



**Universidade de Aveiro**  
**2017**

**Departamento de Engenharia Civil**

**Filipe José**  
**Monteiro Henriques**

**Relatório de Estágio - Dimensionamento,**  
**Produção e Execução de Estruturas Metálicas**





**Universidade de Aveiro**  
**2017**

**Departamento de Engenharia Civil**

**Filipe José**  
**Monteiro Henriques**

**Relatório de Estágio - Dimensionamento,  
Produção e Execução de Estruturas Metálicas**

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Professor Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Eng.º Hélder Xavier na qualidade de supervisor da empresa Xavier & Irmão, Lda.



## **O júri**

Presidente

**Professor Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo**  
Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro

**Doutor Tiago Miguel dos Santos Ferreira**  
Investigador do ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho

**Professor Doutor Romeu da Silva Vicente**  
Professor Associado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro



**agradecimentos**

À empresa Xavier & Irmão por me ter acolhido e ajudado a evoluir profissionalmente.

Ao professor Romeu Vicente pela pronta disponibilidade e ajuda neste processo.

Aos meus amigos e colegas que sempre me apoiaram.

À minha família que sem eles nada disto seria possível.



**palavras-chave**

dimensionamento, produção, montagem, execução, estruturas metálicas, pavilhão industrial, cais de descarga

**resumo**

O presente documento tem como finalidade descrever o trabalho desenvolvido em duas obras realizadas na empresa Xavier & Irmão, Lda. durante o período de 10 meses, com a supervisão do Engenheiro Hélder Xavier.

Este relatório está dividido em 6 capítulos, sendo que no capítulo 1 é feita uma breve introdução à empresa e à organização do relatório.

No capítulo 2 são referidos os processos e intervenientes numa empreitada e o seu relacionamento.

No capítulo 3 são apresentadas considerações relativas à produção de estruturas metálicas, incluindo o processo de soldadura usado.

As obras realizadas são apresentadas no capítulo 4 e 5, sendo no capítulo 4 descrita a construção de um pavilhão industrial, e no capítulo 5 a construção de um cais de descarga.

Em anexo são apresentados os detalhes de cálculo dos elementos de cada projeto.



**keywords**

structural dimensioning, production, assembly, metallic structures, project execution , industrial pavilion, discharge dock

**abstract**

The aim of this document is to describe the executed work of two construction projects developed with the Xavier & Irmão, Lda company during a 10 month curricular internship, under the supervision of Engineer Hélder Xavier.

This report is divided into six chapters, with the first chapter containing a brief introduction to the company, as well as containing a description of the organization of this paper.

In chapter 2 the processes and stakeholders involved in a project are referred to, including their relationship.

In chapter 3 considerations regarding metallic structure production, along with the utilized type of welding processes are discussed.

The developed construction works are presented in chapters 4 and 5. The industrial pavilion is described in chapter 4, and chapter 5 describes the unloading dock project.

The annex contains the calculation details of every element of each project.



# Índice

1. Introdução .....	1
1.1 Empresa de Acolhimento .....	2
1.2 Objetivos do Estágio Curricular .....	3
1.3 Organização do Relatório .....	3
2. Estrutura de Relações funcionais numa obra .....	9
2.1 Gestão de obra .....	10
2.2 O Papel do Diretor de Obra .....	10
2.3 Processo de adjudicação .....	12
3. Produção de Estruturas Metálicas .....	18
3.1 Processo de Soldadura .....	19
3.2 Tratamentos Superficiais dos elementos .....	20
4. Pavilhão Industrial .....	26
4.1 Descrição da obra .....	26
4.2 Dimensionamento da Estrutura .....	29
4.3 Quantificação de Ações .....	30
4.4 Execução da Estrutura .....	36
4.5 Síntese final da obra .....	41
5. Cais de Descarga .....	46
5.1 Descrição da Obra .....	46
5.2 Quantificação de Ações .....	51
5.3 Execução da Estrutura .....	57
5.4 Síntese final da obra .....	60
6. Conclusões .....	66
6.1 Aprendizagem Pessoal .....	66
6.2 Obra 1 - Pavilhão industrial .....	66
6.2 Obra 2 - Cais de Descarga .....	67
7. Referências bibliográficas .....	70
ANEXOS .....	74



# Índice de Figuras

Figura 1 – Exemplos de obras Realizadas.....	2
Figura 2 – Organigrama das relações existentes em obra .....	9
Figura 3 – Exemplo de desenho de conjunto .....	18
Figura 4 – Esquema representativo de soldadura MIG/MAG .....	19
Figura 5 – Exemplo de solda com respingos na envolvente .....	20
Figura 6 – Exemplo de solda limpa.....	20
Figura 7 – Exemplo de peça antes e depois de aligeirar arestas e eliminar rebarbas .....	21
Figura 8 – Fachada Principal Pavilhão Zona Industrial Serém de Cima, Águeda.....	26
Figura 9 - Modelação 3D do Pavilhão Zona Industrial em Serém de Cima, Águeda .....	27
Figura 10 – Solução Construtiva da Fachada Principal.....	27
Figura 11- Cortes, Ligações e Travamentos das Asnas.....	28
Figura 12 - Pormenor de Ligação e Travamento, P1 .....	28
Figura 13 - Tipos de apoio e Sistema de Eixos .....	29
Figura 14 - Altura de referencia $z_e$ , em função de $h$ e $b$ , e correspondente perfil de pressão dinâmica .....	33
Figura 15 – Ação do vento em paredes verticais .....	33
Figura 16 – Zonamento em cobertura de duas vertentes sujeita à ação do vento transversal .	34
Figura 17 – Zonamento em cobertura de duas vertentes sujeita à ação do vento longitudinal	35
Figura 18 – Exemplo de fixação de pernos para base de pilares .....	36
Figura 19 -Colocação de uma asna em obra .....	37
Figura 20 – Pormenor da fachada principal .....	39
Figura 21 – Exemplo de ligação e travamento das anas e estantes elementos de cobertura....	40
Figura 22 – Exemplo ligação viga/pilar e restantes elementos da fachada .....	40
Figura 23 - Modelação do cais de descarga Z.I. Estarreja .....	46
Figura 24 – Fachada Sul do cais de descarga .....	47
Figura 25 – Localização de pormenores.....	47
Figura 26 – Modelação de PR1, ligação padrão dos elementos de travamento às asnas .....	48
Figura 27– Modelação do Cachorro de apoio PR2.....	49
Figura 28 - Cachorro de apoio desalinhado com pilar de betão, PR3 .....	50
Figura 29 – Modelação da transmissão de esforços para o pilar, PR3.....	50
Figura 30 – Altura de referencia $z_e$ , em função de $h$ e $b$ , e correspondente perfil de pressão dinâmica .....	53
Figura 31 – Ação do vento em paredes verticais .....	54
Figura 32 – Zonamento em cobertura de duas vertentes sujeita à ação do vento transversal .	55
Figura 33 – Zonamento em cobertura de duas vertentes sujeita à ação do vento longitudinal	56
Figura 34 – Fachada Norte do cais de descarga.....	57
Figura 35 – Fachada Sul do cais de descarga .....	58
Figura 36 – Pormenor Cachorro .....	58
Figura 37 – Peça transmissão esforços para o pilar (esquerda) e Chapa de amarração (direita) .....	59
Figura 38 – Pormenor Ligações de travamentos.....	59



## Índice de Tabelas

Tabela 1 – coeficientes de pressão exterior em paredes.....	34
Tabela 2 – coeficientes de pressão exterior cobertura sujeita a ação do vento transversal.....	35
Tabela 3 – coeficientes de pressão exterior cobertura sujeita a ação do vento longitudinal ....	35
Tabela 4 – Tabela da relação de força aperto com diâmetro e classe do parafuso.....	38
Tabela 5 – coeficientes de pressão exterior para paredes verticais .....	54
Tabela 6 – coeficientes de pressão exterior cobertura sujeita a ação do vento transversal.....	55
Tabela 7 – coeficientes de pressão exterior cobertura sujeita a ação do vento longitudinal ....	56



# Capítulo 1

## Introdução



## **Capítulo 1 – Introdução**

1.1 Organização do Relatório

1.2 Empresa de Acolhimento

1.3 Objetivos do Estágio Curricular





## **1. Introdução**

Desde do século XVIII as estruturas metálicas têm permitido soluções construtivas mais arrojadas, mantendo a qualidade e eficiência estrutural elevada. Este método construtivo teve grande ênfase na Europa Central e América do Norte, tendo também evoluído consuante a melhoria dos processos de produção do aço. As estruturas metálicas permitem uma maior liberdade no projeto de arquitetura, diminuição de secções relativamente ao betão armado, compatibilidade com outros materiais, apresentar uma estrutura flexível e diminuir os esforços nas fundações, sendo necessário menos mão-de-obra e menos tempo de execução. Devido às suas vantagens, as estruturas metálicas, foram aplicadas aos diversos tipos de estruturas, desde pontes, centros comerciais e lazer, coberturas, edifícios de habitação, arranha-céus.

Atualmente, as estruturas metálicas, continuam a ter grande parte do mercado de construção sendo a sua aplicação variada. No sector industrial e comercial, continuam a ser aplicadas em novos edifícios, coberturas, hangares, ou mesmo como estruturas de apoio à atividade industrial sejam sistemas de armazenamento ou mesmo estruturas de suporte de maquinaria. Com a facilidade de conjugar o aço com outros materiais é recorrente utilizar estruturas metálicas para aumentar edifícios existentes, criar pontos de acesso (escadas) ou mesmo reforçar elementos. Este tipo de estruturas tem vindo a evoluir, aparecendo variações construtivas como o caso do *Light Steel Framing* ou a combinação com outros tipos de construção, tenha-se o exemplo de uma laje colaborante onde se tem betão armado com uma estrutura metálica a servir de suporte ou mesmo o aparecimento de perfis em que conjugam perfis metálicos com betão armado ou madeira.

Para garantir a qualidade de execução e o cumprimento do prazo estabelecido, é necessário haver uma ligação desde da fase de projeto até à implementação. Sendo um dos objetivos do projetista, para além de garantir o correto funcionamento da estrutura para as condições a que está sujeita, facilitar e permitir a produção e posterior montagem, torna-se assim imprescindível conhecer os métodos e técnicas utilizadas durante a produção e execução da estrutura.

## 1.1 Empresa de Acolhimento

Este estágio curricular surge através ao abrigo de um protocolo entre a Universidade de Aveiro e a empresa Xavier & Irmão Lda.

A empresa, Xavier & Irmão Lda, foi fundada em 1977 e localiza-se na zona industrial da Barrosinhas, Águeda. Com 40 anos de experiência dedica-se a produção e comercialização de contentores metálicos e compactadores, bem como ao fabrico e montagem de estruturas metálicas, tais como: pavilhões industriais, coberturas, gimnodesportivos, edifícios comerciais, estruturas de apoio à indústria, coberturas auto-ventiladas, montagem e manutenção de elevadores e acessórios de torres eólicas e gruas. Na Figura 1 estão ilustradas algumas obras realizadas.

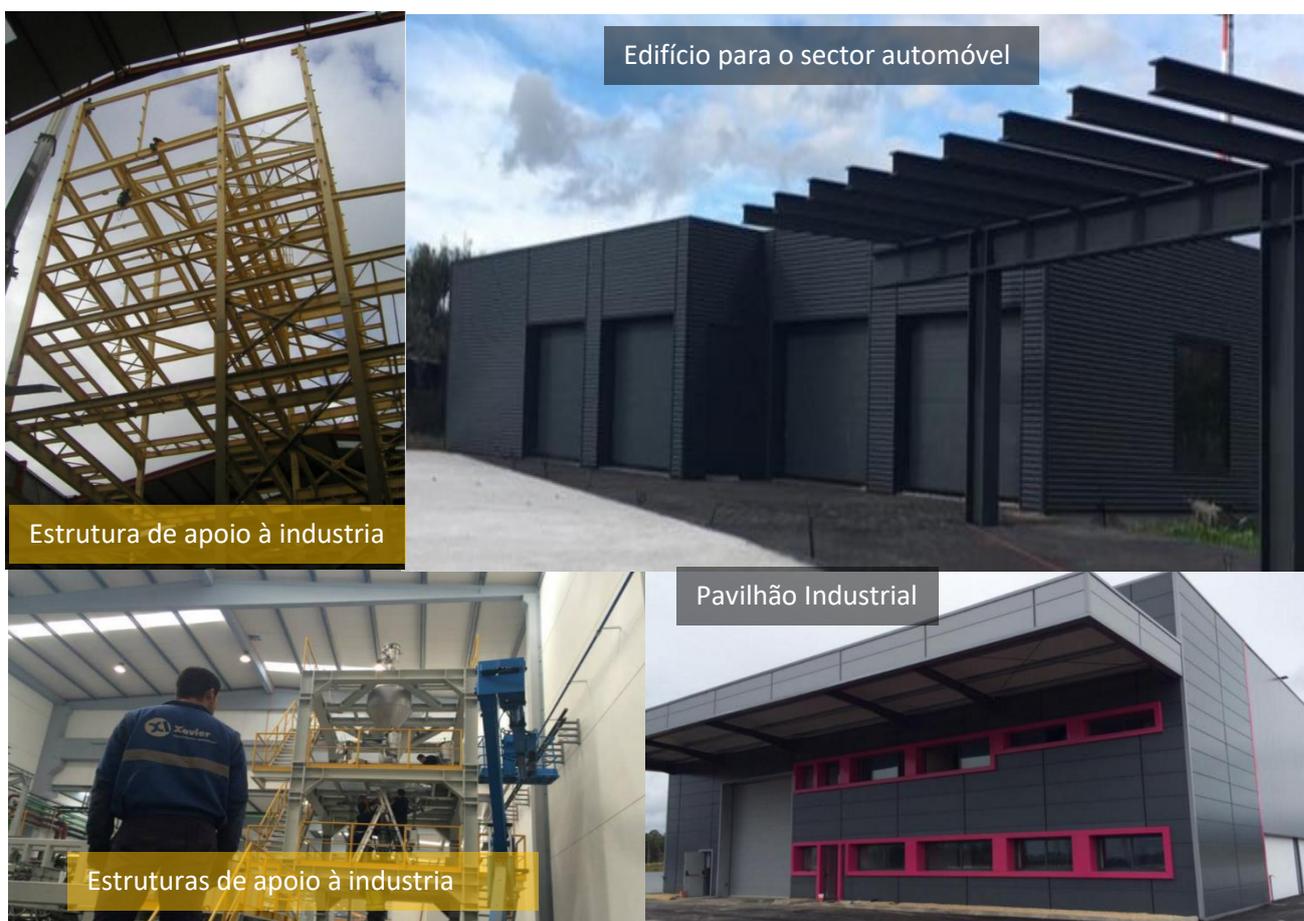


Figura 1 – Exemplos de obras Realizadas

## **1.2 Objetivos do Estágio Curricular**

A realização deste estágio permitiu conhecer na íntegra todas as fases de uma obra, desde da conceção do projeto, planeamento, produção e implementação da mesma.

No decorrer do estágio, foi importante transpor, aprofundar e adaptar os conhecimentos académicos à realidade do mercado de trabalho no âmbito da Engenharia Civil. Permitiu também o desenvolvimento de trabalho com ferramentas, tais como AutoCAD, Robot Structural Analysis, CypeCAD e Tekla.

Este estágio permitiu:

- Perceber toda a parte integrante de uma empresa na qualidade de empreiteiro geral e o seu funcionamento interno;
- Ter conhecimento de todo o trabalho prévio necessário e essencial realizar antes do início de uma empreitada;
- Conhecer as interligações existentes entre dono de obra, fiscalização e direção de obra;
- Contactar fornecedores e subempreiteiros;
- Conhecer as ferramentas, técnicas e pormenores disponíveis relativos à produção de estruturas metálicas (cortes, soldaduras e pintura);
- Perceber os vários processos construtivos utilizados;
- Capacidade de encontrar soluções viáveis, económicas e céleres, para diversidades durante o decorrer da obra;

## **1.3 Organização do Relatório**

O presente relatório encontra-se dividido em 6 capítulos nos quais são descritas as várias atividades realizadas ao longo do período de estágio, 10 meses.

Neste capítulo 1 é feita uma descrição do propósito e objetivos que se pretende alcançar com a realização deste estágio bem como uma breve apresentação da empresa de acolhimento.

No segundo capítulo é feita uma descrição dos intervenientes numa empreitada, as suas relações e o funcionamento do processo de adjudicação das obras realizadas.

No capítulo 3 é abordada a produção de estruturas metálicas, bem como o processo de soldadura utilizado e tratamentos superficiais.

No capítulo 4 é feita uma descrição do dimensionamento e construção de um pavilhão industrial, com finalidade de servir de armazém, showroom e escritórios.

No capítulo 5 é apresentada a construção de um cais de descarga a realizar em anexo a um pavilhão já existente em betão pré-fabricado.

No último capítulo é discutida a aprendizagem pessoal no decorrer do estágio bem como comentários finais às obras realizadas.

Em anexo constam as notas de cálculo dos elementos e ligações das duas obras.



## **Capítulo 2**

Direção e Gestão de Obras



## **Capítulo 2 - Estrutura de Relações funcionais numa obra**

2.1 Gestão de Obra

2.2 O Papel do Diretor de Obra

2.3 Processo de Adjudicação



## 2. Estrutura de Relações funcionais numa obra

Para que haja uma boa coordenação de informação entre os vários órgãos constituintes é importante compreender a ligação existentes entre eles. No organigrama representado na Figura 2, encontra-se ilustrado as relações existentes nas duas obras contemplada.

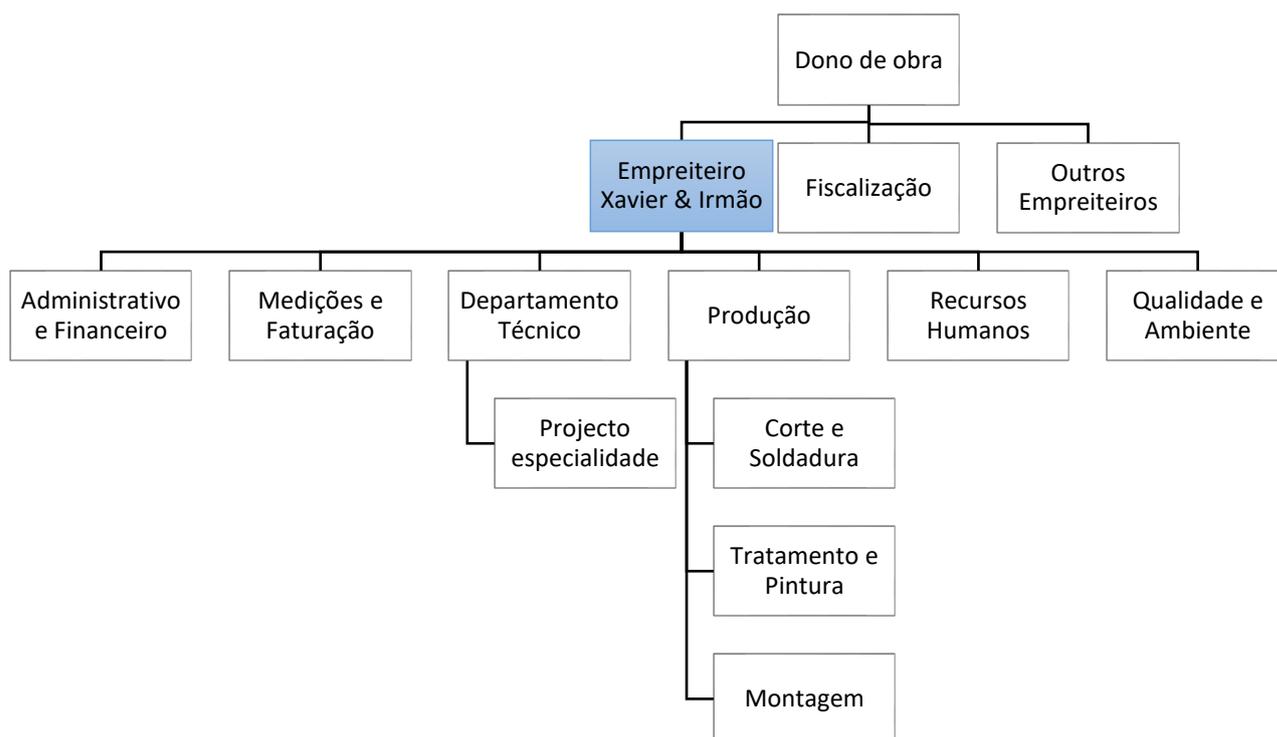


Figura 2 – Organigrama das relações existentes em obra

O **dono de obra**, é a entidade que financia toda a empreitada, subcontratando, além do empreiteiro, uma entidade de **fiscalização** de modo a garantir que todos os trabalhos e procedimentos são realizados de acordo como o projeto aprovado e disposições legais aplicadas, nomeadamente as condições de segurança.

O **empreiteiro**, a empresa Xavier & Irmão, é a entidade responsável por todos os trabalhos relativos à estrutura metálica, cobertura e revestimentos, sendo assim necessário uma relação e coordenação com **outros empreiteiros**, responsáveis por outros trabalhos (sapatas, pisos, pavimentos, caixilharia, etc.), de modo a cumprir os prazos estabelecidos.

O **departamento técnico** é responsável pelo projeto de especialidade, nestas duas obras foi necessário elaborar o projeto de estabilidade, pela modelação e preparação de obra para ser entregue à **produção**. Nesta área é onde são feitos cortes e soldaduras necessárias para os elementos constituintes do projeto (sejam vigas,

pilares, travamentos, entre outros). Também é feito o tratamento superficial e posteriormente a pintura de acordo com o caderno de encargos. Decorridas estas etapas os elementos são colocados em obra pelas equipas de montagem.

## 2.1 Gestão de obra

A gestão de obra permite determinar quais os objetivos que se pretendem alcançar de acordo com os recursos existentes, optando sempre pela economia e celeridade. É extremamente importante uma boa articulação entre todos os intervenientes na obra de forma a garantir que todos os trabalhos são realizados dentro do prazo definido garantindo a satisfação do cliente.

## 2.2 O Papel do Diretor de Obra

Após a adjudicação, o diretor de obra é o responsável por coordenar todas as tarefas necessárias para a execução da obra, tendo em conta que é necessário determinar várias etapas:

- 1) Estudo Prévio: é analisada a vertente financeira para a execução da obra, nomeadamente a análise do orçamento geral, dos custos diretos e indiretos associados. São analisadas as peças desenhadas e escritas com especial relevância no caderno de encargos. Também é estudada a necessidade de subcontratar serviços especiais, tais como serviço de galvanização, aluguer de maquinaria para elevação de cargas e ou pessoas;
- 2) Preparação da obra: nesta fase o diretor de obra deverá elaborar o planeamento de trabalhos a realizar, nomeadamente a coordenação geral da obra, cronograma com a ordem dos trabalhos, estudar a disposição a ser feita no estaleiro. Também é feita a modelação e desenho detalhado das peças a serem produzidas;
- 3) Fase de execução: analisar o projeto da empreitada, com especial atenção ao caderno de encargos, às peças desenhadas e escritas, para verificar se as especialidades estão em concordância e, caso não se verifique, informar a fiscalização. Deve-se garantir que as tarefas são executadas com qualidade, segurança, garantido o menor custo possível e de acordo com o que foi previamente previsto. É necessário um acompanhamento permanente aos trabalhos realizados pelos restantes intervenientes na obra para assim haver uma boa articulação entre os trabalhos a realizar pelos vários empreiteiros, cumprindo assim os prazos estabelecidos;

Para o correto funcionamento da obra, todas estas fases são importantes, logo é mandatário uma boa coordenação de gestão de recursos, e com os vários intervenientes da obra, tais como:

- Fornecedores (materiais e equipamentos);
- Outros empreiteiros;
- Dono de obra/Fiscalização/Projetistas;
- Coordenação de toda a equipa produção/montagem

Em relação à **gestão de fornecedores** e de forma a cumprir com os custos e tempo estipulado é necessário uma análise detalhada dos materiais e equipamentos necessários para as atividades a realizar. Assim é pertinente realizar uma prospeção de mercado de forma a obter o custo mais baixo bem como o tempo de entrega dos mesmos. Também é fundamental apurar as quantidades de material necessário, ou dias necessários para equipamentos, de forma a evitar stocks, desperdícios ou custos adicionais.

Uma boa articulação e uma boa relação entre as várias empresas e **outros empreiteiros** a atuar na obra é fundamental. Para cumprir os prazos e manter a qualidade das tarefas é importante que assim seja, pois varias tarefas realizadas por um interveniente estão afetas ou condicionam tarefas a realizar por outro empreiteiro. Por exemplo, se um interveniente esta a preparar o piso, condiciona ou impossibilita realização de outros trabalhos naquela área, assim é importante as relações entre as entidades a realizar trabalhos em obra para se cumprir com os prazos estabelecidos.

É importante existir **uma boa coordenação entre a direção de obra e a fiscalização** uma vez que são responsáveis pela qualidade e segurança no decorrer na empreitada.

É da responsabilidade do diretor de obra informar a fiscalização sobre eventuais empresas subcontratadas a realizar trabalhos, bem como se os materiais fornecidos e trabalhos realizados estão de acordo como o previsto no caderno, na hipótese de estes assim não estarem ou ter que se realizar alguma alteração, propor alterações que terá de ser validada pelo projetista. O diretor de obra deve também informar o dono de obra sobre como se estão a desenvolver os trabalhos e quais as previsões de inicio/término das diversas atividades.

Para garantir a qualidade da empreita e o respeito pelos prazos estabelecidos é importante existir **uma boa coordenação entre todas as equipas em obra e também as equipas na produção**, bem como otimizar os processos utilizados, tornando-os mais céleres, garantido a qualidade exigida. O diretor de obra deve realizar um plano de trabalhos semanalmente de forma a assegurar que os objetivos são cumpridos e estabelecer objetivos diários para os diversos intervenientes. É importante assegurar o diálogo entre as equipas de montagem e produção para assim assegurar ambas as partes conseguem trabalhar em conjunto cumprindo assim o prazo estabelecido. No decorrer da obra é possível existir alguma alteração a fazer às peças ou serem necessárias outras peças e trabalhos não previstas no caderno de encargos sendo assim imprescindível uma boa articulação entre o diretor de obra, as equipas de montagem e produção para evitar atrasos.

### 2.3 Processo de adjudicação

As duas obras apresentadas foram realizadas como sendo empreitadas privadas, tendo sido o dono de obra a fazer o convite à empresa adjudicatária para a realização dos trabalhos relativos à implantação da estrutura metálica, cobertura e revestimento.

Sendo obra privada, é o dono de obra que define as cláusulas do concurso, exigindo ou não plano de trabalhos, plano de equipamentos e mão-de-obra, bem como outros documentos complementares do orçamento.

Durante o **processo de concurso**, o empreiteiro poderá visitar o local com o objetivo de fazer o reconhecimento que achar necessário para a realização dos trabalhos, nomeadamente as condicionantes como por exemplo cabos da rede elétrica que possam condicionar a elevação de cargas ou os acessos. Deve analisar os documentos fornecidos e posterior apresentar todos documentos solicitados (convite, programa de concurso, caderno de encargos, etc.).

Para que a obra seja adjudicada é necessária que a **empresa adjudicatária** cumpra os requisitos para a concretização da empreita. Os concorrentes devem possuir alvará na categoria e subcategoria adequadas ao âmbito da empreitada e da classe de valor igual ao superior ao exigido na proposta.

As empresas têm obrigatoriedade de guardar os contratos celebrados durante cinco após a data de conclusão das obras.

O **tipo de empreitada** realizada, em ambos os casos, foi por **Preço Global**, apresentando um valor fixo, que contempla todos os preços unitários, mão-de-obra e de eventuais erros e omissões até à conclusão e receção dos trabalhos.



# Capítulo 3

## Produção Estruturas Metálicas



## **Capítulo 3 - Produção Estruturas Metálicas**

3.1 Processo de Soldadura

3.2 Tratamentos Superficiais dos Elementos





### 3.1 Processo de Soldadura

É fundamental respeitar as medidas e perfis previamente definidos, bem como garantir uma correta soldadura, mantendo o comprimento, espessura exigido e garantindo uma boa penetração da solda, é usual retirar as arestas para melhorar a penetração em soldaduras topo a topo. Para verificar a penetração da solda pode-se fazer utilizando ensaios não destrutivos como por exemplo radiografia industrial (raio-x). O método mais utilizado é a inspeção visual, garantir que a solda apresenta um aspeto limpo, corrido, sem poros nem concavidades na peça, garantindo a espessura e comprimento necessário. Apesar de este método apenas avaliar as características superficiais da solda, é importante realizar esta operação para avaliar a peça no seu conjunto, uma vez que soldar pode implicar deformações e alterações na peça.

O tipo de solda utilizado na produção das estruturas, referidas nos próximos capítulos, é **MAG**, *Metal Active Gas*, utilizando uma mistura de gases Arc20, mistura de **Árgon** (*Ar*) um gás nobre, com **Dióxido de Carbono** ( $CO_2$ ). A utilização de gás neste processo tem o objetivo de expulsar gases prejudiciais ao processo de soldagem, tais como o Oxigénio, Hidrogénio e Nitrogénio. A diferença com o processo de soldagem MIG, *Metal Inert Gas*, encontra-se apenas no gás utilizado. O processo MIG, usa gases inertes, como o exemplo do Árgon ou Hélio. Quando se junta ao processo de soldadura gases que interagem com a poça de soldagem, dióxido de carbono, o processo passa-se a designar MAG. Na Figura 4 é apresentado um esquema representativo deste processo de soldadura. (Americo Scotti, 2008)

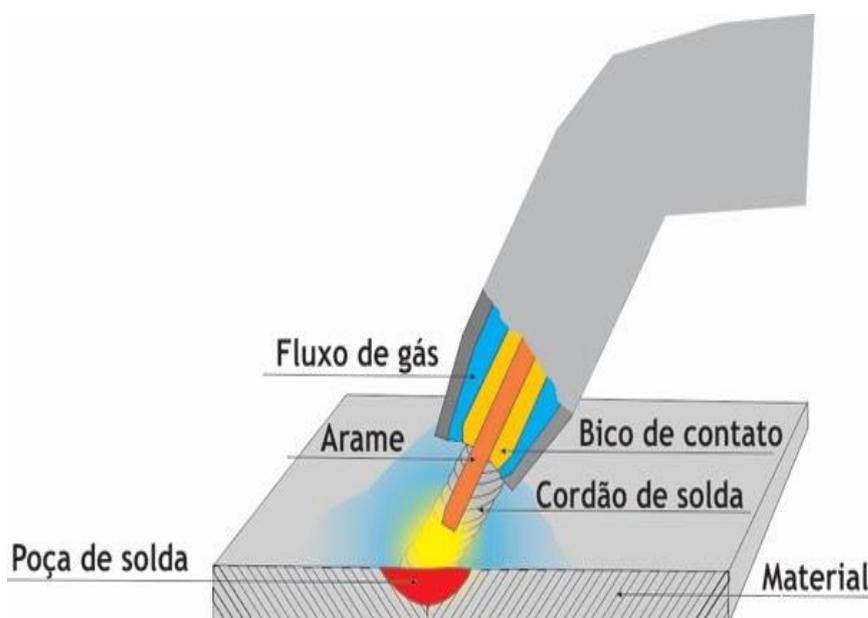


Figura 4 – Esquema representativo de soldadura MIG/MAG (LBS)

### 3.2 Tratamentos Superficiais dos elementos

No processo de soldadura é normal a ocorrência de respingos, estes não têm influência na resistência da solda, mas prejudicam o acabamento da peça, como representado na Figura 5. Para evitar a ocorrência e facilitar a limpeza é recorrente usar uma mistura aquosa anti-respingos que é borrifada na peça a soldar, criando uma película de proteção sem interferir nas características da solda ou uma solução à base de óleo biodegradável em spray que garante os mesmos resultados. Contudo, quando é necessário realizar vários cordões na mesma peça é usual ficar algum respingo, sendo que em todas as peças soldadas é feita uma remoção de respingos utilizando um raspador ou recorrendo a ferramentas tais como rebarbadora. Na Figura 6 é representada um cordão de solda limpa.



Figura 5 – Exemplo de solda com respingos na envolvente



Figura 6 – Exemplo de solda limpa

Outro cuidado a ter na produção dos vários elementos é a eliminação de arestas, como demonstrado na Figura 7. Quando são realizados cortes ou furações, criam-se arestas que facilmente podem condicionar a correta aplicação e funcionamento dos elementos, ou provocar desconforto visual. Dependendo do tipo de corte (oxi-corte, rebarbadora, guilhotina, etc.) podem ficar rebarbas pendentes à peça, na abertura de furação para posterior aparafusagem, utilizando o punçionadora, é usual a presença de rebarbas em volta da furação, o que pode interferir com o sistema de fixação. Para a remoção de rebarbas é usual recorrer à utilização de ferramentas como a rebarbadeira, utilizando um disco de lamelas ou de rebarbar.



Figura 7 – Exemplo de peça antes e depois de aligeirar arestas e eliminar rebarbas

Após o elemento estar devidamente cortado, soldado, limpo de respingos e rebarbas procede-se ao acabamento superficial. Antes de ser aplicada a pintura é preciso alguns tratamentos na peça. Primeiro é feita a verificação de todos os processos anteriormente descritos. Posteriormente é realizada a limpeza da peça usando uma escova metálica, para assim retirar sujidade e eventuais pontos de oxidação existentes. De seguida, são retirados eventuais resíduos de óleo. Se for necessário procede-se à decapagem dos elementos ou à galvanização dos mesmos. Importante no processo de galvanização a quente realizar aberturas em peças ocas, por exemplo em perfis tubulares em que tem os topos tapados, é necessário abrir furação em cada extremo para permitir a igualdade de pressões (interna e externa) durante o processo de galvanização e evitar deformações no elemento.

No Capítulo 4 é feita a apresentação de um pavilhão industrial, em que o pórtico teve que vencer um vão com 40 metros de largura, tendo sido importante os elementos de travamento da viga, para evitar as deformações, bem como a ligação e a conceção dos elementos do pórtico, para assim facilitar a sua produção, implementação e aliviar os esforços na base dos pilares.

# Capítulo 4

## Pavilhão Industrial



## **Capítulo 4 – Pavilhão Industrial**

4.1 Descrição da Obra

4.2 Dimensionamento da Estrutura

4.3 Quantificação de Acções

4.3 Execução da Estrutura

4.4 Síntese final de Obra



## 4. Pavilhão Industrial

A obra apresentada neste capítulo segue no âmbito do estágio curricular, tendo feito parte integrante da equipa de projeto, conceção e implementação. Esta obra destaca-se pelo grande comprimento do vão, o que obrigou a cuidados nas peças soldadas, travamentos ao longo da viga para evitar deformações e o seccionamento do pórtico, para assim facilitar o trabalho de produção e montagem. Além do trabalho de projeto é necessário fazer medições no terreno, numa fase inicial para definir o posicionamento da estrutura, e após colocadas as bases dos pilares, para assim se proceder a pequenas alterações que possam ser necessárias ao projeto. Durante a execução e montagem da estrutura é necessário garantir a correta posição e ligação de todos os elementos da estrutura.

