



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

# **Integração de BIM no detalhamento de ligações metálicas: uma abordagem com Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa**

Gabriel Vinícius Gartner

## **Trabalho de Projeto**

Mestrado em Engenharia da Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor Gilberto Antunes Ferreira Rouxinol  
Professor Doutor Cleovir José Milani

Maio de 2025



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

# **Integração de BIM no detalhamento de ligações metálicas: uma abordagem com Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa**

Gabriel Vinicius Gartner

## **Trabalho de Projeto**

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Gilberto Antunes Ferreira Rouxinol  
Professor Doutor Cleovir José Milani

Maio de 2025

## **AGRADECIMENTOS**

A conclusão do curso de mestrado representa um marco significativo na minha vida, e foi possível graças ao apoio de pessoas especiais que caminharam ao meu lado durante essa jornada.

Em primeiro lugar, agradeço profundamente aos meus pais e à minha família, cuja presença constante e amor incondicional foram a base para todas as minhas conquistas. O seu apoio foi o meu alicerce nos momentos mais desafiadores, e as suas palavras de incentivo sempre me impulsionaram a seguir em frente.

Aos meus amigos, pelo incentivo, pelas palavras de motivação e pelos momentos de descontração que trouxeram equilíbrio e alegria durante os desafios desta jornada.

Por fim, estendo minha gratidão a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta jornada fosse possível. Cada gesto, por menor que pareça, teve um impacto profundo e ajudou a transformar este sonho em realidade.

A todos vocês, meu mais sincero obrigado.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o estudo e o dimensionamento de um pavilhão industrial metálico, de carácter meramente académico, destinado ao armazenamento de materiais. O pavilhão apresenta dimensões de 36 metros de comprimento, 24 metros de vão e é composto por sete pórticos dispostos longitudinalmente.

Adotou-se uma abordagem integrada com base nas metodologias BIM (Building Information Modeling), utilizando licenças estudantis cedidas pela empresa Construsoft em colaboração com o Instituto Politécnico de Viseu. Para a modelação, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento dos principais elementos estruturais do projeto, foram utilizados os softwares Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa.

O processo teve início com a definição das ações atuantes na estrutura, em conformidade com os Eurocódigos, seguida da realização de análises estruturais, incluindo análises estáticas de primeira e segunda ordem, bem como a verificação de deslocamentos e tensões. Com base nesses estudos, foi possível determinar os perfis metálicos mais adequados para os elementos estruturais.

Posteriormente, procedeu-se à verificação e ao dimensionamento detalhado das ligações metálicas, explorando a interoperabilidade entre os softwares Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa, de forma a garantir a precisão dos resultados e a conformidade com os requisitos normativos.

Adicionalmente, foram gerados elementos de documentação técnica com base no modelo estrutural desenvolvido, incluindo vistas gerais da estrutura e relatórios automáticos provenientes dos softwares utilizados. Estes relatórios apresentam os resultados das análises estruturais realizadas, as combinações de ações aplicadas, a verificação dos estados-limite e os critérios normativos adotados, constituindo uma ferramenta de apoio à validação do projeto.

Os resultados obtidos confirmam que os elementos estruturais e as ligações metálicas dimensionadas cumprem os critérios de segurança e funcionalidade estabelecidos pelos Eurocódigos, tal como implementado nos softwares utilizados. Estes, por sua vez, baseiam-se em normas internacionais de referência, assegurando a conformidade do projeto com os requisitos regulamentares aplicáveis. Para além de cumprir os objetivos académicos propostos, este estudo constitui um contributo relevante para a consolidação de boas práticas na aplicação de ferramentas

computacionais avançadas em estruturas metálicas, oferecendo uma base de apoio a futuros desenvolvimentos e aplicações profissionais na área da engenharia estrutural.

**Keywords:** Metodologia BIM; Dimensionamento Estrutural; Tekla Structural Designer; IDEA StatiCa; Modelação Estrutural; Ligações Metálicas

## **ABSTRACT**

This work aimed to study and design a steel industrial warehouse, for academic purposes only, intended for material storage. The building has dimensions of 36 meters in length and 24 meters in span, and is composed of seven frames arranged longitudinally.

An integrated approach based on Building Information Modeling (BIM) methodologies was adopted, using student licenses provided by the company Construsoft in collaboration with the Polytechnic Institute of Viseu. The software tools Tekla Structural Designer and IDEA StatiCa were used for modeling, structural analysis, design, and detailing of the main structural elements of the project.

The process began with the definition of the loads acting on the structure, in accordance with the Eurocodes, followed by structural analyses, including first- and second-order static analyses, as well as the verification of displacements and stresses. Based on these studies, the most suitable steel profiles for the structural elements were determined.

Subsequently, the verification and detailed design of the steel connections were carried out, exploring the interoperability between Tekla Structural Designer and IDEA StatiCa to ensure result accuracy and compliance with normative requirements.

Additionally, technical documentation elements were generated based on the developed structural model, including general views of the structure and automatic reports generated by the software used. These reports present the results of the structural analyses performed, the applied load combinations, the verification of limit states, and the normative criteria adopted, serving as a support tool for validating the project.

The results obtained confirm that the structural elements and steel connections designed meet the safety and functionality criteria established by the Eurocodes, as implemented in the software used. These, in turn, are based on internationally recognized standards, ensuring the project's compliance with applicable regulatory requirements. In addition to fulfilling the proposed academic objectives, this study makes a relevant contribution to the consolidation of good practices in the use of advanced computational tools in steel structure design, offering a foundation for future developments and professional applications in structural engineering.

**Keywords:** BIM Methodology; Structural Design; Tekla Structural Designer; IDEA StatiCa; Structural Modeling; Steel Connections

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS / QUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos da investigação	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Abordagem metodológica	3
1.4 Estrutura do projeto	3
2 ESTUDO DA ARTE	6
2.1 Generalidades	6
2.2 Conceito BIM	9
3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE EXEMPLO – PAVILHÃO INDUSTRIAL	15
3.1 Descrição da estrutura exemplo – pavilhão industrial	16
3.1.1 Definição da sua localização e finalidade	16
3.1.2 Geometria e descrição	16
3.2 Modelos de cálculo	17
3.3 Quantificação das Ações	19
3.3.1 Ações permanentes	20
3.3.2 Ações variáveis	21
3.3.3 Ações térmicas	21
3.3.4 Ação do fogo	23
3.3.5 Ação da neve	24
3.3.6 Ação sísmica	27
3.3.7 Ação do vento	36
3.4 Dimensionamento dos elementos estruturais	42
3.5 Análises do comportamento da estrutura	47
3.5.1 Fator de carga crítica	48

3.5.2	Frequência natural de vibração e massa modal acumulada	49
3.6	Ligações metálicas	50
3.6.1	Criação de uma ligação metálica no software IDEA StatiCa	51
3.6.2	Determinação da ligação metálica submetida ao caso mais crítico	57
3.6.3	Processo de criação e dimensionamento das ligações metálicas pilar-Viga e viga-viga	58
3.6.3.1	Ferramentas visuais obtidas a partir do CBFEM.	64
3.6.4	Geração de relatório técnico	69
4	RESULTADOS	71
4.1	Modelo estrutural	71
4.1.1	Esforços internos	72
4.1.2	Taxa de utilização dos elementos estruturais	74
4.2	Resultados das ligações metálicas	76
4.2.1	Ligação metálica viga-pilar	76
4.2.2	Ligação metálica viga-viga	77
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	80
5.1	Vantagens e desvantagens da metodologia BIM no contexto de estudo	80
5.2	Funcionamento e desempenho dos softwares utilizados	81
5.3	Dificuldades de aprendizagem e adaptação	82
5.4	Limitações do estudo e da aplicação do BIM	83
5.5	Avaliação dos resultados obtidos face às expectativas	83
6	CONCLUSÃO	85
6.1	Generalidades	85
6.2	Trabalhos futuros	86



## ÍNDICE DE TABELAS / QUADROS

Tabela 1 - Ações e Normas.....	20
Tabela 2 - Valores recomendados para o fator de comportamento sísmico .....	32
Tabela 3 - Valores recomendados para o coeficiente $\psi_E$ para cargas variáveis. ....	34
Tabela 4 - Valores recomendados para o coeficiente $\psi_E$ para carga de neve.....	34
Tabela 5 - Valores de referência para a velocidade fundamental básica do vento. ...	38
Tabela 6 - Interpretação do fator de carga crítica.....	49
Tabela 7 - Configuração dos coeficientes e fatores considerados no dimensionamento e verificação de estruturas metálicas. ....	56
Tabela 8 - Quadro de Perfis Estruturais Adotados no Pavilhão Industrial .....	73
Tabela 9 - Resumo dos esforços internos máximos – vigas e pilares.....	73
Tabela 10 - Síntese crítica da metodologia BIM aplicada .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Projeto emblemático com estrutura metálica detalhada em Tekla Structures .....	12
Figura 2 - Edifício The Madison.....	13
Figura 3 – Localização do pavilhão industrial.....	16
Figura 4 – Estrutura exemplo – pavilhão industrial metálico .....	17
Figura 5 - Representação da Dead Load a respeito do isolamento .....	21
Figura 6 - Configuração da resistência ao fogo.....	24
Figura 7 - Primeira janela de configuração para o carregamento de neve.....	25
Figura 8 - Segunda janela de configuração do carregamento de neve .....	26
Figura 9 - Primeira configuração para o carregamento de ações sísmicas.....	28
Figura 10 - Segunda configuração para a definição da ação sísmica .....	29
Figura 11 - Terceira configuração para a definição da ação sísmica .....	30
Figura 12 – Disposição de cada direção em relação ao modelo .....	31
Figura 13 - Behaviour Factor.....	31
Figura 14 - Definição de quais ações gravitacionais devem ser consideradas na massa sísmica da estrutura .....	33
Figura 15 – Configuração final para a definição da ação sísmica .....	35
Figura 16 – Seleção de dados e opções .....	37
Figura 17 - Definição dos parâmetros básicos .....	38
Figura 18 - Rugosidade e Obstruções.....	39
Figura 19 – Distância do pavilhão industrial ao Oceano Atlântico.....	40
Figura 20 - Considerações orográficas do local .....	40
Figura 21 - Resultados da pressão do vento.....	41
Figura 22 - Identificação dos elementos estruturais insuficientes .....	43
Figura 23 - Opções auxiliares de redimensionamento de elementos estruturais .....	44
Figura 24 - Esforços internos de uma viga.....	45
Figura 25 - Ferramenta "Check Member".....	46
Figura 26 - Visualização da taxa de utilização os elementos estruturais. ....	47
Figura 27 - Demonstração do processo de exportação do modelo para o IDEA StatiCa .....	52
Figura 28 - Checkbox Control Panel .....	53

Figura 29 - Representação da exportação do modelo estrutural para o IDEA StatiCa .....	54
Figura 30 – Interface que precede a modelagem de ligação metálica no IDEA StatiCa. ....	54
Figura 31 - Representação dos momentos fletores solicitados pelo envelope.....	57
Figura 32 - Parâmetro para verificação de uma ligação metálica no software IDEA StatiCa. ....	59
Figura 33 - Exemplo de relatório de resultados para chapas. ....	60
Figura 34 - Exemplo de relatório de resultados para parafusos. ....	62
Figura 35 - Exemplo de relatório de resultados para soldas. ....	63
Figura 36 - Comparação entre abordagens de dimensionamento de ligações metálicas. ....	65
Figura 37 – Ferramentas visuais de verificação estrutural no IDEA StatiCa. ....	65
Figura 38 - Representação da verificação da deformação. ....	66
Figura 39 – Representação da forma de encurvadura. ....	67
Figura 40 - Representação da distribuição das tensões equivalentes de von Mises	68
Figura 41 - Distribuição das taxas de utilização dos perfis estruturais .....	75

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

A indústria da construção civil atravessa uma transformação significativa, marcada por uma crescente procura por soluções inovadoras e sustentáveis, aliada à necessidade de maior eficiência, precisão e controlo em todas as fases do projeto. Este cenário, amplamente impulsionado pela digitalização e pela integração de tecnologias emergentes, tem fomentado a adoção de metodologias avançadas como o Building Information Modeling (BIM). Para além da criação de modelos tridimensionais detalhados, o BIM permite uma gestão integrada de todo o ciclo de vida da construção, desde a conceção inicial até à operação e manutenção.

