Small / Large Moments (LRFD)

#### I) Dados Iniciais

Dimensionamento de acordo com nomenclatura adotada pela AISC, apresentada na figura abaixo.

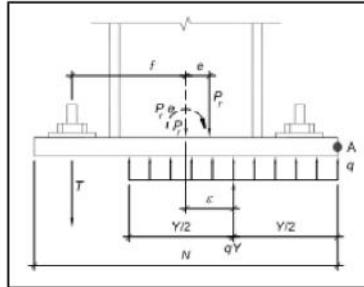


Figure 3.3.1. Base plate with small moments

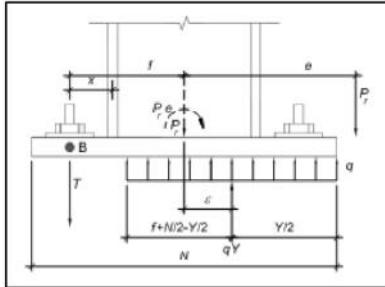
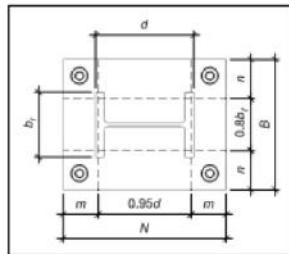


Figure 3.4.1. Base plate with large moments



(b) Assumed Bending Lines

#### I.1) Propriedades dos Materiais

PLACA DE BASE (PL)

$$F_y := 350 \text{ MPa}$$

CONCRETO (C)

$$f_c := 25 \text{ MPa}$$

CHUMBADOR (CH)

$$\text{PERFIL (PF)}$$

$$d := 206 \text{ mm}$$

$$f := 14.5 \text{ cm}$$

#### I.2) Geometria

PLACA DE BASE (PL)

$$N := 37 \text{ cm}$$

CONCRETO (C)

$$N_2 := 50 \text{ cm}$$

CHUMBADOR (CH)

$$bf := 204 \text{ mm}$$

$$B := 37 \text{ cm}$$

$$B_2 := 50 \text{ cm}$$

$$A_1 := N \cdot B$$

$$A_2 := N_2 \cdot B_2$$

$$tf := 12.6 \text{ mm}$$

#### I.3) Solicitações de Projeto

$$P_u := 860 \text{ kN}$$

$$M_u := 57.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### II) Dimensionamento

##### II.1) Determinação da excentricidade (e) e excentricidade crítica ( $e_{crit}$ )

###### - Excentricidade da solicitação (e)

$$e := \frac{M_u}{P_u}$$

$$e = 6.66 \cdot \text{cm}$$

###### - Calculo da tensão resistente do concreto ( $f_{pmax}$ )

$$f_{pmax} := \min \left[ \left( 0.65 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \right), \left( 0.65 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot \sqrt{4} \right) \right] \quad f_{pmax} = 18.67 \text{ MPa}$$

###### - Carga uniforme distribuída máxima ( $q_{max}$ )

$$q_{max} := f_{pmax} \cdot B$$

$$q_{max} = 6906.25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Excentricidade crítica ( $e_{crit}$ )

$$e_{crit} := \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 \cdot q_{max}} \quad e_{crit} = 12.27 \text{ cm}$$

- Verificação do tipo de dimensionamento (pequena ou grande excentricidade)

$$\text{verificação\_excentricidade} := \begin{cases} \text{"PEQUENA EXCENTRICIDADE"} & \text{if } e \leq e_{crit} \\ \text{"GRANDE EXCENTRICIDADE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_excentricidade = "PEQUENA EXCENTRICIDADE"

**II.2) Determinação da largura comprimida (Y) e verificação da tensão aplicada na base de concreto (fp)**

- Calculo da largura comprimida (Y)

$$Y := \begin{cases} (N - 2e) & \text{if } e \leq e_{crit} \\ \text{otherwise} \\ \left[ \left( f + \frac{N}{2} \right) - \sqrt{\left( f + \frac{N}{2} \right)^2 - \frac{2 \cdot P_u \cdot (e + f)}{q_{max}}} \right] & \text{if } \left[ \left( f + \frac{N}{2} \right)^2 \geq \frac{2 \cdot P_u \cdot (e + f)}{q_{max}} \right] \\ \text{"AUMENTAR PLACA DE BASE"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Y = 23.67 \text{ cm}$$

- Tensão de compressão aplicada à base de concreto (fp)

$$fp := \begin{cases} \frac{P_u}{B \cdot Y} & \text{if } e \leq e_{crit} \\ fp_{max} & \text{otherwise} \end{cases} \quad fp = 9.82 \text{ MPa}$$

- Verificação da tensão de compressão aplicada à base de concreto (fp)

$$\text{verificação\_tensão} := \begin{cases} \text{"VERIFICA"} & \text{if } (fp \leq fp_{max}) \\ \text{"REDIMENSIONAR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

verificação\_tensão = "VERIFICA"