### 4.1 Descrição da obra

O pavilhão a executar terá um comprimento de 60 metros por 40 metros de largura. Os pilares assumem 7,5 metros e as asnas uma inclinação de 6%. Este pavilhão situa-se na localidade de Serém de Cima, Águeda. Este pavilhão conta com uma área de armazém e uma zona de escritórios. Ambas as áreas englobam instalações sanitárias, na zona do armazém existe ainda um refeitório, na área de escritório contam 2 pisos, térreo e primeiro andar, sendo estes divididos por uma laje colaborante. Na Figura 8 é apresentado a fachada principal do pavilhão industrial, sendo os restantes alçados apresentados no Anexo 1.

Para a estrutura será utilizado aço S275JR, parafusos da classe 8.8 e varão roscado da mesma classe para a ligação pilares-sapata. A cobertura será realizada em painel sandwich tipo FTB PC 1000, sendo as fachadas revestidas com bloco térmico até aos 2 metros e painel sandwich tipo FTB PF 1000 acima dos 2 metros de altura, a fachada principal também é revestida em vidro e chapa de alumínio tipo “Alucobond”. As platibandas são compostas por perfis tipo “C” e “U” realizados em aço galvanizado.

A estrutura foi devidamente decapada, sendo aplicado posteriormente o acabamento com tinta ignífuga, capaz de garantir as exigências estruturais durante a ocorrência de incêndio, nomeadamente durante 60 minutos a 750°C.

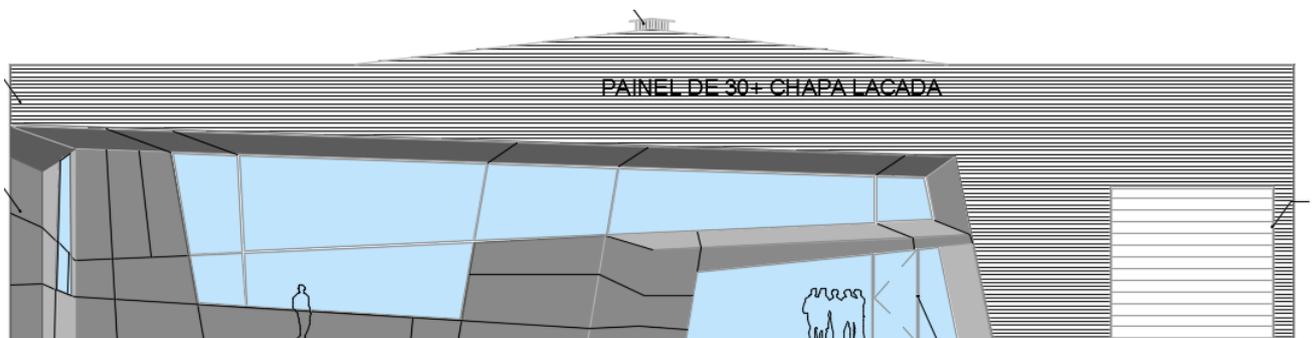


Figura 8 – Fachada Principal Pavilhão Zona Industrial Serém de Cima, Águeda

Neste pavilhão existe um desalinhamento de pilares para efeitos arquitetónicos, 3 aberturas que servirão como portões, existe ainda 2 lances de escadas para acesso ao piso na zona de escritórios. Na Figura 9 é apresentada a modelação estrutural utilizando o software *Tekla Structures*. Para manter o alinhamento do revestimento superior da fachada principal com o do restante pavilhão, optou-se por prolongar a viga de cobertura ficando esta a suportar um pilarete no qual assentam as madres de revestimento, tal como ilustrado na Figura 10.

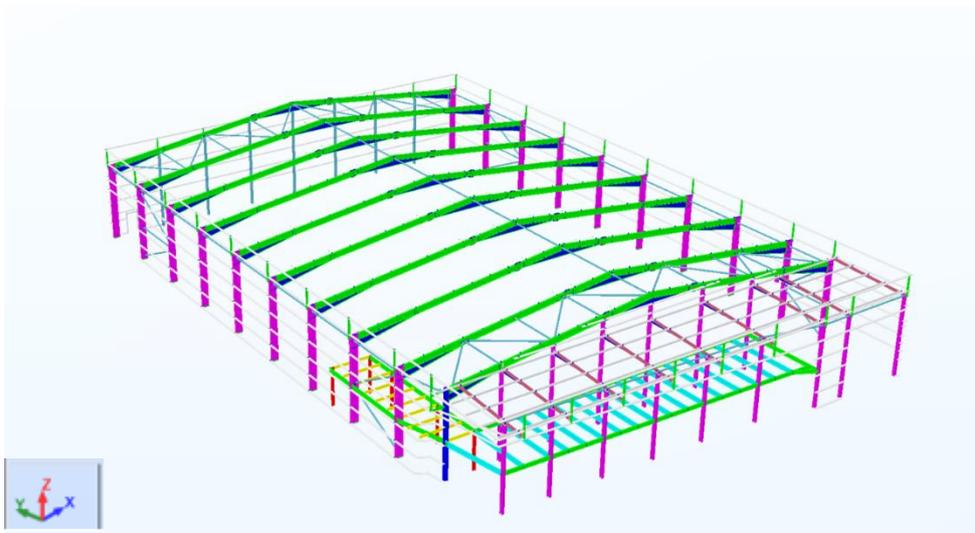


Figura 9 - Modelação 3D do Pavilhão Zona Industrial em Serém de Cima, Águeda

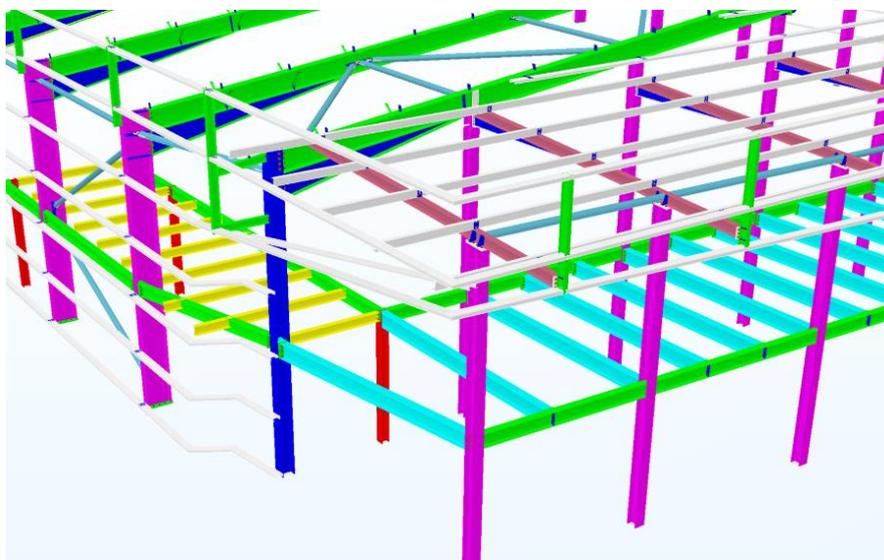


Figura 10 – Solução Construtiva da Fachada Principal

Devido ao vão extenso é necessário controlar as deformações das asnas, para tal utiliza-se as madres de cobertura para limitar a encurvadura lateral. A madre é aparafusada à asna no banzo superior por uma patilha previamente soldada, e liga ao banzo inferior por uma barra aparafusada. Para facilitar o transporte e a produção das asnas optou-se por cortar as asnas, em vez de cada uma ter um comprimento de 20 metros, tem-se duas, uma com 12 metros e outra com 8 metros, sendo estas ligadas de forma a transmitir todos os esforços. Esta solução encontra-se representada nas Figuras 11 e 12.

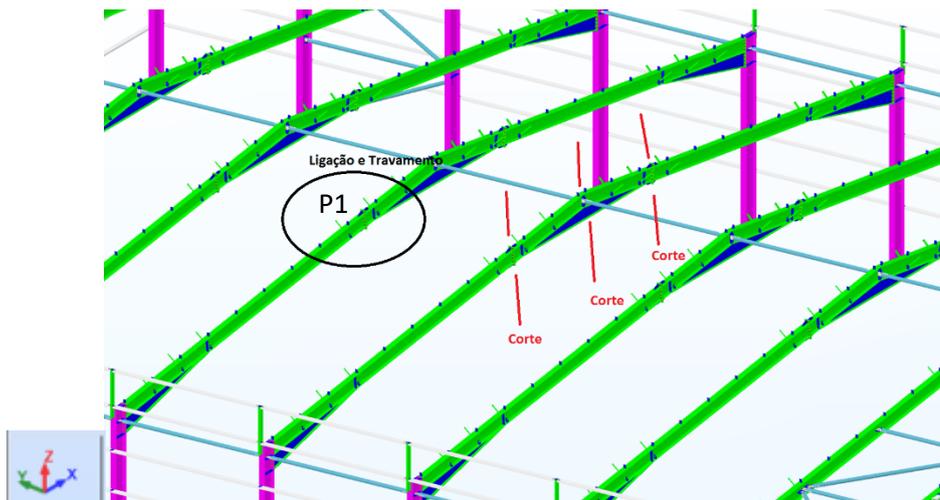


Figura 11- Cortes, Ligações e Travamentos das Asnas

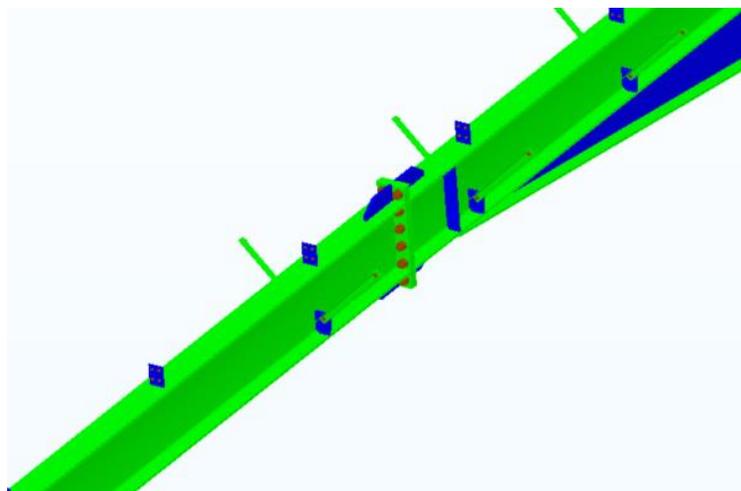


Figura 12 - Pormenor de Ligação e Travamento, P1

## 4.2 Dimensionamento da Estrutura

O dimensionamento estrutural foi realizado com auxílio do software *Robot Structural Analysis*, da *Autodesk*. Feita a criação do modelo estrutural é feito um pré-dimensionamento, onde é atribuída a secção a cada elemento bem como as condições de apoio e carregamento a que este está sujeito. Após este processo é feita a verificação e otimização dos elementos.

No dimensionamento estrutural teve-se em conta, sempre que possível, a uniformização e padronização dos elementos, para assim facilitar a produção e implementação dos mesmos, mantendo o conforto visual. Assim, teve-se em conta o elemento mais esforçado para cada conjunto estrutural.

Para efeitos de cálculo, utiliza-se o sistema de eixos ilustrados na Figura 13. Na mesma figura estão ilustradas as condições de apoio dos diferentes pilares. Os pilares com os apoios Tipo 1 são apoios fixos, apresentam restrições de movimento em todos os eixos, os apoios Tipo 2 são apoios simples permitindo apenas rotações segundo o eixo X e o eixo Y. A configuração de apoios Tipo 2 serve para libertar esforços dos pórticos, criando assim uma estrutura mais leve do que aconteceria no caso de todos os apoios serem fixos.

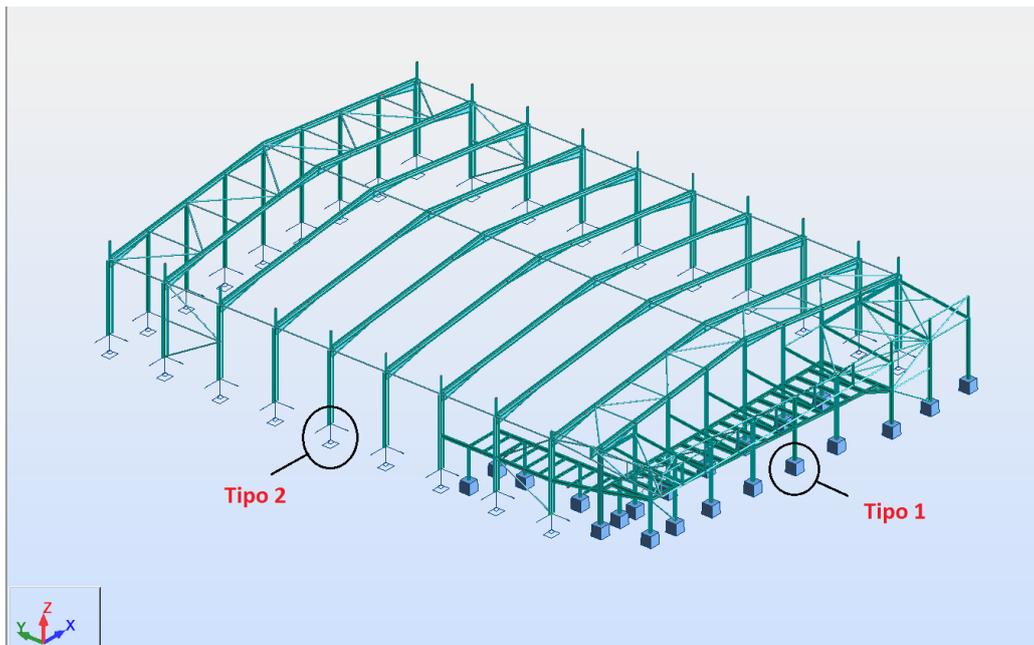


Figura 13 - Tipos de apoio e Sistema de Eixos

### 4.3 Quantificação de Ações

Para o cálculo estrutural considera-se o peso próprio ( $g$ ) de toda a estrutura assumindo os valores de:

- $0,20 \text{ kN/m}^2$  para o conjunto de painel sandwich+madres revestimento;
- $0,50 \text{ kN/m}^2$  para o conjunto painel sandwich+madres revestimento+gesso cartonado;
- $2,60 \text{ kN/m}^2$  para a laje colaborante;
- $0,20 \text{ kN/m}^2$  para o conjunto vidro+ chapa de alumínio + madres revestimento;
- $6,00 \text{ kN/m}$  para a parede de alvenaria;

Considera-se ainda a sobrecarga ( $q$ ) de  $5,00 \text{ kN/m}^2$  para o mezzanine (Categoria D2),  $0,40 \text{ kN/m}^2$  para a cobertura em geral assumindo o valor de  $0,60 \text{ kN/m}^2$  para a zona de cobertura em consola (Categoria H).

Estes valores de cargas, peso próprio e sobrecarga, assumem a direção e sentido contrário ao eixo dos ZZ, previamente definidos. Dado a zona onde está inserida, altitude inferior a 200m, não é necessário quantificar a ação da neve.

Antes de se obter o valor de carga devido ao vento é necessário calcular previamente vários parâmetros, tais como:

- Valor de referência da velocidade do vento ( $v_b$ )

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0}$$

$c_{dir}$  – coeficiente de direção, assume o valor de 1

$c_{season}$  - coeficiente de sazão, assume o valor de 1

$v_{b,0}$  – valor básico da velocidade do vento, para a zona B assume o valor de  $30 \text{ m/s}$

Assim  $v_b$  assume o valor de  $27 \text{ m/s}$

- Rugosidade do terreno

$$c_r(z) = k_r \ln(z/z_0), \text{ para } z_{min} < z \leq z_{m\acute{a}x}$$

$c_r(z)$  – coeficiente de rugosidade à altura  $z$

$z_0$  – comprimento de rugosidade, função da categoria do terreno

$z_{min}$  – dado em função do terreno

$z_{m\acute{a}x}$  – a ser considerado igual a 200 metros

$k_r$  – coeficiente do terreno

$$k_r = 0,19 \times \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

De acordo com o Quadro NA-4.1 do Anexo Nacional do EC1 – 1.4, o terreno enquadra-se na Categoria III:  $z_0 = 0,3 \text{ m}$  ;  $z_{min} = 8 \text{ m}$

Assim temos o coeficiente de terreno,  $k_r$ , com um valor de 0,215, e  $c_r(z) = 0,767$ .

- Orografia ( $c_0(z)$ )

Considera-se o efeito da orografia desprezável, uma vez que neste caso o declive médio a barlavento é inferior a 3°. Os edifícios envolventes apresentam alturas semelhantes o que permite assumir que a velocidade do vento não é afetada por estes fatores.

- Valor médio da velocidade média do vento ( $v_m(z)$ )

$$v_m(z) = c_r(z)c_o(z)v_b$$
$$v_m(z) = 0,767 \times 1 \times 27 = 20,709 \text{ m/s}$$

- Turbulência do vento ( $I_v(z)$ )

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

$\sigma_v$  – desvio padrão da turbulência, obtido por:

$$\sigma_v = k_r v_b k_I$$

$k_I$  – coeficiente de turbulência, assume o valor de 1 indicado no Anexo Nacional NA-4.5.

Assim obtém-se:

$$\sigma_v = 0,215 \times 27 \times 1 = 5,805$$
$$I_v(z) = 0,280$$

- Pressão dinâmica de pico ( $q_p(z)$ )

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z)$$

$\rho$  – massa volúmica do ar, valor recomendado de 1,25 kg/m<sup>3</sup>

$$q_p(z) = [1 + 7 \times 0,280] \times 0,5 \times 1,25 \times 20,709^2$$
$$q_p(z) = 793,396 \text{ N/m}^2$$

A determinação dos parâmetros calculados anteriormente é o ponto de partida para a determinação das forças exercidas pelo vento na estrutura.

Estas podem ser determinadas por:

- Forças exteriores

$$F_{w,e} = c_s c_d \sum_{\text{superfícies}} w_e A_{ref}$$

$c_s c_d$  – coeficiente estrutural

$A_{ref}$  – área de referência da superfície individual

$w_e$  – pressão exterior na superfície individual

Com

$$w_e = q_p(z_e) c_{pe}$$

$c_{pe}$  – coeficiente de pressão para o exterior

- Forças interiores

$$F_{w,i} = \sum_{\text{superfícies}} w_i A_{ref}$$

$w_i$  – pressão interior na superfície individual

Com

$$w_i = q_p(z_i) c_{pi}$$

- Forças de atrito

$$F_{fr} = c_{fr} q_p(z_e) A_{fr}$$

$c_{fr}$  – Coeficiente de atrito

$A_{fr}$  – área de superfície paralela ao vento

Para o calculo da pressão interior e exterior na superfície individual considera-se que o valor de  $z_e$  e  $z_i$  é igual.

O coeficiente estrutural,  $c_s c_d$ , engloba o efeito da não simultaneidade de ocorrência da pressão de pico em conjunto com o efeito da turbulência. Tratando-se de um edifício com altura inferior a 15 metros, este coeficiente assume o valor de 1.

A soma das forças exteriores e interiores, exercidas pela ação do vento, é feita vectorialmente. Neste projeto adotou-se a os valores de +0,2 e -0,3 para os coeficientes de pressão interior,  $\delta_{pi}$ , devido à ação do vento.

O efeito do atrito do vento sobre a estrutura é desprezado, uma vez que o somatório de todas as superfícies paralelas à ação do vento é inferior a 4 vezes a soma das áreas perpendiculares.

Os coeficientes de pressão exterior,  $c_{pe}$ , estão relacionados com a área carregada, como demonstrado na Figura 14, para o dimensionamento da estrutura principal de edifícios utiliza-se os coeficientes globais,  $c_{pe,10}$ . Sendo  $h = 10,645\text{m}$ ,  $b = 40\text{m}$ , como sugerido na figura abaixo, obtém-se o respetivo perfil de pressão dinâmica.

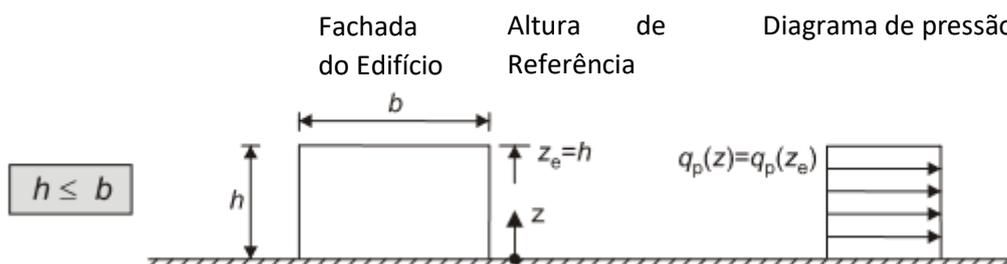


Figura 14 - Altura de referência  $z_e$ , em função de  $h$  e  $b$ , e correspondente perfil de pressão dinâmica

Numa dada direção de ação do vento os coeficientes de pressão exterior variam de face para face exposta, chegando a variar na mesma face, este facto verifica-se tanto nas paredes verticais como na cobertura. No caso das paredes verticais, pode-se observar a diferenciação dos coeficientes na Figura 15.

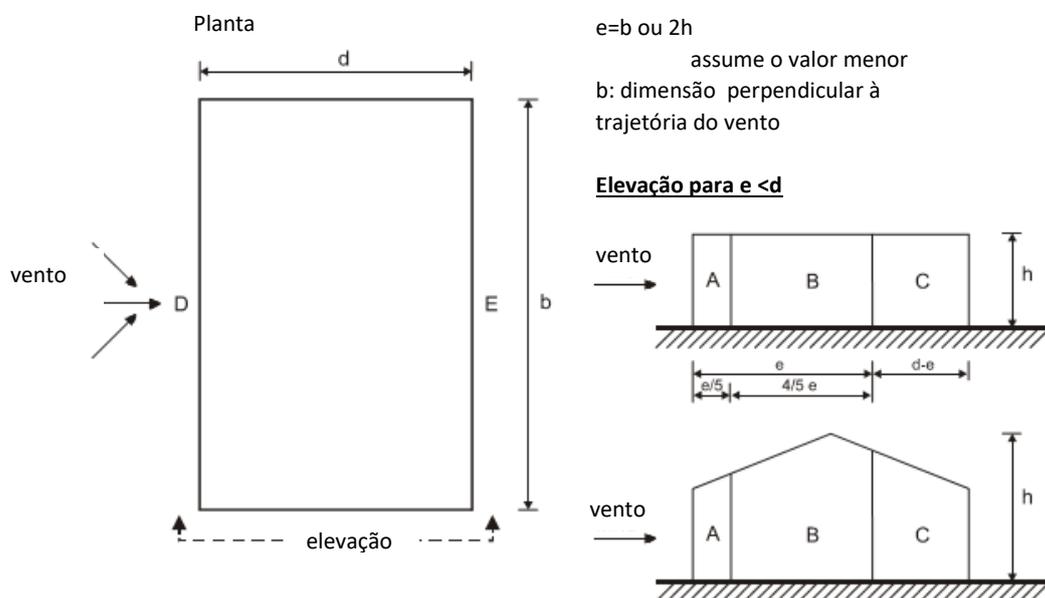


Figura 15 – Ação do vento em paredes verticais

Os respetivos coeficientes de pressão podem ser observados na Tabela 1. Sendo  $h = 10,65 \text{ m}$ ,  $d = 40\text{m}$ , tem-se  $h/d = 0.25$

Zona	A		B		C		D		E	
$h/d$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Tabela 1 – coeficientes de pressão exterior em paredes

Os coeficientes de pressão exterior da cobertura sujeita à ação do vento transversal são determinados para as zonas indicadas na Figura 16, em função da inclinação da cobertura, através da interpolação no Quadro 7.4 do EC1.

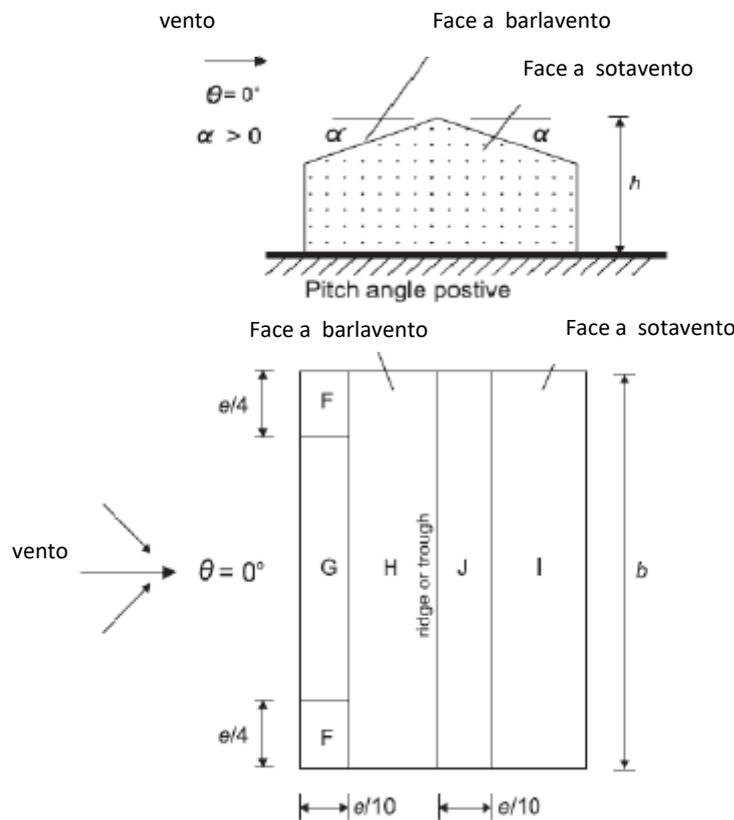


Figura 16 – Zonamento em cobertura de duas vertentes sujeita à ação do vento transversal

O Eurocódigo 1, indica que, para coberturas sujeitas à ação transversal do vento com inclinação entre  $-5^\circ$  e  $45^\circ$ , a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente voltada para barlavento, pelo que dois valores de coeficientes de pressão são indicados para as zonas F, G e H, devendo ser combinados com os valores das restantes zonas. Para a cobertura em questão tem-se os valores apresentados na Tabela 2.

$\alpha$	F		G		H		I		J	
8°	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$								
	-1,46	-2,35	-1,08	-1,85	-0,51	-0,93	-0,54	-0,54	-0,16	-0,31
	+0,06		+0,06		+0,06		+0,06		+0,06	

Tabela 2 – coeficientes de pressão exterior cobertura sujeita a ação do vento transversal

Para a ação do vento longitudinal, o zonamento é feito como indicado na Figura 17, sendo os coeficientes de pressão apresentados na Tabela 3.

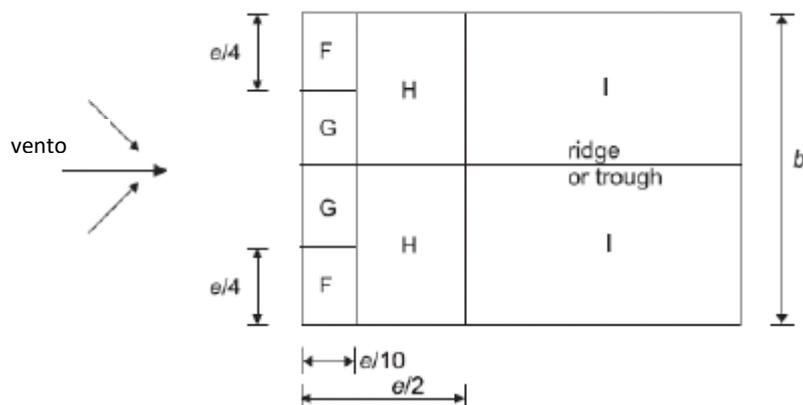


Figura 17 – Zonamento em cobertura de duas vertentes sujeita à ação do vento longitudinal

$\alpha$	F		G		H		I	
8°	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
	-1,57	-2,14	-1,3	-2,0	-0,67	-1,2	-0,55	-0,55

Tabela 3 – coeficientes de pressão exterior cobertura sujeita a ação do vento longitudinal

Quantificadas as ações atuantes na estrutura metálica, procede-se ao cálculo dos diversos elementos. Para este efeito recorreu-se ao software *Robot Structural Analysis*, sendo realizado um pré-dimensionamento e posteriormente uma otimização para cada segmento estrutural.

Os elementos de cálculo encontram-se apresentados no Anexo 1, tendo sido escolhidos o elemento mais esforçado para cada tipologia de elemento.

#### 4.4 Execução da Estrutura

Nesta última fase é necessário garantir que a estrutura fica corretamente aplicada, respeitando distâncias e cotas definidas bem como a correta execução das ligações. Numa primeira fase, em conjunto com a empresa responsável pela criação das sapatas e lintéis, é feita a colocação dos pernos em varão roscado, onde serão aparafusados os pilares, para assim garantir o correto espaçamento entre os elementos. Estes são soldados à armadura das sapatas respeitando o sistema de ancoragem pretendido, como ilustrado na Figura 18. Após a betonagem é feita nova medição para assegurar que durante o processo de betonagem não houve desvios das bases e, em caso de existência de pequenos deslocamentos, proceder ao ajuste da estrutura. Este sistema de pernos, consiste numa chapa de 2 ou 3 milímetros, com as medidas e furações iguais às bases do pilar, varões roscados que fixos a chapa recorrendo uma porca e anilha na parte inferior da chapa e outra porca e anilha na face superior da chapa, assim permite o movimento vertical da chapa após a fixação à armadura, para que todas as bases fiquem à cota pretendida.



Figura 18 – Exemplo de fixação de pernos para base de pilares

Nesta obra optou-se por primeiramente fixar os pilares, mantendo o alinhamento e aprumo, e de seguida colocar os elementos de travamento horizontal para assim garantir a ligação entre os pilares. Após esta fase estar concluída, é feita a colocação das asnas, sendo estas previamente ligadas no solo de forma a vencer o vão entre pilares. A colocação destes elementos é feita vão a vão, isto é, após colocar duas asnas, é feita ligação de travamento entre elas. Apenas quando esta ligação é feita se avança para o vão seguinte. Convém que este processo seja realizado de forma contínua para assim facilitar a montagem e garantir a verticalidade e espaçamento dos elementos. Este processo é feito com o auxílio de plataformas elevatórias, para permitir o movimento de pessoal, e guias para realizar a elevação dos elementos, tal como exposto na Figura 19.



Figura 19 -Colocação de uma asna em obra

Depois de colocados todos os elementos anteriormente referidos, são fixadas as restantes peças de contraventamento e vigas de apoio ao mezzanine ou que servirão de suporte aos portões. É importante garantir a correta fixação dos diversos elementos respeitando a força de aperto definida. A relação entre força de aperto, diâmetro e classe de parafuso pode ser analisada na Tabela 4.

Rosca	Nm		Classificação do Parafuso				
	3.6	4.6	4.8	5.8	8.8	10.9	12.9
M1.6	0.05	0,065	0,086	0.11	0.17	0.24	0.29
M2	0.10	0.13	0.17	0.22	0.35	0.49	0.58
M2.2	0.13	0.17	0.23	0.29	0.46	0.64	0.77
M2.5	0.20	0.26	0.35	0.44	0.70	0.98	1.20
M3	0.35	0.46	0.61	0.77	1.20	1.70	2.10
M3.5	0.55	0.73	0.97	1.20	1.90	2.70	3.30
M4	0.81	1.10	1.40	1.80	2.90	4.00	4.90
M5	0.60	2.20	2.95	3.60	5.70	8.10	9.70
M6	2.80	3.70	4.90	6.10	9.80	14.0	17.0
M8		8.90	10.50	15.0	24.0	33.0	40.0
M10		17.0	21.0	29.0	47.0	65.0	79.0
M12		30.0	36.0	51.0	81.0	114.0	136.0
M14		48	58	80	128	181	217
M16		74	88	123	197	277	333
M18		103	121	172	275	386	463
M20		144	170	240	385	541	649
M22		194	230	324	518	728	874
M24		249	295	416	665	935	1120
M27		360	435	600	961	1350	1620
M30		492	590	819	1310	1840	2210
M36		855	1030	1420	2280	3210	3850
M42		1360		2270	3640	5110	6140
M45		1690		2820	4510	6340	7610
M48		2040		3400	5450	7660	9190

Tabela 4 – Tabela da relação de força aperto com diâmetro e classe do parafuso

Estando a estrutura devidamente implementada, respeitando as medidas definidas em projeto, o aprumo, alinhamento, correta ligação dos elementos, é feita então a colocação dos perfis de revestimento e posteriormente o revestimento. Nesta fase é feita uma ligação entre todas as madres de revestimento, utilizando um esticador nas madres de cobertura, e um perfil tubular oco nas madres presentes nas diversas fachadas, para assim evitar deformações nas madres mantendo o correto posicionamento do revestimento. Na cobertura é importante realizar as ligações no cume, conectando as madres de ambas as vertentes, e nos alçados, a ligação das madres à platibanda.

Na fachada principal houve a necessidade de colocar perfis, ligados aos elementos estruturais, para servirem de apoio aos envidraçados, como se pode observar na Figura 20.



Figura 20 – Pormenor da fachada principal

Os cortes realizados nas asnas, durante a fase de produção, bem como a ligação das mesmas e os travamentos aplicados às asnas encontram-se presentes na Figura 21, nesta figura pode-se observar os elementos de revestimento da cobertura. Na Figura 22, pode-se observar a ligação viga/pilar realizada.



Figura 21 – Exemplo de ligação e travamento das anas e estantes elementos de cobertura



Figura 22 – Exemplo ligação viga/pilar e restantes elementos da fachada

#### **4.5 Síntese final da obra**

No dimensionamento da obra tentou-se economizar, mantendo as condições e obrigatoriedades exigidas pela regulamentação em vigor tentando facilitar o processo de produção e montagem. Optou-se por dividir as asnas da cobertura, criando posteriormente uma ligação aparafusada de modo a transmitir os momentos ao longo da viga, libertar os momentos na base dos pilares, na área do armazém para assim diminuir os esforços e por consequência diminuir a gama do perfil a usar. Para evitar as deformações nas asnas optou-se por realizar o travamento do banzo inferior às madres de cobertura, uma vez que o banzo superior já estava aparafusado à madre. Na modelação tentou-se criar um modelo de cálculo o mais semelhante possível ao real para assim obter o resultado mais correto possível.

Na fase de montagem, houve uma pré colocação das bases dos pilares (varões roscados onde é aparafusado o pilar) soldada à armação das sapatas dos mesmos, e após a betonagem realizou-se novas medições para apurar e corrigir algum desvio existente. Teve-se sempre em conta o correto alinhamento, nivelamento e aprumo de todos os elementos.