Neste contexto, a utilização do BIM tem vindo a consolidar-se como um novo padrão de atuação no setor, especialmente em projetos que exigem elevados níveis de colaboração entre engenheiros, arquitetos e outros intervenientes. Entre os principais benefícios destacam-se a capacidade de prever e evitar conflitos em obra, reduzir erros de projeto, melhorar a comunicação entre equipas e otimizar processos. No entanto, a sua implementação ainda enfrenta desafios importantes, tais como os custos iniciais de adoção, a resistência a mudanças nos métodos tradicionais e a necessidade de formação técnica especializada.

O presente trabalho insere-se nesse contexto de transformação digital e visa explorar a aplicação prática de ferramentas BIM no domínio das estruturas metálicas, através da utilização dos softwares Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa para a modelação, análise, dimensionamento e verificação de um pavilhão industrial metálico. A escolha do tema foi motivada pela crescente relevância destas tecnologias no setor da construção, bem como pela oportunidade de demonstrar o seu contributo real para o desenvolvimento de projetos mais integrados, precisos e eficientes. Pretende-se ainda reforçar a importância da disseminação de boas práticas no uso do BIM, proporcionando um exemplo de aplicação concreta em ambiente académico.

A pertinência do estudo decorre também do enfoque numa área crítica e frequentemente subvalorizada: o detalhamento de estruturas metálicas. Embora este segmento tenha vindo a ganhar importância, nomeadamente em Portugal, continua a verificar-se uma utilização limitada de ferramentas digitais avançadas com potencial para revolucionar o processo de conceção estrutural. O presente trabalho procura,

assim, colmatar essa lacuna, ao demonstrar como a adoção de softwares especializados permite não só automatizar tarefas repetitivas e aumentar a precisão do projeto, mas também consolidar uma abordagem mais eficiente, colaborativa e tecnicamente fundamentada. O contributo do estudo é, por isso, duplo: por um lado, promove a inovação e integração tecnológica na engenharia civil; por outro, reforça a formação académica e profissional num domínio em constante evolução.

## **1.2 Objetivos da investigação**

A definição clara do objetivo geral e dos objetivos específicos permitiu estruturar o desenvolvimento do presente trabalho de forma lógica e direcionada. Ao estabelecer os propósitos centrais da investigação, criou-se uma base sólida para a seleção dos métodos, ferramentas e estratégias de análise que serão explorados nos capítulos seguintes. Estes objetivos orientaram cada etapa do estudo, desde a modelação estrutural inicial até à verificação das ligações metálicas, garantindo a coerência entre a proposta académica e os resultados obtidos. A seguir, apresenta-se a metodologia adotada para a concretização desta investigação, bem como a organização do conteúdo do projeto.

### **1.2.1 Objetivo geral**

Desenvolver uma abordagem orientada para o estudo e dimensionamento de ligações metálicas do tipo viga-viga e viga-pilar, aplicando ferramentas BIM, com especial enfoque na utilização dos softwares Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa, de forma a superar desafios associados à compatibilidade entre plataformas, precisão analítica e eficiência no processo de projeto estrutural.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- i. Evidenciar a importância da fase de pormenorização de estruturas metálicas na gestão e execução de projetos de construção;
- ii. Utilizar o software Tekla Structural Designer para modelar e dimensionar um pavilhão metálico de cunho académico;
- iii. Integrar o software Tekla Structural Designer ao software IDEA StatiCa para realizar modelagem e dimensionamento de ligações metálicas do tipo viga-viga e viga-pilar;
- iv. Validar a interoperabilidade entre os softwares utilizados, com ênfase na troca precisa de informações em ambiente BIM;

- v. Produzir pormenores técnicos que reforcem a consistência do modelo e a preparação para fases posteriores de documentação do projeto;
- vi. Demonstrar a viabilidade de utilizar o BIM em projetos de alta complexidade, destacando a importância da colaboração interdisciplinar no desenvolvimento de soluções estruturais.

### **1.3 Abordagem metodológica**

A metodologia adotada para este estudo combina pesquisa exploratória com uma aplicação prática detalhada. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente para fundamentar teoricamente o uso do BIM e dos softwares Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa, além de explorar a importância da pormenorização em estruturas metálicas.

Posteriormente, a etapa prática do trabalho concentrou-se na modelagem de um pavilhão industrial metálico, utilizando o Tekla Structural Designer para desenvolver o modelo estrutural e dimensionar os elementos principais. Este modelo foi então integrado ao IDEA StatiCa para projetar e detalhar as ligações metálicas, garantindo compatibilidade e exequibilidade no contexto de fabrico e montagem. A interoperabilidade entre os softwares foi avaliada utilizando o formato IFC, permitindo verificar a eficiência na troca de informações e na colaboração interdisciplinar.

Por fim, foram gerados desenhos detalhados e relatórios que servem como base para análise crítica, com foco em identificar os benefícios e desafios do uso dessas ferramentas no setor da construção civil. A abordagem metodológica adotada não apenas destaca a aplicação prática das tecnologias, mas também reforça a importância de integrar ferramentas BIM em fluxos de trabalho colaborativos, contribuindo para um avanço significativo no detalhamento de estruturas metálicas e na gestão eficiente de projetos construtivos.

### **1.4 Estrutura do projeto**

Para além deste capítulo introdutório o projeto está organizado em mais 5 capítulos principais, estruturados para guiar o leitor desde a contextualização do tema até os resultados obtidos e suas implicações. Abaixo, apresenta-se um resumo dos capítulos, explicando as suas funções no desenvolvimento do trabalho:

- Capítulo 2 – Estudo da arte: O capítulo aborda as bases teóricas necessárias para o desenvolvimento do trabalho. A primeira seção

explora a contextualização global, enquanto a segunda se aprofunda no conceito de BIM, nas aplicações, nos benefícios e nos desafios no setor da construção civil.

- Capítulo 3 – Dimensionamento da estrutura exemplo – pavilhão industrial: Este capítulo descreve a metodologia empregada para alcançar os objetivos definidos. Apresenta a descrição do pavilhão estudado, incluindo a localização, a finalidade, a geometria e o modelo de cálculo utilizado. Aborda ainda os processos de quantificação de ações, as análises estruturais e as ferramentas tecnológicas utilizadas, com destaque para os softwares Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa.
- Capítulo 4 – Resultados: Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da modelação, análise e dimensionamento estrutural do pavilhão industrial metálico. São expostos os dados referentes aos elementos estruturais principais, com base nas análises realizadas no Tekla Structural Designer, bem como os resultados específicos da verificação das ligações metálicas do tipo viga-viga e viga-pilar, desenvolvidas no IDEA StatiCa. A secção inclui os valores obtidos nas verificações normativas, o desempenho das ligações sob diferentes combinações de ações e os relatórios gerados pelas ferramentas utilizadas, refletindo o comportamento estrutural global do modelo.
- Capítulo 5 – Discussão dos Resultados: Este capítulo apresenta uma análise crítica do trabalho desenvolvido, com base na experiência prática de aplicação da metodologia BIM ao dimensionamento de estruturas metálicas. São discutidos os principais desafios enfrentados durante o processo, bem como as vantagens observadas na utilização dos softwares Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa. A análise contempla ainda as dificuldades de aprendizagem, a interoperabilidade entre as ferramentas utilizadas e a exequibilidade das soluções adotadas. Por fim, os resultados são confrontados com os objetivos propostos, permitindo avaliar em que medida foram atingidos e refletir sobre o contributo do estudo para o contexto académico e profissional da engenharia estrutural.

- Capítulo 6 – Conclusão: O capítulo final sintetiza o percurso realizado ao longo do trabalho, retomando os objetivos inicialmente definidos e avaliando o seu grau de concretização. São apresentadas as principais conclusões decorrentes da aplicação da metodologia BIM no dimensionamento e verificação de estruturas metálicas, com destaque para os contributos obtidos através da utilização dos softwares Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa. A conclusão aborda ainda as limitações identificadas durante o desenvolvimento do estudo e propõe possíveis direções para trabalhos futuros, com vista ao aprofundamento do tema e à sua aplicação em contextos profissionais mais abrangentes.

Após o capítulo de conclusão, apresentam-se:

- As referências bibliográficas, que reúnem as fontes consultadas ao longo do desenvolvimento do trabalho;
- Os anexos, nos quais se encontram materiais complementares, como tabelas, figuras, cálculos, pormenores estruturais e outros documentos relevantes que apoiam e aprofundam os resultados apresentados ao longo do projeto.

## **2 ESTUDO DA ARTE**

Neste capítulo, são discutidos os principais conceitos relacionados ao BIM, sua evolução na indústria da construção e os desafios enfrentados na sua implementação. Além disso, é apresentado um panorama das normativas aplicáveis e dos avanços tecnológicos que impactam o dimensionamento e pormenores de estruturas metálicas.

### **2.1 Generalidades**

A indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC) atravessa uma fase de transformação significativa, impulsionada por diversos desafios contemporâneos. Entre estes, destacam-se a crescente complexidade dos projetos, a necessidade de maior eficiência e produtividade, as exigências em torno da sustentabilidade e das questões energéticas globais, bem como a gestão eficaz de grandes volumes de informação (LINO et al., 2012).

Tradicionalmente resistente à mudança, o setor tem-se mostrado progressivamente mais receptivo à adoção de tecnologias emergentes. Ferramentas como o Building Information Modeling (BIM), a inteligência artificial (IA), a impressão 3D e a realidade aumentada (RA) estão a ser gradualmente integradas nos processos de projeto, execução e gestão, com o objetivo de aumentar a precisão, reduzir erros, controlar custos e acelerar os prazos de execução.

Neste novo contexto, os profissionais da área — engenheiros, arquitetos e gestores — são desafiados a desenvolver competências tecnológicas avançadas e a adotar uma postura colaborativa e multidisciplinar. A integração de diferentes especialidades num fluxo de trabalho digital e coordenado torna-se essencial para enfrentar os desafios atuais do setor. Assim, a capacidade de utilizar ferramentas digitais, aliada à consciência ambiental e à eficiência energética, é hoje um requisito fundamental (AGUILAR-MOLINA, JUNIOR, 2015).

Contudo, a transformação digital exige mais do que tecnologia — requer também uma mudança cultural e organizacional. A inovação no setor AEC não se limita à introdução de novos softwares, mas implica uma redefinição de processos, dinâmicas de equipa e metodologias de projeto.

Segundo Lino et al. (2012), o BIM tem vindo a alterar significativamente a forma como se desenvolvem projetos de engenharia e construção, nomeadamente no campo das estruturas e fundações. Através da criação de um modelo digital integrado,

o BIM permite representar virtualmente a edificação, desde a fase de planeamento até à operação, promovendo a colaboração entre projetistas e aumentando a fiabilidade das decisões técnicas.

Entre os principais benefícios do BIM destacam-se a visualização tridimensional precisa, a antecipação de conflitos em obra, a simulação de desempenho estrutural e energético, e o planeamento eficiente da construção. Estes fatores contribuem para uma significativa redução de erros e desperdícios, assim como para a melhoria da comunicação entre os intervenientes no projeto.

Apesar do seu potencial, a implementação do BIM enfrenta ainda alguns obstáculos, particularmente em países onde a transformação digital no setor da construção ocorre de forma mais lenta. Lino et al. (2012) identificam os seguintes entraves:

- Custo inicial e formação: A aquisição de licenças de software e a capacitação de profissionais representam um investimento significativo, muitas vezes inacessível para empresas de menor dimensão;
- Curva de aprendizagem lenta: A mudança de paradigma imposta pelo BIM exige um esforço adicional de adaptação, não apenas técnica, mas também cultural e metodológica;
- Envolvimento da equipa: A aplicação efetiva do BIM depende do envolvimento ativo de todas as disciplinas, o que nem sempre se verifica na prática, limitando o retorno esperado da metodologia;
- Interoperabilidade entre softwares: A integração entre diferentes plataformas nem sempre é fluida, o que pode comprometer a troca de dados e a consistência do modelo digital;
- Padronização e regulamentação: Em muitos contextos, a ausência de normas técnicas e regulamentação específica dificulta a implementação uniforme e coordenada da metodologia.