**II.3) Força de tração solicitante de projeto (Tu)**

$$Tu := \begin{cases} (d_{max} \cdot Y - P_u) & \text{if } e > e_{crit} \\ (0.00 \cdot \text{kip}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad Tu = 0 \text{ kN}$$

**II.4) Determinação da espessura mínima da placa**

- Espessura devido ao braço de alavanca mp ( $tp_{mp}$ )

$$mp := \frac{N - 0.95 \cdot d}{2} \quad mp = 8.71 \text{ cm}$$

$$tp_{mp} := \begin{cases} \left( 1.5 \cdot mp \cdot \sqrt{\frac{fp}{F_y}} \right) & \text{if } Y \geq mp \\ 2.11 \cdot \sqrt{\frac{fp \cdot Y \cdot \left( mp - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} & \text{if } Y < mp \end{cases} \quad tp_{mp} = 2.19 \text{ cm}$$

- Espessura devido ao braço de alavanca np (tp<sub>np</sub>)

$$np := \frac{B - 0.80 \cdot bf}{2} \quad tp_{np} = 10.34 \text{-cm}$$

$$tp_{np} := \begin{cases} 1.5 \cdot np \cdot \sqrt{\frac{fp}{Fy}} & \text{if } Y \geq mp \\ 2.11 \cdot \sqrt{\frac{fp \cdot Y \cdot \left(np - \frac{Y}{2}\right)}{Fy}} & \text{if } Y < mp \end{cases} \quad tp_{np} = 2.6 \text{-cm}$$

- Espessura devido à força de tração dos chumbadores (tp<sub>Tu</sub>)

$$x := f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \quad x = 4.83 \text{-cm}$$

$$tp_{Tu} := 2.11 \cdot \sqrt{\frac{T_u \cdot x}{B \cdot Fy}} \quad tp_{Tu} = 0 \text{-cm}$$

- Espessura mínima da placa (tp<sub>req</sub>)

$$tp_{req} := \max(tp_{mp}, tp_{np}, tp_{Tu}) \quad tp_{req} = 2.6 \text{-cm}$$

## B.4 – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES VIGA-VIGA E VIGA-COLUNA

### – Ligaçāo viga-coluna (V305-C7)

A figura B-1 ilustra a geometria da ligação viga-coluna.