No Capítulo 5 é apresentado um cais de descarga que se distingue, deste pavilhão industrial, por ser necessário realizar ligação a um edifício já existente, construído em betão armado.

# Capítulo 5

## Cais de Descarga



## **Capítulo 5 – Cais de Descarga**

5.1 Descrição da Obra

5.2 Dimensionamento da Estrutura

5.3 Quantificação de Ações

5.4 Execução da Estrutura

5.5 Síntese final de Obra



## 5. Cais de Descarga

A obra apresentada neste capítulo segue no âmbito do estágio curricular, tendo feito parte integrante da equipa de projeto, conceção e implementação. Esta estrutura metálica tem especial interesse devido à necessidade de estabelecer ligação entre a estrutura metálica e a estrutura em betão armado já existente. Além de ser necessário medições cuidadas para definir a posição dos pilares e dos apoios da cobertura, foi realizado trabalho com a equipa responsável pela execução do edifício já existente, para garantir que ao realizar a ligação, entre os dois tipos de estrutura, se conseguisse abrir os carotes no betão sem danificar os elementos de aço presentes no betão armado, e garantir que os esforços adicionados não provocam danos à estrutura existente.

### 5.1 Descrição da Obra

A obra realizada é um cais de descarga em estrutura metálica, com cerca de  $900m^2$ . Esta obra caracteriza-se por ser necessário ligar a estrutura metálica, na base de um dos lados da cobertura, ao pavilhão já existente, feito em betão pré-fabricado, situado na zona industrial de Estarreja, Eco Parque Empresarial. O cais de descarga consiste numa cobertura fechada a Norte e Este, como ilustrado na Figura 23. São apresentadas plantas e alçados no Anexo 2.

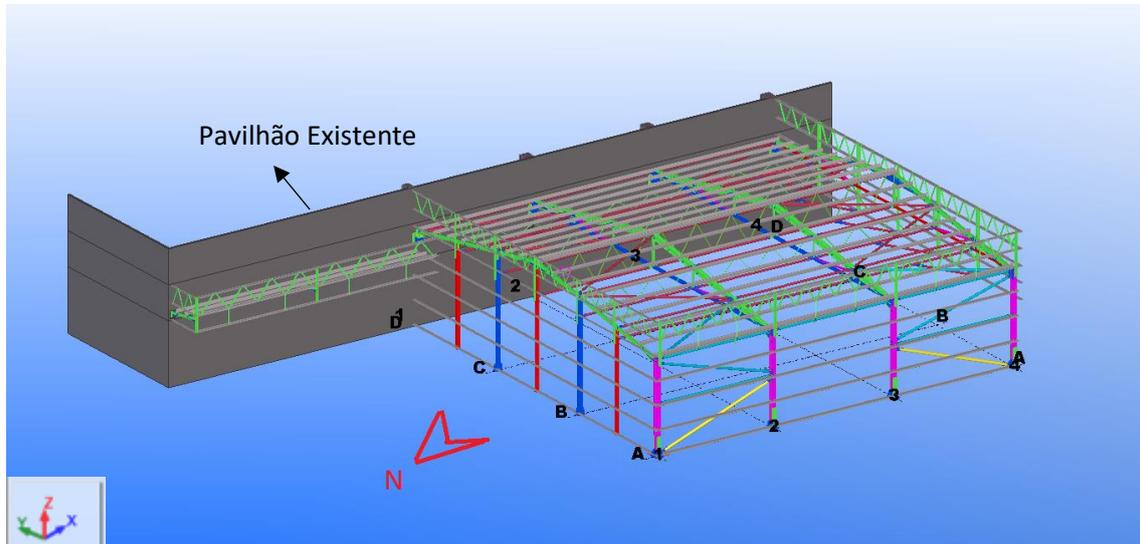


Figura 23 - Modelação do cais de descarga Z.I. Estarreja

Para esta obra tentou-se criar uma estrutura com o mínimo de peso, devido às ligações necessárias com o pavilhão existente.

A cobertura do cais é suportada por 9 pilares com cerca de 7,5 metros, 4 suportes realizados nos pilares do pavilhão já existente, e 4 treliças que vencem um vão de 30 metros. A fixação dos pilares é feita com varões roscados previamente ancorados às sapatas de betão armado.

A estrutura da pala é suportada por 3 asnas, sendo estas ligadas ao pavilhão existente em aberturas previamente realizadas onde constam bases metálicas às quais as asnas serão soldadas.

A fachada sul será aberta para permitir a entrada e saída de veículos pesados, tendo de ficar uma altura livre de 5 metros, para garantir a estabilidade dos elementos efetua-se o travamento como ilustrado na Figura 24.

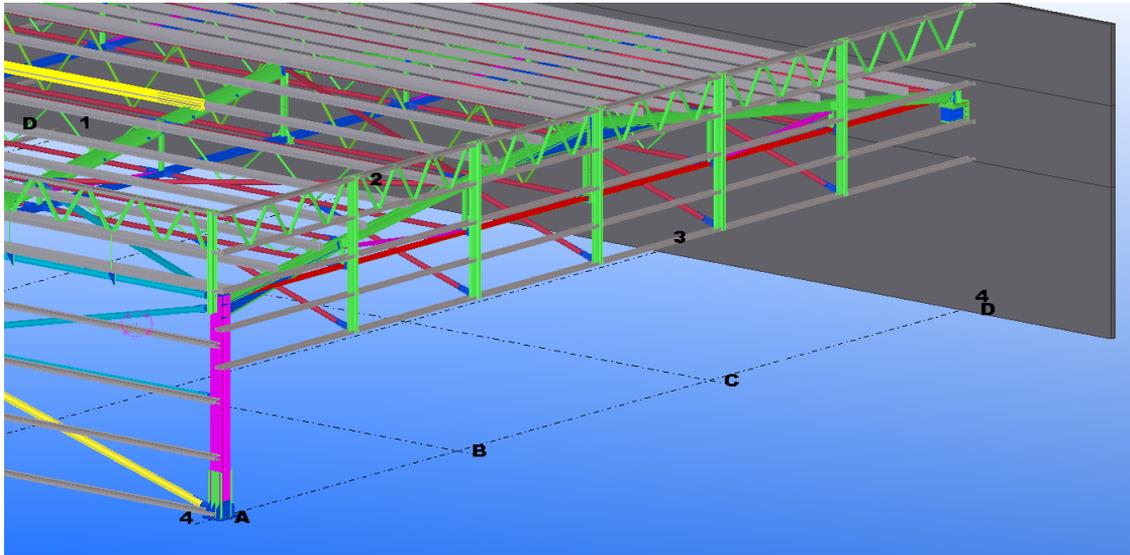


Figura 24 – Fachada Sul do cais de descarga

Para a estrutura será utilizado aço S275JR, parafusos da classe 8.8 e varão roscado da mesma classe. Os perfis de revestimento, quer da cobertura quer das fachadas, serão do tipo “Madremax”, as platibandas são compostas por perfis tipo “C” e “U” realizados em aço galvanizado. A cobertura será realizada em painel sandwich, do tipo FTB PC 1000, e revestido em chapa lacada perfilada. Serão descritos e apresentado alguns pormenores de ligações ilustrados na Figura 25.

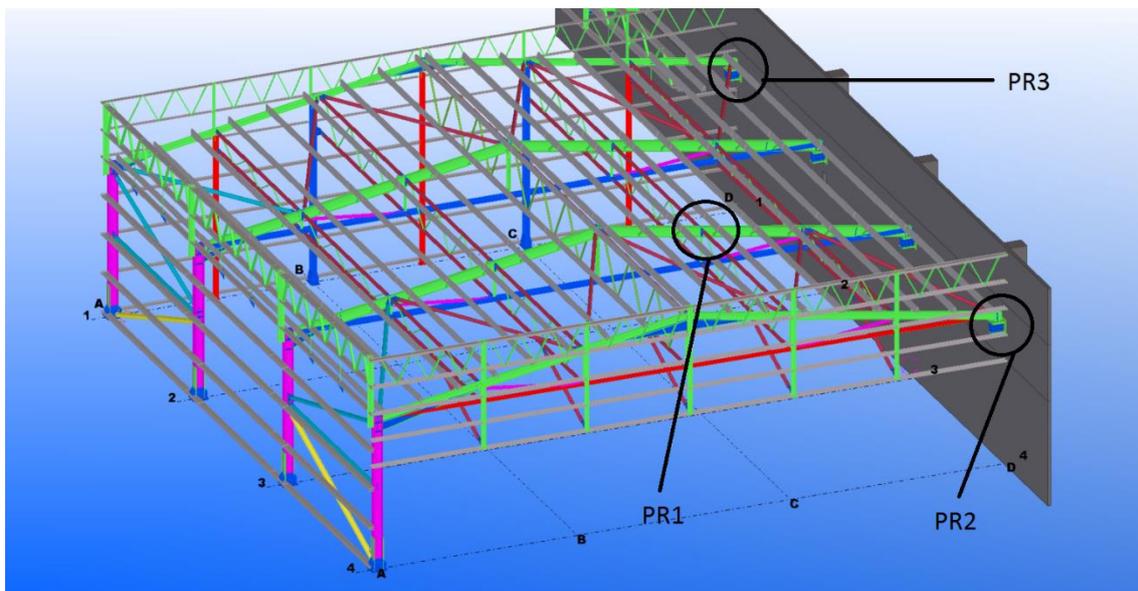


Figura 25 – Localização de pormenores

## 5.2 Dimensionamento da Estrutura

À semelhança da obra apresentada no Capítulo 4, recorreu-se ao software *Robot Structural Analysis*, da *Autodesk*, para realizar o dimensionamento estrutural. Nesta modelação é tido em conta a uniformização e padronização dos elementos. Numa fase inicial é atribuída uma secção e condição de apoio a cada elemento, sendo cada elemento estrutural posteriormente otimizado, para assim obter a secção que melhor resposta oferece.

As ligações, referidas na Figura 25, têm especial interesse para garantir a correta transmissão de esforços, tal como idealizadas. No caso das ligações ao pavilhão existente é importante garantir que os esforços sejam distribuídos por uma área, com dimensões relevantes, para evitar danos aos painéis de betão e garantir o correto funcionamento do sistema de fixação.

As ligações tipo **PR1**, são ligações entre os elementos de travamento e as asnas. Os elementos de travamento são realizados em perfis circulares ocos utilizando o tipo de ligação ilustrado na Figura 26, assim garante-se a correta transmissão do esforço axial, tração ou compressão, libertando o momento nas extremidades do elemento de travamento.

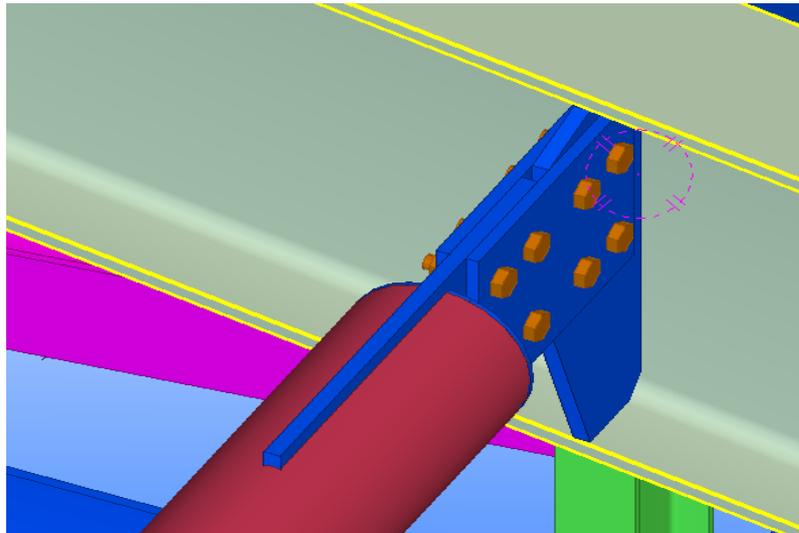


Figura 26 – Modelação de PR1, ligação padrão dos elementos de travamento às asnas

Para efetuar a ligação ao pavilhão e o suporte para o cais, **PR2**, idealizou-se um cachorro ligado ao pilar de betão por varões roscados, com ancoragem química tipo “Hilti HIT-MM PPLUS”, servindo de apoio à treliça, como ilustrado na Figura 27. Este apoio permite o movimento segundo o eixo da treliça e restringe os restantes movimentos. Afastou-se a asna do pavilhão 50mm para permitir o movimento da mesma (34mm no sentido do pavilhão existente) e limitou-se o movimento a 50mm no sentido contrário ao pavilhão (deslocamento de 39 mm da asna nesse sentido). Esta libertação de movimento além de libertar esforços evita possíveis danos ao pavilhão existente, nomeadamente fissuração.

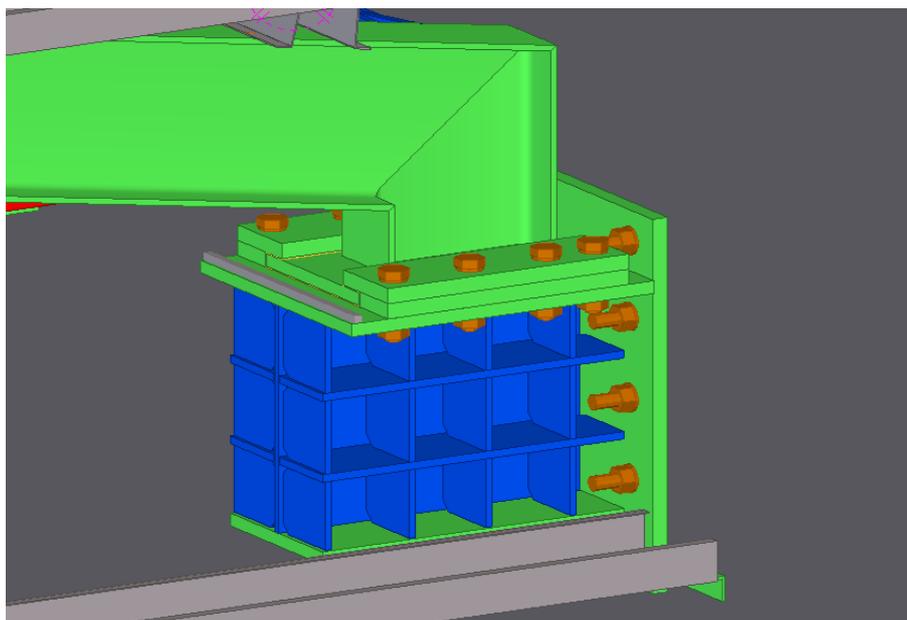


Figura 27– Modelação do Cachorro de apoio PR2

No apoio em que o cachorro se encontra desalinhado com o pilar de betão armado, **PR3**, de forma garantir a rigidez necessária no apoio do cachorro, ou seja, um correto funcionamento do método de fixação do cachorro ao pilar de betão existente, a furação feita vazou por completo o pilar de face a face, colocando uma chapa na extremidade oposto ao cachorro sendo assim possível aparafusar o varão em ambas as faces.

Para uma das treliças existe um desfasamento em relação ao pilar de betão armado, ficando apenas uma linha de varões ligados diretamente ao pilar. Dado a impossibilidade de mudar o alinhamento da treliça, optou-se por colocar o apoio no painel de betão e posteriormente fazer a transmissão de esforços para o pilar, como ilustrado na Figura 28 e Figura 29.

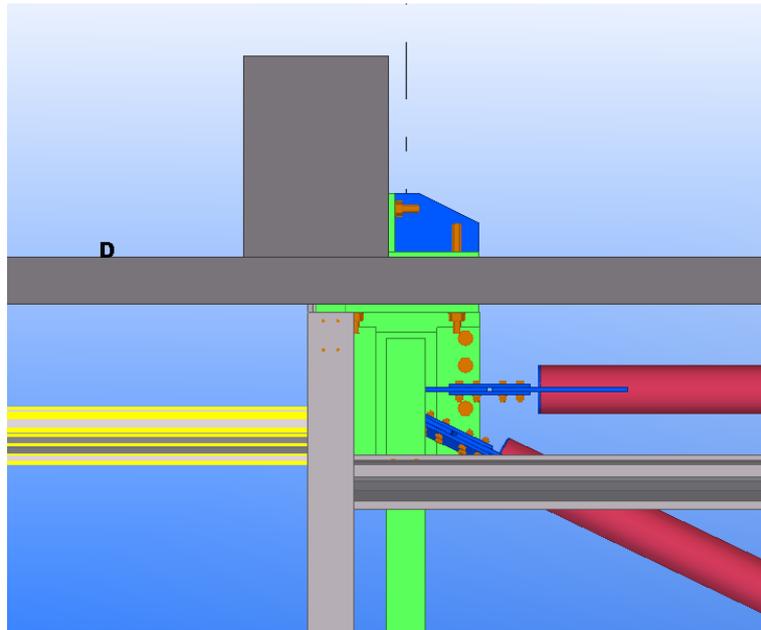


Figura 28 - Cachorro de apoio desalinhado com pilar de betão, PR3

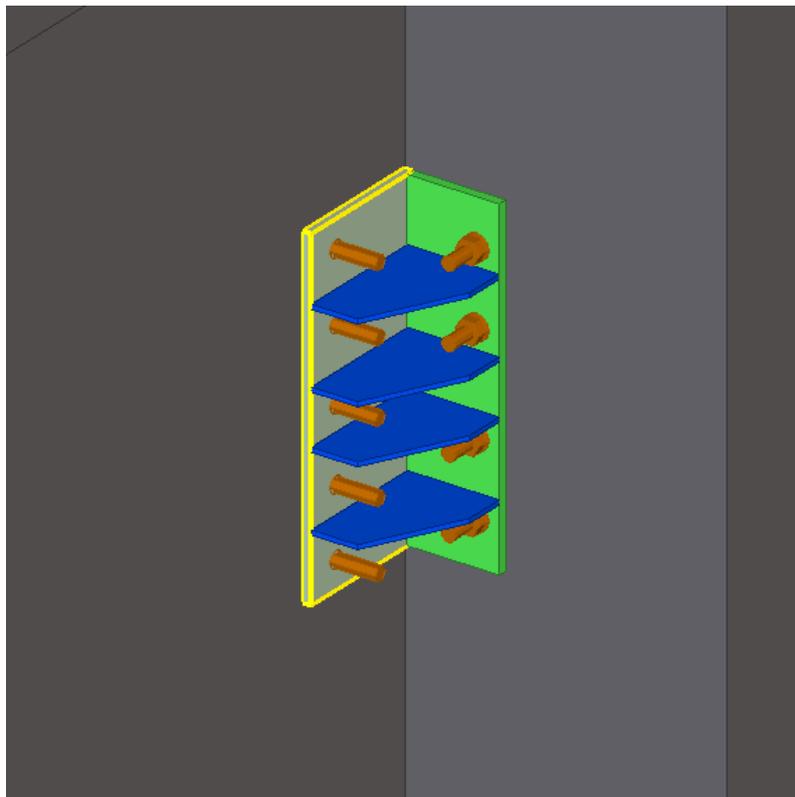


Figura 29 – Modelação da transmissão de esforços para o pilar, PR3

### 5.3 Quantificação de Ações

Para o cálculo estrutural considera-se o peso próprio ( $g$ ) de toda a estrutura assumindo os valores de  $0,25 \text{ kN/m}^2$  para o conjunto de painel sandwich + madres revestimento.

Considera-se ainda a sobrecarga ( $q$ ) de  $0,40 \text{ kN/m}^2$  para a cobertura em geral.

Estes valores de cargas, peso próprio e sobrecarga, assumem a direção vertical e sentido descendente.

Antes de se obter o valor de carga devido ao vento é necessário calcular previamente vários parâmetros, tais como:

- Valor de referência da velocidade do vento ( $v_b$ )

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0}$$

$c_{dir}$  – coeficiente de direção, assume o valor de 1

$c_{season}$  - coeficiente de sazão, assume o valor de 1

$v_{b,0}$  – valor básico da velocidade do vento, para a zona B assume o valor de  $30 \text{ m/s}$

Assim  $v_b$  assume o valor de  $27 \text{ m/s}$

- Rugosidade do terreno

$$c_r(z) = k_r \ln(z/z_0), \text{ para } z_{min} < z \leq z_{máx}$$

$c_r(z)$  – coeficiente de rugosidade à altura  $z$

$z_0$  – comprimento de rugosidade, função da categoria do terreno

$z_{min}$  – dado em função do terreno

$z_{máx}$  – a ser considerado igual a 200 metros

$k_r$  – coeficiente do terreno

$$k_r = 0,19 \times \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

De acordo com o Quadro NA-4.1 do Anexo Nacional do EC1 – 1.4, o terreno enquadra-se na Categoria III:  $z_0 = 0,3 \text{ m}$ ;  $z_{min} = 8 \text{ m}$

Assim temos o coeficiente de terreno,  $k_r$ , com um valor de 0,215, e  $c_r(z) = 0,736$ .

- Orografia ( $c_0(z)$ )

Considera-se o efeito da orografia desprezável, uma vez que neste caso o declive médio a barlavento é inferior a  $3^\circ$ . Os edifícios envolventes apresentam alturas semelhantes o que permite assumir que a velocidade do vento não é afetada por estes fatores.

- Valor médio da velocidade média do vento ( $v_m(z)$ )

$$v_m(z) = c_r(z)c_o(z)v_b$$

$$v_m(z) = 0,736 \times 1 \times 27 = 19,872m/s$$

- Turbulência do vento ( $I_v(z)$ )

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

$\sigma_v$  – desvio padrão da turbulência, obtido por:

$$\sigma_v = k_r v_b k_I$$

$k_I$  – coeficiente de turbulência, assume o valor de 1 indicado no Anexo Nacional NA-4.5.

Assim obtém-se:

$$\sigma_v = 0,215 \times 27 \times 1 = 5,805$$

$$I_v(z) = 0,292$$

- Pressão dinâmica de pico ( $q_p(z)$ )

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z)$$

$\rho$  – massa volúmica do ar, valor recomendado de  $1,25 \text{ kg/m}^3$

$$q_p(z) = [1 + 7 \times 0,280] \times 0,5 \times 1,25 \times 19,872^2$$

$$q_p(z) = 751,29 \text{ N/m}^2$$

A determinação dos parâmetros calculados anteriormente é o ponto de partida para a determinação das forças exercidas pelo vento na estrutura.

Estas podem ser determinadas por:

- Forças exteriores

$$F_{w,e} = c_s c_d \sum_{\text{superficies}} w_e A_{ref}$$

$c_s c_d$  – coeficiente estrutural

$A_{ref}$  – área de referência da superfície individual

$w_e$  – pressão exterior na superfície individual

Com

$$w_e = q_p(z_e) c_{pe}$$

$c_{pe}$  – coeficiente de pressão exterior

- Forças interiores

$$F_{w,i} = \sum_{\text{superfícies}} w_i A_{ref}$$

$w_i$  – pressão interior na superfície individual

Com

$$w_i = q_p(z_i) c_{pi}$$

- Forças de atrito

$$F_{fr} = c_{fr} q_p(z_e) A_{fr}$$

$c_{fr}$  – Coeficiente de atrito

$A_{fr}$  – área de superfície paralela ao vento

Para o calculo da pressão interior e exterior na superfície individual considera-se que o valor de  $z_e$  e  $z_i$  é igual.

O coeficiente estrutural,  $c_s c_d$ , engloba o efeito da não simultaneidade de ocorrência da pressão de pico em conjunto com o efeito da turbulência. Tratando-se de um edifício com altura inferior a 15 metros, este coeficiente assume o valor de 1.

A soma das forças exteriores e interiores, exercidas pela ação do vento, é feita vectorialmente. Neste projeto, durante a ação do vento existe abertura numa das fachadas do edifício (fachada sul), assim os coeficientes de pressão interiores,  $\delta_{pi}$ , assumem o valor de 0,75 dos valores dos coeficientes de pressão exteriores atuantes nessa fachada.

O efeito do atrito do vento sobre a estrutura é desprezado, uma vez que o somatório de todas as superfícies paralelas à ação do vento é inferior a 4 vezes a soma das áreas perpendiculares.

Os coeficientes de pressão exterior,  $c_{pe}$ , estão relacionados com a área carregada, como demonstrado na Figura 30, para o dimensionamento da estrutura principal de edifícios utiliza-se os coeficientes globais,  $c_{pe,10}$ . Sendo  $h = 9,200\text{m}$ ,  $b = 30,500\text{m}$ , como sugerido na Figura 30, obtém-se o respetivo perfil de pressão dinâmica.

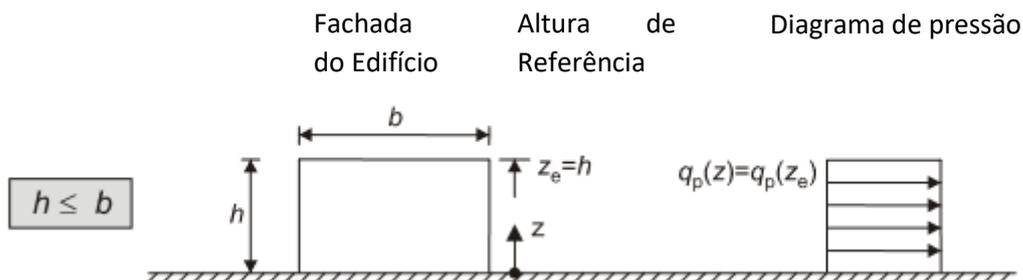


Figura 30 – Altura de referencia  $z_e$ , em função de  $h$  e  $b$ , e correspondente perfil de pressão dinâmica

Numa dada direção de ação do vento os coeficientes de pressão exterior variam de face para face exposta, chegando a variar na mesma face, este facto verifica-se tanto nas paredes verticais como na cobertura. No caso das paredes verticais, pode-se observar a diferenciação dos coeficientes na Figura 31.

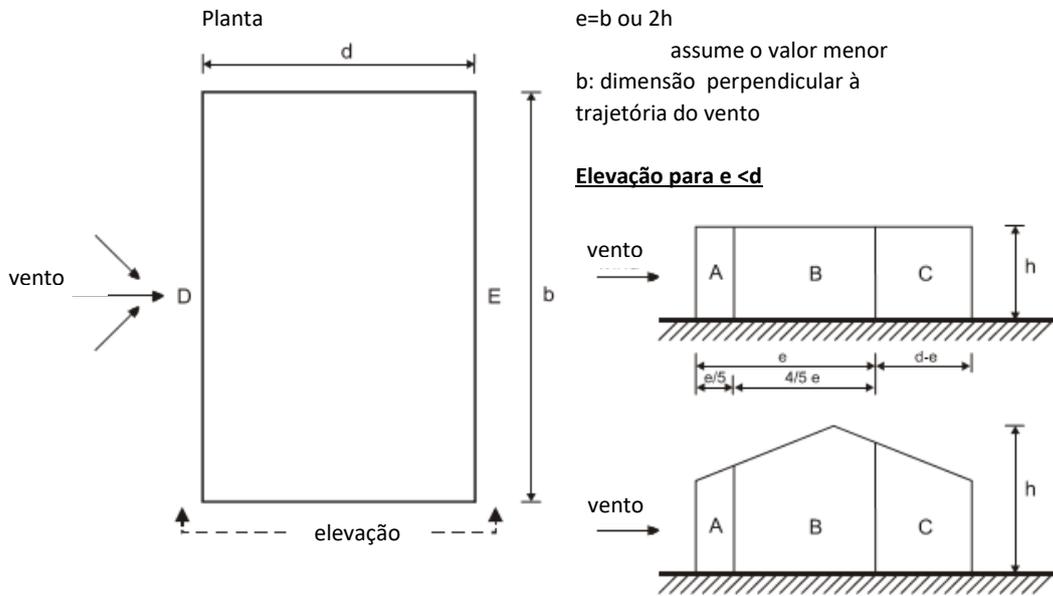


Figura 31 – Ação do vento em paredes verticais

Os respetivos coeficientes de pressão podem ser observados na Tabela 5. Sendo  $h = 9,200\text{ m}$ ,  $d = 30,500\text{ m}$ , tem-se  $h/d = 0,30$

Zona	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Tabela 5 – coeficientes de pressão exterior para paredes verticais

Os coeficientes de pressão exterior da cobertura sujeita à ação do vento transversal são determinados para as zonas indicadas na Figura 32, em função da inclinação da cobertura, através da interpolação no Quadro 7.4 do EC1.

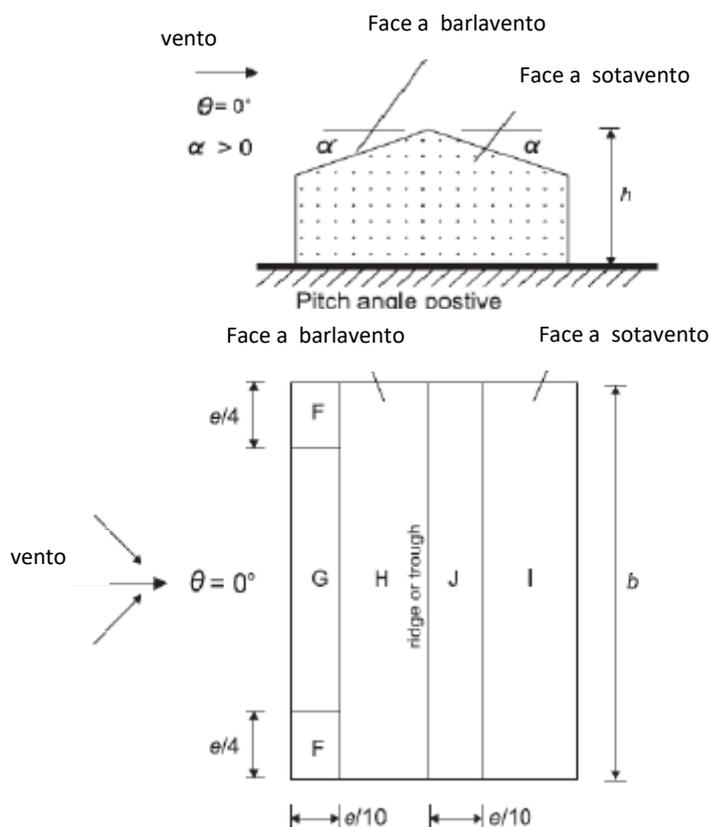


Figura 32 – Zonamento em cobertura de duas vertentes sujeita à ação do vento transversal

O Eurocódigo 1 indica que, para coberturas sujeitas à ação transversal do vento com inclinação entre  $-5^\circ$  e  $45^\circ$ , a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente voltada para barlavento, pelo que dois valores de coeficientes de pressão são indicados para as zonas F, G e H, devendo ser combinados com os valores das restantes zonas. Para a cobertura em questão tem-se os valores apresentados na Tabela 6.

$\alpha$	F		G		H		I		J	
$10^\circ$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
	-1,3	-2,25	-1,0	-1,75	-0,45	-0,75	-0,5	-0,5	-0,4	-0,65
	+0,1		+0,1		+0,1		-0,3		-0,3	

Tabela 6 – coeficientes de pressão exterior cobertura sujeita a ação do vento transversal

33. Para a ação do vento longitudinal, o zonamento é feito como indicado na Figura

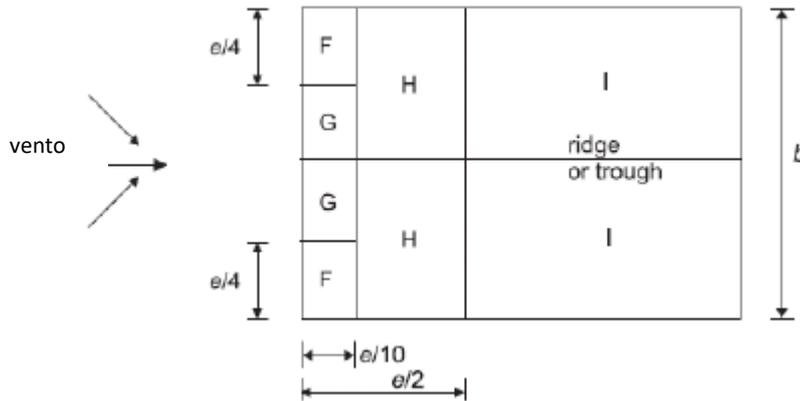


Figura 33 – Zonamento em cobertura de duas vertentes sujeita à ação do vento longitudinal

Neste caso os coeficientes são apresentados na Tabela 7.

$\alpha$	F		G		H		I	
$10^\circ$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
	-1,45	-2,1	-1,3	-2,0	-0,65	-1,2	-0,55	-0,55

Tabela 7 – coeficientes de pressão exterior cobertura sujeita a ação do vento longitudinal

Estando definidas as ações atuantes na estrutura metálica, recorreu-se ao software *Robot Structural Analysis*, para realizar o cálculo estrutural. Este cálculo permite assim encontrar o perfil que melhor se adequa a cada elemento, dadas as condições de carga a que está sujeito.

Os elementos de cálculo encontram-se apresentados no Anexo 2, tendo sido escolhidos o elemento mais esforçado para cada tipologia de elemento.

## **5.4 Execução da Estrutura**

Nesta empreitada, optou-se numa primeira fase realizar a colocação das bases dos pilares, utilizando o sistema descrito na obra anterior, pernos em varão roscado ligados numa chapa similar à base do pilar, com possibilidade de ajuste vertical para que todas as bases fiquem à cota desejada. Posteriormente foi necessário abrir furação nos elementos de betão para se proceder à fixação dos cachorros que servem de apoio à cobertura. Somente após a correta fixação dos pilares, devidamente ligados entre si, e cachorros, é que se procedeu à colocação das asnas e treliças. Sendo que no processo de conceção e produção se optou por realizar dois elementos para vencer o vão, foi realizada a junção dos mesmo no solo e só depois a elevação e fixação tanto ao pilar como ao cachorro. Este processo de colocação dos elementos de cobertura é similar ao descrito na empreitada anterior, colocar as peças que fazem a ligação pilar-cachorro, colocando posteriormente os elementos de travamento. Para a colocação dos diversos elementos foi preciso a utilização de maquinaria, tais como grua e plataformas elevatórias. Os perfis de revestimento apenas foram colocados após toda a estrutura se encontrar devidamente implementada e corretamente fixada, ficando ligados entre si para evitar deformações. Na Figura 34 e Figura 35, pode-se observar, respetivamente, a fachada norte e sul do cais de descarga.



Figura 34 – Fachada Norte do cais de descarga



Figura 35 – Fachada Sul do cais de descarga

Na Figura 36 é apresentado o apoio em cachorro que faz a ligação ao pavilhão existente, sendo este cachorro comum a todos os apoios de ligação executados. Na Figura 37 é apresentado a peça de amarração que faz a transmissão de esforços para o pilar de betão (esquerda), tal como modelado em PR3, bem como a chapa de amarração utilizada nos restantes apoios de ligação (direita). A ligação tipo dos elementos de travamento às asnas é apresentado na Figura 38.