Ainda assim, há casos bem-sucedidos que comprovam a eficácia do BIM em projetos reais, demonstrando melhorias na qualidade do projeto, na comunicação entre equipas e na eficiência global do processo. Estes exemplos pioneiros contribuem para promover a sua adoção progressiva, à medida que se ultrapassam os desafios mencionados.

Em Portugal, a utilização do BIM tem vindo a crescer, especialmente em projetos de grande escala no setor público. A exigência da sua aplicação em obras financiadas por fundos europeus tem sido um dos principais motores dessa evolução. Projetos de hospitais, escolas, redes de transporte e infraestruturas públicas têm vindo a incorporar o BIM, o que também impulsiona a sua adoção por parte de empresas privadas, sobretudo as de maior dimensão.

Além disso, a União Europeia, através da Diretiva 2014/24/UE, incentiva os Estados-membros a adotarem o BIM em projetos de construção pública. Portugal tem seguido essa orientação, com a expectativa de que a utilização do BIM se torne obrigatória em concursos públicos a partir de 2026. O Plano de Ação para a Transição Digital de Portugal (2020) reforça este compromisso, promovendo o uso de tecnologias como o BIM, a IA e os gémeos digitais para aumentar a eficiência, transparência e sustentabilidade no setor.

Para apoiar esta transição, têm sido disponibilizados fundos europeus e nacionais, através de programas como o Horizon Europe, o Digital Europe e projetos como o REV@Construction, que visa apoiar PME na adoção do BIM e capacitar profissionais através de ações de formação específicas.

Paralelamente, entidades como a Ordem dos Engenheiros e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) têm contribuído para o desenvolvimento de normas técnicas e para a padronização da metodologia em território nacional.

Segundo Matos (2023), países como Alemanha, Espanha e França já implementaram medidas de incentivo ao uso do BIM, enquanto outros, como Reino Unido, Noruega e Finlândia, foram mais longe, tornando-o obrigatório em determinados projetos públicos. Esta cooperação internacional é fundamental para que Portugal continue a alinhar-se com as metas europeias, apesar dos desafios ainda existentes, como a escassez de mão-de-obra qualificada, a resistência à mudança e a necessidade de reforçar a formação técnica especializada.

Em síntese, o BIM está a consolidar-se como uma peça central na modernização da construção civil. Em Portugal, a sua adoção tem sido impulsionada por políticas públicas, incentivos financeiros e exigências europeias. A expectativa é que a sua utilização se torne cada vez mais disseminada, promovendo maior eficiência, redução de erros, melhor colaboração entre as partes envolvidas e uma

integração crescente com outras tecnologias emergentes, como a impressão 3D, os drones e a realidade aumentada.

## **2.2 Conceito BIM**

De acordo com Eastman et al. (2008), o Building Information Modeling (BIM) constitui uma tecnologia de modelação associada a processos colaborativos que permitem produzir, comunicar e analisar modelos digitais de construção, assegurando a transmissão precisa de informações ao longo de todo o ciclo de vida do edifício.

O conceito de BIM baseia-se numa metodologia integrada de partilha de informação entre todos os intervenientes, desde a fase de projeto até à construção, manutenção e eventual desconstrução. Este modelo digital tridimensional, acessível através de diferentes softwares, permite simular virtualmente a construção e centralizar dados essenciais não apenas sobre a geometria dos elementos, mas também sobre as suas propriedades físicas, especificações técnicas, custos e prazos. Uma das suas principais características é a utilização de parâmetros relacionais entre os componentes, o que possibilita fluxos de trabalho colaborativos e automação de tarefas repetitivas (LINO et al., 2012).

A introdução dos modelos 3D paramétricos e das metodologias BIM transformou significativamente a indústria da construção, oferecendo vantagens notórias em comparação com os métodos tradicionais baseados em desenhos 2D. A digitalização dos dados de projeto permite, entre outros benefícios, a criação e atualização automática de cortes, plantas e elevações, bem como a geração de listas de materiais, simulações de desempenho estrutural e análises normativas e energéticas.

Uma das maiores potencialidades do BIM reside na sua capacidade de detetar conflitos e incompatibilidades entre diferentes sistemas do edifício — estruturas, arquitetura, instalações técnicas — permitindo antecipar problemas ainda em fase de projeto. Esta funcionalidade reforça a importância da colaboração entre as várias disciplinas envolvidas, promovendo uma abordagem mais integrada, eficiente e coordenada (AGUILAR-MOLINA, JUNIOR, 2015).

Segundo Lino et al. (2012), o modelo BIM pode ainda incorporar dimensões adicionais ao modelo 3D tradicional, como o tempo (4D), permitindo o planeamento e controlo do cronograma da obra, e o custo (5D), possibilitando estimativas financeiras

mais precisas e fiáveis. Em certos contextos, adicionam-se ainda outras dimensões associadas à sustentabilidade (6D) e à gestão de operação e manutenção (7D).

Para que a colaboração entre diferentes agentes e plataformas seja eficaz, é fundamental garantir a interoperabilidade e a correta troca de dados. No entanto, essa integração continua a enfrentar desafios, nomeadamente na comunicação entre softwares distintos e na padronização dos fluxos de informação. Tais limitações dificultam, por vezes, a consistência dos modelos e a sua utilização plena ao longo do ciclo de vida da construção. Neste contexto, torna-se necessário um esforço contínuo para desenvolver normas, estruturas de dados e níveis de detalhe (LOD) que respondam às necessidades específicas de cada fase do projeto, assegurando modelos mais precisos, úteis e interoperáveis.

Importa ainda esclarecer que o BIM não deve ser confundido com um software específico ou com uma simples visualização tridimensional. Trata-se de um conceito metodológico que se concretiza por meio de diversas ferramentas digitais, sendo o seu verdadeiro valor encontrado na capacidade de integrar dados, processos e equipas numa plataforma colaborativa comum.

No domínio da engenharia estrutural, um dos maiores desafios prende-se com a compatibilidade entre os softwares de modelação BIM e os programas de análise estrutural e dimensionamento. A comunicação eficaz entre estas ferramentas é fundamental para assegurar a consistência e a fiabilidade dos modelos. Em resposta a essa necessidade, alguns fabricantes desenvolveram soluções que integram ambos os processos numa única plataforma ou permitem interoperabilidade eficiente entre diferentes aplicações.

Um exemplo significativo é o Tekla, um conjunto de softwares desenvolvido pela empresa Trimble, com aplicação específica no setor da construção metálica. Esta solução inclui diferentes módulos orientados para a modelação, análise e partilha de informação estrutural, com uma abordagem aberta ao BIM que facilita a colaboração tanto interna como externa nas equipas de projeto. A flexibilidade no intercâmbio de dados e a compatibilidade com diversas plataformas tornam o Tekla particularmente adequado para projetos que exigem um elevado grau de coordenação entre disciplinas.

A transferência de informação entre diferentes softwares utilizados no setor da construção pode ser realizada por meio de formatos de ficheiro compatíveis, tanto nativos como de terceiros, como SKP (SketchUp), PDF (Adobe), DWG (Autodesk), STEP, XML, entre outros. Esta flexibilidade fomenta uma colaboração mais fluida entre arquitetos, engenheiros, projetistas e empreiteiros, permitindo a integração de dados ao longo das diferentes fases do projeto.

Abaixo, apresenta-se uma breve descrição de alguns dos softwares utilizados no contexto da metodologia BIM, acompanhada de exemplos práticos da sua aplicação em estruturas reais:

- Tekla Structures: Software de modelação 3D orientado para o detalhamento e a preparação para fabrico de estruturas metálicas e de betão. É amplamente utilizado em projetos que requerem elevada precisão e coordenação entre especialidades, como a integração de componentes metálicos com elementos de betão. A sua aplicação é comum em grandes projetos de infraestruturas, incluindo pontes, estádios e edifícios de grande porte. Um exemplo emblemático é o estádio do clube Tottenham Hotspur, em Londres, considerado o maior estádio de clubes da cidade, cuja estrutura em aço apresenta elevada complexidade, conforme ilustrado na Figura 1.

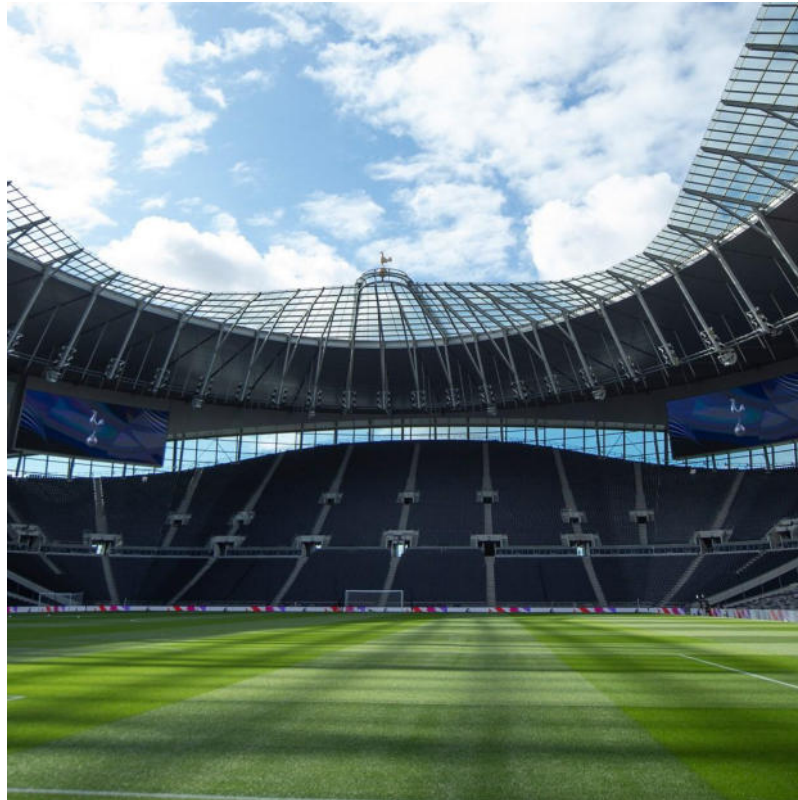


Figura 1 - Projeto emblemático com estrutura metálica detalhada em Tekla Structures

- Tekla Structural Designer: ferramenta para análise e dimensionamento de estruturas metálicas e de betão. Combina a modelação 3D com cálculos estruturais, permitindo aos engenheiros projectar, analisar e otimizar a estrutura de forma integrada. É comumente utilizado em projetos que requerem análises rigorosas, como edifícios altos e complexos ou estruturas sujeitas a cargas dinâmicas, como pontes e passagens elevadas. O software foi utilizado para dimensionar os elementos estruturais de aço e betão do edifício *The Madison* em Londres, apresentado na Figura 2.



Figura 2 - Edifício The Madison

- Tekla Tedds: opção que permite a automação de cálculos de verificação de componentes estruturais, como vigas, colunas e fundações, reduzindo o tempo necessário para cálculos manuais e melhorando a precisão.
- Tekla Model Sharing: complemento do Tekla Structures útil para grandes projetos de engenharia que envolvem equipas dispersas geograficamente ou quando o cronograma de construção é apertado e requer constante colaboração.
- Trimble Connect: utilizado em projetos que exigem uma coordenação abrangente entre diferentes disciplinas, como projetos de construção de grande escala.

O IDEA StatiCa é um software especializado na análise e dimensionamento de ligações estruturais complexas, com aplicação em elementos metálicos e de betão armado. No contexto do ecossistema BIM, assume um papel complementar ao Tekla Structural Designer, possibilitando a verificação detalhada de juntas e ligações que exigem maior rigor analítico. Destaca-se pela capacidade de realizar verificações segundo diversas normas internacionais, sendo adequado tanto a projetos de novas construções como a intervenções de reabilitação.