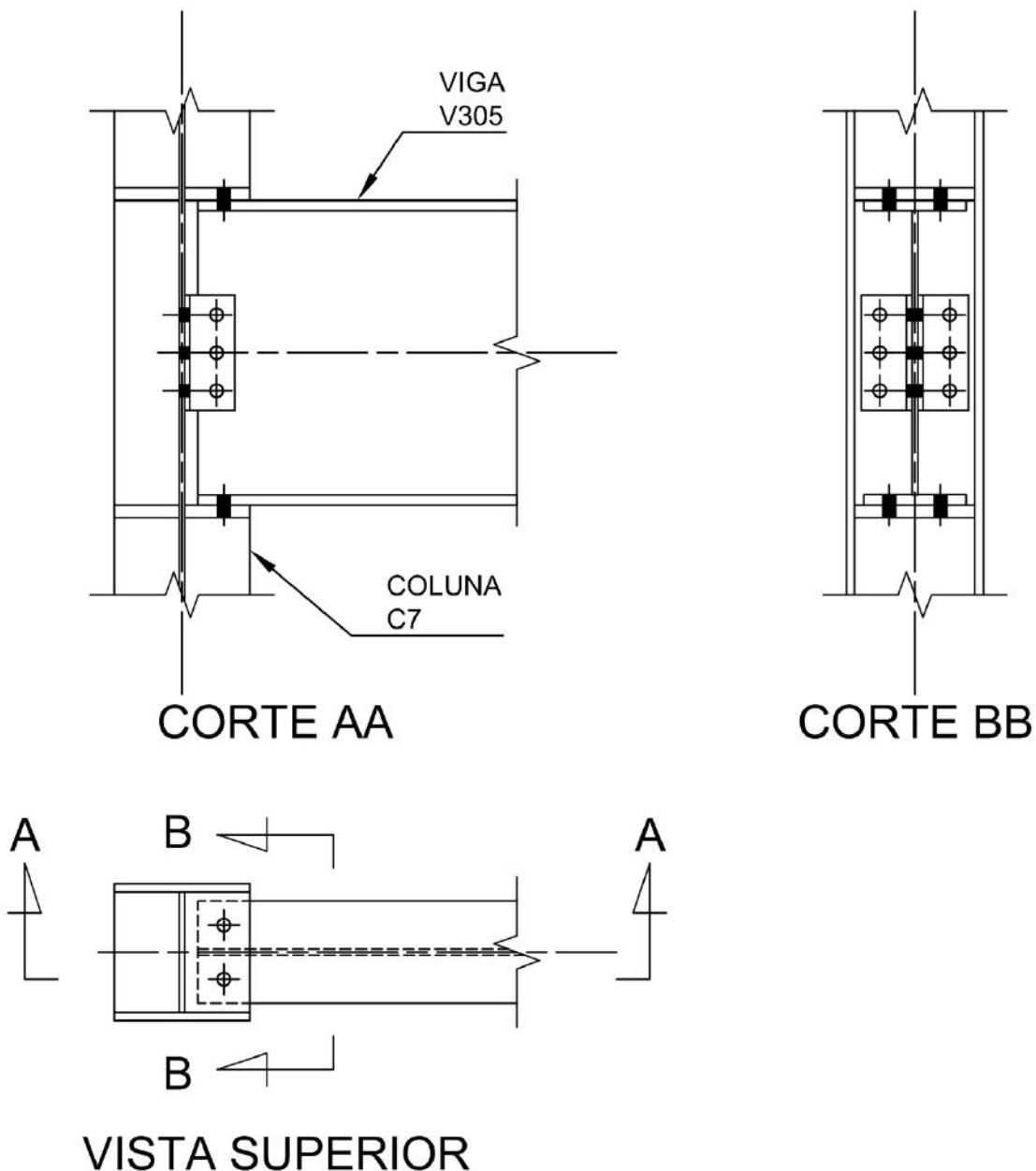


Figura B-1 – Geometria da ligação viga-coluna (V305 – C7)

a) Dimensionamento ao momento fletor

I. Materiais utilizados

Chapa de ligação:

$$t = \frac{3}{4}'' = 19,05\text{mm}$$

$$f_y = 35,0\text{kN/cm}^2$$

$$f_u = 45,0\text{kN/cm}^2$$

Perfil de aço

$$f_y = 35,0\text{kN/cm}^2$$

$$f_u = 45,0\text{kN/cm}^2$$

$$t_f = 15,4\text{mm}$$

Parafusos

$$\phi_b = \frac{3}{4}'' = 19,05\text{mm}$$

$$A_b = (\pi \cdot \phi_b^2)/4 = 2,85\text{cm}^2$$

$$f_{ub} = 82,5 \text{ kN/cm}^2$$

II. Solicitações de cálculo

$$M_{sd} = 43,9\text{kN.m} \text{ (ver figura 2-59)}$$

Sendo a altura do perfil de aço da viga (W460x68)  $d=459\text{mm}$ , o momento fletor é resistido pelo binário ( $F_{sd}$ ) no plano de corte dos parafusos:

$$F_{sd} = 43,9\text{kNm}/0,459\text{m} = 95,64\text{kN}$$

III. Dimensionamento dos parafusos: Da figura B-1 observa-se que a ligação é composta por  $n=2$  parafusos trabalhando em um plano de corte. Assim sendo, a força resistente dos parafusos na ligação é:

$$F_{V,Rd} = n \left( \frac{0,4 A_b \cdot f_{ub}}{\gamma_a 2} \right) = 2 \times \left( \frac{0,4 \times 2,85 \times 82,5}{1,35} \right) = 139,33\text{kN} > 95,64\text{kN} \text{ (OK)}$$

IV. Dimensionamento da chapa de ligação: Para o cálculo da resistência da chapa de ligação deve-se levar em conta que os furos dos parafusos são do tipo padrão com folga de 1,5mm. Considera-se também no dimensionamento, para o cálculo de seção líquida da chapa, que o processo de furação da chapa danifica o material. Este fato é levado em conta considerando um diâmetro fictício igual ao diâmetro do furo acrescido de 2,0mm.

- Força axial de tração resistente de cálculo ( $N_{t,Rd}$ ): A figura B-2 apresenta as dimensões da ligação.