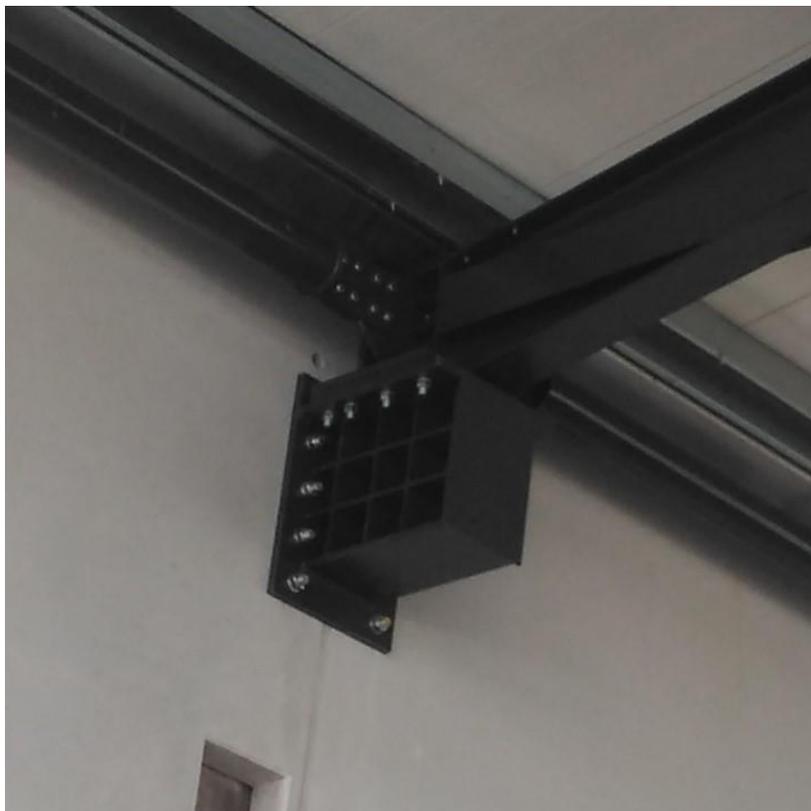


Figura 36 – Pormenor Cachorro



Figura 37 – Peça transmissão esforços para o pilar (esquerda) e Chapa de amarração (direita)



Figura 38 – Pormenor Ligações de travamentos

## 5.5 Síntese final da obra

No dimensionamento da obra tentou-se criar uma estrutura o mais leve possível, uma vez que parte da cobertura assenta, sobrecarregando, o pavilhão existente, nomeadamente os pilares de betão pré-fabricados. Para tentar diminuir os esforços e evitar fissuração dos elementos de betão, libertou-se o movimento no sentido das madres nos apoios realizados no pavilhão existente. Deslocou-se também a estrutura para o sentido oposto, deixando assim margem para movimentos provocados pelas cargas. A modelação tentou recriar o mais possível as limitações existentes e as condições a que a estrutura está sujeita. Existe uma articulação com a empresa que tinha realizado o pavilhão existente, para assim garantir que os esforços provocados não colocavam em causa a estabilidade nos elementos previamente construídos.

Optou-se por, na fase de produção, realizar o conjunto asna, viga e biela, uma peça única, fazendo uma estrutura similar a uma viga armada cobrindo meio vão. Assim em obra é mais fácil e célere a aplicação, sendo que para completar o vão basta realizar a ligação ao apoio e a meio vão. Á semelhança da outra obra apresentada, houve uma pré-colocação das bases dos pilares (varões roscados onde é aparafusado o pilar) soldada à armação das sapatas dos mesmos, e após a betonagem realizou-se novas medições para apurar e corrigir algum desvio existente. Teve-se sempre em conta o correto alinhamento, nivelamento e aprumo de todos os elementos.



## Capítulo 6

### Conclusões



## **Capítulo 6 Conclusões**

6.1 Aprendizagem Pessoal

6.2 Pavilhão Industrial

6.3 Cais de Descarga



## 6. Conclusões

Neste capítulo é apresentada uma reflexão relativa à evolução pessoal, durante a realização do estágio curricular, bem como conclusões retiradas no final de cada obra previamente apresentada.

### 6.1 Aprendizagem Pessoal

O acompanhamento e interação no processo de produção e de montagem de uma obra de estrutura metálica é de grande importância na fase de projeto e modelação. Este estágio possibilitou aprender e conhecer todos os processos associados à produção e tratamento superficial das estruturas (cortes, soldaduras, decapagem, pintura, etc.) bem como os meios e métodos utilizados na implementação da estrutura. Foi um processo vantajoso e proporcionou uma grande aprendizagem pessoal. Possibilitou aplicar os conhecimentos adquiridos a nível de projeto, utilizando ferramentas novas (*Robot Structural Analysis*), permitiu expandir os conhecimentos para modelação e preparação de obra, utilizando o software *Tekla*, e acima de tudo foi enriquecedor com pormenores construtivos e considerações a ter na fase de projeto, tais como folgas a dar a vários elementos, como modelar de forma a facilitar a produção e execução em obra.

Este estágio permitiu ainda uma grande interação em obra o que proporcionou adquirir conhecimentos de planeamento de obra, interações com os vários elementos da equipa e obra, e ainda a capacidade de resolver problemas ou condicionantes que vão surgindo no decorrer de uma empreitada.

### 6.2 Obra 1 - Pavilhão industrial

A construção do pavilhão industrial apresentado no Capítulo 4 permitiu uma aplicação integral dos conhecimentos adquiridos. Sendo um pavilhão a construir de raiz e sem condicionantes na envolvente, não existiu entraves durante a fase de projeto além das condicionantes arquitetónicas.

Uma das condicionantes arquitetónicas era vencer o vão de 40 metros. Foi preciso criar um travamento que combatesse a encurvadura criada na viga, mas que fosse fácil de aplicar, e leve para não causar sobrecarga na estrutura. Optou-se por colocar uma biela, no banzo inferior da viga, ligada às madres de revestimento. Conseguiu-se assim restringir as deformações na asna uma vez que ambos os bantos estavam restringidos. Foi também necessário dividir cada asna em duas partes, criando uma ligação rígida a ser aparafusada em obra, para facilitar a produção e transporte das mesmas. De forma a conseguir diminuir as secções a utilizar libertou-se as ligações na base dos pilares, o que proporcionou uma diminuição dos esforços internos na estrutura.

Outra condicionante foi o desalinhamento dos pilares no alçado principal, mantendo o alinhamento da platibanda por todo o pavilhão. Isto obrigou a uma modelação cuidada para manter todos os parâmetros arquitetónicos bem como permitir e facilitar a colação do revestimento e envidraçados. Houve ainda um cuidado no acabamento da estrutura, uma vez que a estrutura se destina a armazenagem, foi necessário a aplicação de tinta ignífuga, mantendo as características da estrutura durante 60 minutos a 750°C.

## **6.2 Obra 2 - Cais de Descarga**

Para a construção do cais de descarga apresentado no Capítulo 5, deparou-se com várias condicionantes. Primeiro é preciso elevar a estrutura de forma a permitir entrada e saída de veículos pesados, bem como permitir a circulação de empilhadores para efetuar a descarrega. Outra condicionante foi a obrigatoriedade de ligação ao pavilhão existente, realizado em betão pré-fabricado. Assim foi necessário trabalho em equipa com a empresa responsável pela construção do pavilhão em betão armado para garantir que os esforços adicionados não causam dano à estrutura existente, bem como garantir que no processo de ancoragem dos cachorros, se conseguisse abrir furação nas zonas do espaçamento da armadura do pilar de betão armado. Uma das asnas está desalinhada com o pilar, foi preciso achar uma solução que permitisse transmitir os esforços para o pilar, uma vez que o pano de betão não suportava as cargas.

No dimensionamento das ligações aos pilares obrigou ao trabalho em conjunto de 3 equipas, a nossa equipa de projeto que transmitia as cargas exercidas pela estrutura no pilar de betão armado, a equipa de projeto que tinha executado o pavilhão em betão que forneceu a carga máxima suportada pela estrutura de betão já existente, e a equipa dos fornecedores dos produtos de ancoragem para garantir que os produtos utilizados garantiam resistência necessária aos esforços atuantes, usando assim um sistema de ancoragem capaz de corresponder às exigências.

Existiu a preocupação de minimizar as secções a utilizar, para criar uma estrutura mais leve, adicionando assim menos esforços ao apoio realizado no pavilhão existente. Houve o cuidado de libertar o movimento no apoio ao pavilhão existente, bem como afastar a estrutura de forma a permitir a dilatação e movimento das asnas, diminuindo esforços no apoio e evitando assim possíveis fissurações e danos no pavilhão existente.

### 6.3 Comentários Finais

A realização do estágio curricular permitiu uma evolução, tanto a nível profissional como pessoal, através da interação com os diversos intervenientes de obra bem como pela integração nos processos utilizados na produção e execução de estruturas metálicas. Permitiu também, aplicar os conhecimentos adquiridos no dimensionamento de estruturas metálicas, e alargar os conhecimentos, através de considerações e pormenores construtivos a ter em consideração a quando do dimensionamento, bem como pela aprendizagem de ferramentas como é o exemplo do *Robot Strutral Analysis* ou *Tekla Strutures*.



## **7. Referências bibliográficas**



**EN 1990 - Eurocódigo:** Base para projeto de estruturas

**EN 1991 - Eurocódigo 1:** Ações em estruturas

**EN 1993 - Eurocódigo 3:** Dimensionamento de Estruturas Metálicas

**NP EN 288-2:** Especificação e qualificação de procedimentos de soldadura para materiais metálicos

**Alvarez, Arguelles.** *Estruturas de Acero vol. 1 e 2.* Madrid: Bellisco – Ediciones Técnicas y Científicas, 2005

**Vila Real, Paulo,** *Incêndio em Estruturas Metálicas, Cálculo Estrutural.* Edições Orion, 2009

**Luís Simões da Silvas e Aldina Santiago,** *Manual de Ligações Metálicas,* cmm - Associação Portuguesa de Construção metálica e Mista.

**Rui Simões,** *Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas,* EN 1993-1-1, , cmm - Associação Portuguesa de Construção metálica e Mista, 2005.

**António Reis, Dinar Camotim,** *Estabilidade Estrutural,* , McGraw Hill Book Company (UK) Limited, 2001.

**Manfred A. Hirt, R. Bez,** *Construction Métallique: Notions Fundamentales et Méthodes de Dimensionnement. Traité de Génie Civil, Vol. 10,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

**Jacques Brozzetti, M. A. Hirt, R. Bez ,** *Construction Métallique: Exemples numériques adaptés aux Eurocodes. Complément au Traité de Génie Civil,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

**Manfred A. Hirt, Michel Crisinel,** *Charpentes Métalliques: Conception et dimensionnement des halles et bâtiments. Traité de Génie Civil, Vol. 11.* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

**Americo Scotti, Vladimir Ponomarev,** *SOLDAGEM MIG MAG*

**H. A. Buzzoni,** *Manual Prático de Solda Eléctrica*

**Santos, João,** *AutoCAD 2016 & 2015 ,* Edição FCA, 2015

**Autodesk,** *Robot Strutural Analysis Professional 2015 Training Manual – Metric Version*

**Trimble,** *Tutorials Guide*



**ANEXOS**



**ANEXO 1**  
Pavilhão Industrial



## A 1. Apresentação de Alçados e Plantas do Pavilhão Industrial

Neste capítulo são apresentados os alçados e plantas, referentes ao pavilhão industrial, como constm no projeto de arquitetura.

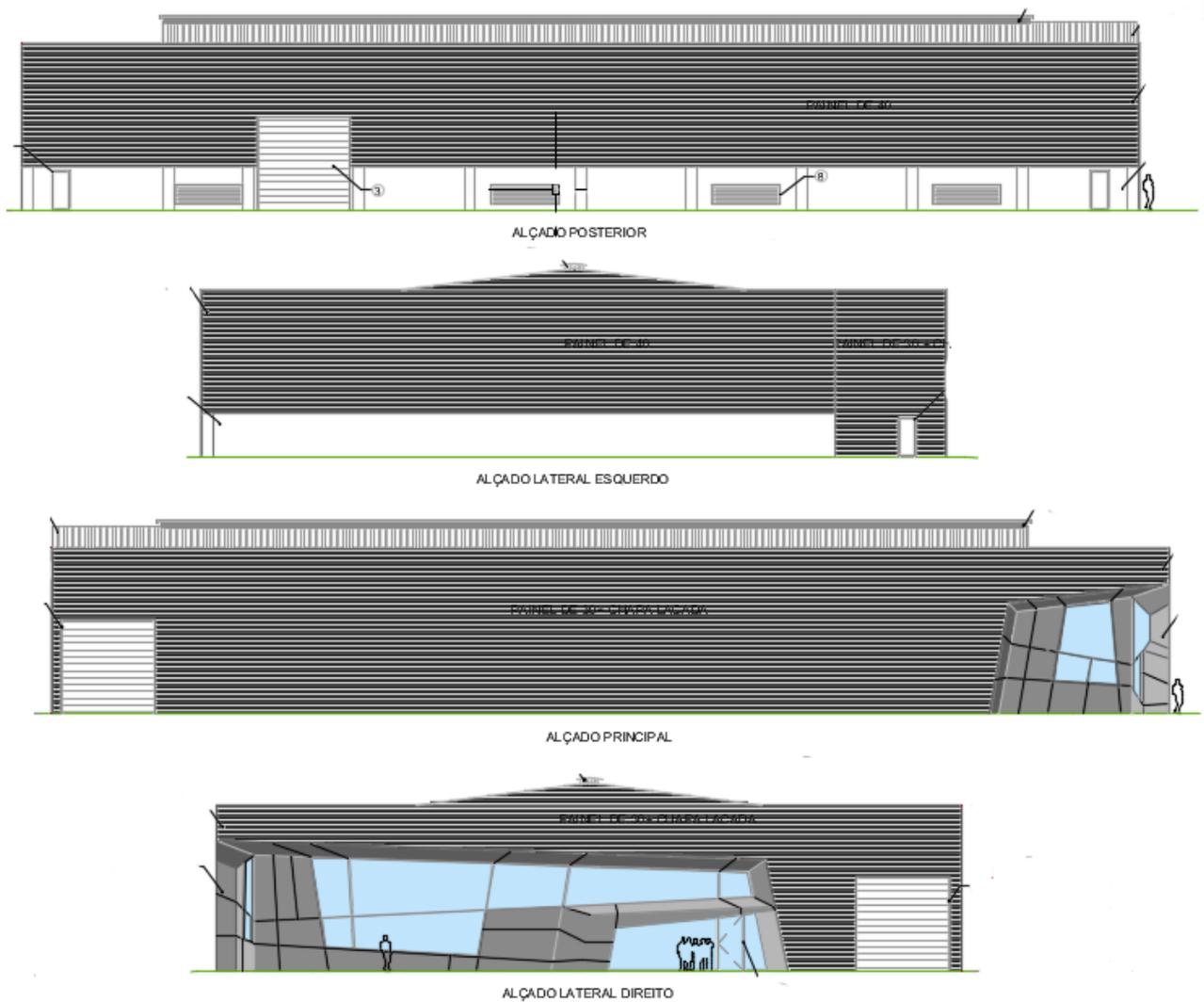


Figura A 1 – Alçados do Pavilhão Industrial

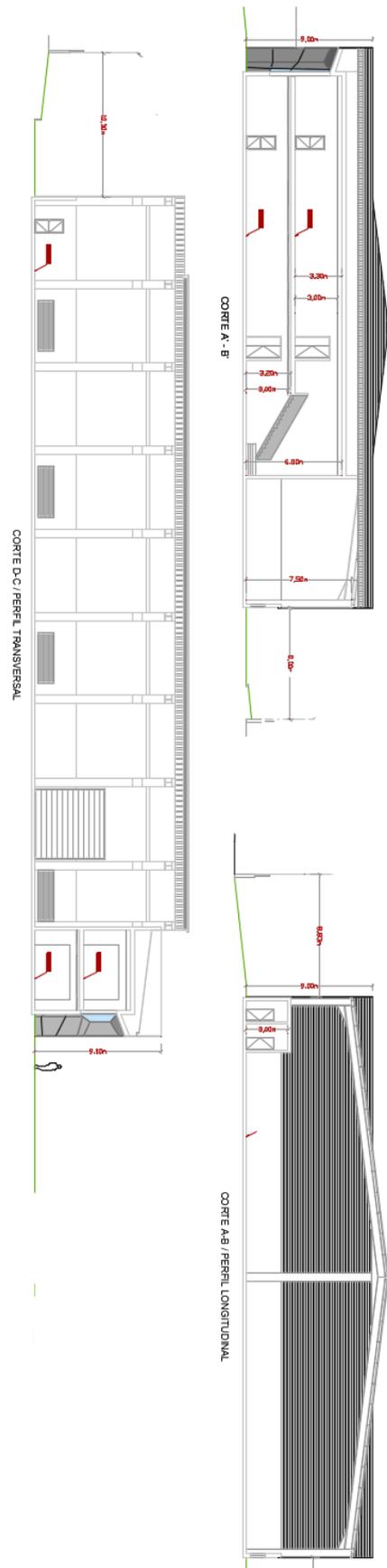


Figura A 2 – conjunto de Vistas de Corte



## A 1.1 Apresentação de resultados de cálculo

Neste capítulo são apresentados os resultados de cálculo para as secções finais, obtidos pela modelação no software *Robot Structural Analysis*, da Autodesk.

Os elementos apresentados, como na Figura A 5, são os que apresentam valores de esforços mais elevados para o tipo função que desempenham, isto é, para os pilares de empena foi escolhido o que tem o rácio resistência/esforço mais elevado, para as anas igualmente assim como para os restantes elementos. Eventualmente poderia haver uma redução de secção para um elemento de um dado grupo, mas por questões arquitetónicas e para facilitar os trabalhos a realizar, uniformizou-se as secções para cada tipologia de elemento.

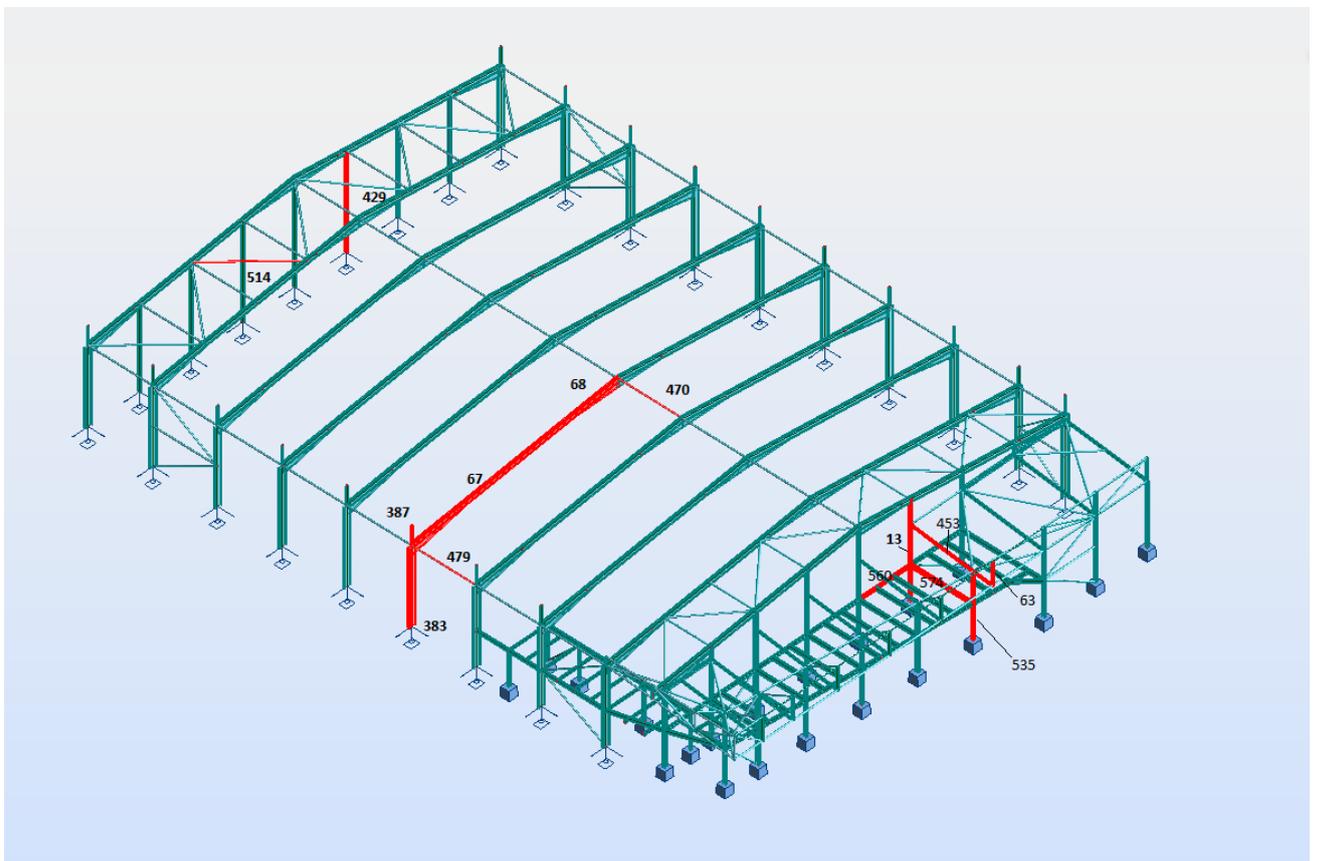


Figura A 5 – Numeração dos Elementos

**CÓDIGO:** EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TIPO DE ANÁLISE:** Verificação de membro

**MEMBRO:** 13

**CARGAS:**

Caso de carga atuante: 49 1.35g+1.50wy++0.90q 1\*1.35+7\*1.50+11\*0.90

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00$  MPa



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: HEA 240**

h=230.0 mm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=240.0 mm	Ay=64.54 cm <sup>2</sup>	Az=25.18 cm <sup>2</sup>	Ax=76.84 cm <sup>2</sup>
tw=7.5 mm	Iy=7763.18 cm <sup>4</sup>	Iz=2768.81 cm <sup>4</sup>	Ix=38.20 cm <sup>4</sup>
tf=12.0 mm	Wply=744.68 cm <sup>3</sup>	Wplz=351.70 cm <sup>3</sup>	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N,Ed = 173.42 kN	My,Ed = 56.50 kN*m	Mz,Ed = 1.23 kN*m	Vy,Ed = 1.41 kN
Nc,Rd = 2112.98 kN	My,Ed,max = 56.50 kN*m		Mz,Ed,max = -
3.29 kN*m	Vy,T,Rd = 1024.44 kN		
Nb,Rd = 1214.05 kN	My,c,Rd = 204.79 kN*m		Mz,c,Rd = 96.72
kN*m	Vz,Ed = -33.97 kN		
	MN,y,Rd = 204.79 kN*m		MN,z,Rd = 96.72
kN*m	Vz,T,Rd = 399.67 kN		
	Mb,Rd = 199.19 kN*m		Tt,Ed = -0.00
kN*m			

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00	Mcr = 1995.18 kN*m	Curva,LT - a	XLT = 0.97
Lcr,upp=3.200 m	Lam_LT = 0.32	fi,LT = 0.56	

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:

Ly = 9.038 m	Lam_y = 1.04
Lcr,y = 9.038 m	Xy = 0.57
Lamy = 89.91	kyy = 0.98



Em torno do eixo z:

Lz = 9.038 m	Lam_z = 0.61
Lcr,z = 3.200 m	Xz = 0.78
Lamz = 53.31	kyz = 0.51

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$$N,Ed/Nc,Rd = 0.08 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(My,Ed/MN,y,Rd)^{2.00} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.00} = 0.09 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$Vy,Ed/Vy,T,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.08 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\text{Tau},ty,Ed/(fy/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\text{Tau},tz,Ed/(fy/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$\lambda_{y,Ed} = 89.91 < \lambda_{y,max} = 200.00$        $\lambda_{z,Ed} = 53.31 < \lambda_{z,max} = 200.00$   
 ESTÁVEL

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.28 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))

$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) +$

$k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.44 < 1.00$  (6.3.3.(4))

$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) +$

$k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.29 < 1.00$  (6.3.3.(4))

**Seção OK !!!**

**MEMBRO: 63**

**CARGAS:**

Caso de carga atuante: 34 1.00g+1.50wy- 1\*1.00+8\*1.50

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )       $f_y = 275.00$  MPa



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 220**

$h=220.0$ mm	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=110.0$ mm	$A_y=22.89$ cm <sup>2</sup>	$A_z=15.88$ cm <sup>2</sup>	$A_x=33.37$ cm <sup>2</sup>
$t_w=5.9$ mm	$I_y=2771.84$ cm <sup>4</sup>	$I_z=204.89$ cm <sup>4</sup>	$I_x=8.86$ cm <sup>4</sup>
$t_f=9.2$ mm	$W_{ply}=285.43$ cm <sup>3</sup>	$W_{plz}=58.11$ cm <sup>3</sup>	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

$N_{Ed} = -7.30$ kN	$M_{y,Ed} = 4.78$ kN*m	$M_{z,Ed} = 0.00$ kN*m	$V_{y,Ed} = 0.00$ kN
$N_{t,Rd} = 917.69$ kN	$M_{y,pl,Rd} = 78.49$ kN*m		$M_{z,pl,Rd} = 15.98$ kN*m
	$V_{y,c,Rd} = 363.46$ kN		
	$M_{y,c,Rd} = 78.49$ kN*m	$M_{z,c,Rd} = 15.98$ kN*m	$V_{z,Ed} = 0.08$ kN
	$MN_{y,Rd} = 78.49$ kN*m		$MN_{z,Rd} = 15.98$ kN*m
$kN*m$	$V_{z,c,Rd} = 252.15$ kN		
	$M_{b,Rd} = 70.86$ kN*m		

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

$z = 1.00$	$M_{cr} = 245.80$ kN*m	Curva,LT - a	$XLT = 0.90$
$L_{cr,upp}=2.104$ m	$\lambda_{m\_LT} = 0.57$	$f_{i,LT} = 0.70$	

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:



Em torno do eixo z:

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.07 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

**Seção OK !!!**

**MEMBRO: 67**

**CARGAS:**

Caso de carga atuante: 29 1.00g+1.50wx+ 1\*1.00+3\*1.50

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00$  MPa



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 500**

h=500.0 mm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=200.0 mm	Ay=72.07 cm <sup>2</sup>	Az=59.87 cm <sup>2</sup>	Ax=115.52 cm <sup>2</sup>
tw=10.2 mm	Iy=48198.50 cm <sup>4</sup>	Iz=2141.69 cm <sup>4</sup>	Ix=89.00 cm <sup>4</sup>
tf=16.0 mm	Wply=2194.26 cm <sup>3</sup>	Wplz=335.89 cm <sup>3</sup>	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N <sub>Ed</sub> = -47.86 kN	M <sub>y,Ed</sub> = -369.16 kN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 0.05 kN*m	V <sub>y,Ed</sub> = -0.00 kN
N <sub>t,Rd</sub> = 3176.86 kN	M <sub>y,pl,Rd</sub> = 603.42 kN*m		M <sub>z,pl,Rd</sub> = 92.37 kN*m
	V <sub>y,T,Rd</sub> = 1143.83 kN		
	M <sub>y,c,Rd</sub> = 603.42 kN*m		M <sub>z,c,Rd</sub> = 92.37 kN*m
	V <sub>z,Ed</sub> = -8.36 kN		
	M <sub>N,y,Rd</sub> = 603.42 kN*m		M <sub>N,z,Rd</sub> = 92.37 kN*m
	V <sub>z,T,Rd</sub> = 950.40 kN		
	M <sub>b,Rd</sub> = 385.27 kN*m		T <sub>t,Ed</sub> = 0.01 kN*m

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00	M <sub>cr</sub> = 689.85 kN*m	Curva,LT - b	XLT = 0.64
L <sub>cr,low</sub> = 9.160 m	L <sub>am_LT</sub> = 0.94	f <sub>i,LT</sub> = 1.06	

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:



Em torno do eixo z:

-----  
-----

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.37 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{xy,Ed}/(\tau_{fy}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{xz,Ed}/(\tau_{fy}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.96 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

**Seção OK !!!**

**MEMBRO:** 68

**CARGAS:**

Caso de carga atuante: 29 1.00g+1.50wx+ 1\*1.00+3\*1.50

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00$  MPa



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 500**

h=500.0 mm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=200.0 mm	Ay=64.00 cm <sup>2</sup>	Az=47.74 cm <sup>2</sup>	Ax=115.52 cm <sup>2</sup>
tw=10.2 mm	Iy=48198.50 cm <sup>4</sup>	Iz=2141.69 cm <sup>4</sup>	Ix=89.00 cm <sup>4</sup>
tf=16.0 mm	Wply=2107.31 cm <sup>3</sup>	Wplz=332.17 cm <sup>3</sup>	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N <sub>Ed</sub> = -48.32 kN	M <sub>y,Ed</sub> = -368.00 kN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 0.05 kN*m	V <sub>y,Ed</sub> = -0.00 kN
N <sub>t,Rd</sub> = 3176.86 kN	M <sub>y,pl,Rd</sub> = 579.51 kN*m		M <sub>z,pl,Rd</sub> = 91.35 kN*m
	V <sub>y,T,Rd</sub> = 1015.66 kN		
	M <sub>y,c,Rd</sub> = 579.51 kN*m		M <sub>z,c,Rd</sub> = 91.35 kN*m
	V <sub>z,Ed</sub> = 9.71 kN		
	M <sub>N,y,Rd</sub> = 579.38 kN*m		M <sub>N,z,Rd</sub> = 91.33 kN*m
	V <sub>z,T,Rd</sub> = 757.68 kN		
	M <sub>b,Rd</sub> = 542.02 kN*m		T <sub>t,Ed</sub> = 0.01 kN*m

Classe da seção =

1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00	M <sub>cr</sub> = 7178.52 kN*m	Curva,LT - d	XLT = 0.94
L <sub>cr,low</sub> =1.832 m	L <sub>am_LT</sub> = 0.28	f <sub>i,LT</sub> = 0.57	

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

Em torno do eixo y:



Em torno do eixo z:

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:****Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd}) = 0.40 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(\tau_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(\tau_z/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.68 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

**Seção OK !!!****MEMBRO: 383****CARGAS:**

Caso de carga atuante: 29 1.00g+1.50wx+ 1\*1.00+3\*1.50

**MATERIAL:**S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00$  MPa**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 600**

h=600.0 mm

g<sub>M0</sub>=1.00g<sub>M1</sub>=1.00

b=220.0 mm

A<sub>y</sub>=94.30 cm<sup>2</sup>A<sub>z</sub>=83.78 cm<sup>2</sup>A<sub>x</sub>=155.98 cm<sup>2</sup>t<sub>w</sub>=12.0 mmI<sub>y</sub>=92083.40 cm<sup>4</sup>I<sub>z</sub>=3387.34 cm<sup>4</sup>I<sub>x</sub>=166.20 cm<sup>4</sup>t<sub>f</sub>=19.0 mmW<sub>ply</sub>=3512.62 cm<sup>3</sup>W<sub>plz</sub>=485.66 cm<sup>3</sup>**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**N<sub>Ed</sub> = -160.37 kNM<sub>y,Ed</sub> = 805.61 kN\*mM<sub>z,Ed</sub> = -0.01 kN\*mV<sub>y,Ed</sub> = 0.00 kNN<sub>t,Rd</sub> = 4289.56 kNM<sub>y,pl,Rd</sub> = 965.97 kN\*mM<sub>z,pl,Rd</sub> =

133.56 kN\*m

V<sub>y,T,Rd</sub> = 1496.94 kNM<sub>z,c,Rd</sub> = 133.56

kN\*m

M<sub>y,c,Rd</sub> = 965.97 kN\*mM<sub>z,c,Rd</sub> = 133.56

kN\*m

V<sub>z,Ed</sub> = 53.57 kNM<sub>N,z,Rd</sub> =

133.56 kN\*m

M<sub>N,y,Rd</sub> = 965.97 kN\*mM<sub>N,z,Rd</sub> =

kN\*m

V<sub>z,T,Rd</sub> = 1330.06 kNT<sub>t,Ed</sub> = -0.01

kN\*m

M<sub>b,Rd</sub> = 947.33 kN\*mT<sub>t,Ed</sub> = -0.01

kN\*m

Classe da seção = 1

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00                      M<sub>cr</sub> = 14947.37 kN\*m    Curva,LT - b                      XLT = 0.98  
 L<sub>cr,upp</sub>=1.200 m              Lam<sub>LT</sub> = 0.25                      f<sub>i,LT</sub> = 0.54

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:



Em torno do eixo z:

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.70 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(\tau_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(\tau_z/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.85 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

**Seção OK !!!**

**MEMBRO: 387**

**CARGAS:**

Caso de carga atuante: 21 1.35g+1.50wx+ 1\*1.35+3\*1.50

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )    f<sub>y</sub> = 275.00 MPa



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 180**

h=180.0 mm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=91.0 mm

A<sub>y</sub>=16.21 cm<sup>2</sup>

A<sub>z</sub>=11.25 cm<sup>2</sup>

A<sub>x</sub>=23.95 cm<sup>2</sup>

tw=5.3 mm

I<sub>y</sub>=1316.96 cm<sup>4</sup>

I<sub>z</sub>=100.85 cm<sup>4</sup>

I<sub>x</sub>=4.90 cm<sup>4</sup>

tf=8.0 mm

W<sub>ply</sub>=166.42 cm<sup>3</sup>

W<sub>plz</sub>=34.60 cm<sup>3</sup>

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N<sub>Ed</sub> = 0.49 kN

M<sub>y,Ed</sub> = -26.24 kN\*m

N<sub>c,Rd</sub> = 658.55 kN

M<sub>y,Ed,max</sub> = -26.24 kN\*m

N<sub>b,Rd</sub> = 646.84 kN

M<sub>y,c,Rd</sub> = 45.77 kN\*m

V<sub>z,Ed</sub> = 29.16 kN

M<sub>N,y,Rd</sub> = 45.77 kN\*m

V<sub>z,c,Rd</sub> = 178.64 kN

M<sub>b,Rd</sub> = 34.38 kN\*m

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

$z = 1.00$                        $M_{cr} = 59.98 \text{ kN}\cdot\text{m}$                       Curva,LT - a                       $XLT = 0.75$   
 $L_{cr,low} = 1.800 \text{ m}$                        $\lambda_{m,LT} = 0.87$                        $f_{i,LT} = 0.95$

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

Em torno do eixo y:

$L_y = 1.800 \text{ m}$                        $\lambda_{m,y} = 0.28$   
 $L_{cr,y} = 1.800 \text{ m}$                        $X_y = 0.98$   
 $\lambda_{m,y} = 24.27$                        $k_{yy} = 1.00$