Uma das mais-valias do IDEA StatiCa é a sua integração direta com o Tekla Structural Designer, por meio de um plugin que permite a transferência de elementos

estruturais específicos — como ligações do tipo viga-pilar ou viga-viga — para análise pormenorizada. Este fluxo de trabalho facilita a interoperabilidade entre modelação e verificação, otimizando o tempo e assegurando maior consistência entre os modelos.

No processo, o projetista pode selecionar uma ligação no Tekla Structural Designer e exportá-la diretamente para o IDEA StatiCa, onde será submetida a uma análise segundo as normas aplicáveis. Após a verificação, os resultados podem ser revistos, ajustados e, se necessário, reexportados para o modelo original, garantindo que o projeto global se mantém coerente, atualizado e em conformidade com os requisitos normativos.

### **3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE EXEMPLO – PAVILHÃO INDUSTRIAL**

Esse capítulo apresenta os procedimentos adotados para o desenvolvimento da estrutura, desde a concepção do modelo tridimensional até o dimensionamento e pormenorização dos elementos estruturais e das ligações metálicas.

No que se refere ao objeto de estudo, a estrutura escolhida – um pavilhão industrial metálico – foi definida tendo em vista a sua relevância como caso de estudo. Esta escolha justifica-se pela necessidade de analisar o comportamento estrutural de um sistema metálico, com ênfase na modelagem e dimensionamento de ligações metálicas do tipo viga-viga e viga-pilar. Além disso, o pavilhão industrial apresenta um modelo ideal para verificar a interoperabilidade entre os softwares BIM, bem como a aplicabilidade dos Eurocódigos no dimensionamento estrutural. Assim, a metodologia adotada alinha-se às ferramentas disponíveis no ambiente acadêmico, garantindo uma abordagem realista e aplicável ao contexto da engenharia estrutural.

A escolha dos softwares utilizados no desenvolvimento deste estudo foi influenciada pelo acesso a licenças acadêmicas disponibilizadas pela empresa Construsoft, em colaboração com o Instituto Politécnico de Viseu. Estas licenças incluíram ferramentas da Trimble, como o software Tekla Structural Designer, e o software IDEA StatiCa, especializado na análise e dimensionamento de ligações metálicas. Além disso, foi utilizado o AutoCAD, com licença fornecida pelo Instituto Politécnico de Viseu, para auxílio na geração de desenhos de fabrico e montagem da estrutura estudada. Assim, a metodologia adotada baseou-se na integração dessas ferramentas, garantindo um fluxo de trabalho alinhado com a realidade do setor e com as possibilidades oferecidas pelo ambiente acadêmico.

A metodologia foi dividida em etapas que incluem a definição dos parâmetros normativos, a modelação da estrutura no software Tekla Structural Designer, a análise e dimensionamento dos perfis metálicos, bem como a verificação e o detalhamento das ligações através da integração com o software IDEA StatiCa.

Além disso, foram elaborados desenhos de fabrico e montagem, essenciais para a execução prática do projeto. Cada etapa é detalhada de forma a garantir transparência e replicabilidade dos processos adotados.

### 3.1 Descrição da estrutura exemplo – pavilhão industrial

#### 3.1.1 Definição da sua localização e finalidade

Para efeitos deste estudo, considerou-se a localização do Parque Industrial de Coimbrões, em Viseu, como referência para o dimensionamento do pavilhão industrial. Este parque industrial, sendo um dos principais polos empresariais da região, apresenta características relevantes que influenciam os parâmetros de projeto, como as condições climáticas e a envolvente industrial e comercial. A Figura 3, obtida através do Google Earth, apresenta a localização considerada para o desenvolvimento do estudo, evidenciando a sua posição estratégica dentro do complexo industrial. A escolha deste local justifica-se pela sua representatividade no contexto da engenharia estrutural aplicada a edificações metálicas, permitindo uma abordagem prática e realista para a modelação e dimensionamento estrutural.



Figura 3 – Localização do pavilhão industrial

#### 3.1.2 Geometria e descrição

Considera-se um pavilhão metálico de geometria retangular em planta, com dimensões de 24 metros de largura por 36 metros de comprimento, com um pé-direito de 8,5 metros, o que proporciona uma altura adequada para o armazenamento de mercadorias volumosas e a circulação de equipamentos de manutenção e transporte, conforme se representa na Figura 4.

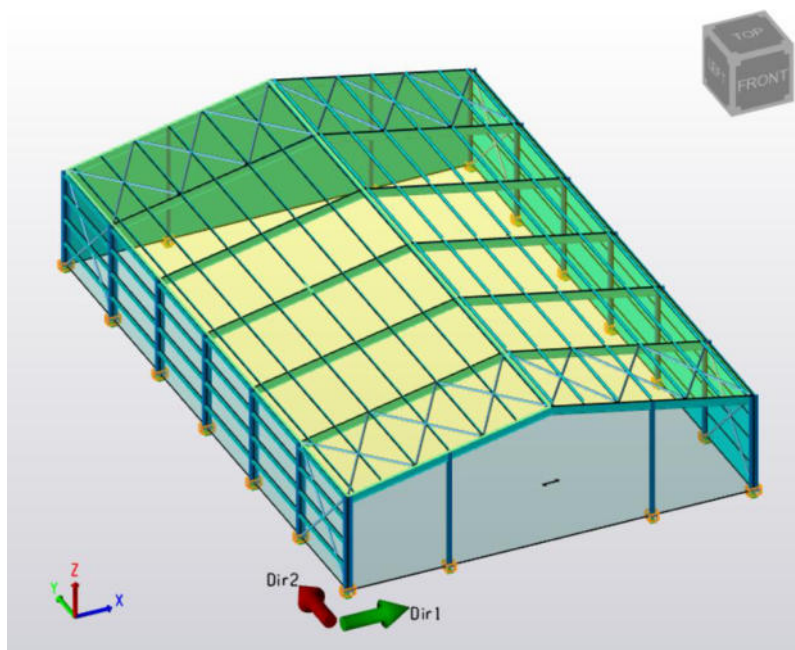


Figura 4 – Estrutura exemplo – pavilhão industrial metálico

A cobertura do pavilhão possui um ligeiro declive de  $11,678^\circ$  para facilitar o escoamento das águas pluviais. As extremidades longitudinais da cobertura são sustentadas por uma série de vigas e pilares metálicos, distribuídos ao longo do vão, oferecendo suporte e estabilidade à estrutura.

O sistema estrutural de pórticos permite que a estrutura suporte tanto cargas verticais, nomeadamente as devidas ao peso próprio, cargas permanentes e variáveis, quanto cargas horizontais, nomeadamente ações a respeito do vento e do sismo, assegurando a integridade do pavilhão industrial sob diferentes condições de carregamento.

A escolha de uma estrutura metálica com esta configuração facilita a montagem e a desmontagem, além de possibilitar eventuais adaptações futuras ao pavilhão industrial, caso sejam necessárias expansões ou alterações no uso. O pé-direito, associado às amplas dimensões em planta, torna o pavilhão industrial adequado para a sua finalidade de armazenamento, com espaço suficiente para a circulação interna e a disposição das mercadorias.

### 3.2 Modelos de cálculo

Como os cálculos manuais em estruturas complexas exigem um tempo excessivo e podem originar erros, o uso de softwares, como o Tekla Structural Designer e o IDEA StatiCa, foram adotados.

Na análise do pavilhão industrial, foi realizada um modelo tridimensional através do software Tekla Structural Designer. O software, por sua vez, apresenta uma base de dados configurada de acordo com os padrões de referência indicados pelas normas de dimensionamento de vários países, utilizada para configuração das combinações de ações e posterior verificação de segurança e estabilidade da estrutura. Tais padrões de referência utilizados têm por base as normas portuguesas.

Numa fase inicial, executou-se a modelagem tridimensional do modelo estrutural, que inclui elementos estruturais, materiais, seções transversais e condições de apoio. Em seguida, foram definidas as cargas e as ações aplicadas à estrutura, nomeadamente, as cargas permanentes, as cargas variáveis e as cargas térmicas. As cargas podem ser aplicadas de forma manual ou podem ser geradas automaticamente, como no caso das cargas climáticas, vento e neve, baseadas em normas e na localização da estrutura.

Uma vez definido o modelo e aplicadas as cargas, procede-se à análise estrutural, etapa essencial para determinar os efeitos das ações sobre os elementos da estrutura. O Tekla Structural Designer disponibiliza diferentes métodos de análise, permitindo a escolha mais adequada ao tipo de estrutura e aos requisitos normativos. Inicialmente, pode-se recorrer à análise linear estática de primeira ordem, que fornece uma avaliação simplificada do comportamento estrutural sem considerar efeitos não lineares. No entanto, para uma abordagem mais precisa, o software possibilita a realização da análise P-Delta (segunda ordem), que leva em conta os efeitos de instabilidade provocados pelos deslocamentos da estrutura, sendo fundamental para avaliar estruturas esbeltas ou sujeitas a cargas elevadas.

Além disso, a análise modal pode ser utilizada para determinar as frequências naturais de vibração da estrutura, sendo um fator crítico para edifícios sujeitos a ações dinâmicas, como vento ou sismos. Em complemento, a análise de encurvadura permite identificar os modos de instabilidade global e os fatores de carga críticos, garantindo a segurança da estrutura contra colapsos prematuros. Para uma abordagem ainda mais detalhada, o software oferece a análise não linear, que

considera o comportamento real dos materiais e das ligações, proporcionando resultados mais realistas para estruturas complexas.

A partir dos resultados dessas análises, são determinados os esforços internos, como momentos fletores, esforços cortantes e axiais, bem como os deslocamentos e tensões nos elementos estruturais. Estes valores são posteriormente comparados com os critérios normativos estabelecidos pelos Eurocódigos, permitindo verificar a conformidade do dimensionamento e realizar eventuais ajustes na seleção dos perfis e ligações estruturais.

Por sua vez, o IDEA StatiCa, software utilizado para a modelação e dimensionamento das ligações metálicas da estrutura, combina os princípios do Método dos Elementos Finitos (MEF) com a abordagem tradicional do método baseado em componentes, conforme estabelecido nas normas de dimensionamento. Através da metodologia CBFEM (Component-Based Finite Element Method), o software modela os diferentes componentes da ligação — como parafusos, chapas e soldaduras — de forma individualizada, mas interativa, permitindo simular com rigor o comportamento conjunto da ligação e a transferência real de esforços entre os elementos.

### **3.3 Quantificação das Ações**

A quantificação das ações é um dos critérios mais importantes para o dimensionamento, pois determinam os esforços, as deformações e deslocamentos que a estrutura precisa suportar ao longo de sua vida útil. As ações em estruturas podem ser percebidas como qualquer força ou influência que pode causar tensões, deformações ou deslocamentos em seus elementos. A correcta identificação e quantificação dessas ações é fundamental para garantir a segurança, a durabilidade e a funcionalidade da estrutura.

Na Tabela 1, estão assinaladas as normas que foram consultadas pelo software Tekla Structural Designer para a definição das diversas ações consideradas no projeto do pavilhão industrial, e nas secções seguintes são apresentadas em mais detalhe.

Action code	Design code	Year
General Loading	EN 1991-1-1	2002
Wind Loading	BS EN 1991-1-4 + UK NA	2005
Snow Loading	EN 1991-1-3	2003
Seismic Loading	EN 1998-1	2004
Combinations	EN 1990	2002

Tabela 1 - Ações e Normas

### 3.3.1 Ações permanentes

A metodologia para a quantificação das cargas permanentes no projeto do pavilhão industrial foi realizada de acordo com as diretrizes da norma NP EN 1991-1-1:2010 e NP EN 1990:2009, que trata das ações em estruturas – Ações Gerais – Pesos próprios das construções, cargas de utilização nos edifícios e Bases para o projeto de estrutura, respetivamente. Tais normas fornecem as regras para considerar os pesos próprios dos materiais e outros elementos fixos, essenciais para a análise precisa de cargas permanentes no modelo estrutural.