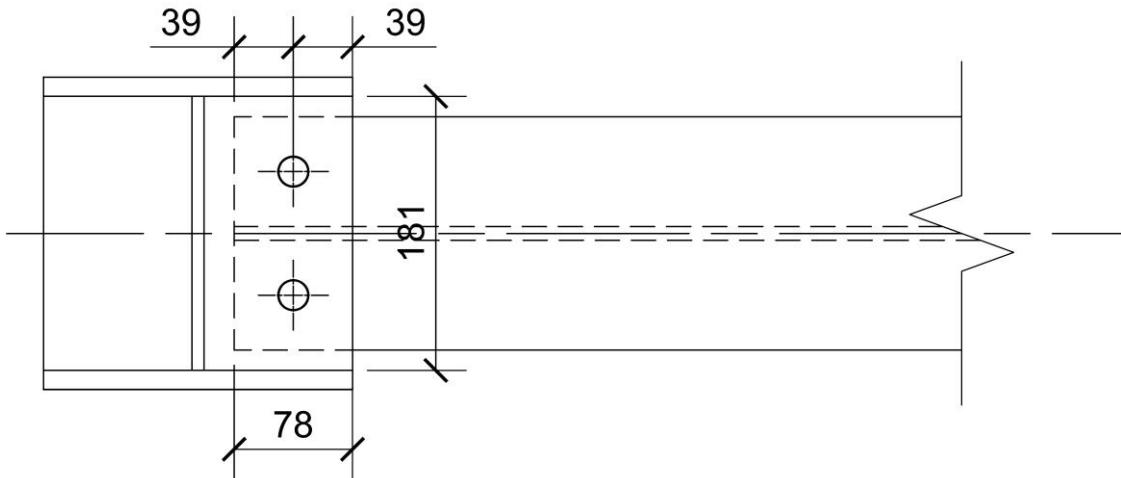


Figura B-2 – Chapa de ligação – Dimensões em mm

- Para escoamento da seção bruta

$$Ag = 18,1\text{cm} \times 1,905\text{cm} = 34,48\text{cm}^2$$

$$NtRd = \frac{Ag \cdot fy}{\gamma a1} = \frac{34,48 \times 35}{1,1} = 1097,1\text{kN} > 95,64 (\text{OK})$$

Para ruptura da seção líquida

$$Ae = [18,1\text{cm} - 2x(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 1,905\text{cm} = 25,89\text{cm}^2$$

$$NtRd = \frac{Ae \cdot fu}{\gamma a2} = \frac{25,89 \times 45}{1,35} = 863\text{kN} > 95,64 (\text{OK})$$

- Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento (FrRd): A figura B-3 apresenta a superfície verificada ao colapso.

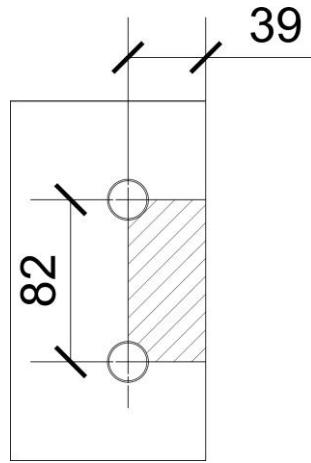


Figura B-3 – Superfície de rasgamento considerada – Dimensões em mm

$$Agv = 2x(3,90\text{cm} \times 1,905\text{cm}) = 14,86\text{cm}^2$$

$$Anv = 2x[3,90\text{cm} - 0,5x(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 1,905\text{cm} = 10,56\text{cm}^2$$

$$Ant = [8,2\text{cm} - (1,905\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 1,905\text{cm} = 11,32\text{cm}^2$$

- Escoamento da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a 2} (0,60fy \cdot Agv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 35 \times 14,6 + 45 \times 11,32) = 604,4kN > 95,64kN (OK)$$

- Ruptura da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a 2} (0,60fu \cdot Anv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 45 \times 10,56 + 45 \times 11,32) = 588,5kN > 95,64kN (OK)$$

- Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo (FcRd):

Para dimensões, ver figura B-2.

- Parafusos de extremidade

$$n = 2 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 3,9cm - 0,5(1,905cm + 0,15cm) = 2,87cm$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2lf \cdot t \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 2 \times \left( \frac{1,2 \times 2,87 \times 1,905 \times 45}{1,35} \right) = 437,4kN$$

$$FcRd_2 = n \left( \frac{2,4\phi b \cdot t \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 2 \times \left( \frac{2,4 \times 1,905 \times 1,905 \times 45}{1,35} \right) = 580,6kN$$

$$FcRd = \text{menor valor } (FcRd_1, FcRd_2) = 437,4kN$$

- Resistência da ligação

$$FcRd = 437,4kN > 95,64kN (OK)$$

V. **Dimensionamento do perfil de aço:** Para o cálculo da resistência leva-se em conta que os furos dos parafusos são do tipo padrão com folga de 1,5mm. Considera-se também no dimensionamento, para o cálculo de seção líquida da, que o processo de furação da chapa danifica o material. Este fato é levado em conta considerando um diâmetro fictício igual ao diâmetro do furo acrescido de 2,0mm.

- Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento (FrRd): A figura B-4 apresenta a superfície verificada ao colapso.

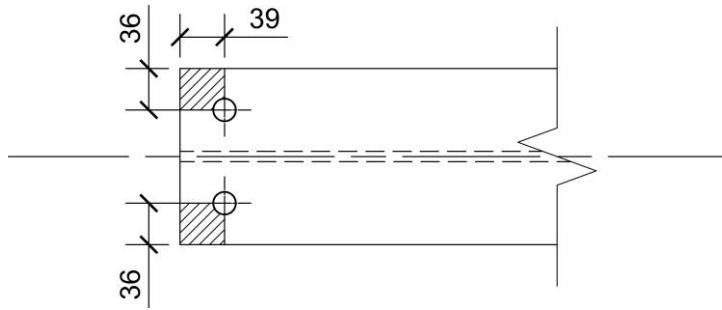


Figura B-4 – Superfície de rasgamento considerada – Dimensões em mm

$$Agv = 2x(3,90\text{cm} \times 1,54\text{cm}) = 12,01\text{cm}^2$$

$$Anv = 2x[3,90\text{cm} - 0,5x(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 1,54\text{cm} = 8,54\text{cm}^2$$

$$Ant = 2x[3,6\text{cm} - 0,5(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 1,54\text{cm} = 7,61\text{cm}^2$$

- Escoamento da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a2} (0,60fy \cdot Agv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 35 \times 12,01 + 45 \times 7,61) = 440,5kN > 95,64kN (OK)$$

- Ruptura da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a2} (0,60fu \cdot Anv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 45 \times 8,54 + 45 \times 7,61) = 424,5kN > 95,64kN (OK)$$

- Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo (FcRd):  
Para dimensões, ver figura B-2.