Em torno do eixo z:

$L_z = 1.800 \text{ m}$                        $\lambda_{m,z} = 0.17$   
 $L_{cr,z} = 0.300 \text{ m}$                        $X_z = 1.00$   
 $\lambda_{m,z} = 14.62$                        $k_{zy} = 0.52$

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:****Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.57 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.16 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\lambda_{m,y} = 24.27 < \lambda_{m,max} = 200.00 \quad \lambda_{m,z} = 14.62 < \lambda_{m,max} = 200.00$$

ESTÁVEL

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.76 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.76 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.40 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!****MEMBRO: 429****CARGAS:**

Caso de carga atuante:  $21 \text{ kN/m} + 1.50 \text{ kN/m} \cdot x + 1 \cdot 1.35 + 3 \cdot 1.50$

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )       $f_y = 275.00 \text{ MPa}$

**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 300**

$h = 300.0 \text{ mm}$                        $g_{M0} = 1.00$                        $g_{M1} = 1.00$   
 $b = 150.0 \text{ mm}$                        $A_y = 36.16 \text{ cm}^2$                        $A_z = 25.68 \text{ cm}^2$                        $A_x = 53.81 \text{ cm}^2$   
 $t_w = 7.1 \text{ mm}$                        $I_y = 8356.11 \text{ cm}^4$                        $I_z = 603.78 \text{ cm}^4$                        $I_x = 19.47 \text{ cm}^4$   
 $t_f = 10.7 \text{ mm}$                        $W_{ply} = 628.40 \text{ cm}^3$                        $W_{plz} = 125.22 \text{ cm}^3$

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

$N_{Ed} = 5.16 \text{ kN}$                        $M_{y,Ed} = -7.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$   
 $N_{c,Rd} = 1479.83 \text{ kN}$                        $M_{y,Ed,max} = -27.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$   
 $N_{b,Rd} = 1146.66 \text{ kN}$                        $M_{y,c,Rd} = 172.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$                        $V_{z,Ed} = -10.38$   
 $\text{kN}$                        $M_{N,y,Rd} = 172.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$                        $V_{z,c,Rd} = 407.75$   
 $\text{kN}$                        $M_{b,Rd} = 44.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00                      M<sub>cr</sub> = 50.18 kN\*m                      Curva,LT - a                      XLT = 0.26  
 L<sub>cr,low</sub>=9.038 m              Lam<sub>LT</sub> = 1.86                      f<sub>i,LT</sub> = 2.40

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:

L<sub>y</sub> = 9.038 m                      Lam<sub>y</sub> = 0.84  
 L<sub>cr,y</sub> = 9.038 m                      X<sub>y</sub> = 0.77  
 Lam<sub>y</sub> = 72.52                      k<sub>yy</sub> = 1.00



Em torno do eixo z:

L<sub>z</sub> = 9.038 m                      Lam<sub>z</sub> = 0.52  
 L<sub>cr,z</sub> = 1.500 m                      X<sub>z</sub> = 0.88  
 Lam<sub>z</sub> = 44.78                      k<sub>zy</sub> = 0.52

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.4.(1))  
 M<sub>y,Ed</sub>/M<sub>y,c,Rd</sub> = 0.04 < 1.00 (6.2.5.(1))  
 V<sub>z,Ed</sub>/V<sub>z,c,Rd</sub> = 0.03 < 1.00 (6.2.6.(1))

**Verificação de estabilidade global de membro:**

Lambda<sub>y</sub> = 72.52 < Lambda<sub>max</sub> = 200.00              Lambda<sub>z</sub> = 44.78 < Lambda<sub>max</sub> = 200.00  
 ESTÁVEL

M<sub>y,Ed,max</sub>/M<sub>b,Rd</sub> = 0.62 < 1.00 (6.3.2.1.(1))  
 N<sub>Ed</sub>/(X<sub>y</sub>\*N<sub>Rk/gM1</sub>) + k<sub>yy</sub>\*M<sub>y,Ed,max</sub>/(XLT\*M<sub>y,Rk/gM1</sub>) = 0.63 < 1.00 (6.3.3.(4))  
 N<sub>Ed</sub>/(X<sub>z</sub>\*N<sub>Rk/gM1</sub>) + k<sub>zy</sub>\*M<sub>y,Ed,max</sub>/(XLT\*M<sub>y,Rk/gM1</sub>) = 0.33 < 1.00 (6.3.3.(4))

**Seção OK !!!**

**MEMBRO: 453**

**CARGAS:**

Caso de carga atuante: 47 1.35g+1.50w-x++0.90q 1\*1.35+5\*1.50+11\*0.90

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )      f<sub>y</sub> = 275.00 MPa



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 220**

h=220.0 mm                      g<sub>M0</sub>=1.00                      g<sub>M1</sub>=1.00  
 b=110.0 mm                      A<sub>y</sub>=22.89 cm<sup>2</sup>                      A<sub>z</sub>=15.88 cm<sup>2</sup>                      A<sub>x</sub>=33.37 cm<sup>2</sup>  
 t<sub>w</sub>=5.9 mm                      I<sub>y</sub>=2771.84 cm<sup>4</sup>                      I<sub>z</sub>=204.89 cm<sup>4</sup>                      I<sub>x</sub>=8.86 cm<sup>4</sup>  
 t<sub>f</sub>=9.2 mm                      W<sub>ply</sub>=285.43 cm<sup>3</sup>                      W<sub>plz</sub>=58.11 cm<sup>3</sup>

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N<sub>Ed</sub> = -0.46 kN                      M<sub>y,Ed</sub> = -27.77 kN\*m                      M<sub>z,Ed</sub> = 0.03 kN\*m                      V<sub>y,Ed</sub> = 0.02 kN  
 N<sub>t,Rd</sub> = 917.69 kN                      M<sub>y,pl,Rd</sub> = 78.49 kN\*m                      M<sub>z,pl,Rd</sub> = 15.98

kN*m	$V_{y,T,Rd} = 362.92 \text{ kN}$		
	$M_{y,c,Rd} = 78.49 \text{ kN*m}$	$M_{z,c,Rd} = 15.98 \text{ kN*m}$	$V_{z,Ed} = 25.50 \text{ kN}$
	$M_{N,y,Rd} = 78.49 \text{ kN*m}$		$M_{N,z,Rd} = 15.98$
kN*m	$V_{z,T,Rd} = 251.91 \text{ kN}$		
	$M_{b,Rd} = 62.84 \text{ kN*m}$		$T_{t,Ed} = 0.01$
kN*m			

Classe da seção = 1

**PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:**

$z = 1.00$	$M_{cr} = 125.35 \text{ kN*m}$	Curva,LT - a	$X_{LT} = 0.80$
$L_{cr,low} = 1.914 \text{ m}$	$\lambda_{m\_LT} = 0.79$	$\phi_{i,LT} = 0.88$	

**PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:**

Em torno do eixo y:



Em torno do eixo z:

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:****Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.13 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.10 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,t,Ed}/(\phi_y/(\sqrt{3}) \cdot g_{M0}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,t,Ed}/(\phi_y/(\sqrt{3}) \cdot g_{M0}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.44 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

**Seção OK !!!****MEMBRO: 470****CARGAS:**Caso de carga atuante:  $52 \text{ kN} + 1.35w + 1.50w_y + 0.90q = 1 \cdot 1.35 + 10 \cdot 1.50 + 11 \cdot 0.90$ **MATERIAL:**S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$   $f_{yA} = 235.00 \text{ MPa}$ **PARÂMETROS DA SEÇÃO: CHS 139.7x5**

$h = 139.7 \text{ mm}$	$g_{M0} = 1.00$	$g_{M1} = 1.00$	
	$A_y = 13.50 \text{ cm}^2$	$A_z = 13.50 \text{ cm}^2$	$A_x = 21.20 \text{ cm}^2$
$t_w = 5.0 \text{ mm}$	$I_y = 481.00 \text{ cm}^4$	$I_z = 481.00 \text{ cm}^4$	$I_x = 962.00 \text{ cm}^4$
	$W_{ply} = 90.76 \text{ cm}^3$	$W_{plz} = 90.76 \text{ cm}^3$	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

$N,Ed = 69.27 \text{ kN}$

$Nc,Rd = 583.00 \text{ kN}$

$Nb,Rd = 185.25 \text{ kN}$

$Vz,Ed = 0.73 \text{ kN}$

$Vz,c,Rd = 214.28$

kN

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:

$L_y = 6.000 \text{ m}$

$Lam_y = 1.34$

$L_{cr,y} = 6.000 \text{ m}$

$X_y = 0.37$

$L_{amy} = 125.96$



Em torno do eixo z:

$L_z = 6.000 \text{ m}$

$Lam_z = 1.34$

$L_{cr,z} = 6.000 \text{ m}$

$X_z = 0.37$

$L_{amz} = 125.96$

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$N,Ed/Nc,Rd = 0.12 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$

$Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$Lambda_y = 125.96 < Lambda_{max} = 200.00$

$Lambda_z = 125.96 < Lambda_{max} =$

200.00 ESTÁVEL

$N,Ed/Nb,Rd = 0.37 < 1.00 \quad (6.3.1.1.(1))$

**Seção OK !!!**

**MEMBRO: 479**

**CARGAS:**

Caso de carga atuante:  $28 \text{ kN/m} + 1.50 \text{ kN/m} \cdot y - 1 \cdot 1.35 + 10 \cdot 1.50$

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$   $f_{ya} = 235.00 \text{ MPa}$



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: CHS 139.7x5**

$h = 139.7 \text{ mm}$

$gM0 = 1.00$

$gM1 = 1.00$

$A_y = 13.50 \text{ cm}^2$

$A_z = 13.50 \text{ cm}^2$

$A_x = 21.20 \text{ cm}^2$

$t_w = 5.0 \text{ mm}$

$I_y = 481.00 \text{ cm}^4$

$I_z = 481.00 \text{ cm}^4$

$I_x = 962.00 \text{ cm}^4$

$W_{ply} = 90.76 \text{ cm}^3$

$W_{plz} = 90.76 \text{ cm}^3$

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

$N,Ed = 16.79 \text{ kN}$

$M_y,Ed = 1.09 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$Nc,Rd = 583.00 \text{ kN}$

$M_y,Ed,max = 1.09 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$N_{b,Rd} = 185.25 \text{ kN} \quad M_{y,c,Rd} = 24.96 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,y,Rd} = 24.90 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Classe da seção = 1

**PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:****PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:**

Em torno do eixo y:

$$L_y = 6.000 \text{ m} \quad \lambda_{m,y} = 1.34$$

$$L_{cr,y} = 6.000 \text{ m} \quad X_y = 0.37$$

$$\lambda_{m,y} = 125.96 \quad k_{yy} = 1.04$$



Em torno do eixo z:

$$L_z = 6.000 \text{ m} \quad \lambda_{m,z} = 1.34$$

$$L_{cr,z} = 6.000 \text{ m} \quad X_z = 0.37$$

$$\lambda_{m,z} = 125.96 \quad k_{zy} = 0.64$$

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:****Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(2))$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\lambda_{m,y} = 125.96 < \lambda_{m,max} = 200.00 \quad \lambda_{m,z} = 125.96 < \lambda_{m,max} = 200.00 \quad \text{ESTÁVEL}$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.12 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.11 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!****MEMBRO: 514****CARGAS:**Caso de carga atuante:  $20 \text{ 1.35g} + 1.50q \quad 1 \cdot 1.35 + (2+11) \cdot 1.50$ **MATERIAL:**S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa} \quad f_{ya} = 235.00 \text{ MPa}$ **PARÂMETROS DA SEÇÃO: CHS 139.7x5**

$$h = 139.7 \text{ mm} \quad g_{M0} = 1.00 \quad g_{M1} = 1.00$$

$$A_y = 13.50 \text{ cm}^2 \quad A_z = 13.50 \text{ cm}^2 \quad A_x = 21.20 \text{ cm}^2$$

$$t_w = 5.0 \text{ mm} \quad I_y = 481.00 \text{ cm}^4 \quad I_z = 481.00 \text{ cm}^4 \quad I_x = 962.00 \text{ cm}^4$$

$$W_{ply} = 90.76 \text{ cm}^3 \quad W_{plz} = 90.76 \text{ cm}^3$$

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

$$N_{Ed} = 36.62 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = 0.49 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} = 583.00 \text{ kN} \quad M_{y,Ed,max} = 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{b,Rd} = 122.27 \text{ kN} \quad M_{y,c,Rd} = 24.96 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{z,Ed} = -0.81 \text{ kN}$$

$$214.28 \text{ kN} \quad MN_{y,Rd} = 24.73 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{z,c,Rd} =$$

Classe da seção = 1



### PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:

#### PARÂMETROS DE ENCURVADURA:



Em torno do eixo y:

$$L_y = 7.834 \text{ m} \quad \lambda_{m,y} = 1.75$$

$$L_{cr,y} = 7.834 \text{ m} \quad \chi_y = 0.25$$

$$\lambda_{m,y} = 164.47 \quad k_{yy} = 1.16$$



Em torno do eixo z:

$$L_z = 7.834 \text{ m} \quad \lambda_{m,z} = 1.75$$

$$L_{cr,z} = 7.834 \text{ m} \quad \chi_z = 0.25$$

$$\lambda_{m,z} = 164.47 \quad k_{zy} = 0.78$$

#### FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:

##### Verificação de resistência de seção:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.06 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$M_{y,Ed}/MN_{y,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(2))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

##### Verificação de estabilidade global de membro:

$$\lambda_{m,y} = 164.47 < \lambda_{m,max} = 200.00 \quad \lambda_{m,z} = 164.47 < \lambda_{m,max} = 200.00 \quad \text{ESTÁVEL}$$

$$N_{Ed}/(\chi_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.34 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(\chi_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.31 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Seção OK !!!

MEMBRO: 535

CARGAS:

Caso de carga atuante:  $37 \cdot 1.35g + 1.50q + 0.90wx + 1 \cdot 1.35 + 11 \cdot 1.50 + 3 \cdot 0.90$

MATERIAL:

S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



#### PARÂMETROS DA SEÇÃO: HEA 240

$$h = 230.0 \text{ mm} \quad gM0 = 1.00 \quad gM1 = 1.00$$

$$b = 240.0 \text{ mm} \quad A_y = 64.54 \text{ cm}^2 \quad A_z = 25.18 \text{ cm}^2 \quad A_x = 76.84 \text{ cm}^2$$

$$t_w = 7.5 \text{ mm} \quad I_y = 7763.18 \text{ cm}^4 \quad I_z = 2768.81 \text{ cm}^4 \quad I_x = 38.20 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 12.0 \text{ mm} \quad W_{ply} = 744.68 \text{ cm}^3 \quad W_{plz} = 351.70 \text{ cm}^3$$

#### FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

$$N_{Ed} = 260.82 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = 27.49 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{z,Ed} = -12.46 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{y,Ed} = 5.68 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 2112.98 \text{ kN} \quad M_{y,Ed,max} = 27.49 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{z,Ed,max} = -$$

12.46 kN*m	$V_{y,T,Rd} = 1024.58 \text{ kN}$	
$N_{b,Rd} = 1641.86 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 204.79 \text{ kN*m}$	$M_{z,c,Rd} = 96.72$
kN*m	$V_{z,Ed} = 13.28 \text{ kN}$	
	$MN_{y,Rd} = 204.79 \text{ kN*m}$	$MN_{z,Rd} = 96.72$
kN*m	$V_{z,T,Rd} = 399.70 \text{ kN}$	
	$M_{b,Rd} = 188.29 \text{ kN*m}$	$T_{t,Ed} = 0.00$
kN*m		

Classe da seção = 1

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

$z = 1.00$	$M_{cr} = 770.90 \text{ kN*m}$	Curva,LT - a	$XLT = 0.92$
$L_{cr,upp} = 3.200 \text{ m}$	$Lam_{LT} = 0.52$	$f_{i,LT} = 0.67$	

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

Em torno do eixo y:

$L_y = 6.090 \text{ m}$	$Lam_y = 0.70$
$L_{cr,y} = 6.090 \text{ m}$	$X_y = 0.78$
$Lam_y = 60.58$	$k_{yy} = 1.06$



Em torno do eixo z:

$L_z = 6.090 \text{ m}$	$Lam_z = 0.61$
$L_{cr,z} = 3.200 \text{ m}$	$X_z = 0.78$
$Lam_z = 53.31$	$k_{yz} = 0.63$

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:****Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.12 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.15 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(\tau_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(\tau_z/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\lambda_{y} = 60.58 < \lambda_{max} = 200.00 \quad \lambda_{z} = 53.31 < \lambda_{max} = 200.00$$

ESTÁVEL

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.15 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.39 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.36 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!****MEMBRO: 560****CARGAS:**Caso de carga atuante:  $37 \text{ 1.35g} + 1.50\text{q} + 0.90\text{wx} + 1 \cdot 1.35 + 11 \cdot 1.50 + 3 \cdot 0.90$ **MATERIAL:**S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 300**

h=300.0 mm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=150.0 mm	Ay=36.16 cm <sup>2</sup>	Az=25.68 cm <sup>2</sup>	Ax=53.81 cm <sup>2</sup>
tw=7.1 mm	Iy=8356.11 cm <sup>4</sup>	Iz=603.78 cm <sup>4</sup>	Ix=19.47 cm <sup>4</sup>
tf=10.7 mm	Wply=628.40 cm <sup>3</sup>	Wplz=125.22 cm <sup>3</sup>	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N,Ed = 17.69 kN	My,Ed = 116.99 kN*m	Mz,Ed = 0.03 kN*m	Vy,Ed = 0.02 kN
Nc,Rd = 1479.83 kN	My,Ed,max = 116.99 kN*m		Mz,Ed,max =
0.05 kN*m	Vy,c,Rd = 574.14 kN		
Nb,Rd = 403.59 kN	My,c,Rd = 172.81 kN*m		Mz,c,Rd = 34.44
kN*m	Vz,Ed = -0.44 kN		
	MN,y,Rd = 172.81 kN*m		MN,z,Rd = 34.44
kN*m	Vz,c,Rd = 407.75 kN		
	Mb,Rd = 127.30 kN*m		

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00	Mcr = 215.29 kN*m	Curva,LT - a	XLT = 0.74
Lcr,upp=5.000 m	Lam_LT = 0.90	fi,LT = 0.97	

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:

Ly = 5.000 m	Lam_y = 0.46
Lcr,y = 5.000 m	Xy = 0.94
Lamy = 40.12	kyy = 1.03



Em torno do eixo z:

Lz = 5.000 m	Lam_z = 1.72
Lcr,z = 5.000 m	Xz = 0.27
Lamz = 149.27	kyz = 1.51

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$$N,Ed/Nc,Rd = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(My,Ed/MN,y,Rd)^{2.00} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.00} = 0.46 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$Vy,Ed/Vy,c,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

$$Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\text{Lambda},y = 40.12 < \text{Lambda},\text{max} = 200.00 \quad \text{Lambda},z = 149.27 < \text{Lambda},\text{max} = 200.00 \quad \text{ESTÁVEL}$$

$$My,Ed,\text{max}/Mb,Rd = 0.92 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed,\text{max}/(XLT*My,Rk/gM1) + kyz*Mz,Ed,\text{max}/(Mz,Rk/gM1) = 0.96 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed,\text{max}/(XLT*My,Rk/gM1) + kzz*Mz,Ed,\text{max}/(Mz,Rk/gM1) = 0.54 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!**

**MEMBRO: 574****CARGAS:**Caso de carga atuante:  $42 \text{ kN/m} + 1.35g + 1.50q + 0.90w_y - 1 \cdot 1.35 + 11 \cdot 1.50 + 8 \cdot 0.90$ **MATERIAL:**S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ **PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 360**

$h=360.0 \text{ mm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=170.0 \text{ mm}$	$A_y=48.84 \text{ cm}^2$	$A_z=35.14 \text{ cm}^2$	$A_x=72.73 \text{ cm}^2$
$t_w=8.0 \text{ mm}$	$I_y=16265.60 \text{ cm}^4$	$I_z=1043.45 \text{ cm}^4$	$I_x=36.20 \text{ cm}^4$
$t_f=12.7 \text{ mm}$	$W_{ply}=1019.22 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=191.10 \text{ cm}^3$	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

$N_{,Ed} = 10.31 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -75.41 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed} = 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,Ed} = -0.01 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 2000.05 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = -75.41 \text{ kN}\cdot\text{m}$		$M_{z,Ed,max} = -$
$0.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,T,Rd} = 774.84 \text{ kN}$		
$N_{b,Rd} = 521.35 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 280.29 \text{ kN}\cdot\text{m}$		$M_{z,c,Rd} = 52.55$
$\text{kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,Ed} = -67.44 \text{ kN}$		
	$M_{N,y,Rd} = 280.29 \text{ kN}\cdot\text{m}$		$M_{N,z,Rd} = 52.55$
$\text{kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,T,Rd} = 557.60 \text{ kN}$		
	$M_{b,Rd} = 176.27 \text{ kN}\cdot\text{m}$		$T_{t,Ed} = 0.01$
$\text{kN}\cdot\text{m}$			

Classe da seção = 1

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

$z = 1.00$	$M_{cr} = 310.46 \text{ kN}\cdot\text{m}$	Curva,LT - b	$X_{LT} = 0.63$
$L_{cr,low} = 5.805 \text{ m}$	$\lambda_{m\_LT} = 0.95$	$f_{i,LT} = 1.08$	

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

Em torno do eixo y:

$L_y = 5.805 \text{ m}$	$\lambda_{m\_y} = 0.45$
$L_{cr,y} = 5.805 \text{ m}$	$X_y = 0.94$
$\lambda_{m_y} = 38.82$	$k_{yy} = 0.98$



Em torno do eixo z:

$L_z = 5.805 \text{ m}$	$\lambda_{m\_z} = 1.77$
$L_{cr,z} = 5.805 \text{ m}$	$X_z = 0.26$
$\lambda_{m_z} = 153.26$	$k_{yz} = 0.72$

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:****Verificação de resistência de seção:**

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.07 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.12 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(f_y/(\sqrt{3})\cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\lambda_{y} = 38.82 < \lambda_{y,max} = 200.00 \quad \lambda_{z} = 153.26 < \lambda_{z,max} = 200.00 \quad \text{ESTÁVEL}$$

$$M_{y,Ed,max} / M_{b,Rd} = 0.43 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed} / (X_y * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{yy} * M_{y,Ed,max} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) +$$

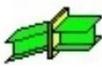
$$k_{yz} * M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.43 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

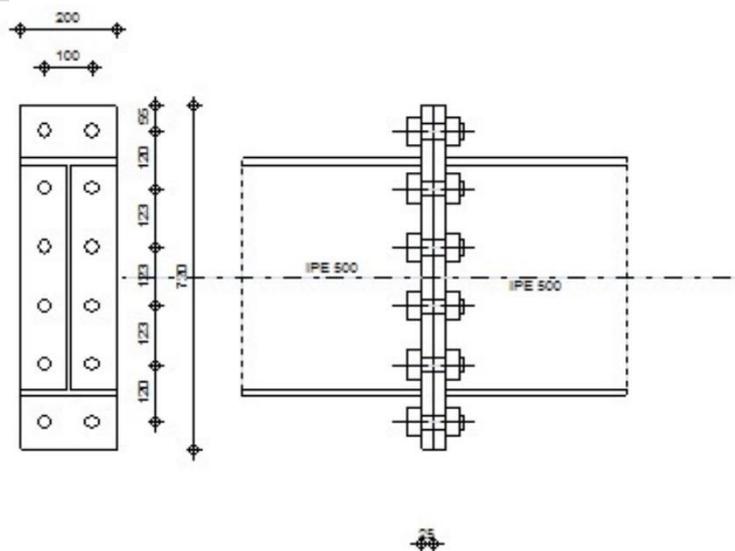
$$N_{Ed} / (X_z * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{zy} * M_{y,Ed,max} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) +$$

$$k_{zz} * M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.24 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!**

## A1.2 Verificação de ligações

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015				
	<b>Projeto de conexão viga-para-viga engastada</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009				
					Relação <b>0,67</b>



### Geral

Nº de conexão: 1  
 Nome da conexão: Beam-Beam  
 Nó estrutural: 42  
 Barras estruturais: 51, 53

### Geometria

#### Lado esquerdo

#### Viga

Seção: IPE 500  
 Barra Nº: 51  
 $\alpha = -180,0$  [Deg] Âng. de inclinação  
 $h_{bl} = 500$  [mm] Altura da seção da viga

$\alpha =$	-180,0	[Deg]	Âng. de inclinação
$b_{fb} =$	200	[mm]	Largura da seção da viga
$t_{wb} =$	10	[mm]	Espessura da alma da seção da viga
$t_{fb} =$	16	[mm]	Espessura da mesa da seção da viga
$r_b =$	21	[mm]	Raio de concordância da seção da viga
$A_b =$	115,52	[cm <sup>2</sup> ]	Área de seção transversal da viga
$I_{xb} =$	48198,50	[cm <sup>4</sup> ]	Momento de inércia da seção da viga
Material: S 275			
$f_{yb} =$	275,00	[MPa]	Resistência

## Lado direito

### Viga

Seção:	IPÉ 500		
Barra N°:	53		
$\alpha =$	-0,0	[Deg]	Âng. de inclinação
$h_{br} =$	500	[mm]	Altura da seção da viga
$b_{fbr} =$	200	[mm]	Largura da seção da viga
$t_{wbr} =$	10	[mm]	Espessura da alma da seção da viga
$t_{fbr} =$	16	[mm]	Espessura da mesa da seção da viga
$r_{br} =$	21	[mm]	Raio de concordância da seção da viga
$A_{br} =$	115,52	[cm <sup>2</sup> ]	Área de seção transversal da viga
$I_{xbr} =$	48198,50	[cm <sup>4</sup> ]	Momento de inércia da seção da viga
Material: S 275			
$f_{yb} =$	275,00	[MPa]	Resistência

### Parafusos

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

$d =$	30	[mm]	Diâmetro do parafuso
Classe =	8.8		Classe do parafuso
$F_{tRd} =$	323,14	[kN]	Resistência à tensão de um parafuso
$n_h =$	2		Número de colunas de parafusos
$n_v =$	6		Número de linhas de parafusos
$h_1 =$	55	[mm]	Distância entre o primeiro parafuso e a borda superior da placa frontal
Espaçamento horizontal $e_i =$	100	[mm]	
Espaçamento vertical $p_i =$	120;123;123;123;120	[mm]	

### Placa

$h_{pr} =$	720	[mm]	Altura da placa
$b_{pr} =$	200	[mm]	Largura da placa
$t_{pr} =$	25	[mm]	Espessura da placa
Material: S 275			
$f_{ypr} =$	275,00	[MPa]	Resistência

### Soldas de concordância

$a_w =$	8	[mm]	Solda da alma
$a_f =$	12	[mm]	Solda da mesa

### Fatores de material

$\gamma_{M0} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M1} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M3} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]

### Cargas

#### Estado limite definitivo

Caso: 29: 1.00g+1.50wx+ 1\*1.00+3\*1.50

$M_{b1,Ed} = 373,05$  [kN\*m] Momento fletor na viga direita  
 $V_{b1,Ed} = 10,30$  [kN] Força de cisalhamento na viga direita  
 $N_{b1,Ed} = 52,49$  [kN] Força axial na viga direita

## Resultados

### Resistências da viga

#### TRAÇÃO

$A_b = 115,52$  [cm<sup>2</sup>] Área EN1993-1-1:[6.2.3]

$N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$

$N_{tb,Rd} = 3176,86$  [kN] Resistência do projeto da seção à tração EN1993-1-1:[6.2.3]

#### CISALHAMENTO

$A_{vb} = 59,87$  [cm<sup>2</sup>] Área de cisalhamento EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$

$V_{cb,Rd} = 950,63$  [kN] Resistência do projeto da seção ao cisalhamento EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$   $0,01 < 1,00$  **verificado** (0,01)

#### FLEXÃO - MOMENTO PLÁSTICO (SEM REFORÇOS)

$W_{plb} = 2194,26$  [cm<sup>3</sup>] Módulo plástico da seção EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$

$M_{b,pl,Rd} = 603,4$  [kN\*m] Resistência plástica da seção em flexão (sem EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]  
2 ] enrijecedores)

#### FLEXÃO NA SUPERFÍCIE DE CONTATO COM A PLACA OU COM O ELEMENTO CONECTADO

$W_{pl} = 2194,26$  [cm<sup>3</sup>] Módulo plástico da seção EN1993-1-1:[6.2.5]

$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$

$M_{cb,Rd} = 603,42$  [kN\*m] Resistência do projeto da seção em flexão EN1993-1-1:[6.2.5]

#### MESA E ALMA - COMPRESSÃO

$M_{cb,Rd} = 603,42$  [kN\*m] Resistência do projeto da seção em flexão EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_f = 484$  [mm] Distância entre os centroides das mesas [6.2.6.7.(1)]

$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$

$F_{c,fb,Rd} = 1246,74$  [kN] Resistência da mesa e da alma comprimidas [6.2.6.7.(1)]

## Parâmetros geométricos da conexão

### COMPRIMENTOS EFETIVOS E PARAMETROS - PLACA DIANTEIRA

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
1	36	41	50	55	126	230	100	100	100	-	-	-	-
2	36	-	50	-	123	225	231	225	231	236	190	190	190
3	36	-	50	-	123	225	206	206	206	246	123	123	123
4	36	-	50	-	123	225	206	206	206	246	123	123	123
5	36	-	50	-	123	225	206	206	206	236	164	164	164
6	36	40	50	56	124	227	100	100	100	-	-	-	-

m – Distância entre o parafuso e a alma

m<sub>x</sub> – Distância entre o parafuso e a mesa da viga

e – Distância entre o parafuso e a borda exterior

e<sub>x</sub> – Distância entre o parafuso e a borda exterior horizontal

p – Distância entre parafusos

l<sub>eff,cp</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso no modo de falha circular

l<sub>eff,nc</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso no modo de falha não circular

l<sub>eff,1</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso para o modo 1

l<sub>eff,2</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso para o modo 2

l<sub>eff,cp,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos no modo de falha circular

l<sub>eff,nc,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos no modo de falha não circular

l<sub>eff,1,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos para o modo 1

l<sub>eff,2,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos para o modo 2

### Resistência da conexão à tração

$F_{t,Rd} = 323,14$ [kN] Resistência do parafuso a tensão	[Tabela 3.4]
$B_{p,Rd} = 729,48$ [kN] Resistência do parafuso ao cisalhamento de punção	[Tabela 3.4]
$N_{j,Rd} = \text{Min}(N_{tb,Rd}, n_v n_h F_{t,Rd}, n_v n_h B_{p,Rd})$	
$N_{j,Rd} = 3176,86$ [kN] Resistência da conexão à tração	[6.2]
$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$	$0,02 < 1,00$ <b>verificado</b> (0,02)

## Resistência da conexão à flexão

$F_{t,Rd} = 323,14$ [kN] Resistência do parafuso a tensão	[Tabela 3.4]
$B_{p,Rd} = 729,48$ [kN] Resistência do parafuso ao cisalhamento de punção	[Tabela 3.4]
$F_{t,fc,Rd}$	– resistência da mesa da coluna devida a flexão
$F_{t,wc,Rd}$	– resistência da alma do pilar devida a tensão
$F_{t,ep,Rd}$	– resistência da placa frontal devida a flexão
$F_{t,wb,Rd}$	– resistência da alma em tensão
$F_{t,fc,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd})$	[6.2.6.4], [Tab.6.2]
$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$	[6.2.6.3.(1)]
$F_{t,ep,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$	[6.2.6.5], [Tab.6.2]
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$	[6.2.6.8.(1)]

### RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 1

$F_{t1,Rd,comp}$ - Fórmula	$F_{t1,Rd,comp}$	Componente
$F_{t1,Rd} = \text{Min}(F_{t1,Rd,comp})$	414,92	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,ep,Rd(1)} = 414,92$	414,92	Placa dianteira - tração
$B_{p,Rd} = 1458,96$	1458,96	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$F_{c,fb,Rd} = 1246,74$	1246,74	Mesa da viga - compressão

### RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 2

$F_{t2,Rd,comp}$ - Fórmula	$F_{t2,Rd,comp}$	Componente
$F_{t2,Rd} = \text{Min}(F_{t2,Rd,comp})$	605,32	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,ep,Rd(2)} = 605,32$	605,32	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(2)} = 631,82$	631,82	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 1458,96$	1458,96	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 1246,74 - 414,92$	831,82	Mesa da viga - compressão

### RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 3

$F_{t3,Rd,comp}$ - Fórmula	$F_{t3,Rd,comp}$	Componente
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	226,50	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,ep,Rd(3)} = 578,41$	578,41	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(3)} = 577,54$	577,54	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 1458,96$	1458,96	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 1246,74 - 1020,24$	226,50	Mesa da viga - compressão
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 1051,24 - 605,32$	445,93	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 877,14 - 605,32$	271,82	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 1051,24 - 605,32$	445,93	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 877,14 - 605,32$	271,82	Alma da viga - tração - grupo

### RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 4

$F_{t4,Rd,comp}$ - Fórmula	$F_{t4,Rd,comp}$	Componente
$F_{t4,Rd} = \text{Min}(F_{t4,Rd,comp})$	0,00	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,ep,Rd(4)} = 578,41$	578,41	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(4)} = 577,54$	577,54	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 1458,96$	1458,96	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 1246,74 - 1246,74$	0,00	Mesa da viga - compressão
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 980,17 - 226,50$	753,67	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 690,03 - 226,50$	463,53	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 1541,33 - 831,82$	709,51	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 1222,16 - 831,82$	390,34	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 1541,33 - 831,82$	709,51	Placa dianteira - tração - grupo

$F_{t4,Rd,comp}$ - Fórmula	$F_{t4,Rd,comp}$	Componente
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{tj,Rd} = 1222,16 - 831,82$	390,34	Alma da viga - tração - grupo

Os parafusos remanescentes são inativos (não transferem cargas) porque a resistência de um dos componentes de conexão está esgotado ou os parafusos se situam abaixo do centro de rotação.