No software Tekla Structural Designer, o peso próprio dos elementos estruturais (vigas, pilares, lajes, coberturas, paredes e perfis secundários) é calculado automaticamente quando se especifica o tipo de material e as secções transversais utilizadas. O software define o peso específico do aço, de acordo com a norma NP EN 1991-1-1:2010, onde o valor do peso específico do aço é 78,5 kN/m<sup>3</sup>.

Além do peso próprio, outros elementos fixos ou de revestimento, como paredes não estruturais, também contribuem para as cargas permanentes. Os elementos devem ser quantificados com base nos materiais especificados e aplicados como cargas uniformemente distribuídas ou lineares nas superfícies ou elementos correspondentes, sendo assim, foi considerado um isolamento na cobertura metálica com peso específico de 0,25 kN/m<sup>2</sup>. A carga foi inserida no modelo como uma “Dead Load” (carga permanente), aplicada diretamente sobre a cobertura, como se pode ver na Figura 5.

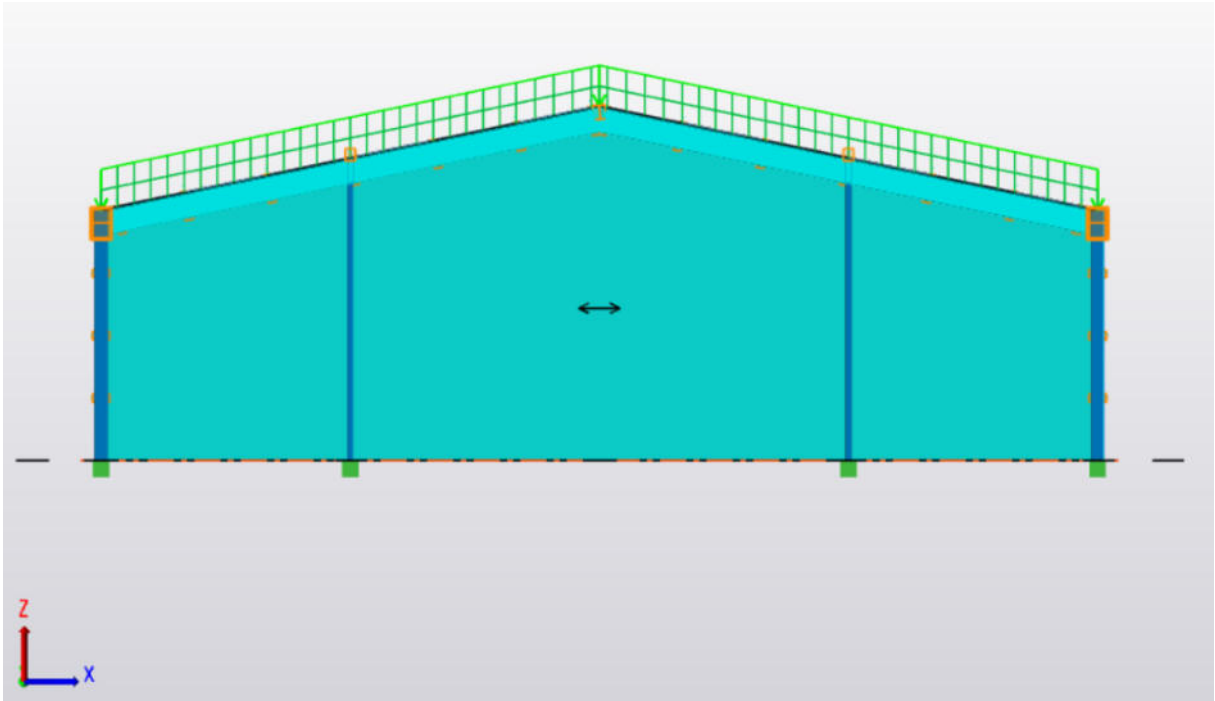


Figura 5 - Representação da Dead Load a respeito do isolamento

### 3.3.2 Ações variáveis

Para a quantificação das ações de sobrecarga, também se consultou a norma NP EN 1991-1-1:2010, que define as cargas variáveis em edifícios e outras construções. Ao levar em consideração que o pavilhão industrial desenvolvido é destinado ao armazenamento de bebidas (cerveja e vinho), a classificação das sobrecargas foi realizada considerando a ocupação e o tipo de acesso à cobertura, ou seja, as principais cargas ocorrem no piso do pavilhão e no acesso ocasional de trabalhadores e equipamentos de manutenção.

No software Tekla Structural Designer, essa sobrecarga é configurada como “Imposed Load” (Carga Variável) e é aplicada como uma carga distribuída uniforme de  $0,4\text{kN/m}^2$  na área da cobertura, semelhante à etapa anterior para a configuração de “Dead Load”.

### 3.3.3 Ações térmicas

A configuração das ações térmicas para o pavilhão industrial foi realizada com base nas considerações sobre as condições climáticas e as características estruturais do projeto. A abordagem adotada seguiu as diretrizes da norma NP EN 1991-1-5:2010, que fornece parâmetros específicos para ações térmicas em estruturas, tendo

em conta a variação de temperatura e os efeitos de expansão e contracção dos materiais.

A primeira etapa do processo foi a análise das condições climáticas da localização do pavilhão - região de Viseu. Com base nos dados meteorológicos da área, foram determinadas as temperaturas máxima e mínima esperadas. Esta variação térmica é essencial para representar adequadamente os efeitos sazonais e diários da temperatura na estrutura. Conforme indicado nas normas, para estruturas metálicas em ambiente externo, foram aplicadas variações de temperatura de até  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ , valor que reflecte as oscilações máximas previsíveis na localidade e no tipo de material utilizado conforme o Anexo Nacional da norma referida anteriormente, que indica a temperatura máxima de  $45^{\circ}\text{C}$  e a temperatura mínima de  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Foram definidos dois tipos de ações térmicas, com base nos requisitos estruturais e funcionais do pavilhão:

- 1) Variação de Temperatura Uniforme que representa uma mudança uniforme de temperatura em toda a estrutura, simulando o aquecimento ou arrefecimento do pavilhão como um todo;
- 2) Gradiente Térmico que se destina a captar o efeito da diferença de temperatura entre as faces interna e externa dos elementos estruturais, especialmente em coberturas e fachadas, devido à exposição directa ao sol e ao arrefecimento pela ventilação.

A definição do gradiente térmico permite uma modelação mais precisa dos efeitos diferenciais de temperatura, que podem gerar tensões adicionais, principalmente em elementos mais expostos.

As ações térmicas foram aplicadas aos principais elementos do pavilhão, nomeadamente, nas vigas, nos pilares e na cobertura, com a distribuição de carga definida conforme o comportamento esperado da estrutura perante as variações térmicas, e respeitando as propriedades térmicas específicas de cada tipo de elemento estrutural.

Por fim, as ações térmicas foram combinadas com outras ações de carga (permanentes, variáveis, de vento e sísmicas) para garantir uma avaliação completa das condições de carregamento que a estrutura poderá enfrentar. A utilização das ferramentas de combinação automática do software Tekla Structural Designer

possibilitou a geração de múltiplas combinações, assegurando que os efeitos térmicos fossem adequadamente analisados em todos os cenários de carregamento previstos.

#### **3.3.4 Ação do fogo**

A metodologia adotada para configurar a ação do fogo no pavilhão industrial metálico seguiu as diretrizes da NP EN 1993-1-2:2010 e do Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE) assegurando o dimensionamento adequado da estrutura sob a ação do fogo e de acordo com as exigências regulamentares para edifícios industriais. Considerando a importância de manter a integridade estrutural do pavilhão durante um incêndio, todos os elementos principais, incluindo vigas, pilares e elementos secundários da estrutura, receberam a proteção ao fogo, a ser especificada a seguir.

O RT-SCIE indica a definição do tempo de resistência ao fogo de R60, adequado para estruturas metálicas em armazéns industriais, onde se prevê a necessidade de garantir a integridade estrutural durante uma exposição de 60 minutos ao fogo. Esse critério atende à utilização do pavilhão para armazenamento de bebidas alcoólicas, cuja ação térmica moderada requer uma resposta estrutural fiável.

Optou-se pela utilização de um sistema de revestimento com câmaras de ar, composto por placas de gesso cartonado, uma técnica conhecida como encamisamento oco. Esta solução foi selecionada com base nas recomendações da norma NP EN 1993-1-2:2010, que estabelece diretrizes para a proteção passiva contra incêndios em elementos metálicos expostos a altas temperaturas.

O encamisamento oco consiste na aplicação de placas de gesso cartonado que criam uma camada de ar entre o revestimento e o perfil metálico. Esta câmara de ar atua como uma barreira térmica adicional, reduzindo significativamente a taxa de transferência de calor para o aço. Ao limitar o aumento da temperatura no elemento estrutural, o sistema prolonga o tempo de resistência ao fogo, mantendo a integridade estrutural durante o período de exposição ao incêndio.

A simples configuração da proteção ao fogo da estrutura no software Tekla Structural Designer é reduzida a partir da seleção dos componentes desejados, seguido da seleção da alternativa de revestimento do elemento e da configuração da sua espessura e densidade, conforme é exibido na Figura 6.

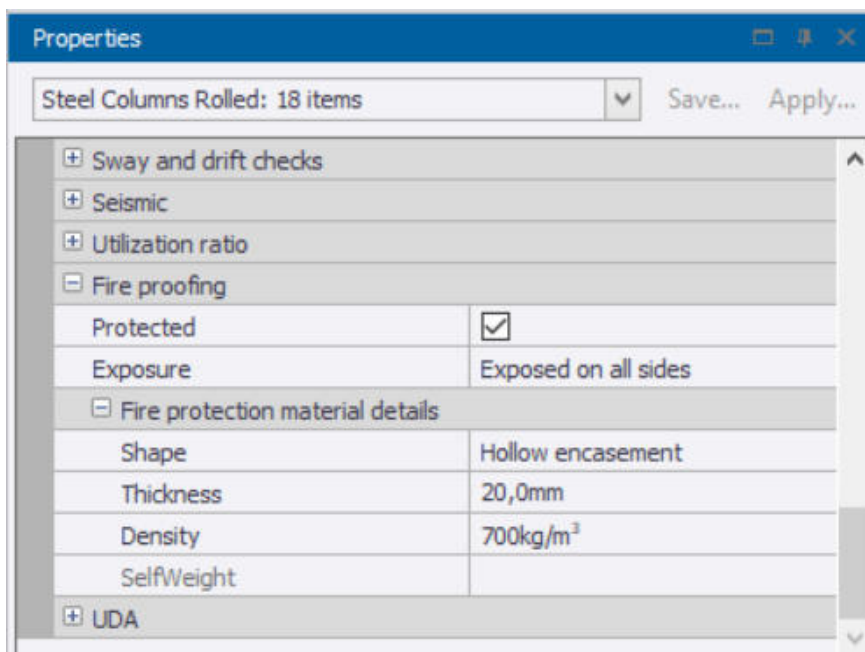


Figura 6 - Configuração da resistência ao fogo

### 3.3.5 Ação da neve

O carregamento de neve é um dos fatores mais críticos a serem considerados no projeto de estruturas localizadas em regiões sujeitas a queda de neve. A norma NP EN 1991-1-3:2010 estabelece as orientações e critérios para o cálculo da carga, garantindo que os edifícios e outras construções sejam projetados de maneira segura e eficiente.

No software Tekla Structural Designer, o processo de inserção de valores relacionados com a norma citada para o carregamento de neve envolve a configuração dos parâmetros exibidos na Figura 7, onde também são apresentados os valores adotados para cada coeficiente.

Figura 7 - Primeira janela de configuração para o carregamento de neve

O coeficiente nomeado  $C_e$  refere-se ao coeficiente de exposição, com valores estipulados conforme o Quadro 5.1 – Valores recomendados de  $C_e$  para diferentes topografias pela norma adotada.

Outro coeficiente para ser determinado é o  $C_t$ , que representa o coeficiente térmico e deve ser utilizado para ter em conta a redução das cargas da neve em coberturas com elevada transmissão térmica ( $> 1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ). Segundo a NP EN 1991-1-3:2009, para todos os casos, com exceção de coberturas envidraçadas, deve-se adotar o valor de  $C_t = 1,0$ .