- Parafusos de extremidade

$$n = 2 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 3,9\text{cm} - 0,5(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm}) = 2,87\text{cm}$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2lf \cdot tf \cdot fu}{\gamma a2} \right) = 2 \times \left( \frac{1,2 \times 2,87 \times 1,54 \times 45}{1,35} \right) = 353,6kN$$

$$FcRd_2 = n \left( \frac{2,4\phi b \cdot tf \cdot fu}{\gamma a2} \right) = 2 \times \left( \frac{2,4 \times 1,905 \times 1,54 \times 45}{1,35} \right) = 469,4kN$$

$$FcRd = \text{menor valor } (FcRd_1, FcRd_2) = 353,6kN$$

- Resistência da ligação

$$FcRd = 353,6kN > 95,64kN (OK)$$

b) **Dimensionamento ao cortante:** A figura B-5 apresenta as dimensões da ligação.

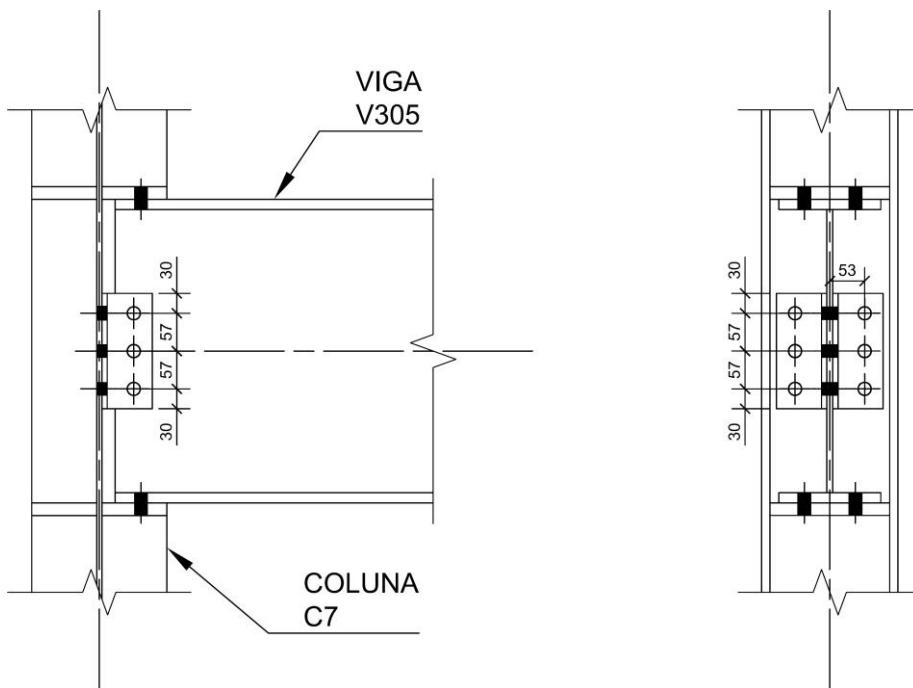


Figura B-5 – Geometria da ligação – Dimensões em mm

## I. Materiais utilizados

### Cantoneira (L76x9.1)

$$tf = 7,9\text{mm}$$

$$fy = 25,0\text{kN/cm}^2$$

$$fu = 40,0\text{kN/cm}^2$$

### Parafusos

$$\phi b = \frac{3}{4}'' = 19,05\text{mm}$$

$$Ab = (\pi \cdot \phi b^2)/4 = 2,85\text{cm}^2$$

$$fub = 82,5 \text{ kN/cm}^2$$

## II. Solicitações de cálculo

$$V_{sd} = 215\text{kN} \text{ (ver figura 2-60)}$$

III. **Dimensionamento dos parafusos (ligação pela alma da viga):** Da figura B-5 observa-se que a ligação é composta por  $n=3$  parafusos trabalhando em dois planos de corte. Assim sendo, a força resistente dos parafusos na ligação é:

$$F_VRd = n \left( \frac{0,4Ab.fub}{\gamma a2} \right) = 3x2 \left( \frac{0,4 \times 2,85 \times 82,5}{1,35} \right) = 418kN > 215kN (OK)$$