#### TABELA DE RESUMO DAS FORÇAS

Nr	$h_j$	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	547	414,92	-	-	414,92	-	646,27	1458,96
2	427	605,32	-	-	605,32	631,82	646,27	1458,96
3	304	226,50	-	-	578,41	577,54	646,27	1458,96
4	181	-	-	-	578,41	577,54	646,27	1458,96
5	58	-	-	-	578,41	577,54	646,27	1458,96
6	-62	-	-	-	425,19	-	646,27	1458,96

#### RESISTÊNCIA DA CONEXÃO À FLEXÃO $M_{j,Rd}$

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 554,29 \text{ [kN*m]} \text{ Resistência da conexão à flexão} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,67 < 1,00 \quad \text{verificado} \quad (0,67)$$

#### Resistência da conexão ao cisalhamento

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coeficiente para o cálculo de } F_{v,Rd} \quad [Tabela 3.4]$$

$$\beta_{Lf} = 0,97 \quad \text{Coeficiente de redução para as conexões longas} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = 209,72 \text{ [kN]} \text{ Resistência de um parafuso ao cisalhamento} \quad [Tabela 3.4]$$

$$F_{t,Rd,max} = 323,14 \text{ [kN]} \text{ Resistência de um parafuso à tensão} \quad [Tabela 3.4]$$

$$F_{b,Rd,int} = 620,57 \text{ [kN]} \text{ Resistência portante de um parafuso intermediário} \quad [Tabela 3.4]$$

$$F_{b,Rd,ext} = 358,33 \text{ [kN]} \text{ Resistência portante do parafuso mais externo} \quad [Tabela 3.4]$$

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	646,27	8,75	414,92	279,25	288,00	285,92
2	646,27	8,75	605,32	407,40	416,14	226,52
3	646,27	8,75	226,50	152,44	161,19	344,71
4	646,27	8,75	0,00	0,00	8,75	415,38
5	646,27	8,75	0,00	0,00	8,75	415,38
6	646,27	8,75	0,00	0,00	8,75	415,38

$F_{tj,Rd,N}$  – Resistência da linha de parafusos para tensão simples

$F_{tj,Ed,N}$  – Força em uma linha de parafusos devido à força axial

$F_{tj,Rd,M}$  – Resistência da linha de parafusos para flexão simples

$F_{tj,Ed,M}$  – Força em uma linha de parafusos devido ao momento

$F_{tj,Ed}$  – Força de tração máximo em uma linha de parafusos

$F_{vj,Rd}$  – Resistência reduzida da linha de parafusos

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

$$F_{vj,Rd} = \text{Min} (n_h F_{v,Ed} (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 n_h F_{t,Rd,max})), n_h F_{v,Rd}, n_h F_{b,Rd})$$

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd} \quad [Tabela 3.4]$$

$$V_{j,Rd} = 2103,27 \text{ [kN]} \text{ Resistência da conexão ao cisalhamento} \quad [Tabela 3.4]$$

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,00 < 1,00 \quad \text{verificado} \quad (0,00)$$

#### Verificação da disposição dos parafusos devido a deslizamento em conexão protendida

$$k_s = 1,00 \quad \text{Coeficiente para o cálculo de } F_{s,Rd} \quad [3.9.1]$$

$$\mu = 0,30 \quad \text{Coeficiente de fricção} \quad [3.9.1]$$

$$F_{p,C} = 314,16 \text{ [kN]} \text{ Resistência de um parafuso ao deslizamento} \quad [3.9.1]$$

$$V_{sj,Rd} = k_s n_h n_v \mu F_{p,C} / \gamma_{M3} \quad [3.9.1]$$

$$V_{sj,Rd} = 904,78 \text{ [kN]} \text{ Resistência da conexão ao deslizamento} \quad [3.9]$$

$V_{b1,Ed} / V_{sj,Rd} \leq 1,0$	$0,01 < 1,00$	verificado	(0,01)
----------------------------------	---------------	------------	--------

## Resistência da solda

$A_w =$	151,63 [cm <sup>2</sup> ]	Área de todas as soldas	[4.5.3.2(2)]
$A_{wy} =$	83,47 [cm <sup>2</sup> ]	Área das soldas horizontais	[4.5.3.2(2)]
$A_{wz} =$	68,16 [cm <sup>2</sup> ]	Área das soldas verticais	[4.5.3.2(2)]
$I_{wy} =$	60214,90 [cm <sup>4</sup> ]	Momento de inercia da disposição de soldas com relação ao eixo horizontal	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp max} = \tau_{\perp max}$	115,61 [MPa]	Tensão normal em uma solda	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp}$	96,77 [MPa]	Tensão na solda vertical	[4.5.3.2(5)]
$\tau_{\parallel}$	1,51 [MPa]	Tensão tangente	[4.5.3.2(5)]
$\beta_w =$	0,85	Coefficiente de correlação	[4.5.3.2(7)]
$\sqrt{[\sigma_{\perp max}^2 + 3*(\tau_{\perp max}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	231,22 < 404,71	verificado	(0,57)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	193,56 < 404,71	verificado	(0,48)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9*f_u/\gamma_{M2}$	115,61 < 309,60	verificado	(0,37)

## Rigidez da conexão

$t_{wash} =$	6 [mm]	Espessura da arruela	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	21 [mm]	Altura da cabeça do parafuso	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	30 [mm]	Altura da porca do parafuso	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	79 [mm]	Comprimento do parafuso	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	11 [mm]	Coefficiente de rigidez dos parafusos	[6.3.2.(1)]

### RIGIDEZ DAS LINHAS DE PARAFUSOS

Nr	h <sub>j</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>eff,j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub> <sup>2</sup>
					Soma	103,03	3997,42
1	547	∞	∞	20	5	29,01	1586,93
2	427	∞	∞	58	8	35,00	1494,56
3	304	∞	∞	38	7	21,60	656,70
4	181	∞	∞	38	7	12,86	232,80
5	58	∞	∞	50	8	4,56	26,43

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$Z_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j^2 / \sum_j k_{eff,j} h_j$$

$$Z_{eq} = 388 \text{ [mm]} \quad \text{Braço da força equivalente} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j / Z_{eq}$$

$$k_{eq} = 27 \text{ [mm]} \quad \text{Coefficiente de rigidez equivalente em uma disposição de parafusos} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E Z_{eq}^2 k_{eq} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 839458,05 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidez rotacional inicial} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,03 \quad \text{Coefficiente de rigidez de uma conexão} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 818197,71 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidez rotacional final} \quad [6.3.1.(4)]$$

### Classificação da conexão devido à rigidez.

$$S_{j,rig} = 192816,78 \text{ [kN*m]} \quad \text{Resistência de uma conexão rígida} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 12051,05 \text{ [kN*m]} \quad \text{Resistência de uma conexão rotulada} \quad [5.2.2.5]$$

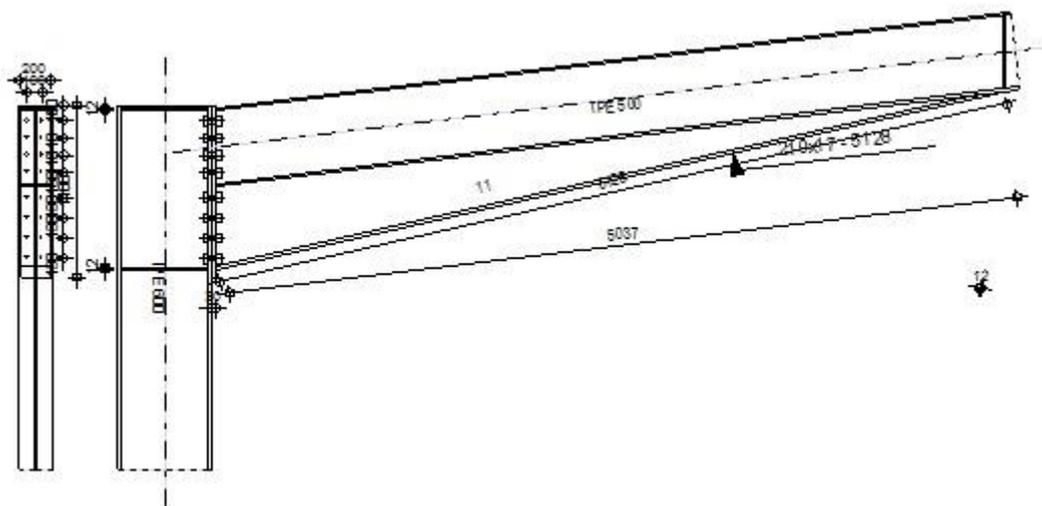
$$S_{j,ini} \leq S_{j,rig} \quad \text{RÍGIDO}$$

## Componente mais fraco:

MESA E ALMA DA VIGA - COMPRESSÃO

**A conexão está em conformidade com a norma.** Relação 0,67

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015	
	<b>Projeto de conexão viga-para-coluna engastada</b>	
	EN 1993-1-8:2005/AC:2009	



## Geral

N° de conexão: 2  
 Nome da conexão: Frame knee  
 Nó estrutural: 489  
 Barras estruturais: 383, 67

## Geometria

### Coluna

Seção: IPE 600  
 Barra N°: 383  
 $\alpha = -90,0$  [Deg] Âng. de inclinação  
 $h_c = 600$  [mm] Altura da seção da coluna  
 $b_{fc} = 220$  [mm] Largura da seção da coluna  
 $t_{wc} = 12$  [mm] Espessura da alma da seção da coluna  
 $t_{fc} = 19$  [mm] Espessura da mesa da seção da coluna  
 $r_c = 24$  [mm] Raio de concordância de seção da coluna  
 $A_c = 155,98$  [cm<sup>2</sup>] Área de seção transversal do pilar  
 $I_{xc} = 92083,40$  [cm<sup>4</sup>] Momento de inércia da seção do pilar  
 Material: S 275  
 $f_{yc} = 275,00$  [MPa] Resistência

### Viga

Seção: IPE 500  
 Barra N°: 67  
 $\alpha = 7,0$  [Deg] Âng. de inclinação  
 $h_b = 500$  [mm] Altura da seção da viga

$\alpha =$	7,0	[Deg]	Âng. de inclinação
$b_f =$	200	[mm]	Largura da seção da viga
$t_{wb} =$	10	[mm]	Espessura da alma da seção da viga
$t_{fb} =$	16	[mm]	Espessura da mesa da seção da viga
$r_b =$	21	[mm]	Raio de concordância da seção da viga
$r_b =$	21	[mm]	Raio de concordância da seção da viga
$A_b =$	115,52	[cm <sup>2</sup> ]	Área de seção transversal da viga
$I_{xb} =$	48198,50	[cm <sup>4</sup> ]	Momento de inércia da seção da viga
Material:	S 275		
$f_{yb} =$	275,00	[MPa]	Resistência

## Parafusos

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

$d =$	30	[mm]	Diâmetro do parafuso
Classe =	10.9		Classe do parafuso
$F_{tRd} =$	403,92	[kN]	Resistência à tensão de um parafuso
$n_h =$	2		Número de colunas de parafusos
$n_v =$	8		Número de linhas de parafusos
$h_1 =$	100	[mm]	Distância entre o primeiro parafuso e a borda superior da placa frontal
Espaçamento horizontal $e_i =$	100	[mm]	
Espaçamento vertical $p_i =$	110;110;110;160;130;130;130	[mm]	

## Placa

$h_p =$	1100	[mm]	Altura da placa
$b_p =$	200	[mm]	Largura da placa
$t_p =$	30	[mm]	Espessura da placa
Material:	S 275		
$f_{yp} =$	275,00	[MPa]	Resistência

## Enrijecedor inferior

$w_d =$	210	[mm]	Largura da placa
$t_{fd} =$	17	[mm]	Espessura da mesa
$h_d =$	525	[mm]	Altura da placa
$t_{wd} =$	11	[mm]	Espessura da alma
$l_d =$	5037	[mm]	Comprimento da placa
$\alpha =$	12,8	[Deg]	Âng. de inclinação
Material:	S 275		
$f_{ybu} =$	235,00	[MPa]	Resistência

## Enrijecedor da coluna

### Superior

$h_{su} =$	562	[mm]	Altura do enrijecedor
$b_{su} =$	104	[mm]	Largura do enrijecedor
$t_{hu} =$	12	[mm]	Espessura do enrijecedor
Material:	S 275		
$f_{ysu} =$	275,00	[MPa]	Resistência

### Inferior

$h_{sd} =$	562	[mm]	Altura do enrijecedor
$b_{sd} =$	104	[mm]	Largura do enrijecedor
$t_{hd} =$	12	[mm]	Espessura do enrijecedor
Material:	S 275		
$f_{ysu} =$	275,00	[MPa]	Resistência

## Soldas de concordância

$a_w =$	8	[mm]	Solda da alma
$a_f =$	12	[mm]	Solda da mesa
$a_s =$	8	[mm]	Solda do enrijecedor

$a_w =$	8	[mm]	Solda da alma
$a_{fd} =$	5	[mm]	Solda horizontal

## Fatores de material

$\gamma_{M0} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M1} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M3} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]

## Cargas

### Estado limite definitivo

Caso: 29:  $1.00g + 1.50w_x + 1 * 1.00 + 3 * 1.50$

$M_{b1,Ed} = -831,85$	[kN*m]	Momento fletor na viga direita
$V_{b1,Ed} = -161,81$	[kN]	Força de cisalhamento na viga direita
$N_{b1,Ed} = 24,41$	[kN]	Força axial na viga direita
$M_{c1,Ed} = -805,61$	[kN*m]	Momento fletor no pilar inferior
$V_{c1,Ed} = -53,57$	[kN]	Força de cisalhamento no pilar inferior
$N_{c1,Ed} = 160,37$	[kN]	Força axial no pilar inferior
$M_{c2,Ed} = 26,24$	[kN*m]	Momento fletor no pilar superior
$V_{c2,Ed} = 29,16$	[kN]	Força de cisalhamento no pilar superior
$N_{c2,Ed} = -0,37$	[kN]	Força axial no pilar superior

## Resultados

### Resistências da viga

#### TRAÇÃO

$A_b = 115,52$	[cm <sup>2</sup> ]	Área	EN1993-1-1:[6.2.3]
$N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$			
$N_{tb,Rd} = 3176,86$	[kN]	Resistência do projeto da seção à tração	EN1993-1-1:[6.2.3]

#### CISALHAMENTO

$A_{vb} = 116,10$	[cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$			
$V_{cb,Rd} = 1843,36$	[kN]	Resistência do projeto da seção ao cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]
$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$		$0,09 < 1,00$	verificado (0,09)

#### FLEXÃO - MOMENTO PLÁSTICO (SEM REFORÇOS)

$W_{plb} = 2194,26$	[cm <sup>3</sup> ]	Módulo plástico da seção	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$			
$M_{b,pl,Rd} = \frac{603,4}{2}$	[kN*m]	Resistência plástica da seção em flexão (sem enrijecedores)	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

#### FLEXÃO NA SUPERFÍCIE DE CONTATO COM A PLACA OU COM O ELEMENTO CONECTADO

$W_{pl} = 5071,78$	[cm <sup>3</sup> ]	Módulo plástico da seção	EN1993-1-1:[6.2.5]
$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$			
$M_{cb,Rd} = 1394,74$	[kN*m]	Resistência do projeto da seção em flexão	EN1993-1-1:[6.2.5]

#### MESA E ALMA - COMPRESSÃO

$M_{cb,Rd} = 1394,74$	[kN*m]	Resistência do projeto da seção em flexão	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_f = 1012$	[mm]	Distância entre os centroides das mesas	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$			
$F_{c,fb,Rd} = 1378,11$	[kN]	Resistência da mesa e da alma comprimidas	[6.2.6.7.(1)]

### Resistências da coluna

#### PANEL DA ALMA - CISALHAMENTO

$M_{b1,Ed} = -831,85$	[kN*m]	Momento fletor (viga direita)	[5.3.(3)]
$M_{b2,Ed} = 0,00$	[kN*m]	Momento fletor (viga esquerda)	[5.3.(3)]
$V_{c1,Ed} = -53,57$	[kN]	Força de cisalhamento (coluna inferior)	[5.3.(3)]
$V_{c2,Ed} = 29,16$	[kN]	Força de cisalhamento (coluna superior)	[5.3.(3)]
$z = 887$	[mm]	Braço da alavanca	[6.2.5]

$M_{b1,Ed} = -831,85$ [kN*m]	Momento fletor (viga direita)	[5.3.(3)]
$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / Z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$		
$V_{wp,Ed} = -896,52$ [kN]	Força de cisalhamento no painel da alma	[5.3.(3)]
$A_{vs} = 83,78$ [cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento da alma do pilar	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$A_{vc} = 83,78$ [cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$d_s = 1048$ [mm]	Distância entre os centroides dos enrijecedores	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,fc,Rd} = 5,46$ [kN*m]	Resistência plástica da mesa da coluna em flexão	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,stu,Rd} = 2,18$ [kN*m]	Resistência plástica do enrijecedor transversal superior em flexão	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,sti,Rd} = 2,18$ [kN*m]	Resistência plástica do enrijecedor transversal inferior em flexão	[6.2.6.1.(4)]
$V_{wp,Rd} = 0.9 (A_{vs} \cdot f_{y,wc}) / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) + \text{Min}(4 M_{pl,fc,Rd} / d_s, (2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sti,Rd}) / d_s)$		
$V_{wp,Rd} = 1211,80$ [kN]	Resistência do painel da alma do pilar em cisalhamento	[6.2.6.1]
$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0$	$0,74 < 1,00$ <b>verificado</b>	(0,74)

**ALMA - COMPRESSÃO TRANSVERSAL - NÍVEL DA MESA SUPERIOR DA VIGA**

Apoios:

$t_{wc} = 12$ [mm]	Espessura efetiva da alma do pilar	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,wc} = 298$ [mm]	Largura efetiva da alma em compressão	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} = 83,78$ [cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega = 0,90$	Fator de redução para a interação com o cisalhamento	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} = 214,56$ [MPa]	Tensão de compressão máxima na alma	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} = 0,92$	Fator de redução condicionado pelas tensões de compressão	[6.2.6.2.(2)]
$A_s = 24,96$ [cm <sup>2</sup> ]	Área do enrijecedor da alma	EN1993-1-1:[6.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$		
$F_{c,wc,Rd1} = 1499,92$ [kN]	Resistência da alma do pilar	[6.2.6.2.(1)]
Flambagem:		
$d_{wc} = 514$ [mm]	Altura da alma comprimida	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p = 1,10$	Esbeltez da placa de um elemento	[6.2.6.2.(1)]
$\rho = 0,74$	Fator de redução para a flambagem do elemento	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_s = 7,87$	Esbeltez do enrijecedor	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$\chi_s = 1,00$	Coeficiente de flambagem do enrijecedor	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$		
$F_{c,wc,Rd2} = 1291,44$ [kN]	Resistência da alma do pilar	[6.2.6.2.(1)]
Resistência final:		
$F_{c,wc,Rd,upp} = \text{Min}(F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$		
$F_{c,wc,Rd,upp} = 1291,44$ [kN]	Resistência da alma do pilar	[6.2.6.2.(1)]

**Parâmetros geométricos da conexão****COMPRIMENTOS EFETIVOS E PARÂMETROS - MESA DA COLUNA**

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
1	25	-	60	-	130	156	182	156	182	208	160	160	160
2	25	-	60	-	130	156	174	156	174	260	130	130	130
3	25	-	60	-	130	156	174	156	174	260	130	130	130
4	25	-	60	-	145	156	174	156	174	290	145	145	145
5	25	-	60	-	135	156	174	156	174	270	135	135	135
6	25	-	60	-	110	156	174	156	174	220	110	110	110
7	25	-	60	-	110	156	174	156	174	220	110	110	110

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
8	25	-	60	-	110	156	173	156	173	188	141	141	141

**COMPRIMENTOS EFETIVOS E PARAMETROS - PLACA DIANTEIRA**

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
1	36	-	50	-	130	225	228	225	228	243	190	190	190
2	36	-	50	-	130	225	206	206	206	260	130	130	130
3	36	-	50	-	130	225	206	206	206	260	130	130	130
4	36	-	50	-	145	225	206	206	206	290	145	145	145
5	36	-	50	-	135	225	206	206	206	270	135	135	135
6	36	-	50	-	110	225	206	206	206	220	110	110	110
7	36	-	50	-	110	225	206	206	206	220	110	110	110
8	36	-	50	-	110	225	206	206	206	223	158	158	158

- m – Distância entre o parafuso e a alma
- m<sub>x</sub> – Distância entre o parafuso e a mesa da viga
- e – Distância entre o parafuso e a borda exterior
- e<sub>x</sub> – Distância entre o parafuso e a borda exterior horizontal
- p – Distância entre parafusos
- l<sub>eff,cp</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso no modo de falha circular
- l<sub>eff,nc</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso no modo de falha não circular
- l<sub>eff,1</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso para o modo 1
- l<sub>eff,2</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso para o modo 2
- l<sub>eff,cp,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos no modo de falha circular
- l<sub>eff,nc,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos no modo de falha não circular
- l<sub>eff,1,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos para o modo 1
- l<sub>eff,2,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos para o modo 2

**Resistência da conexão à tração**

$F_{t,Rd} = 403,92$  [kN] Resistência do parafuso a tensão [Tabela 3.4]  
 $B_{p,Rd} = 554,40$  [kN] Resistência do parafuso ao cisalhamento de punção [Tabela 3.4]  
 $N_{j,Rd} = \text{Min} (N_{tb,Rd}, N_v N_h F_{t,Rd}, N_v N_h B_{p,Rd})$   
 $N_{j,Rd} = 3176,86$  [kN] Resistência da conexão à tração [6.2]  
 $N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$        $0,01 < 1,00$       **verificado**      (0,01)

**Resistência da conexão à flexão**

$F_{t,Rd} = 403,92$  [kN] Resistência do parafuso a tensão [Tabela 3.4]  
 $B_{p,Rd} = 554,40$  [kN] Resistência do parafuso ao cisalhamento de punção [Tabela 3.4]  
 $F_{t,fc,Rd}$  – resistência da mesa da coluna devida a flexão  
 $F_{t,wc,Rd}$  – resistência da alma do pilar devida a tensão  
 $F_{t,ep,Rd}$  – resistência da placa frontal devida a flexão  
 $F_{t,wb,Rd}$  – resistência da alma em tensão  
 $F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd})$  [6.2.6.4], [Tab.6.2]  
 $F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$  [6.2.6.3.(1)]  
 $F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$  [6.2.6.5], [Tab.6.2]  
 $F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$  [6.2.6.8.(1)]

**RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 1**

F <sub>t1,Rd,comp</sub> - Fórmula	F <sub>t1,Rd,comp</sub>	Componente
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	498,34	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(1)} = 610,79$	610,79	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(1)} = 498,34$	498,34	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(1)} = 798,36$	798,36	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(1)} = 631,82$	631,82	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 1108,81$	1108,81	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta = 1211,80$	1211,80	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} = 1291,44$	1291,44	Alma do pilar - compressão

<b>F<sub>t1,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t1,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{c,fb,Rd} = 1378,11$	1378,11	Mesa da viga - compressão
<b>RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 2</b>		
<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{t2,Rd} = \text{Min}(F_{t2,Rd,comp})$	366,59	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(2)} = 603,76$	603,76	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(2)} = 498,34$	498,34	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(2)} = 764,69$	764,69	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(2)} = 577,54$	577,54	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 1108,81$	1108,81	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^1 F_{ti,Rd} = 1211,80 - 498,34$	713,47	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1291,44 - 498,34$	793,10	Alma do pilar - compressão
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1378,11 - 498,34$	879,78	Mesa da viga - compressão
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1155,58 - 498,34$	657,24	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 864,93 - 498,34$	366,59	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1388,39 - 498,34$	890,05	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 897,31 - 498,34$	398,97	Alma da viga - tração - grupo
<b>RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 3</b>		
<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	278,07	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(3)} = 603,76$	603,76	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(3)} = 498,34$	498,34	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(3)} = 764,69$	764,69	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(3)} = 577,54$	577,54	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 1108,81$	1108,81	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^2 F_{ti,Rd} = 1211,80 - 864,93$	346,87	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 1291,44 - 864,93$	426,51	Alma do pilar - compressão
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 1378,11 - 864,93$	513,19	Mesa da viga - compressão
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 1040,79 - 366,59$	674,19	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 789,76 - 366,59$	423,17	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 1681,30 - 864,93$	816,37	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 1143,00 - 864,93$	278,07	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 1296,49 - 366,59$	929,90	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 729,30 - 366,59$	362,71	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 2036,64 - 864,93$	1171,71	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 1261,96 - 864,93$	397,03	Alma da viga - tração - grupo
<b>RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 4</b>		
<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{t4,Rd} = \text{Min}(F_{t4,Rd,comp})$	68,80	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(4)} = 603,76$	603,76	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(4)} = 498,34$	498,34	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(4)} = 764,69$	764,69	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(4)} = 577,54$	577,54	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 1108,81$	1108,81	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^3 F_{ti,Rd} = 1211,80 - 1143,00$	68,80	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 1291,44 - 1143,00$	148,44	Alma do pilar - compressão
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 1378,11 - 1143,00$	235,11	Mesa da viga - compressão
$F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1100,83 - 278,07$	822,76	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 827,85 - 278,07$	549,78	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{ij,Rd} = 1621,22 - 644,67$	976,56	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{ij,Rd} = 1114,75 - 644,67$	470,08	Alma do pilar - tração - grupo

<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{t,fc,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 2261,73 - 1143,00$	1118,73	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 1370,34 - 1143,00$	227,33	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 1319,51 - 278,07$	1041,43	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 771,38 - 278,07$	493,30	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 1967,76 - 644,67$	1323,09	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 1136,03 - 644,67$	491,36	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 2707,90 - 1143,00$	1564,89	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 1668,68 - 1143,00$	525,68	Alma da viga - tração - grupo

**RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 5**

<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{t5,Rd} = \text{Min}(F_{t5,Rd,comp})$	0,00	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(5)} = 603,76$	603,76	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(5)} = 498,34$	498,34	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(5)} = 764,69$	764,69	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(5)} = 577,54$	577,54	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 1108,81$	1108,81	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^4 F_{ti,Rd} = 1211,80 - 1211,80$	0,00	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 1291,44 - 1211,80$	79,64	Alma do pilar - compressão
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 1378,11 - 1211,80$	166,31	Mesa da viga - compressão
$F_{t,fc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 1120,85 - 68,80$	1052,05	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 840,32 - 68,80$	771,52	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 1641,24 - 346,87$	1294,37	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 1124,27 - 346,87$	777,40	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 2161,63 - 713,47$	1448,17	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 1336,56 - 713,47$	623,09	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 2802,14 - 1211,80$	1590,34	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1520,96 - 1211,80$	309,16	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 1327,18 - 68,80$	1258,38	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 785,40 - 68,80$	716,60	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 1975,43 - 346,87$	1628,55	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 1150,05 - 346,87$	803,18	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 2623,67 - 713,47$	1910,21	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 1514,70 - 713,47$	801,23	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 3363,81 - 1211,80$	2152,01	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 2047,36 - 1211,80$	835,56	Alma da viga - tração - grupo

Os parafusos remanescentes são inativos (não transferem cargas) porque a resistência de um dos componentes de conexão está esgotado ou os parafusos se situam abaixo do centro de rotação.

**TABELA DE RESUMO DAS FORÇAS**

<b>Nr</b>	<b>h<sub>j</sub></b>	<b>F<sub>ij,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,fc,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,wc,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,ep,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,wb,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,Rd</sub></b>	<b>B<sub>p,Rd</sub></b>
1	952	498,34	610,79	498,34	798,36	631,82	807,84	1108,81
2	822	366,59	603,76	498,34	764,69	577,54	807,84	1108,81
3	692	278,07	603,76	498,34	764,69	577,54	807,84	1108,81
4	562	68,80	603,76	498,34	764,69	577,54	807,84	1108,81
5	402	-	603,76	498,34	764,69	577,54	807,84	1108,81
6	292	-	603,76	498,34	764,69	577,54	807,84	1108,81
7	182	-	603,76	498,34	764,69	577,54	807,84	1108,81
8	72	-	602,87	498,34	764,69	577,54	807,84	1108,81

**RESISTÊNCIA DA CONEXÃO À FLEXÃO M<sub>j,Rd</sub>**

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{ij,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 1006,77 \text{ [kN*m]} \text{ Resistência da conexão à flexão}$$

[6.2]

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0$$

$$0,83 < 1,00$$

verificado

(0,83)

## Resistência da conexão ao cisalhamento

$\alpha_v =$	0,50	Coefficiente para o cálculo de $F_{v,Rd}$	[Tabela 3.4]
$\beta_{Lf} =$	0,93	Coefficiente de redução para as conexões longas	[3.8]
$F_{v,Rd} =$	208,32 [kN]	Resistência de um parafuso ao cisalhamento	[Tabela 3.4]
$F_{t,Rd,max} =$	403,92 [kN]	Resistência de um parafuso à tensão	[Tabela 3.4]
$F_{b,Rd,int} =$	422,12 [kN]	Resistência portante de um parafuso intermediário	[Tabela 3.4]
$F_{b,Rd,ext} =$	490,20 [kN]	Resistência portante do parafuso mais externo	[Tabela 3.4]

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	807,84	3,05	498,34	411,75	414,80	263,83
2	807,84	3,05	366,59	302,90	305,95	303,93
3	807,84	3,05	278,07	229,76	232,81	330,87
4	807,84	3,05	68,80	56,84	59,90	394,57
5	807,84	3,05	0,00	0,00	3,05	415,51
6	807,84	3,05	0,00	0,00	3,05	415,51
7	807,84	3,05	0,00	0,00	3,05	415,51
8	807,84	3,05	0,00	0,00	3,05	415,51

$F_{tj,Rd,N}$  – Resistência da linha de parafusos para tensão simples

$F_{tj,Ed,N}$  – Força em uma linha de parafusos devido à força axial

$F_{tj,Rd,M}$  – Resistência da linha de parafusos para flexão simples

$F_{tj,Ed,M}$  – Força em uma linha de parafusos devido ao momento

$F_{tj,Ed}$  – Força de tração máxima em uma linha de parafusos

$F_{vj,Rd}$  – Resistência reduzida da linha de parafusos

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

$$F_{vj,Rd} = \text{Min} (\eta_h F_{v,Ed} (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 \eta_h F_{t,Rd,max})), \eta_h F_{v,Rd}, \eta_h F_{b,Rd})$$

$$V_{j,Rd} = \eta_h \sum 1^n F_{vj,Rd}$$

$V_{j,Rd} =$  2955,25 [kN] Resistência da conexão ao cisalhamento [Tabela 3.4]

$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$  0,05 < 1,00 **verificado** (0,05)

## Verificação da disposição dos parafusos devido a deslizamento em conexão protendida

$k_s =$  1,00 Coeficiente para o cálculo de  $F_{s,Rd}$  [3.9.1]

$\mu =$  0,30 Coeficiente de fricção [3.9.1]

$F_{p,C} =$  392,70 [kN] Resistência de um parafuso ao deslizamento [3.9.1]

$V_{sj,Rd} = k_s \eta_h \eta_v \mu F_{p,C} / \gamma_{M3}$  [3.9.1]

$V_{sj,Rd} =$  1507,97 [kN] Resistência da conexão ao deslizamento [3.9]

$V_{b1,Ed} / V_{sj,Rd} \leq 1,0$  0,11 < 1,00 **verificado** (0,11)

## Resistência da solda

$A_w =$  276,17 [cm<sup>2</sup>] Área de todas as soldas [4.5.3.2(2)]

$A_{wy} =$  126,26 [cm<sup>2</sup>] Área das soldas horizontais [4.5.3.2(2)]

$A_{wz} =$  149,91 [cm<sup>2</sup>] Área das soldas verticais [4.5.3.2(2)]

$I_{wy} =$  349250,23 [cm<sup>4</sup>] Momento de inércia da disposição de soldas com relação ao eixo horizontal [4.5.3.2(5)]

$\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,max}$  = -89,39 [MPa] Tensão normal em uma solda [4.5.3.2(5)]

$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$  83,36 [MPa] Tensão na solda vertical [4.5.3.2(5)]

$\tau_{\parallel} =$  -10,79 [MPa] Tensão tangente [4.5.3.2(5)]

$A_w =$	276,17 [cm <sup>2</sup> ]	Área de todas as soldas	[4.5.3.2(2)]
$\beta_w =$	0,85	Coefficiente de correlação	[4.5.3.2(7)]
$\sqrt{[\sigma_{\perp\max}^2 + 3*(\tau_{\perp\max}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	178,77 < 404,71	verificado	(0,44)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	167,76 < 404,71	verificado	(0,41)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9*f_u/\gamma_{M2}$	89,39 < 309,60	verificado	(0,29)

### Rigidez da conexão

$t_{wash} =$	6 [mm]	Espessura da arruela	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	21 [mm]	Altura da cabeça do parafuso	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	30 [mm]	Altura da porca do parafuso	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	87 [mm]	Comprimento do parafuso	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	10 [mm]	Coefficiente de rigidez dos parafusos	[6.3.2.(1)]

### RIGIDEZ DAS LINHAS DE PARAFUSOS

Nr	h <sub>j</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>eff,j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub> <sup>2</sup>
					Soma	64,31	4397,23
1	952	2	63	100	2	17,26	1642,92
2	822	2	53	69	2	12,75	1048,05
3	692	2	53	69	2	10,73	742,74
4	562	2	59	76	2	9,56	537,13
5	402	2	55	71	2	6,44	258,78
6	292	2	45	58	1	3,92	114,51
7	182	2	45	58	1	2,44	44,47
8	72	2	57	83	2	1,20	8,62

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$Z_{eq} = \sum k_{eff,j} h_j^2 / \sum k_{eff,j} h_j$$

$$Z_{eq} = 684 \text{ [mm]} \quad \text{Braço da força equivalente} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$k_{eq} = \sum k_{eff,j} h_j / Z_{eq}$$

$$k_{eq} = 9 \text{ [mm]} \quad \text{Coefficiente de rigidez equivalente em uma disposição de parafusos} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$A_{vc} = 83,7 \text{ [cm}^2] \quad \text{Área de cisalhamento} \quad \text{EN1993-1-1: [6.2.6.(3)]}$$

$$\beta = 1,00 \quad \text{Parâmetro de transformação} \quad [5.3.(7)]$$

$$z = 684 \text{ [mm]} \quad \text{Braço da alavanca} \quad [6.2.5]$$

$$k_1 = 5 \text{ [mm]} \quad \text{Coefficiente de rigidez do painel da alma do pilar sujeito a cisalhamento} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$k_2 = \text{Coefficiente de rigidez da alma do pilar comprimida} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E Z_{eq}^2 / \sum (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 305788,02 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidez rotacional inicial} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,79 \quad \text{Coefficiente de rigidez de uma conexão} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 171304,41 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidez rotacional final} \quad [6.3.1.(4)]$$

### Classificação da conexão devido à rigidez.

$$S_{j,rig} = 50767,07 \text{ [kN*m]} \quad \text{Resistência de uma conexão rígida} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 3172,94 \text{ [kN*m]} \quad \text{Resistência de uma conexão rotulada} \quad [5.2.2.5]$$

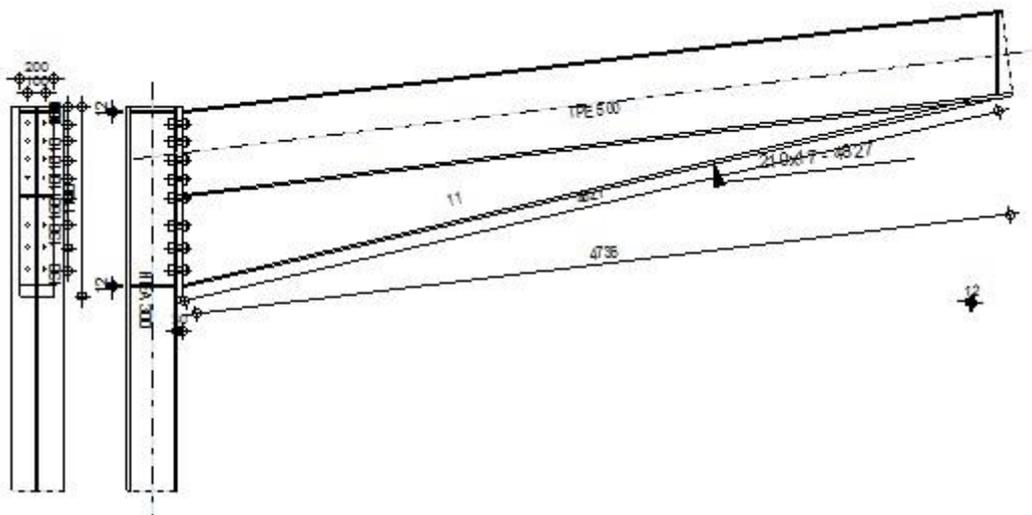
$S_{j,ini} > S_{j,rig}$  RÍGIDO

### Componente mais fraco:

PAINEL DA ALMA DA COLUNA - CISALHAMENTO

**A conexão está em conformidade com a norma. Relação 0,83**

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015				
	<b>Projeto de conexão viga-para-coluna engastada</b>				
	EN 1993-1-8:2005/AC:2009				
					Relação <b>0,66</b>



## Geral

Nº de conexão: 3  
 Nome da conexão: Frame knee  
 Nó estrutural: 538  
 Barras estruturais: 425, 91

## Geometria

### Coluna

Seção: HEA 300  
 Barra Nº: 425  
 $\alpha = -90,0$  [Deg] Âng. de inclinação  
 $h_c = 290$  [mm] Altura da seção da coluna  
 $b_{fc} = 300$  [mm] Largura da seção da coluna  
 $t_{wc} = 9$  [mm] Espessura da alma da seção da coluna  
 $t_{fc} = 14$  [mm] Espessura da mesa da seção da coluna  
 $r_c = 27$  [mm] Raio de concordância de seção da coluna  
 $A_c = 112,53$  [cm<sup>2</sup>] Área de seção transversal do pilar  
 $I_{xc} = 18263,50$  [cm<sup>4</sup>] Momento de inércia da seção do pilar  
 Material: S 275  
 $f_{yc} = 275,00$  [MPa] Resistência

### Viga

Seção: IPE 500  
 Barra Nº: 91  
 $\alpha = 7,0$  [Deg] Âng. de inclinação  
 $h_b = 500$  [mm] Altura da seção da viga  
 $b_f = 200$  [mm] Largura da seção da viga  
 $t_{wb} = 10$  [mm] Espessura da alma da seção da viga  
 $t_{fb} = 16$  [mm] Espessura da mesa da seção da viga  
 $r_b = 21$  [mm] Raio de concordância da seção da viga

$\alpha =$	7,0	[Deg]	Âng. de inclinação
$r_b =$	21	[mm]	Raio de concordância da seção da viga
$A_b =$	115,52	[cm <sup>2</sup> ]	Área de seção transversal da viga
$I_{xb} =$	48198,50	[cm <sup>4</sup> ]	Momento de inércia da seção da viga
Material:	S 275		
$f_{yb} =$	275,00	[MPa]	Resistência

## Parafusos

O plano de cisalhamento passa através da parte ROQUEADA do parafuso.