O coeficiente para cargas da neve excepcionais  $C_{esl}$ , é indicado pelo Anexo Nacional da NP EN 1991-1-3:2009 com valor igual a 2,5.

Quanto ao peso volúmico aparente médio da neve  $\gamma$ , foi adotado o valor de  $2 \text{ kN/m}^3$  como indica o Anexo E da NP EN 1991-1-3:2009

Por fim, o coeficiente identificado como  $S_k$ , que representa o valor característico da carga de neve ao nível do solo no local considerado, segundo o Anexo Nacional NP EN 1991-1-3:2009 deve ser calculado conforme a equação abaixo:

$$S_k = C_z [1 + (H/500)^2]$$

Onde:

$C_z = 0,3$  para a zona do distrito de Viseu

$H$  = Altitude do local, no caso em Viseu, em metros.

De acordo com o Topographic Map (2024), plataforma online que fornece acesso a mapas topográficos interativos de várias regiões do mundo, Viseu apresenta a altitude média de 444 metros. O resultado é então  $S_k$  igual a 0,537.

Após essa primeira etapa de configuração dos parâmetros para o carregamento, surge uma segunda tela, representada pela Figura 8, na qual se deve escolher os casos de carregamento.

Loadcase	Apply	Loadcase Type
Snow Load - Case A - 1) Undrifted	<input type="checkbox"/>	Snow
Snow Load - Case A - 2) Drifted	<input type="checkbox"/>	Snow
Snow Load - Case B1 - 1) Undrifted	<input type="checkbox"/>	Snow
Snow Load - Case B1 - 2) Drifted	<input type="checkbox"/>	Snow
Snow Load - Case B1 - 3) Undrifted (Acc)	<input type="checkbox"/>	Snow Drift
Snow Load - Case B1 - 4) Drifted (Acc)	<input type="checkbox"/>	Snow Drift
Snow Load - Case B2 - 1) Undrifted	<input type="checkbox"/>	Snow
Snow Load - Case B2 - 2) Drifted	<input type="checkbox"/>	Snow
Snow Load - Case B2 - 3) Drifted (Annex B) (Acc)	<input type="checkbox"/>	Snow Drift
Snow Load - Case B3 - 1) Undrifted	<input checked="" type="checkbox"/>	Snow
Snow Load - Case B3 - 2) Drifted	<input checked="" type="checkbox"/>	Snow
Snow Load - Case B3 - 3) Undrifted (Acc)	<input type="checkbox"/>	Snow Drift
Snow Load - Case B3 - 4) Drifted (Annex B) (Acc)	<input type="checkbox"/>	Snow Drift

Number of wind directions to be considered for drifted snow: 2

Cancel Step 2 of 2 < Back Finish

Figura 8 - Segunda janela de configuração do carregamento de neve

Segundo o Anexo Nacional da NP EN 1991-1-3:2010, o Quadro NA-A.1 – Situações de projeto e disposições de carga a utilizar em função das condições locais indica o caso B3 como apropriado para a cidade de Viseu, sendo equivalente à aplicação simultânea dos casos B1 e B2.

Por sua vez, o caso B3 é dividido em quatro condições, resumidas abaixo:

- B3-1: É o caso mais simples, considerando distribuição simétrica da neve sobre ambas as águas da cobertura, sem acumulação irregular.
- B3-2: Considera a acumulação irregular de neve, que pode ocorrer devido ao vento, o que possibilita a neve de se acumular mais num dos lados da cobertura.

- B3-3: Considera uma acumulação desbalanceada severa de neve, onde uma das águas da cobertura suporta uma carga maior de neve do que a outra.
- B3-4: É um caso especial para condições extremas, onde uma quantidade muito grande de neve se acumula em uma das águas da cobertura devido a efeitos aerodinâmicos ou barreiras próximas.

Assim, conforme as condições geográficas e características da estrutura, apenas os casos B3-1 e B3-2 seguem de acordo com a ideia do trabalho, sendo as únicas selecionadas nesta segunda etapa.

Por fim, foram consideradas apenas duas direções principais do vento, sendo uma direção perpendicular à cumeeira, onde o vento pode causar acumulação assimétrica de neve, e outra direção paralela à cumeeira, onde o impacto é menor, mas ainda relevante.

### **3.3.6 Ação sísmica**

O comportamento dinâmico das edificações em resposta aos tremores de terra pode comprometer a integridade estrutural, a segurança dos ocupantes e a durabilidade das construções. A norma NP EN 1998-1:2010 estabelece as diretrizes para a quantificação da ação sísmica e a sua incorporação no processo de dimensionamento de estruturas.

Em relação a quantificação da ações sísmica no modelo desenvolvido, o software Tekla Structural Designer, explora a aplicação de métodos estáticos equivalentes e métodos dinâmicos.

A inserção de parâmetros referentes à ação sísmica é feita em etapas. A primeira é representada conforme se ilustra na Figura 9.

Figura 9 - Primeira configuração para o carregamento de ações sísmicas

Dentre as informações mais relevantes desta etapa, a classe de importância é definida de acordo com o Quadro 4.3 – Classes de importância para os edifícios da NP EN 1998-1:2010. Sendo assim, para a classe de importância II, o valor do coeficiente de importância  $\gamma_f$ , é 1,0.

Em seguida, e conforme mapas geológicos detalhados disponibilizados pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), que mostram a composição do subsolo em diferentes regiões de Portugal, incluindo na localização escolhida para implementação do pavilhão industrial, indicam um terreno que pode ser considerado como rochoso.

O “Spectrum type” na figura refere-se ao tipo de espectro de resposta sísmica utilizado no projeto estrutural. No contexto da NP EN 1998-1:2010, existem dois tipos principais de espectros de resposta sísmica para a definição da ação em questão:

- Tipo 1: Utilizado para zonas sísmicas com elevada atividade sísmica, onde se espera que ocorram sismos de grande magnitude.
- Tipo 2: Aplicável a regiões onde os sismos de menor magnitude são predominantes.

Para Portugal Continental, ambas as formas de espectro podem ser utilizadas, dependendo da origem e magnitude dos sismos que afetam a região NP EN 1998-1:2010. Como a região de Viseu está associada a sismos de origem afastada e de magnitude geralmente superior a 5,5, a recomendação é utilizar o espectro de Tipo 1.

Em relação a aceleração sísmica de referência Agr, o Anexo Nacional NP EN 1998-1:2010 indica valores de 0,35 m/s e 0,8 m/s para ações sísmicas de Tipo 1 e 2, respectivamente.

Por fim, para esta primeira etapa, a NP EN 1998 -1:2010 define o conceito para a classe de ductilidade estrutural como sendo a capacidade da estrutura de dissipar energia durante um sismo, sem colapso prematuro, ou seja, quanto maior a ductilidade, maior é a capacidade da estrutura de absorver deformações plásticas antes da falha. A mesma norma determina três classes de ductilidade estrutural:

- 1) Ductility Class Low (DCL) – Mais rigidez e pouca dissipação de energia;
- 2) Ductility Class Medium (DCM) – Equilibrada entre desempenho sísmico e economia;
- 3) Ductility Class High (DCH) – Maior segurança, projetada para suportar grandes deformações

Assim, foi determinada como DCM por ser comumente utilizada em regiões de sismicidade moderada e oferece um bom compromisso entre a segurança sísmica e a otimização do projeto estrutural.

A próxima tela para a quantificação da ação sísmica, tem o foco na regularidade da estrutura, conforme é exibido na Figura 10.

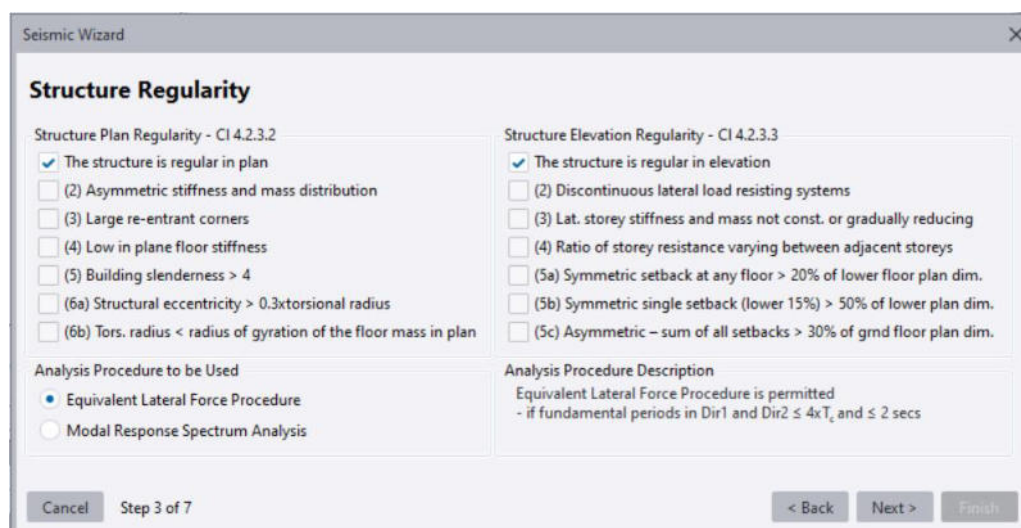


Figura 10 - Segunda configuração para a definição da ação sísmica

As informações correspondem à estrutura em estudo e selecionadas parâmetros relacionados a distribuição simétrica de rigidez, a massa, a elevação e irregularidades.

Na Figura 11, ve-se à próxima janela de configuração, que define o período fundamental para a análise sísmica da estrutura.

The screenshot shows the 'Seismic Wizard' dialog box at 'Step 4 of 7'. The title is 'Fundamental Period'. It contains the following settings:

- Fundamental Period Definition:**
  - Use approx fundamental period  $T_a$
  - User defined structure fundamental period
  - Use modal analysis
- Fundamental Period Dir 1:**
  - Structure type: Steel moment-resisting frames
  - $T_{1 \text{ approx Dir1}}$ : 0,423 sec
  - $T_{1 \text{ Dir1}}$ : 0,423 sec
- Fundamental Period Dir 2:**
  - Structure type: Eccentrically braced steel frames
  - $T_{1 \text{ approx Dir2}}$ : 0,373 sec
  - $T_{1 \text{ Dir2}}$ : 0,373 sec

Buttons: Cancel, Step 4 of 7, < Back, Next >, Finish.

Figura 11 - Terceira configuração para a definição da ação sísmica

Os valores para os períodos fundamentais são estimados automaticamente com base nos tipos de estrutura escolhidos e são usados para calcular as forças sísmicas aplicadas à estrutura.

Optou-se pela definição aproximada do período fundamental, o que significa que o software Tekla Structural Designer irá calcular uma estimativa do período fundamental com base no tipo de estrutura escolhido, adequada para análises preliminares.

Sobre o tipo de estrutura em cada direção, conforme mostra a Figura 12, foi considerado “Pórticos de aço resistentes a momentos” para a Direção 1. Para a Direção 2, o tipo de estrutura considerado foi: “Pórticos de aço contraventados excêntricos”.