**IV. Dimensionamento dos parafusos (ligação pela alma da coluna):** Da figura B-5 observa-se que a ligação é composta por n=6 parafusos trabalhando em um plano de corte com uma excentricidade de 53mm na ligação. Assim sendo, as forças de cálculo solicitante e resistente dos parafusos são:

- Cálculo da força solicitante considerando excentricidade (Fsd): Separando a ligação em dois lados, a força cortante no parafuso mais solicitado é:

$$Fvsd = \frac{(215kN/2)}{3} = 35,83kN$$

$$Msd = \frac{215kN}{2} \times 5,3cm = 569,8kN.cm$$

$$\sum r^2 = 2x(5,7cm)^2 = 64,98cm^2$$

$$r_{max} = 5,7cm$$

$$Fhsd = \frac{Mvd.r}{\sum r^2} = \frac{569,8 \times 5,7}{64,98} = 49,98kN$$

$$Fsd = \sqrt{Fhd^2 + Fvd^2} = 61,5kN$$

- Cálculo da força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso (FvRd):

$$F_VRd = \frac{0,4Ab.fub}{\gamma a2} = \frac{0,4 \times 2,85 \times 82,5}{1,35} = 69,66kN > 61,5kN (OK)$$

**V. Dimensionamento da cantoneira:** Para o cálculo da resistência leva-se em conta que os furos dos parafusos são do tipo padrão com folga de 1,5mm. Considera-se também no dimensionamento, para o cálculo de seção líquida, que o processo de furação da chapa danifica o material. Este fato é levado em conta considerando um diâmetro fictício igual ao diâmetro do furo acrescido de 2,0mm. Como a geometria da ligação da cantoneira com a alma da viga e com a mesa da coluna são iguais, é apresentado a seguir um único dimensionamento.

- Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento (FrRd): A figura B-6 apresenta a superfície verificada ao colapso.

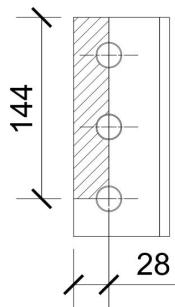


Figura B-6 – Superfície de rasgamento considerada – Dimensões em mm

$$Agv = 14,4\text{cm} \times 0,79\text{cm} = 11,4\text{cm}^2$$

$$Anv = [14,4\text{cm} - 2,5x(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 0,79\text{cm} = 6,92\text{cm}^2$$

$$Ant = [2,8\text{cm} - 0,5x(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm} + 0,2\text{cm})] \times 0,79\text{cm} = 1,32\text{cm}^2$$

- Escoamento da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a 2} (0,60fy \cdot Agv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 25 \times 11,4 + 40 \times 1,32) = 165,8\text{kN} > \frac{215\text{kN}}{2} (\text{OK})$$

- Ruptura da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a 2} (0,60fu \cdot Anv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} (0,60 \times 40 \times 6,92 + 40 \times 1,32) = 162,1\text{kN} > \frac{215\text{kN}}{2} (\text{OK})$$

- Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo (FcRd):

Para dimensões, ver figura B-5.

- Parafusos de extremidade

$$n = 1 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 3,0\text{cm} - 0,5(1,905\text{cm} + 0,15\text{cm}) = 1,97\text{cm}$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2lf \cdot tf \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 1,0 \times \left( \frac{1,2 \times 1,97 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 55,33\text{kN}$$

$$FcRd_2 = n \left( \frac{2,4\phi b \cdot tf \cdot fu}{\gamma a 2} \right) = 1,0 \times \left( \frac{2,4 \times 1,905 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 107\text{kN}$$

$$FcRd = \text{menor valor } (FcRd_1, FcRd_2) = 55,33\text{kN}$$

- Parafusos internos

$$n = 2 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 5,7cm - (1,905cm + 0,15cm) = 3,65cm$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2lf \cdot tf \cdot fu}{\gamma a2} \right) = 2 \times \left( \frac{1,2 \times 3,65 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 205,1kN$$

$$FcRd_2 = n \left( \frac{2,4\phi b \cdot tf \cdot fu}{\gamma a2} \right) = 2 \times \left( \frac{2,4 \times 1,905 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 314,1kN$$

$$FcRd = \text{menor valor } (FcRd_1, FcRd_2) = 205,1kN$$

- Resistência da ligação

$$FcRd = 55,53kN + 205,1kN = 260,4kN > \frac{215kN}{2} \text{ (OK)}$$

- Ligaçāo viga-viga (V322-V305)

A figura B-7 ilustra a geometria da ligação viga-viga.