$d =$	30	[mm]	Diâmetro do parafuso
Classe =	8.8		Classe do parafuso
$F_{tRd} =$	323,14	[kN]	Resistência à tensão de um parafuso
$n_h =$	2		Número de colunas de parafusos
$n_v =$	8		Número de linhas de parafusos
$h_1 =$	100	[mm]	Distância entre o primeiro parafuso e a borda superior da placa frontal
Espaçamento horizontal $e_i =$	100	[mm]	
Espaçamento vertical $p_i =$	100;110;110;110;160;130;130	[mm]	

## Placa

$h_p =$	1100	[mm]	Altura da placa
$b_p =$	200	[mm]	Largura da placa
$t_p =$	30	[mm]	Espessura da placa
Material:	S 275		
$f_{yp} =$	275,00	[MPa]	Resistência

## Enrijecedor inferior

$w_d =$	210	[mm]	Largura da placa
$t_{fd} =$	17	[mm]	Espessura da mesa
$h_d =$	525	[mm]	Altura da placa
$t_{wd} =$	11	[mm]	Espessura da alma
$l_d =$	4735	[mm]	Comprimento da placa
$\alpha =$	13,2	[Deg]	Âng. de inclinação
Material:	S 275		
$f_{ybu} =$	235,00	[MPa]	Resistência

## Enrijecedor da coluna

### Superior

$h_{su} =$	262	[mm]	Altura do enrijecedor
$b_{su} =$	146	[mm]	Largura do enrijecedor
$t_{hu} =$	12	[mm]	Espessura do enrijecedor
Material:	S 275		
$f_{ysu} =$	275,00	[MPa]	Resistência

### Inferior

$h_{sd} =$	262	[mm]	Altura do enrijecedor
$b_{sd} =$	146	[mm]	Largura do enrijecedor
$t_{hd} =$	12	[mm]	Espessura do enrijecedor
Material:	S 275		
$f_{ysu} =$	275,00	[MPa]	Resistência

## Soldas de concordância

$a_w =$	8	[mm]	Solda da alma
$a_f =$	12	[mm]	Solda da mesa
$a_s =$	8	[mm]	Solda do enrijecedor
$a_{fd} =$	5	[mm]	Solda horizontal

## Fatores de material

$\gamma_{M0} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M1} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M3} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]

## Cargas

### Estado limite definitivo

Caso: 20:  $1.35g+1.50q$   $1*1.35+(2+11)*1.50$

$M_{b1,Ed} =$	369,94	[kN*m]	Momento fletor na viga direita
$V_{b1,Ed} =$	75,77	[kN]	Força de cisalhamento na viga direita
$N_{b1,Ed} =$	-95,55	[kN]	Força axial na viga direita
$M_{b2,Ed} =$	63,17	[kN*m]	Momento fletor na viga esquerda
$V_{b2,Ed} =$	54,46	[kN]	Força de cisalhamento na viga esquerda
$N_{b2,Ed} =$	-0,33	[kN]	Força axial na viga esquerda
$M_{c1,Ed} =$	306,77	[kN*m]	Momento fletor no pilar inferior
$V_{c1,Ed} =$	115,49	[kN]	Força de cisalhamento no pilar inferior
$N_{c1,Ed} =$	-134,01	[kN]	Força axial no pilar inferior

## Resultados

### Resistências da viga

#### COMPRESSÃO

$A_b =$	115,52	[cm <sup>2</sup> ]	Área	EN1993-1-1:[6.2.4]
$N_{cb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$				
$N_{cb,Rd} =$	3176,86	[kN]	Resistência do projeto da seção à compressão	EN1993-1-1:[6.2.4]

#### CISALHAMENTO

$A_{vb} =$	116,10	[cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$				
$V_{cb,Rd} =$	1843,36	[kN]	Resistência do projeto da seção ao cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]
$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$			0,04 < 1,00	verificado (0,04)

#### FLEXÃO - MOMENTO PLÁSTICO (SEM REFORÇOS)

$W_{plb} =$	2194,26	[cm <sup>3</sup> ]	Módulo plástico da seção	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$				
$M_{b,pl,Rd} =$	603,4	[kN*m]	Resistência plástica da seção em flexão (sem enrijecedores)	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

#### FLEXÃO NA SUPERFÍCIE DE CONTATO COM A PLACA OU COM O ELEMENTO CONECTADO

$W_{pl} =$	5074,14	[cm <sup>3</sup> ]	Módulo plástico da seção	EN1993-1-1:[6.2.5]
$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$				
$M_{cb,Rd} =$	1395,39	[kN*m]	Resistência do projeto da seção em flexão	EN1993-1-1:[6.2.5]

#### MESA E ALMA - COMPRESSÃO

$M_{cb,Rd} =$	1395,39	[kN*m]	Resistência do projeto da seção em flexão	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_f =$	1012	[mm]	Distância entre os centroides das mesas	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$				
$F_{c,fb,Rd} =$	1378,77	[kN]	Resistência da mesa e da alma comprimidas	[6.2.6.7.(1)]

#### ALMA OU MESA DO REFORÇO - COMPRESSÃO - NÍVEL DA MESA INFERIOR DA VIGA

Apoios:

$\beta =$	7,0	[Deg]	Ângulo entre a placa dianteira e a viga	
$\gamma =$	13,2	[Deg]	Ângulo de inclinação da placa de reforço	
$b_{eff,c,wb} =$	375	[mm]	Largura efetiva da alma em compressão	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vb} =$	59,87	[cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	0,87		Fator de redução para a interação com o cisalhamento	[6.2.6.2.(1)]

Apoios:

$$\beta = 7,0 \text{ [Deg]} \text{ \AA ngulo entre a placa dianteira e a viga}$$

$$\sigma_{\text{com,Ed}} = \frac{171,7}{6} \text{ [MPa]} \text{ Tens\~ao de compress\~ao m\~axima na alma} \quad [6.2.6.2.(2)]$$

$$k_{\text{wc}} = 1,00 \text{ Fator de redu\~cao condicionado pelas tens\~oes de compress\~ao} \quad [6.2.6.2.(2)]$$

$$A_s = 22,78 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ \AA rea do enrijecedor da alma} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.4]}$$

$$F_{\text{c,wb,Rd1}} = [\omega k_{\text{wc}} b_{\text{eff,c,wb}} t_{\text{wb}} f_{\text{yb}} / \gamma_{\text{M0}} + A_s f_{\text{yb}} / \gamma_{\text{M0}}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$$F_{\text{c,wb,Rd1}} = 13109,52 \text{ [kN]} \text{ Resist\~encia da alma da viga} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Flambagem:

$$d_{\text{wb}} = 426 \text{ [mm]} \text{ Altura da alma comprimida} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\lambda_p = \frac{1,3}{2} \text{ Esbeltez da placa de um elemento} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\rho = \frac{0,6}{4} \text{ Fator de redu\~cao para a flambagem do elemento} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\lambda_s = \frac{7,1}{9} \text{ Elbeltez do enrijecedor} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$\chi = \frac{1,0}{0} \text{ Coeficiente de flambagem do enrijecedor} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$F_{\text{c,wb,Rd2}} = [\omega k_{\text{wc}} \rho b_{\text{eff,c,wb}} t_{\text{wb}} f_{\text{yb}} / \gamma_{\text{M1}} + A_s \chi f_{\text{yb}} / \gamma_{\text{M1}}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$$F_{\text{c,wb,Rd2}} = 10148,41 \text{ [kN]} \text{ Resist\~encia da alma da viga} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Resist\~encia da mesa do refor\~co

$$F_{\text{c,wb,Rd3}} = b_b t_b f_{\text{yb}} / (0.8 \gamma_{\text{M0}})$$

$$F_{\text{c,wb,Rd3}} = 1155,00 \text{ [kN]} \text{ Resist\~encia da mesa do refor\~co} \quad [6.2.6.7.(1)]$$

Resist\~encia final:

$$F_{\text{c,wb,Rd,low}} = \text{Min}(F_{\text{c,wb,Rd1}}, F_{\text{c,wb,Rd2}}, F_{\text{c,wb,Rd3}})$$

$$F_{\text{c,wb,Rd,low}} = 1155,00 \text{ [kN]} \text{ Resist\~encia da alma da viga} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

## Resist\~encias da coluna

### PANEL DA ALMA - CISCALHAMENTO

$$M_{b1,Ed} = 369,94 \text{ [kN*m]} \text{ Momento fletor (viga direita)} \quad [5.3.(3)]$$

$$M_{b2,Ed} = 63,17 \text{ [kN*m]} \text{ Momento fletor (viga esquerda)} \quad [5.3.(3)]$$

$$V_{c1,Ed} = 115,49 \text{ [kN]} \text{ For\~ca de cisalhamento (coluna inferior)} \quad [5.3.(3)]$$

$$V_{c2,Ed} = 0,00 \text{ [kN]} \text{ For\~ca de cisalhamento (coluna superior)} \quad [5.3.(3)]$$

$$z = 890 \text{ [mm]} \text{ Bra\~co da alavanca} \quad [6.2.5]$$

$$V_{\text{wp,Ed}} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$$

$$V_{\text{wp,Ed}} = 286,90 \text{ [kN]} \text{ For\~ca de cisalhamento no painel da alma} \quad [5.3.(3)]$$

$$A_{\text{vs}} = \frac{37,2}{8} \text{ [cm}^2\text{]} \text{ \AA rea de cisalhamento da alma do pilar} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$A_{\text{vc}} = \frac{37,2}{8} \text{ [cm}^2\text{]} \text{ \AA rea de cisalhamento} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$d_s = 1048 \text{ [mm]} \text{ Dist\~ancia entre os centroides dos enrijecedores} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$$M_{\text{pl,fc,Rd}} = 4,04 \text{ [kN*m]} \text{ Resist\~encia pl\~astica da mesa da coluna em flex\~ao} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$$M_{\text{pl,stu,Rd}} = 2,97 \text{ [kN*m]} \text{ Resist\~encia pl\~astica do enrijecedor transversal superior em flex\~ao} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$$M_{\text{pl,sti,Rd}} = 2,97 \text{ [kN*m]} \text{ Resist\~encia pl\~astica do enrijecedor transversal inferior em flex\~ao} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$$V_{\text{wp,Rd}} = 0.9 (A_{\text{vs}} f_{\text{y,wc}}) / (\sqrt{3} \gamma_{\text{M0}}) + \text{Min}(4 M_{\text{pl,fc,Rd}} / d_s, (2 M_{\text{pl,fc,Rd}} + M_{\text{pl,stu,Rd}} + M_{\text{pl,sti,Rd}}) / d_s)$$

$$V_{\text{wp,Rd}} = \frac{546,0}{6} \text{ [kN]} \text{ Resist\~encia do painel da alma do pilar em cisalhamento} \quad [6.2.6.1]$$

$$V_{\text{wp,Ed}} / V_{\text{wp,Rd}} \leq 1,0 \quad 0,53 < 1,00 \quad \text{verificado} \quad (0,53)$$

### ALMA - COMPRESS\~AO TRANSVERSAL - N\~IVEL DA MESA INFERIOR DA VIGA

Apoios:

$t_{wc} =$	9 [mm]	Espessura efetiva da alma do pilar	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,wc} =$	316 [mm]	Largura efetiva da alma em compressão	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} =$	37,28 [cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	0,85	Fator de redução para a interação com o cisalhamento	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} =$	186,6 [MPa]	Tensão de compressão máxima na alma	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} =$	1,00	Fator de redução condicionado pelas tensões de compressão	[6.2.6.2.(2)]
$A_s =$	34,98 [cm <sup>2</sup> ]	Área do enrijecedor da alma	EN1993-1-1:[6.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$			
$F_{c,wc,Rd1} =$	1590,33 [kN]	Resistência da alma do pilar	[6.2.6.2.(1)]
<b>Flambagem:</b>			
$d_{wc} =$	208 [mm]	Altura da alma comprimida	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p =$	1,02	Esbeltez da placa de um elemento	[6.2.6.2.(1)]
$\rho =$	0,79	Fator de redução para a flambagem do elemento	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_s =$	2,37	Elbeltez do enrijecedor	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$\chi_s =$	1,00	Coeficiente de flambagem do enrijecedor	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$			
$F_{c,wc,Rd2} =$	1458,11 [kN]	Resistência da alma do pilar	[6.2.6.2.(1)]
<b>Resistência final:</b>			
$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1} , F_{c,wc,Rd2})$			
$F_{c,wc,Rd} =$	1458,11 [kN]	Resistência da alma do pilar	[6.2.6.2.(1)]

**ALMA - COMPRESSÃO TRANSVERSAL - NÍVEL DA MESA SUPERIOR DA VIGA**

Apoios:

$t_{wc} =$	9 [mm]	Espessura efetiva da alma do pilar	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,wc} =$	315 [mm]	Largura efetiva da alma em compressão	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} =$	37,28 [cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	0,85	Fator de redução para a interação com o cisalhamento	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} =$	186,6 [MPa]	Tensão de compressão máxima na alma	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} =$	1,00	Fator de redução condicionado pelas tensões de compressão	[6.2.6.2.(2)]
$A_s =$	34,98 [cm <sup>2</sup> ]	Área do enrijecedor da alma	EN1993-1-1:[6.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$			
$F_{c,wc,Rd1} =$	1588,62 [kN]	Resistência da alma do pilar	[6.2.6.2.(1)]
<b>Flambagem:</b>			
$d_{wc} =$	208 [mm]	Altura da alma comprimida	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p =$	1,02	Esbeltez da placa de um elemento	[6.2.6.2.(1)]
$\rho =$	0,79	Fator de redução para a flambagem do elemento	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_s =$	2,37	Elbeltez do enrijecedor	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$\chi_s =$	1,00	Coeficiente de flambagem do enrijecedor	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$			
$F_{c,wc,Rd2} =$	1457,43 [kN]	Resistência da alma do pilar	[6.2.6.2.(1)]
<b>Resistência final:</b>			
$F_{c,wc,Rd,upp} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1} , F_{c,wc,Rd2})$			
$F_{c,wc,Rd,upp} =$	1457,43 [kN]	Resistência da alma do pilar	[6.2.6.2.(1)]

**Parâmetros geométricos da conexão****COMPRImentos EFETIVOS E PARÂMETROS - MESA DA COLUNA**

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
1	24	-	100	-	100	152	209	152	209	176	149	149	149
2	24	-	100	-	105	152	222	152	222	210	105	105	105
3	24	-	100	-	110	152	222	152	222	220	110	110	110
4	24	-	100	-	110	152	222	152	222	220	110	110	110

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
5	24	-	100	-	135	152	222	152	222	270	135	135	135
6	24	-	100	-	145	152	222	152	222	290	145	145	145
7	24	-	100	-	130	152	222	152	222	260	130	130	130
8	24	-	100	-	130	152	206	152	206	206	161	161	161

**COMPRIMENTOS EFETIVOS E PARAMETROS - PLACA DIANTEIRA**

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
1	36	-	50	-	100	225	218	218	218	213	165	165	165
2	36	-	50	-	105	225	206	206	206	210	105	105	105
3	36	-	50	-	110	225	206	206	206	220	110	110	110
4	36	-	50	-	110	225	206	206	206	220	110	110	110
5	36	-	50	-	135	225	206	206	206	270	135	135	135
6	36	-	50	-	145	225	206	206	206	290	145	145	145
7	36	-	50	-	130	225	206	206	206	260	130	130	130
8	36	-	50	-	130	225	206	206	206	243	168	168	168

- m – Distância entre o parafuso e a alma
- m<sub>x</sub> – Distância entre o parafuso e a mesa da viga
- e – Distância entre o parafuso e a borda exterior
- e<sub>x</sub> – Distância entre o parafuso e a borda exterior horizontal
- p – Distância entre parafusos
- l<sub>eff,cp</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso no modo de falha circular
- l<sub>eff,nc</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso no modo de falha não circular
- l<sub>eff,1</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso para o modo 1
- l<sub>eff,2</sub> – Comprimento efetivo para um parafuso para o modo 2
- l<sub>eff,cp,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos no modo de falha circular
- l<sub>eff,nc,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos no modo de falha não circular
- l<sub>eff,1,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos para o modo 1
- l<sub>eff,2,g</sub> – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos para o modo 2

**Resistência da conexão à compressão**

$N_{j,Rd} = \text{Min} ( N_{cb,Rd} / 2 F_{c,wb,Rd,low} , 2 F_{c,wc,Rd,low} , 2 F_{c,wc,Rd,upp} )$   
 $N_{j,Rd} = 2310,00 \text{ [kN]}$  Resistência da conexão à compressão [6.2]  
 $N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$   $0,04 < 1,00$  **verificado** (0,04)

**Resistência da conexão à flexão**

$F_{t,Rd} = 323,14 \text{ [kN]}$  Resistência do parafuso a tensão [Tabela 3.4]  
 $B_{p,Rd} = 408,51 \text{ [kN]}$  Resistência do parafuso ao cisalhamento de punção [Tabela 3.4]  
 $F_{t,fc,Rd}$  – resistência da mesa da coluna devida a flexão  
 $F_{t,wc,Rd}$  – resistência da alma do pilar devida a tensão  
 $F_{t,ep,Rd}$  – resistência da placa frontal devida a flexão  
 $F_{t,wb,Rd}$  – resistência da alma em tensão  
 $F_{t,fc,Rd} = \text{Min} ( F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd} )$  [6.2.6.4] , [Tab.6.2]  
 $F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$  [6.2.6.3.(1)]  
 $F_{t,ep,Rd} = \text{Min} ( F_{T,1,ep,Rd} , F_{T,2,ep,Rd} , F_{T,3,ep,Rd} )$  [6.2.6.5] , [Tab.6.2]  
 $F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$  [6.2.6.8.(1)]

**RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 1**

F <sub>t1,Rd,comp</sub> - Fórmula	F <sub>t1,Rd,comp</sub>	Componente
F <sub>t1,Rd</sub> = Min ( F <sub>t1,Rd,comp</sub> )	329,94	Resistência da linha de parafusos
F <sub>t,fc,Rd(1)</sub> = 338,66	338,66	Mesa da coluna - tração
F <sub>t,wc,Rd(1)</sub> = 329,94	329,94	Alma do pilar - tração
F <sub>t,ep,Rd(1)</sub> = 646,27	646,27	Placa dianteira - tração
F <sub>t,wb,Rd(1)</sub> = 611,14	611,14	Alma da viga - tração
B <sub>p,Rd</sub> = 817,02	817,02	Parafusos devido à punção de cisalhamento

<b>F<sub>t1,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t1,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$V_{wp,Rd}/\beta = 658,51$	658,51	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} = 1458,11$	1458,11	Alma do pilar - compressão
$F_{c,fb,Rd} = 1378,77$	1378,77	Mesa da viga - compressão
$F_{c,wb,Rd} = 1155,00$	1155,00	Alma da viga - compressão

**RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 2**

<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{t2,Rd} = \text{Min}(F_{t2,Rd,comp})$	164,91	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(2)} = 338,66$	338,66	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(2)} = 329,94$	329,94	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(2)} = 646,27$	646,27	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(2)} = 577,54$	577,54	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 817,02$	817,02	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^1 F_{ti,Rd} = 658,51 - 329,94$	328,57	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1458,11 - 329,94$	1128,17	Alma do pilar - compressão
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1378,77 - 329,94$	1048,83	Mesa da viga - compressão
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1155,00 - 329,94$	825,06	Alma da viga - compressão
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 565,92 - 329,94$	235,98	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 494,86 - 329,94$	164,91	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1132,21 - 329,94$	802,26	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 757,15 - 329,94$	427,20	Alma da viga - tração - grupo

**RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 3**

<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	122,75	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(3)} = 338,66$	338,66	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(3)} = 329,94$	329,94	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(3)} = 646,27$	646,27	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(3)} = 577,54$	577,54	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 817,02$	817,02	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^2 F_{ti,Rd} = 658,51 - 494,86$	163,66	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 1458,11 - 494,86$	963,25	Alma do pilar - compressão
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 1378,77 - 494,86$	883,92	Mesa da viga - compressão
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 1155,00 - 494,86$	660,14	Alma da viga - compressão
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 479,86 - 164,91$	314,94	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 438,68 - 164,91$	273,77	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 811,43 - 494,86$	316,57	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 617,61 - 494,86$	122,75	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 1047,94 - 164,91$	883,02	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 603,08 - 164,91$	438,16	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 1660,01 - 494,86$	1165,16	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 1065,70 - 494,86$	570,84	Alma da viga - tração - grupo

**RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 4**

<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{t4,Rd} = \text{Min}(F_{t4,Rd,comp})$	40,90	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(4)} = 338,66$	338,66	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(4)} = 329,94$	329,94	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(4)} = 646,27$	646,27	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(4)} = 577,54$	577,54	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 817,02$	817,02	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^3 F_{ti,Rd} = 658,51 - 617,61$	40,90	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 1458,11 - 617,61$	840,50	Alma do pilar - compressão

<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 1378,77 - 617,61$	761,17	Mesa da viga - compressão
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 1155,00 - 617,61$	537,39	Alma da viga - compressão
$F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 491,01 - 122,75$	368,26	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 446,39 - 122,75$	323,64	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 725,36 - 287,66$	437,70	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 580,28 - 287,66$	292,62	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 1056,94 - 617,61$	439,33	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 697,90 - 617,61$	80,29	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 1055,61 - 122,75$	932,85	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 617,10 - 122,75$	494,35	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 1575,74 - 287,66$	1288,08	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 911,63 - 287,66$	623,96	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 2187,81 - 617,61$	1570,21	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 1374,25 - 617,61$	756,64	Alma da viga - tração - grupo

**RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 5**

<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - Fórmula</b>	<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b>	<b>Componente</b>
$F_{t5,Rd} = \text{Min} (F_{t5,Rd,comp})$	0,00	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(5)} = 338,66$	338,66	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(5)} = 329,94$	329,94	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(5)} = 646,27$	646,27	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(5)} = 577,54$	577,54	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 817,02$	817,02	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 658,51 - 658,51$	0,00	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 1458,11 - 658,51$	799,60	Alma do pilar - compressão
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 1378,77 - 658,51$	720,26	Mesa da viga - compressão
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 1155,00 - 658,51$	496,49	Alma da viga - compressão
$F_{t,fc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 546,81 - 40,90$	505,91	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 483,03 - 40,90$	442,12	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 792,32 - 163,66$	628,66	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 609,80 - 163,66$	446,14	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 1026,67 - 328,57$	698,10	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 689,75 - 328,57$	361,18	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1358,24 - 658,51$	699,73	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 760,02 - 658,51$	101,51	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 1093,96 - 40,90$	1053,06	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 687,23 - 40,90$	646,32	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 1621,77 - 163,66$	1458,11	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 995,78 - 163,66$	832,12	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 2141,90 - 328,57$	1813,33	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 1290,30 - 328,57$	961,73	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 2753,97 - 658,51$	2095,46	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1752,92 - 658,51$	1094,41	Alma da viga - tração - grupo

Os parafusos remanescentes são inativos (não transferem cargas) porque a resistência de um dos componentes de conexão está esgotado ou os parafusos se situam abaixo do centro de rotação.

**TABELA DE RESUMO DAS FORÇAS**

<b>Nr</b>	<b>h<sub>j</sub></b>	<b>F<sub>t,fc,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,wc,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,ep,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,wb,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,Rd</sub></b>	<b>B<sub>p,Rd</sub></b>
1	940	329,94	338,66	646,27	577,54	611,14	817,02
2	840	164,91	338,66	646,27	577,54	646,27	817,02
3	730	122,75	338,66	646,27	577,54	646,27	817,02
4	620	40,90	338,66	646,27	577,54	646,27	817,02

Nr	h <sub>j</sub>	F <sub>tj,Rd</sub>	F <sub>t,fc,Rd</sub>	F <sub>t,wc,Rd</sub>	F <sub>t,ep,Rd</sub>	F <sub>t,wb,Rd</sub>	F <sub>t,Rd</sub>	B <sub>p,Rd</sub>
5	510	-	338,66	329,94	646,27	577,54	646,27	817,02
6	350	-	338,66	329,94	646,27	577,54	646,27	817,02
7	220	-	338,66	329,94	646,27	577,54	646,27	817,02
8	90	-	338,66	329,94	646,27	577,54	646,27	817,02

**RESISTÊNCIA DA CONEXÃO À FLEXÃO M<sub>j,Rd</sub>**

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 563,72 \text{ [kN*m]} \quad \text{Resistência da conexão à flexão} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,66 < 1,00 \quad \text{verificado} \quad (0,66)$$

**Resistência da conexão ao cisalhamento**

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coeficiente para o cálculo de } F_{v,Rd} \quad [\text{Tabela 3.4}]$$

$$\beta_{Lf} = 0,93 \quad \text{Coeficiente de redução para as conexões longas} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = 201,06 \text{ [kN]} \quad \text{Resistência de um parafuso ao cisalhamento} \quad [\text{Tabela 3.4}]$$

$$F_{t,Rd,max} = 323,14 \text{ [kN]} \quad \text{Resistência de um parafuso à tensão} \quad [\text{Tabela 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,int} = 311,03 \text{ [kN]} \quad \text{Resistência portante de um parafuso intermediário} \quad [\text{Tabela 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,ext} = 361,20 \text{ [kN]} \quad \text{Resistência portante do parafuso mais externo} \quad [\text{Tabela 3.4}]$$

Nr	F <sub>tj,Rd,N</sub>	F <sub>tj,Ed,N</sub>	F <sub>tj,Rd,M</sub>	F <sub>tj,Ed,M</sub>	F <sub>tj,Ed</sub>	F <sub>vj,Rd</sub>
1	646,27	-11,94	329,94	216,53	204,59	311,20
2	646,27	-11,94	164,91	108,22	96,28	359,33
3	646,27	-11,94	122,75	80,56	68,61	371,63
4	646,27	-11,94	40,90	26,84	14,90	395,50
5	646,27	-11,94	0,00	0,00	-11,94	402,12
6	646,27	-11,94	0,00	0,00	-11,94	402,12
7	646,27	-11,94	0,00	0,00	-11,94	402,12
8	646,27	-11,94	0,00	0,00	-11,94	402,12

F<sub>tj,Rd,N</sub> – Resistência da linha de parafusos para tensão simples

F<sub>tj,Ed,N</sub> – Força em uma linha de parafusos devido à força axial

F<sub>tj,Rd,M</sub> – Resistência da linha de parafusos para flexão simples

F<sub>tj,Ed,M</sub> – Força em uma linha de parafusos devido ao momento

F<sub>tj,Ed</sub> – Força de tração máximo em uma linha de parafusos

F<sub>vj,Rd</sub> – Resistência reduzida da linha de parafusos

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

$$F_{vj,Rd} = \text{Min} (n_h F_{v,Ed} (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 n_h F_{t,Rd,max})), n_h F_{v,Rd}, n_h F_{b,Rd})$$

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd} \quad [\text{Tabela 3.4}]$$

$$V_{j,Rd} = 3046,16 \text{ [kN]} \quad \text{Resistência da conexão ao cisalhamento} \quad [\text{Tabela 3.4}]$$

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,02 < 1,00 \quad \text{verificado} \quad (0,02)$$

**Verificação da disposição dos parafusos devido a deslizamento em conexão protendida**

$$k_s = 1,00 \quad \text{Coeficiente para o cálculo de } F_{s,Rd} \quad [3.9.1]$$

$$\mu = 0,30 \quad \text{Coeficiente de fricção} \quad [3.9.1]$$

$$F_{p,C} = 314,16 \text{ [kN]} \quad \text{Resistência de um parafuso ao deslizamento} \quad [3.9.1]$$

$$V_{sj,Rd} = k_s n_h n_v \mu F_{p,C} / \gamma_{M3} \quad [3.9.1]$$

$$V_{sj,Rd} = 1206,37 \text{ [kN]} \quad \text{Resistência da conexão ao deslizamento} \quad [3.9]$$

$$V_{b1,Ed} / V_{sj,Rd} \leq 1,0 \quad 0,06 < 1,00 \quad \text{verificado} \quad (0,06)$$

**Resistência da solda**

$$A_w = 276,17 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Área de todas as soldas} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wy} = 126,26 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Área das soldas horizontais} \quad [4.5.3.2(2)]$$

## Resistência da solda

$A_w =$	276,17 [cm <sup>2</sup> ]	Área de todas as soldas	[4.5.3.2(2)]
$A_{wz} =$	149,91 [cm <sup>2</sup> ]	Área das soldas verticais	[4.5.3.2(2)]
$I_{wy} =$	349235,32 [cm <sup>4</sup> ]	Momento de inercia da disposição de soldas com relação ao eixo horizontal	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp \max} = \tau_{\perp \max} =$	-44,29 [MPa]	Tensão normal em uma solda	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$	-42,42 [MPa]	Tensão na solda vertical	[4.5.3.2(5)]
$\tau_{\parallel} =$	5,05 [MPa]	Tensão tangente	[4.5.3.2(5)]
$\beta_w =$	0,85	Coefficiente de correlação	[4.5.3.2(7)]
$\sqrt{[\sigma_{\perp \max}^2 + 3*(\tau_{\perp \max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	88,57 < 404,71	verificado	(0,22)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	85,29 < 404,71	verificado	(0,21)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$	44,29 < 309,60	verificado	(0,14)

## Rigidez da conexão

$t_{wash} =$	6 [mm]	Espessura da arruela	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	21 [mm]	Altura da cabeça do parafuso	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	30 [mm]	Altura da porca do parafuso	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	82 [mm]	Comprimento do parafuso	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	11 [mm]	Coefficiente de rigidez dos parafusos	[6.3.2.(1)]

### RIGIDEZ DAS LINHAS DE PARAFUSOS

Nr	h <sub>j</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>eff,j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub> <sup>2</sup>
					Soma	85,25	5813,95
1	940	3	26	87	2	21,51	2022,07
2	840	2	18	55	2	14,42	1211,57
3	730	2	19	58	2	13,03	951,58
4	620	2	19	58	2	11,07	686,44
5	510	3	24	71	2	10,78	549,83
6	350	3	25	76	2	7,83	274,29
7	220	3	23	69	2	4,51	99,29
8	90	3	27	89	2	2,10	18,89

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$Z_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j^2 / \sum_j k_{eff,j} h_j$$

$$Z_{eq} = 682 \text{ [mm]} \quad \text{Braço da força equivalente} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j / Z_{eq}$$

$$k_{eq} = 13 \text{ [mm]} \quad \text{Coefficiente de rigidez equivalente em uma disposição de parafusos} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$A_{vc} = 37,2 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Área de cisalhamento} \quad \text{EN1993-1-1: [6.2.6.(3)]}$$

$$\beta = 0,83 \quad \text{Parâmetro de transformação} \quad [5.3.(7)]$$

$$z = 682 \text{ [mm]} \quad \text{Braço da alavanca} \quad [6.2.5]$$

$$k_1 = 3 \text{ [mm]} \quad \text{Coefficiente de rigidez do painel da alma do pilar sujeito a cisalhamento} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$k_2 = \text{Coefficiente de rigidez da alma do pilar comprimida} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / \sum (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 203806,74 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidez rotacional inicial} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \quad \text{Coefficiente de rigidez de uma conexão} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 203806,74 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidez rotacional final} \quad [6.3.1.(4)]$$

**Classificação da conexão devido à rigidez.** $S_{j,rig} = 50767,07$  [kN\*m] Resistência de uma conexão rígida

[5.2.2.5]

 $S_{j,pin} = 3172,94$  [kN\*m] Resistência de uma conexão rotulada

[5.2.2.5]

 $S_{j,ini} < S_{j,rig}$  RÍGIDO**Componente mais fraco:**

PAINEL DA ALMA DA COLUNA - CISALHAMENTO

**A conexão está em conformidade com a norma. Relação 0,66**

**ANEXO 2**  
Cais de Descarga



## A2.1. Apresentação de Alçados e Plantas do Cais de Descarga

Neste capítulo são apresentados plantas e alçados referentes ao Cais de Descarga. Estes alçados foram obtidos através da modelção, recorrendo ao software *Tekla*. Nesta modelação constam a estrutura principal do cais de descarga bem como a estrutura que serve de apoio ao revestimento, chapa ondulada e painel de cobertura, como referido no capítulo 5.