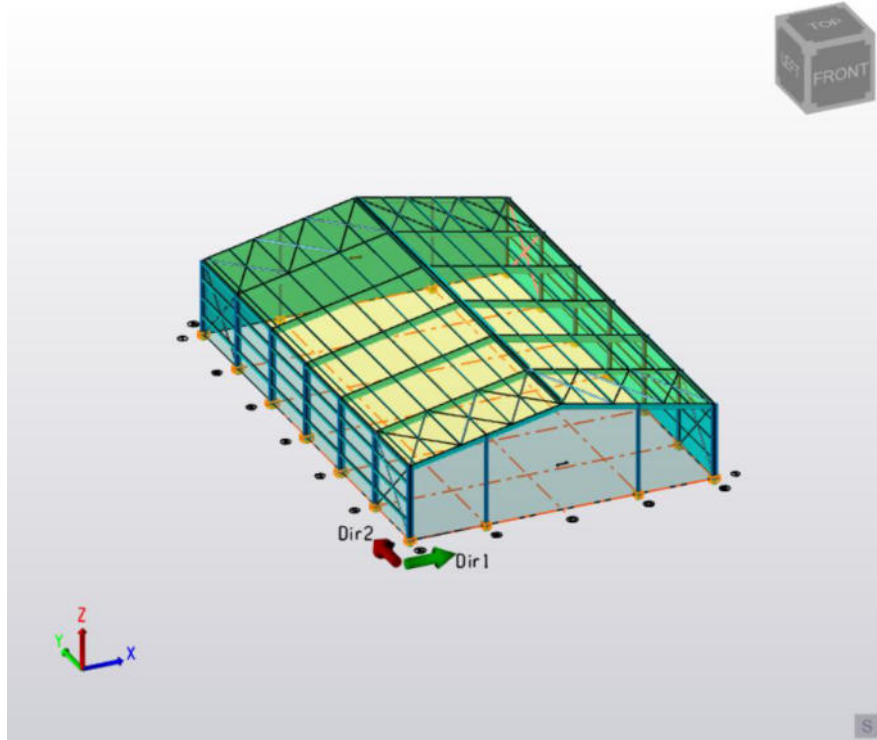


Figura 12 – Disposição de cada direção em relação ao modelo

Na Figura 13, são determinados os fatores de comportamento da estrutura em relação a cada direção.

**Seismic Wizard**

**Behaviour Factor**

Behaviour Factor Dir 1

Ductility class: Medium

Structure type: Steel Frame

Frame type: a) moment resisting frame

$\alpha/\alpha_s$ : 1,200

User defined q

q - behaviour factor: 3,000

Behaviour Factor Dir 2

Ductility class: Medium

Structure type: Steel Frame

Frame type: c) Frame with eccentric bracing

$\alpha/\alpha_s$ : 1,200

User defined q

q - behaviour factor: 2,500

Cancel Step 5 of 7 < Back Next > Finish

Figura 13 - Behaviour Factor

O fator de comportamento sísmico ( $q$ ) é um coeficiente fundamental na análise sísmica de estruturas, sendo utilizado para reduzir as forças sísmicas elásticas estimadas, considerando a capacidade da estrutura de dissipar energia através da formação de mecanismos plásticos. Em termos simplificados, o valor de  $q$  traduz a capacidade da estrutura de suportar cargas sísmicas reduzindo os esforços internos devido à sua ductilidade e capacidade de redistribuição de tensões.

Na NP EN 1998-1:2010, o fator  $q$  é definido como:

$$q = q_0 \times K_f$$

Onde:

- $q_0$  é o fator de comportamento básico, que depende do tipo de sistema estrutural e da classe de ductilidade adotada (baixa, média ou elevada);
- $K_f$  é um fator de regularidade estrutural, que pode assumir o valor 1,0 para estruturas irregulares ou um valor maior quando a estrutura tem regularidade geométrica e de rigidez.

A Tabela 2 apresenta alguns valores recomendados pela NP EN 1998-1:2010 para diferentes sistemas estruturais e classes de ductilidade:

Tipo de Estrutura	DCL ( $q$ )	DCM ( $q$ )	DCH ( $q$ )
Pórticos metálicos resistentes a momentos	1,5 – 2,0	3,0 – 4,5	5,0 – 6,5
Pórticos metálicos contraventados (concêntricos)	1,5 – 2,0	2,5 – 4,0	4,0 – 6,0
Pórticos metálicos contraventados (excêntricos)	1,5 – 2,5	2,0 – 3,5	3,0 – 5,0
Estruturas de betão armado com paredes estruturais	1,5 – 2,0	3,0 – 4,0	4,5 – 5,5

Tabela 2 - Valores recomendados para o fator de comportamento sísmico

Visto que para este estudo, foi adotada a classe de ductilidade média (DCM), garantindo um compromisso entre desempenho sísmico e eficiência estrutural. Assim, os valores de “ $q$ ” escolhidos foram:

- Direção 1 (Dir1): Pórtico resistente a momentos ( $q = 3,0$ )
- Direção 2 (Dir2): Pórtico com contraventamento excêntrico ( $q = 2,5$ )

O fator  $\alpha/\alpha_1$  é um parâmetro essencial na análise sísmica das estruturas, definido na NP EN 1998-1:2010 como a razão entre:

- $\alpha$  → A resistência máxima da estrutura, ou seja, o ponto onde ocorre o colapso global devido à formação de mecanismos plásticos.
- $\alpha_1$  → O esforço sísmico correspondente à formação do primeiro mecanismo plástico, isto é, o ponto em que a estrutura começa a desenvolver comportamento não linear significativo.

Este fator é utilizado para avaliar a sobre-resistência da estrutura e a sua capacidade de redistribuir esforços antes da falha global. Um valor elevado indica que a estrutura pode resistir a esforços adicionais antes de atingir o colapso, permitindo maior dissipação de energia e garantindo um comportamento mais previsível durante um evento sísmico.

O valor típico, segundo a NP EN 1998-1:2010, para estruturas metálicas com classe de ductilidade média (DCM) é de 1,2.

Na Figura 14, vê-se a tela seguinte no processo de configuração a ação sísmica.



Figura 14 - Definição de quais ações gravitacionais devem ser consideradas na massa sísmica da estrutura

As carregamentos incluídos representam a massa efetiva da estrutura e são aquelas que sempre estarão presentes durante um evento sísmico. A NP EN

1990:2009 define que o fator deve ter valor igual a 1,000, o que significa que 100% do valor destas cargas é utilizado para calcular a inércia da estrutura durante um sismo.

A NP EN 1998-1:2010 especifica que nem todas as cargas variáveis devem ser consideradas integralmente na análise sísmica, pois algumas podem não estar aplicadas no momento de um evento sísmico. Para isso, a norma define fatores de redução específicos para diferentes tipos de cargas variáveis, incluindo sobrecargas de uso (Imposed Loads) e cargas de neve (Snow Loads). A fração da sobrecarga de uso a considerar na massa sísmica é determinada pelo coeficiente  $\psi_E$ , definido na mesma norma. Este coeficiente varia conforme o tipo de ocupação da estrutura, conforme mostra a Tabela 3.

Tipo de Ocupação	Coefficiente $\psi_E$	Fração da Carga Considerada (%)
Áreas residenciais e comerciais	0,3	30%
Áreas de escritórios	0,2	20%
Bibliotecas, arquivos, zonas de armazenamento	0,6	60%
Áreas industriais e garagens	0,5	50%
Coberturas acessíveis para manutenção	0	0%

Tabela 3 - Valores recomendados para o coeficiente  $\psi_E$  para cargas variáveis.

A fração da carga de neve a considerar na massa sísmica depende da zona climática e da possibilidade de a neve estar presente durante um sismo. A NP EN 1998-1:2010 também define para tais situações, conforme é mostrado na Tabela 4.

Região Climática	Coefficiente $\psi_E$	Fração da Carga Considerada (%)
Regiões de neve moderada	0,2	20%
Regiões de neve intensa	0,5	50%
Regiões sem neve significativa	0	0%

Tabela 4 - Valores recomendados para o coeficiente  $\psi_E$  para carga de neve.

Sendo assim, foi considerado o fator de 0,5 para a Imposed Load e 0,2 para as combinações referentes à ação da neve.

Por fim, a última tela solicitou configurar detalhes específicos de verificação de deslocamento sísmico. Na Figura 15 vê-se como é representado os parâmetros de configuração.

The screenshot shows the 'Seismic Wizard' window at 'Step 7 of 7'. The title is 'Localization'. It contains several sections:

- Skip seismic drift checks:** A checkbox that is unchecked.
- Seismic Story Drift:** A section with a dropdown menu for 'Structure type' set to 'No non-structural elements or not interfering', an 'Importance class' dropdown set to 'II', and an 'Allowable story drift factor' input field set to '0,010' with an 'Override' checkbox that is unchecked.
- Include localization:** A checked checkbox.
- ELF & RSA:** A section with an unchecked 'Override design static base shear' checkbox and a 'Vertical seismic load effect combination factor' input field set to '0,000'.
- ELF & RSA Dir 1:** A section with three input fields: 'Scale factor between elastic and design spectra' (0,333), 'Design static base shear, V' (35,0 kN), and 'Eccentricity for accidental torsion' (5,00 %).
- ELF & RSA Dir 2:** A section with three input fields: 'Scale factor between elastic and design spectra' (0,400), 'Design static base shear, V' (44,4 kN), and 'Eccentricity for accidental torsion' (5,00 %).

At the bottom, there are 'Cancel', 'Step 7 of 7', '< Back', and 'Finish' buttons.

Figura 15 – Configuração final para a definição da ação sísmica

Foi Na configuração final da análise sísmica, foram ajustados os parâmetros de deriva entre pisos, localização sísmica, corte basal e efeitos de torção acidental, seguindo as recomendações da NP EN 1998-1:2010 para garantir um comportamento estrutural adequado diante das ações sísmicas.

A deriva entre pisos (Seismic Story Drift) foi definida com um fator limite de 0,010 (1%), o que representa o máximo permitido pela norma para estruturas comuns sem elementos não estruturais frágeis. Esse valor assegura que os deslocamentos laterais induzidos pelo sismo não comprometam a estabilidade da estrutura, ao mesmo tempo que evita danos excessivos em eventuais componentes secundários. A estrutura foi classificada como pertencente à Classe de Importância II, o que é adequado para edifícios normais sem requisitos especiais de segurança.

Para garantir que os efeitos locais da ação sísmica fossem devidamente incorporados, a opção "Include Localization" foi ativada. Na definição do corte basal da estrutura (Base Shear, V), os valores foram configurados para cada direção da

análise sísmica. Na Direção 1 (Dir1), o corte basal foi definido como 35,0 kN, enquanto na Direção 2 (Dir2) o valor foi 44,4 kN. Esses valores representam a força horizontal total transmitida à base da estrutura durante um evento sísmico, sendo calculados com base nas combinações de cargas e nos coeficientes sísmicos aplicáveis à região. Para a transição entre o espectro elástico e o espectro de projeto, foram definidos fatores de escala de 0,333 na Direção 1 e 0,400 na Direção 2, garantindo uma adaptação apropriada entre os diferentes níveis de resposta sísmica da estrutura.

Por fim, foi aplicada uma excentricidade de torção accidental de 5,00% em ambas as direções, conforme recomendado pela NP EN 1998-1:2010. Esse valor tem o objetivo de contabilizar incertezas na distribuição das massas e rigidezes dentro da estrutura, prevenindo efeitos inesperados de torção que poderiam comprometer a segurança da edificação. A norma recomenda valores típicos entre 5% e 10%, sendo o adotado coerente com estruturas regulares e de comportamento previsível.

### **3.3.7 Ação do vento**

Neste subcapítulo, apresenta-se a configuração das ações do vento considerando o pavilhão industrial no local de referência situado no Parque Industrial de Coimbrões, em Viseu. A definição das cargas de vento foi realizada utilizando o software Tekla Structural Designer, seguindo as diretrizes estabelecidas na NP EN 1991-1-4:2010. A parametrização considerou diversos fatores, incluindo altitude, categoria do terreno, obstruções e efeitos aerodinâmicos, a fim de garantir um dimensionamento seguro e realista da estrutura.

A primeira tela de configuração da ação do vento se refere à seleção da fonte de dados e opções, como se pode ver na Figura 16.