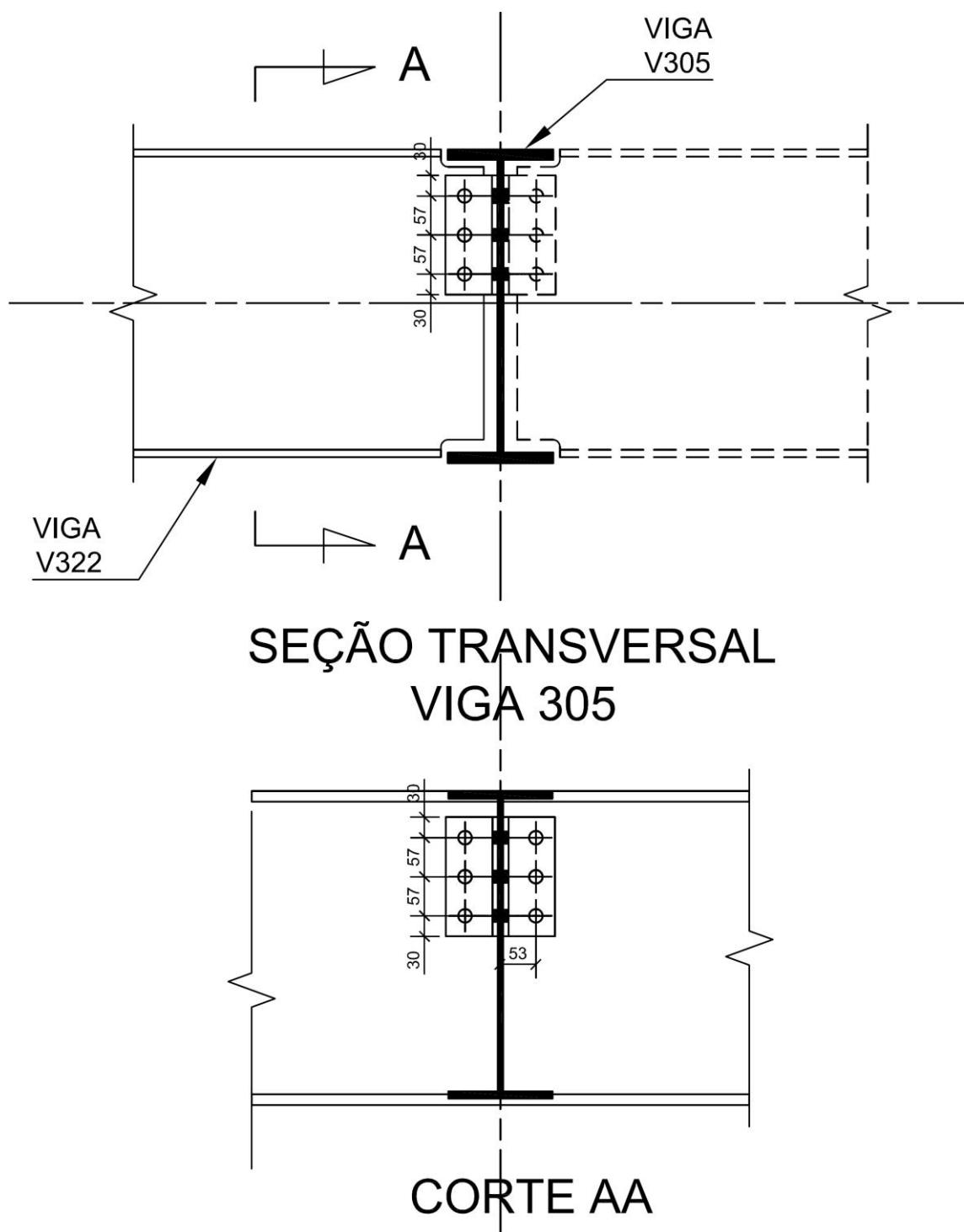


Figura B-7 – Geometria da ligação viga-coluna (V322 – V305)

a) Dimensionamento ao cortante: A figura B-7 apresenta as dimensões da ligação.

## I. Materiais utilizados

Cantoneira (L76x9.1)

$$tf = 7,9\text{mm}$$

$$fy = 25,0\text{kN/cm}^2$$

$$fu = 40,0\text{kN/cm}^2$$

Parafusos

$$\phi b = \frac{3}{4}'' = 19,05\text{mm}$$

$$Ab = (\pi \cdot \phi b^2)/4 = 2,85\text{cm}^2$$

$$fub = 82,5 \text{ kN/cm}^2$$

## II. Solicitações de cálculo

$$V_{sd} = 91,1\text{kN}$$

III. Dimensionamento dos parafusos (ligação pela alma da viga): Da figura B-7 observa-se que a ligação é composta por n=3 parafusos trabalhando em dois planos de corte. Assim sendo, a força resistente dos parafusos na ligação é:

$$F_V R_d = n \left( \frac{0,4 Ab \cdot f_{ub}}{\gamma_a 2} \right) = 3 \times 2 \left( \frac{0,4 \times 2,85 \times 82,5}{1,35} \right) = 418\text{kN} > 91,1\text{kN (OK)}$$

IV. Dimensionamento dos parafusos (ligação pela alma da coluna): Da figura B-5 observa-se que a ligação é composta por n=6 parafusos trabalhando em um plano de corte com uma excentricidade de 53mm na ligação. Assim sendo, as forças de cálculo solicitante e resistente dos parafusos são:

- Cálculo da força solicitante considerando excentricidade (Fsd): Separando a ligação em dois lados, a força cortante no parafuso mais solicitado é:

$$F_{vsd} = \frac{(91,1\text{kN}/2)}{3} = 15,18\text{kN}$$

$$M_{sd} = \frac{91,1\text{kN}}{2} \times 5,3\text{cm} = 241,4\text{kN},\text{cm}$$

$$\sum r^2 = 2 \times (5,7\text{cm})^2 = 64,98\text{cm}^2$$

$$r_{max} = 5,7\text{cm}$$

$$F_{hsd} = \frac{M_{vd} \cdot r}{\sum r^2} = \frac{241,4 \times 5,7}{64,98} = 21,18\text{kN}$$

$$F_{sd} = \sqrt{F_{hd}^2 + F_{vd}^2} = 26,06\text{kN}$$

- Cálculo da força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso (FvRd):

$$F_vRd = \frac{0,4 \cdot Ab \cdot f_{ub}}{\gamma a2} = \frac{0,4 \times 2,85 \times 82,5}{1,35} = 69,66kN > 26,06kN (OK)$$

**V. Dimensionamento da cantoneira:** Para o cálculo da resistência leva-se em conta que os furos dos parafusos são do tipo padrão com folga de 1,5mm. Considera-se também no dimensionamento, para o cálculo de seção líquida, que o processo de furação da chapa danifica o material. Este fato é levado em conta considerando um diâmetro fictício igual ao diâmetro do furo acrescido de 2,0mm. Como a geometria da ligação da cantoneira com a alma da viga e com a mesa da coluna são iguais, é apresentado a seguir um único dimensionamento.

- Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento (FrRd): A figura B-8 apresenta a superfície verificada ao colapso.

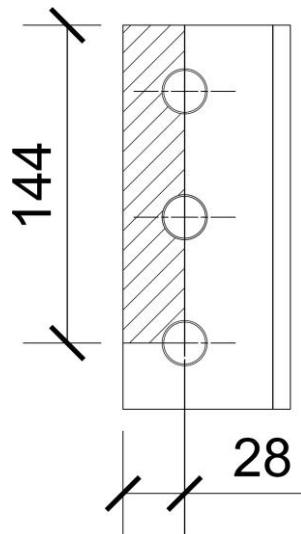


Figura B-8 – Superfície de rasgamento considerada – Dimensões em mm

$$Agv = 14,4cm \times 0,79cm = 11,4cm^2$$

$$Anv = [14,4cm - 2,5x(1,905cm + 0,15cm + 0,2cm)] \times 0,79cm = 6,92cm^2$$

$$Ant = [2,8cm - 0,5x(1,905cm + 0,15cm + 0,2cm)] \times 0,79cm = 1,32cm^2$$

- Escoamento da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a2} (0,60fy \cdot Agv + fu \cdot Ant)$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 25 \times 11,4 + 40 \times 1,32) = 165,8kN > \frac{91,1kN}{2} (OK)$$

- Ruptura da seção cisalhada

$$FrRd = \frac{1}{\gamma a 2} (0,60 f_u A_{nv} + f_u A_{nt})$$

$$FrRd = \frac{1}{1,35} \times (0,60 \times 40 \times 6,92 + 40 \times 1,32) = 162,1 kN > \frac{91,1 kN}{2} (OK)$$

- Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo (FcRd):  
Para dimensões, ver figura B-7.

- Parafusos de extremidade

$$n = 1 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 3,0 cm - 0,5(1,905 cm + 0,15 cm) = 1,97 cm$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2 lf \cdot tf \cdot f_u}{\gamma a 2} \right) = 1 \times \left( \frac{1,2 \times 1,97 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 55,33 kN$$

$$FcRd_2 = n \left( \frac{2,4 \phi b \cdot tf \cdot f_u}{\gamma a 2} \right) = 1 \times \left( \frac{2,4 \times 1,905 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 107 kN$$

$$FcRd = \text{menor valor } (FcRd_1, FcRd_2) = 55,33 kN$$

- Parafusos internos

$$n = 2 \text{ (número de parafusos)}$$

$$lf = 5,7 cm - (1,905 cm + 0,15 cm) = 3,65 cm$$

$$FcRd_1 = n \left( \frac{1,2 lf \cdot tf \cdot f_u}{\gamma a 2} \right) = 2 \times \left( \frac{1,2 \times 3,65 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 205,1 kN$$

$$FcRd_2 = n \left( \frac{2,4 \phi b \cdot tf \cdot f_u}{\gamma a 2} \right) = 2 \times \left( \frac{2,4 \times 1,905 \times 0,79 \times 40}{1,35} \right) = 314,1 kN$$

$$FcRd = \text{menor valor } (FcRd_1, FcRd_2) = 205,1 kN$$

- Resistência da ligação

$$FcRd = 55,33 kN + 205,1 kN = 260,4 kN > \frac{91,1 kN}{2} (OK)$$