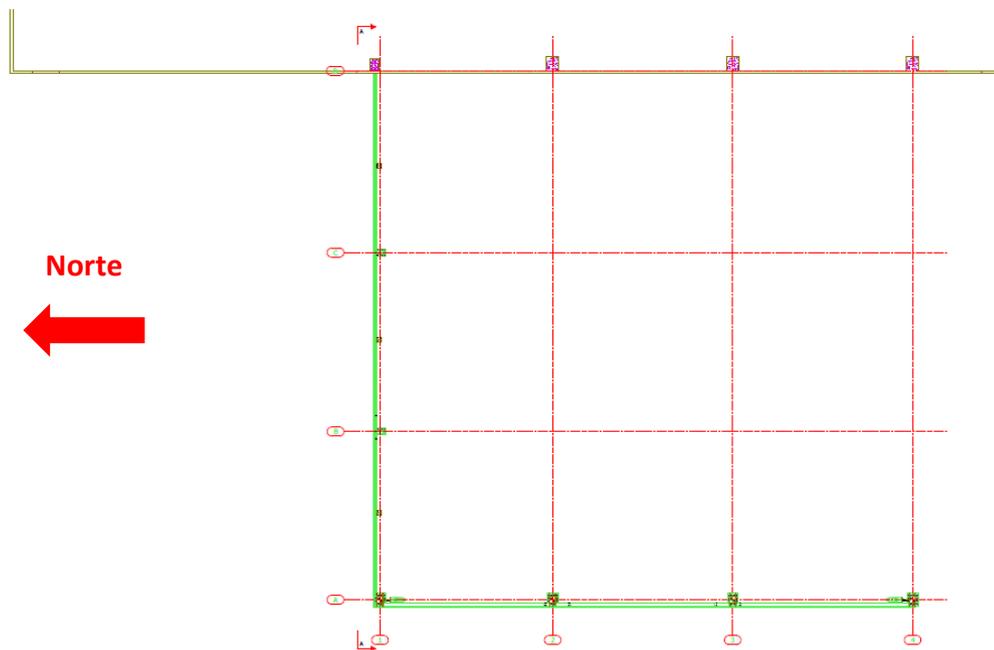


Figura A 6 – Planta de Implementação da Estrutura Principal do Cais de Descarga

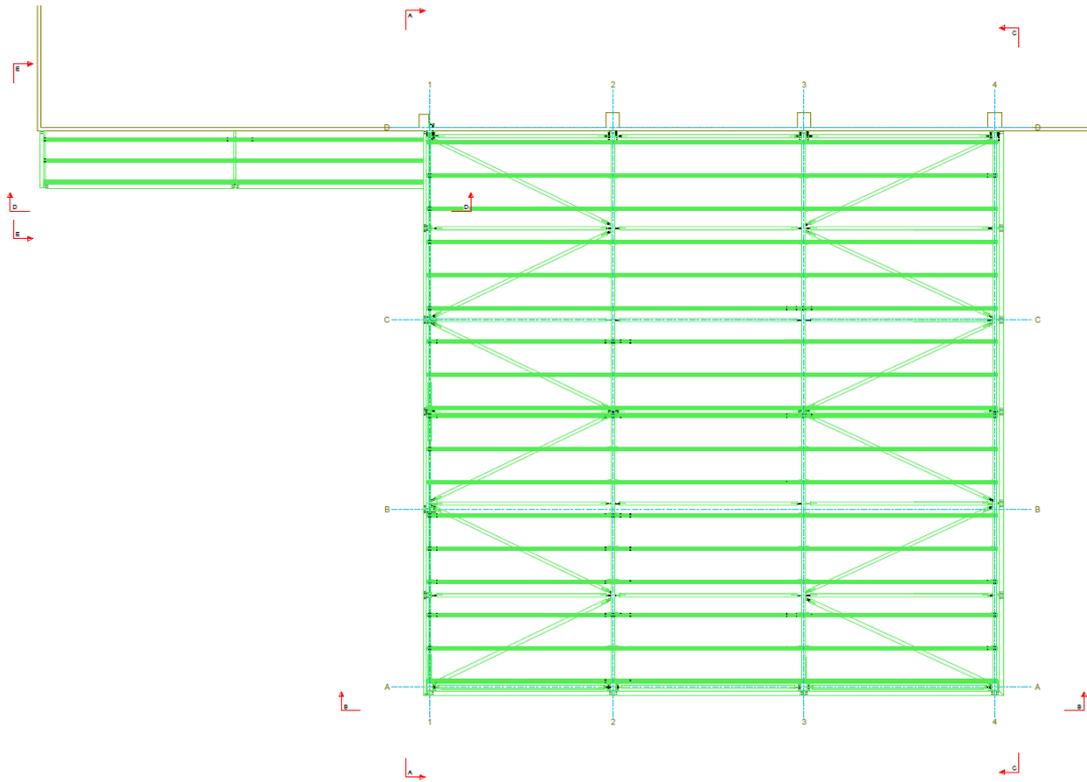


Figura A 7 - Planta de cobertura do Cais de Descarga

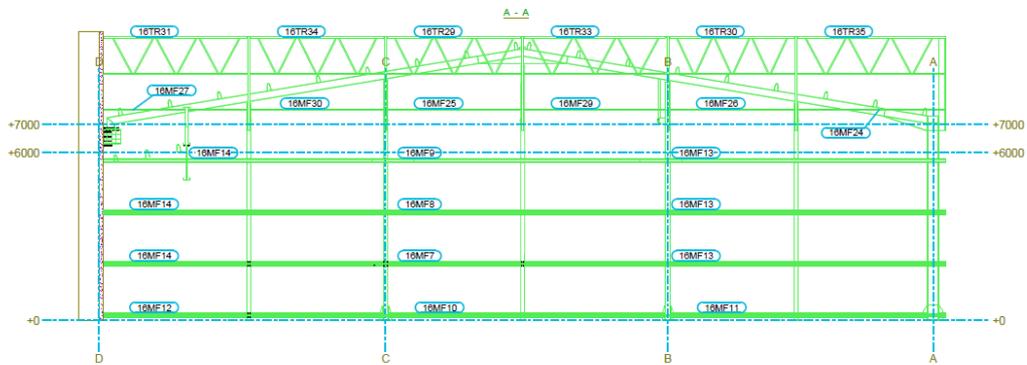


Figura A 8 – Alçado Norte do Cais de Descarga

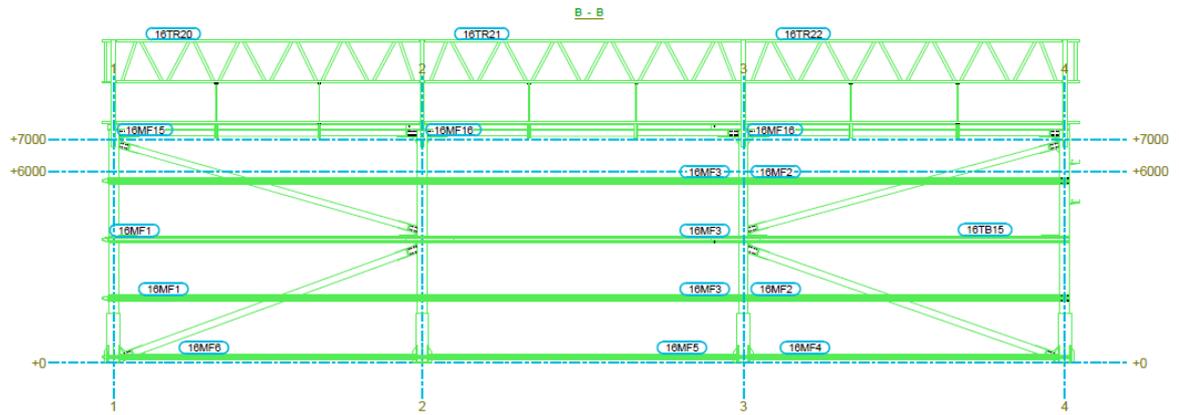


Figura A 9 Alçado Oeste do Cais de Descarga

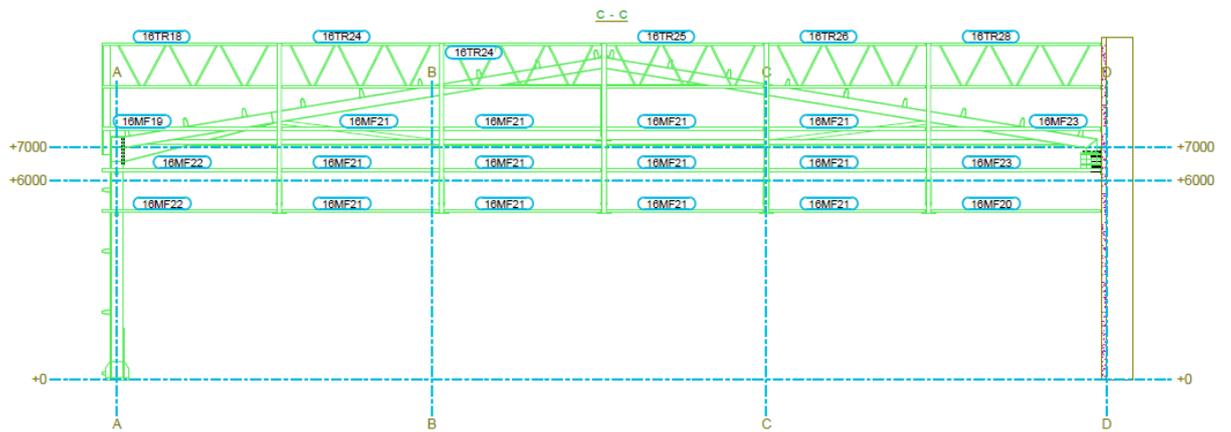


Figura A 10 - Alçado Sul do Cais de Descarga

## A2.2. Apresentação de resultados de cálculo

Neste capítulo são apresentados os resultados de cálculo para as secções finais, obtidos pela modelação no software *Robot Structural Analysis*, da Autodesk.

Os elementos apresentados, na Figura A 6, são os que apresentam valores de esforços mais elevados para o tipo função que desempenham, isto é, para os pilares de empena foi escolhido o que tem o rácio resistência/esforço mais elevado, para as anas igualmente assim como para os restantes elementos. Eventualmente poderia haver uma redução de secção para um elemento de um dado grupo, mas por questões arquitetónicas e para facilitar os trabalhos a realizar, uniformizou-se as secções para cada tipologia de elemento.

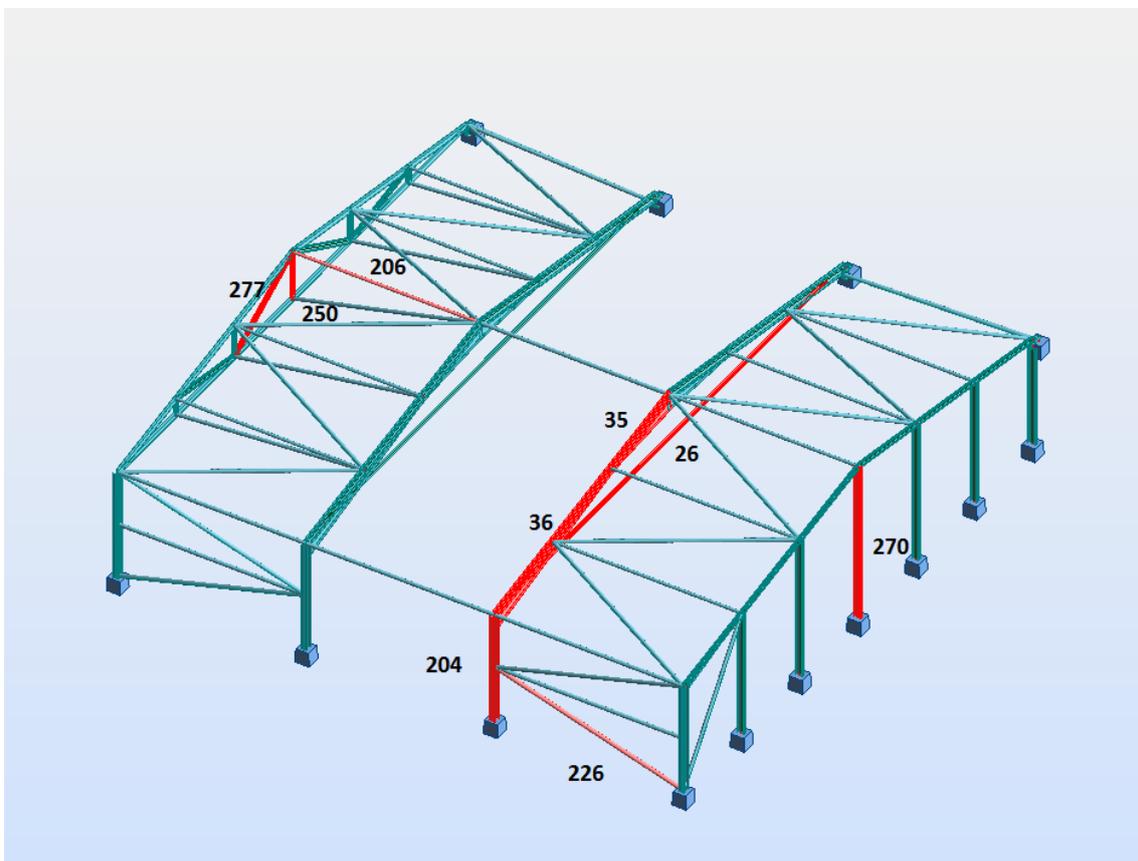


Figura A 11 – Numeração de Membros do cais de descarga

**CÓDIGO:** EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TIPO DE ANÁLISE:** Verificação de membro

**MEMBRO:** 204

**CARGAS:**

Caso de carga atuante: 27 1.35g+1.50w-y+ 1\*1.35+9\*1.50

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00$  MPa



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: 360**

h=365.0 mm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=300.0 mm	Ay=105.30 cm <sup>2</sup>	Az=31.50 cm <sup>2</sup>	Ax=180.26 cm <sup>2</sup>
tw=10.0 mm	Iy=43066.78 cm <sup>4</sup>	Iz=9839.97 cm <sup>4</sup>	Ix=175.12 cm <sup>4</sup>
tf=17.5 mm	Wply=2336.29 cm <sup>3</sup>	Wplz=1036.67 cm <sup>3</sup>	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N,Ed = 336.69 kN	My,Ed = -594.11 kN*m	Mz,Ed = -0.02 kN*m	Vy,Ed = -0.91 kN
Nc,Rd = 4957.10 kN	My,Ed,max = -594.11 kN*m		Mz,Ed,max = -
0.02 kN*m	Vy,T,Rd = 1671.44 kN		
Nb,Rd = 4495.69 kN	My,c,Rd = 642.48 kN*m		Mz,c,Rd = 285.08
kN*m	Vz,Ed = -122.30 kN		
	MN,y,Rd = 639.52 kN*m		MN,z,Rd =
283.77 kN*m	Vz,T,Rd = 500.06 kN		
	Mb,Rd = 642.48 kN*m		Tt,Ed = -0.01
kN*m			

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 0.00	Mcr = 3172.07 kN*m	Curva,LT - c	XLT = 0.97
Lcr,low=6.000 m	Lam_LT = 0.45	fi,LT = 0.59	XLT,mod = 1.00

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:

Ly = 6.000 m	Lam_y = 0.45
Lcr,y = 6.000 m	Xy = 0.91
Lamy = 38.82	kyy = 0.64



Em torno do eixo z:

Lz = 6.000 m	Lam_z = 0.00
Lcr,z = 0.000 m	Xz = 1.00
Lamz = 0.00	kyz = 0.64

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$$N,Ed/Nc,Rd = 0.07 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(My,Ed/MN,y,Rd)^{2.00} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.00} = 0.86 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$Vy,Ed/Vy,T,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.24 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\lambda_{y,Ed} = 38.82 < \lambda_{y,max} = 200.00 \quad \lambda_{z,Ed} = 0.00 < \lambda_{z,max} = 200.00$$

ESTÁVEL

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.92 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.67 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.39 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!****MEMBRO: 270****CARGAS:**

Caso de carga atuante: 27 1.35g+1.50w-y+ 1\*1.35+9\*1.50

**MATERIAL:**S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00$  MPa**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 360**

h=360.0 mm	g <sub>M0</sub> =1.00	g <sub>M1</sub> =1.00	
b=170.0 mm	A <sub>y</sub> =48.84 cm <sup>2</sup>	A <sub>z</sub> =35.14 cm <sup>2</sup>	A <sub>x</sub> =72.73 cm <sup>2</sup>
t <sub>w</sub> =8.0 mm	I <sub>y</sub> =16265.60 cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> =1043.45 cm <sup>4</sup>	I <sub>x</sub> =36.20 cm <sup>4</sup>
t <sub>f</sub> =12.7 mm	W <sub>ply</sub> =1019.22 cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> =191.10 cm <sup>3</sup>	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N <sub>Ed</sub> = 141.07 kN	M <sub>y,Ed</sub> = -78.86 kN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 0.61 kN*m	V <sub>y,Ed</sub> = 0.07 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 2000.05 kN	M <sub>y,Ed,max</sub> = -78.86 kN*m		M <sub>z,Ed,max</sub> =
0.61 kN*m	V <sub>y,c,Rd</sub> = 775.46 kN		
N <sub>b,Rd</sub> = 1722.71 kN	M <sub>y,c,Rd</sub> = 280.29 kN*m		M <sub>z,c,Rd</sub> = 52.55
kN*m	V <sub>z,Ed</sub> = 37.79 kN		
	M <sub>N,y,Rd</sub> = 280.29 kN*m		M <sub>N,z,Rd</sub> = 52.55
kN*m	V <sub>z,c,Rd</sub> = 557.88 kN		
	M <sub>b,Rd</sub> = 134.42 kN*m		

Classe da seção = 1

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00	M <sub>cr</sub> = 195.52 kN*m	Curva,LT - b	XLT = 0.48
L <sub>cr,low</sub> =8.700 m	L <sub>am_LT</sub> = 1.20	f <sub>i,LT</sub> = 1.39	

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

Em torno do eixo y:

L <sub>y</sub> = 8.700 m	L <sub>am_y</sub> = 0.67
L <sub>cr,y</sub> = 8.700 m	X <sub>y</sub> = 0.86
L <sub>am_y</sub> = 58.18	k <sub>yy</sub> = 0.95



Em torno do eixo z:

L <sub>z</sub> = 8.700 m	L <sub>am_z</sub> = 0.46
L <sub>cr,z</sub> = 1.500 m	X <sub>z</sub> = 0.90
L <sub>am_z</sub> = 39.60	k <sub>yz</sub> = 1.52

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.07 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.09 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.07 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\lambda_{y} = 58.18 < \lambda_{y,max} = 200.00 \quad \lambda_{z} = 39.60 < \lambda_{z,max} = 200.00$$

ESTÁVEL

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.59 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.66 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.40 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!**

**MEMBRO: 35**

**CARGAS:**

Caso de carga atuante: 23 1.35g+1.50w-x+ 1\*1.35+5\*1.50

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00$  MPa



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 450**

h=450.0 mm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=190.0 mm	A <sub>y</sub> =55.48 cm <sup>2</sup>	A <sub>z</sub> =39.56 cm <sup>2</sup>	A <sub>x</sub> =98.82 cm <sup>2</sup>
tw=9.4 mm	I <sub>y</sub> =33742.90 cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> =1675.86 cm <sup>4</sup>	I <sub>x</sub> =63.80 cm <sup>4</sup>
tf=14.6 mm	W <sub>ply</sub> =1623.92 cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> =272.83 cm <sup>3</sup>	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N <sub>Ed</sub> = 365.00 kN	M <sub>y,Ed</sub> = 398.14 kN*m	M <sub>z,Ed</sub> = -0.23 kN*m	V <sub>y,Ed</sub> = 0.02 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 2717.57 kN	M <sub>y,pl,Rd</sub> = 446.58 kN*m		M <sub>z,pl,Rd</sub> = 75.03 kN*m
	V <sub>y,T,Rd</sub> = 880.67 kN		
N <sub>b,Rd</sub> = 2391.29 kN	M <sub>y,c,Rd</sub> = 446.58 kN*m		M <sub>z,c,Rd</sub> = 75.03 kN*m
	V <sub>z,Ed</sub> = -1.88 kN		
	M <sub>N,y,Rd</sub> = 438.52 kN*m		M <sub>N,z,Rd</sub> = 73.67 kN*m
	V <sub>z,T,Rd</sub> = 627.94 kN		
			T <sub>t,Ed</sub> = 0.00 kN*m

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:

$$\begin{aligned} L_y &= 10.161 \text{ m} & \lambda_{m,y} &= 0.44 \\ L_{cr,y} &= 10.161 \text{ m} & X_y &= 0.91 \\ \lambda_{m,y} &= 37.81 & k_{yy} &= 0.63 \end{aligned}$$



Em torno do eixo z:

$$\begin{aligned} L_z &= 10.161 \text{ m} & \lambda_{m,z} &= 0.43 \\ L_{cr,z} &= 1.525 \text{ m} & X_z &= 0.88 \\ \lambda_{m,z} &= 37.56 & k_{yz} &= 0.63 \end{aligned}$$

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:****Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.13 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^1 = 0.83 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(\tau_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(\tau_z/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\lambda_{m,y} = 37.81 < \lambda_{m,max} = 200.00 \quad \lambda_{m,z} = 37.56 < \lambda_{m,max} = 200.00$$

ESTÁVEL

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.71 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.44 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!****MEMBRO: 36****CARGAS:**

Caso de carga atuante: 23 1.35g+1.50w-x+ 1\*1.35+5\*1.50

**MATERIAL:**S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ **PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 450**

$$\begin{aligned} h &= 450.0 \text{ mm} & g_{M0} &= 1.00 & g_{M1} &= 1.00 \\ b &= 190.0 \text{ mm} & A_y &= 63.21 \text{ cm}^2 & A_z &= 50.85 \text{ cm}^2 & A_x &= 98.82 \text{ cm}^2 \\ t_w &= 9.4 \text{ mm} & I_y &= 33742.90 \text{ cm}^4 & I_z &= 1675.86 \text{ cm}^4 & I_x &= 63.80 \text{ cm}^4 \\ t_f &= 14.6 \text{ mm} & W_{ply} &= 1701.92 \text{ cm}^3 & W_{plz} &= 276.39 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 362.70 \text{ kN} & M_{y,Ed} &= 389.15 \text{ kN}\cdot\text{m} & M_{z,Ed} &= -0.25 \text{ kN}\cdot\text{m} & V_{y,Ed} &= -0.07 \text{ kN} \\ N_{c,Rd} &= 2717.57 \text{ kN} & M_{y,pl,Rd} &= 468.03 \text{ kN}\cdot\text{m} & & & M_{z,pl,Rd} &= 76.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ & & V_{y,T,Rd} &= 1003.55 \text{ kN} & & & & \\ N_{b,Rd} &= 2481.25 \text{ kN} & M_{y,c,Rd} &= 468.03 \text{ kN}\cdot\text{m} & & & M_{z,c,Rd} &= 76.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ & & V_{z,Ed} &= -72.42 \text{ kN} & & & & \\ & & M_{N,y,Rd} &= 468.03 \text{ kN}\cdot\text{m} & & & M_{N,z,Rd} &= 76.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ & & V_{z,T,Rd} &= 807.22 \text{ kN} & & & & \\ & & & & & & T_{t,Ed} &= 0.00 \end{aligned}$$

kN\*m

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE F ENCURVADURA LATERAL:**

**PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:**



Em torno do eixo y:

Ly = 5.080 m      Lam\_y = 0.23  
Lcr,y = 5.080 m      Xy = 0.99  
Lamy = 19.66      kyy = 0.67



Em torno do eixo z:

Lz = 5.080 m      Lam\_z = 0.43  
Lcr,z = 1.524 m      Xz = 0.91  
Lamz = 37.53      kyz = 0.57

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$$N,Ed/Nc,Rd = 0.13 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(My,Ed/MN,y,Rd)^{2.00} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.00} = 0.69 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$Vy,Ed/Vy,T,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.09 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\text{Tau},ty,Ed/(fy/(\text{sqrt}(3)*gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\text{Tau},tz,Ed/(fy/(\text{sqrt}(3)*gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\text{Lambda},y = 19.66 < \text{Lambda},\text{max} = 200.00 \quad \text{Lambda},z = 37.53 < \text{Lambda},\text{max} = 200.00$$

ESTÁVEL

$$N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed/(XLT*My,Rk/gM1) + kyz*Mz,Ed/(Mz,Rk/gM1) = 0.69 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed/(XLT*My,Rk/gM1) + kzz*Mz,Ed/(Mz,Rk/gM1) = 0.44 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!**

**MEMBRO: 206**

**CARGAS:**

Caso de carga atuante: 26 1.35g+1.50wy- 1\*1.35+8\*1.50

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )      fy = 275.00 MPa      fya = 235.00 MPa



**PARÂMETROS DA SEÇÃO: CHS 168.3x5**

h=168.3 mm      gM0=1.00      gM1=1.00  
Ay=16.36 cm<sup>2</sup>      Az=16.36 cm<sup>2</sup>      Ax=25.70 cm<sup>2</sup>  
tw=5.0 mm      Iy=856.00 cm<sup>4</sup>      Iz=856.00 cm<sup>4</sup>      Ix=1712.00 cm<sup>4</sup>  
Wply=133.38 cm<sup>3</sup>      Wplz=133.38 cm<sup>3</sup>

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N,Ed = 7.91 kN      My,Ed = 3.67 kN\*m  
Nc,Rd = 706.75 kN      My,Ed,max = 3.67 kN\*m

$$N_{b,Rd} = 135.89 \text{ kN} \quad M_{y,c,Rd} = 36.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MN_{y,Rd} = 36.66 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Classe da seção = 1

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:****PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

Em torno do eixo y:

$$L_y = 10.000 \text{ m} \quad \lambda_{m,y} = 1.85$$

$$L_{cr,y} = 10.000 \text{ m} \quad X_y = 0.23$$

$$\lambda_{m,y} = 173.27 \quad k_{yy} = 1.03$$



Em torno do eixo z:

$$L_z = 10.000 \text{ m} \quad \lambda_{m,z} = 1.85$$

$$L_{cr,z} = 10.000 \text{ m} \quad X_z = 0.23$$

$$\lambda_{m,z} = 173.27 \quad k_{zy} = 0.63$$

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:****Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.10 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$M_{y,Ed}/MN_{y,Rd} = 0.10 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(2))$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\lambda_{m,y} = 173.27 < \lambda_{m,max} = 200.00 \quad \lambda_{m,z} = 173.27 < \lambda_{m,max} = 200.00 \quad \text{ESTÁVEL}$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.15 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.11 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!****MEMBRO: 226****CARGAS:**

Caso de carga atuante: 25 1.35g+1.50wy+ 1\*1.35+7\*1.50

**MATERIAL:**S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$   $f_{ya} = 235.00 \text{ MPa}$ **PARÂMETROS DA SEÇÃO: CHS 219.1x10**

$$h=219.1 \text{ mm} \quad g_{M0}=1.00 \quad g_{M1}=1.00$$

$$A_y=41.83 \text{ cm}^2 \quad A_z=41.83 \text{ cm}^2 \quad A_x=65.70 \text{ cm}^2$$

$$t_w=10.0 \text{ mm} \quad I_y=3598.00 \text{ cm}^4 \quad I_z=3598.00 \text{ cm}^4 \quad I_x=7196.00 \text{ cm}^4$$

$$W_{ply}=437.56 \text{ cm}^3 \quad W_{plz}=437.56 \text{ cm}^3$$

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

$$N_{Ed} = 100.43 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = 2.60 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} = 1806.75 \text{ kN} \quad M_{y,Ed,max} = 9.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{b,Rd} = 484.51 \text{ kN} \quad M_{y,c,Rd} = 120.33 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{z,Ed} = -3.22$$

$$\text{kN} \quad MN_{y,Rd} = 119.44 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad V_{z,c,Rd} =$$

664.08 kN

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:

Ly = 10.440 m      Lam\_y = 1.50  
Lcr,y = 10.440 m      Xy = 0.31  
Lamy = 141.08      kyy = 1.11



Em torno do eixo z:

Lz = 10.440 m      Lam\_z = 1.50  
Lcr,z = 10.440 m      Xz = 0.31  
Lamz = 141.08      kzy = 0.70

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.06 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(2))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\lambda_{y} = 141.08 < \lambda_{max} = 200.00 \quad \lambda_{z} = 141.08 < \lambda_{max} = 200.00 \quad \text{ESTÁVEL}$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM_1) = 0.27 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM_1) = 0.23 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!**

**MEMBRO: 250**

**CARGAS:**

Caso de carga atuante: 36 1.00g+1.50w-y- 1\*1.00+10\*1.50

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )      fy = 275.00 MPa



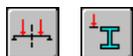
**PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 270**

h=270.0 mm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=135.0 mm	Ay=31.45 cm <sup>2</sup>	Az=22.14 cm <sup>2</sup>	Ax=45.94 cm <sup>2</sup>
tw=6.6 mm	Iy=5789.78 cm <sup>4</sup>	Iz=419.87 cm <sup>4</sup>	Ix=14.93 cm <sup>4</sup>
tf=10.2 mm	Wply=484.03 cm <sup>3</sup>	Wplz=96.95 cm <sup>3</sup>	

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

N <sub>Ed</sub> = -1.09 kN	M <sub>y,Ed</sub> = -0.18 kN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 1.53 kN*m	V <sub>y,Ed</sub> = 0.57 kN
N <sub>t,Rd</sub> = 1263.49 kN	M <sub>y,pl,Rd</sub> = 133.11 kN*m		M <sub>z,pl,Rd</sub> = 26.66 kN*m
	V <sub>y,c,Rd</sub> = 499.36 kN		
	M <sub>y,c,Rd</sub> = 133.11 kN*m		M <sub>z,c,Rd</sub> = 26.66 kN*m
	V <sub>z,Ed</sub> = 0.07 kN		

$MN,y,Rd = 133.11 \text{ kN}^*\text{m}$   $MN,z,Rd = 26.66$   
 $Vz,c,Rd = 351.49 \text{ kN}$   
 $Mb,Rd = 118.42 \text{ kN}^*\text{m}$   
 Classe da seção = 1

**PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:**

$z = 1.00$   $Mcr = 368.60 \text{ kN}^*\text{m}$  Curva,LT - a  $XLT = 0.89$   
 $Lcr,low = 2.700 \text{ m}$   $Lam_{LT} = 0.60$   $fi,LT = 0.72$

**PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:**

Em torno do eixo y:



Em torno do eixo z:

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:****Verificação de resistência de seção:**

$$N,Ed/Nt,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$

$$(My,Ed/MN,y,Rd)^2 + (Mz,Ed/MN,z,Rd) = 0.06 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$Vy,Ed/Vy,c,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

$$Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$My,Ed/Mb,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

**Seção OK !!!****MEMBRO: 277****CARGAS:**Caso de carga atuante:  $36 \text{ 1.00g} + 1.50\text{w-y} - 1*1.00 + 10*1.50$ **MATERIAL:**S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ **PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 270**

$h = 270.0 \text{ mm}$   $gM0 = 1.00$   $gM1 = 1.00$   
 $b = 135.0 \text{ mm}$   $Ay = 31.45 \text{ cm}^2$   $Az = 22.14 \text{ cm}^2$   $Ax = 45.94 \text{ cm}^2$   
 $tw = 6.6 \text{ mm}$   $Iy = 5789.78 \text{ cm}^4$   $Iz = 419.87 \text{ cm}^4$   $Ix = 14.93 \text{ cm}^4$   
 $tf = 10.2 \text{ mm}$   $Wply = 484.03 \text{ cm}^3$   $Wplz = 96.95 \text{ cm}^3$

**FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:**

$N,Ed = 86.99 \text{ kN}$   $My,Ed = -1.33 \text{ kN}^*\text{m}$   $Mz,Ed = 1.68 \text{ kN}^*\text{m}$   $Vy,Ed = -0.61 \text{ kN}$   
 $Nc,Rd = 1263.49 \text{ kN}$   $My,Ed,max = -6.38 \text{ kN}^*\text{m}$   $Mz,Ed,max = -$   
 $1.80 \text{ kN}^*\text{m}$   $Vy,T,Rd = 498.78 \text{ kN}$   
 $Nb,Rd = 229.54 \text{ kN}$   $My,c,Rd = 133.11 \text{ kN}^*\text{m}$   $Mz,c,Rd = 26.66$   
 $\text{kN}^*\text{m}$   $Vz,Ed = -0.08 \text{ kN}$   
 $MN,y,Rd = 133.11 \text{ kN}^*\text{m}$   $MN,z,Rd = 26.66$

kN\*m  $V_{z,T,Rd} = 351.23$  kN  
 $M_{b,Rd} = 78.32$  kN\*m  $T_{t,Ed} = -0.01$

kN\*m

Classe da seção = 1



**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

$z = 1.00$   $M_{cr} = 107.82$  kN\*m Curva,LT - a  $X_{LT} = 0.59$   
 $L_{cr,low} = 5.682$  m  $\lambda_{m,LT} = 1.11$   $f_{i,LT} = 1.21$

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**



Em torno do eixo y:

$L_y = 5.682$  m  $\lambda_{m,y} = 0.58$   
 $L_{cr,y} = 5.682$  m  $X_y = 0.90$   
 $\lambda_{m,y} = 50.62$   $k_{zy} = 0.48$



Em torno do eixo z:

$L_z = 5.682$  m  $\lambda_{m,z} = 2.17$   
 $L_{cr,z} = 5.682$  m  $X_z = 0.18$   
 $\lambda_{m,z} = 187.97$   $k_{zz} = 0.47$

**FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:**

**Verificação de resistência de seção:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.07 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.06 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(\tau_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(\tau_z/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Verificação de estabilidade global de membro:**

$$\lambda_{m,y} = 50.62 < \lambda_{m,max} = 200.00 \quad \lambda_{m,z} = 187.97 < \lambda_{m,max} = 200.00 \quad \text{ESTÁVEL}$$

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.08 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.19 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.45 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Seção OK !!!**