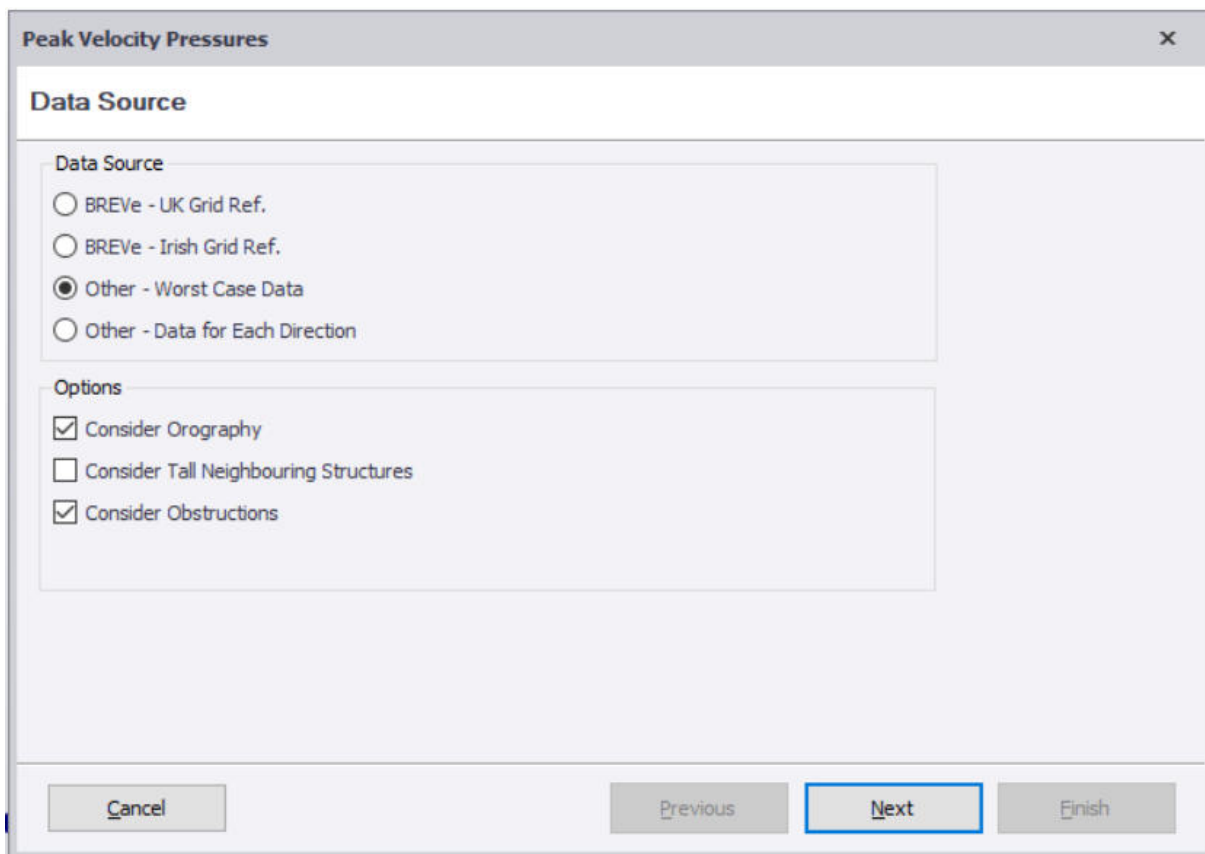


Figura 16 – Seleção de dados e opções

A primeira etapa da configuração envolveu a escolha da fonte de dados e das opções adicionais que influenciam o cálculo das pressões de vento. Optou-se pela configuração "Other - Worst Case Data", que representa o pior cenário possível de vento, assegurando um dimensionamento mais conservador. Além disso, foram ativadas as opções "Consider Orography" e "Consider Obstructions", garantindo que a influência do relevo e dos obstáculos dispersos fosse incorporada na análise. No entanto, a opção "Consider Tall Neighbouring Structures" foi desativada após análise das condições locais, pois os edifícios próximos não apresentavam altura significativa para impactar a ação do vento na estrutura.

A definição dos parâmetros básicos é mostrada na Figura 17.

**Peak Velocity Pressures**

**Basic Data**

Site Altitude, A: 444 m

Air Density: 1,226 kg/m<sup>3</sup>

Ground Level in Model (Ignore Wind Below): 0,000 m

Fundamental Basic Wind Velocity,  $v_{b,0,map}$ : 27,0 m/s

Season factor,  $c_{season}$ : 1,000

Probability factor,  $c_{prob}$ : 1,000

Default height for internal pressure,  $z_i$ : 8,500 m  Use Building Height

Buttons: Cancel, Previous, Next, Finish

Figura 17 - Definição dos parâmetros básicos

Para adequar a análise à realidade do local, foi inserida a altitude média do Parque Industrial de Coimbrões, em Viseu, correspondente a 444 metros, conforme indicado pelo Topographic Map (2024). A densidade do ar foi mantida em 1,226 kg/m<sup>3</sup>, valor padrão para altitudes moderadas. O nível de referência foi estabelecido em 0,000 metros, garantindo que todas as ações do vento fossem calculadas a partir do solo.

De acordo com a NP EN 1991-1-4:2010, para efeitos da quantificação do valor de referência da velocidade básica do vento, considera-se dividir Portugal em duas zonas distintas conforme mostrado na Tabela 5.

Zona	Descrição	V <sub>b,0</sub> (m/s)
A	a generalidade do território, excepto as regiões pertencentes à zona B.	27
B	os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou a altitudes superiores a 600 m.	30

Tabela 5 - Valores de referência para a velocidade fundamental básica do vento.

Além disso, os fatores sazonais e de probabilidade foram mantidos em 1,000, uma vez que a estrutura apresenta uma utilização contínua e não está sujeito a variações sazonais na exposição ao vento. O valor de referência para a altura do edifício foi mantido em 8,5 metros, compatível com a modelação da estrutura.

A próxima tela de configuração é sobre a configuração da rugosidade e obstruções do local definido, como se pode ver na Figura 18.

The image shows a software dialog box titled "Peak Velocity Pressures" with a close button (X) in the top right corner. The main heading is "Roughness & Obstructions". Below this, there are five input fields:

- Terrain Category: A dropdown menu set to "Town".
- Average height of upwind buildings ( $h_{s,e}$ ): A text box containing "10,000" followed by "m".
- Upwind spacing of surrounding buildings (x): A text box containing "20,000" followed by "m".
- Upwind distance from sea to site: A text box containing "70,0" followed by "km".
- Upwind distance from edge of town to site: A text box containing "2,0" followed by "km".

At the bottom of the dialog, there are four buttons: "Cancel", "Previous", "Next" (which is highlighted with a blue border), and "Finish".

Figura 18 - Rugosidade e Obstruções

Optou-se pela categoria de terreno "Town", uma vez que o Parque Industrial de Coimbrões possui construções dispersas, típicas de áreas industriais. Além disso, a altura média dos edifícios circundantes foi estimada em 10 metros, refletindo a presença de pavilhões industriais de média dimensão. Após medições realizadas no Google Earth, o espaçamento médio entre edifícios foi definido para 20 metros e a distância do local em relação ao mar foi considerada como 70 km, conforme se pode ver na Figura 19.

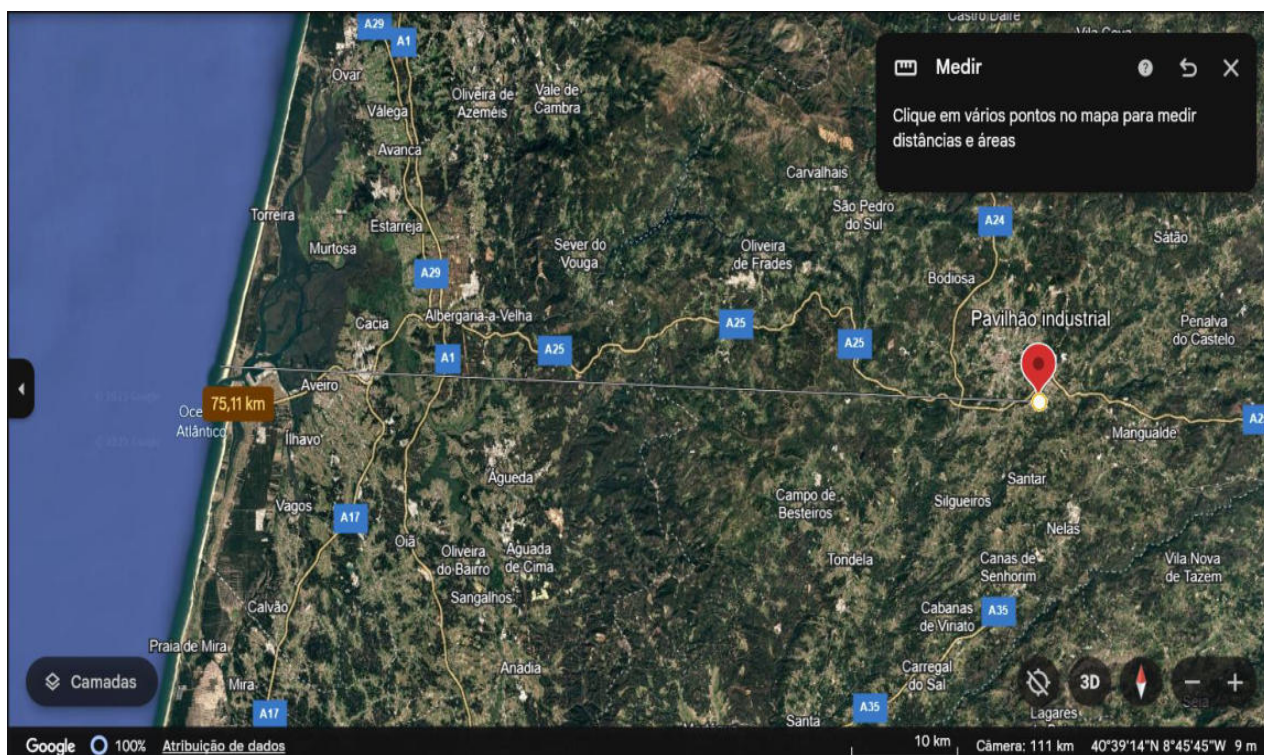


Figura 19 – Distância do pavilhão industrial ao Oceano Atlântico

Adicionalmente, a distância entre a borda da cidade e o pavilhão foi definida em 2 km, refletindo a transição entre a zona urbana e a área industrial.

A tela seguinte se refere às considerações Orográficas do local, como mostra a Figura 20.

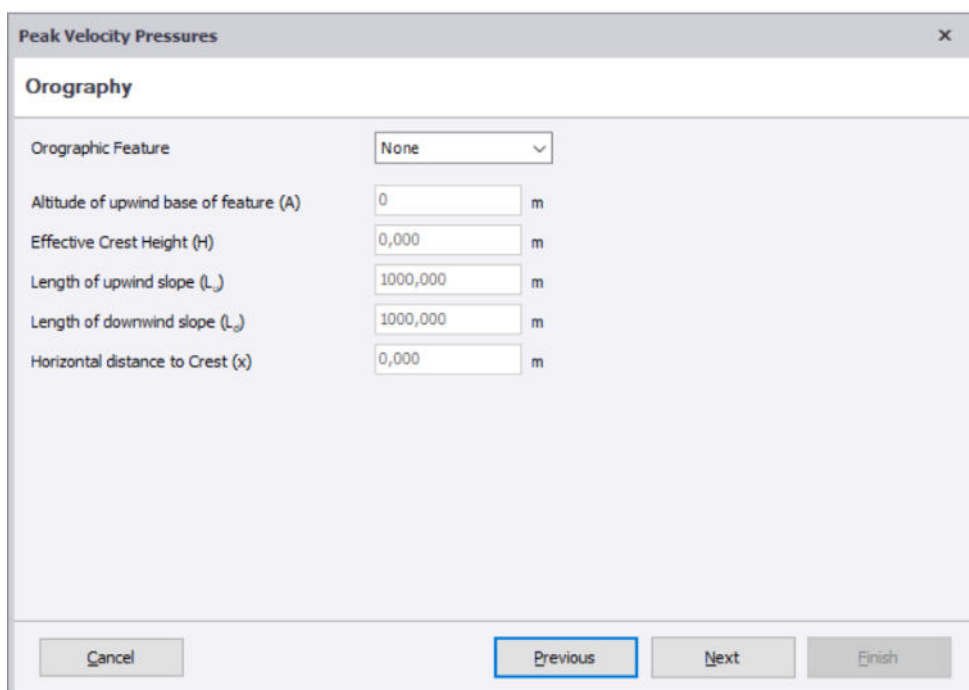
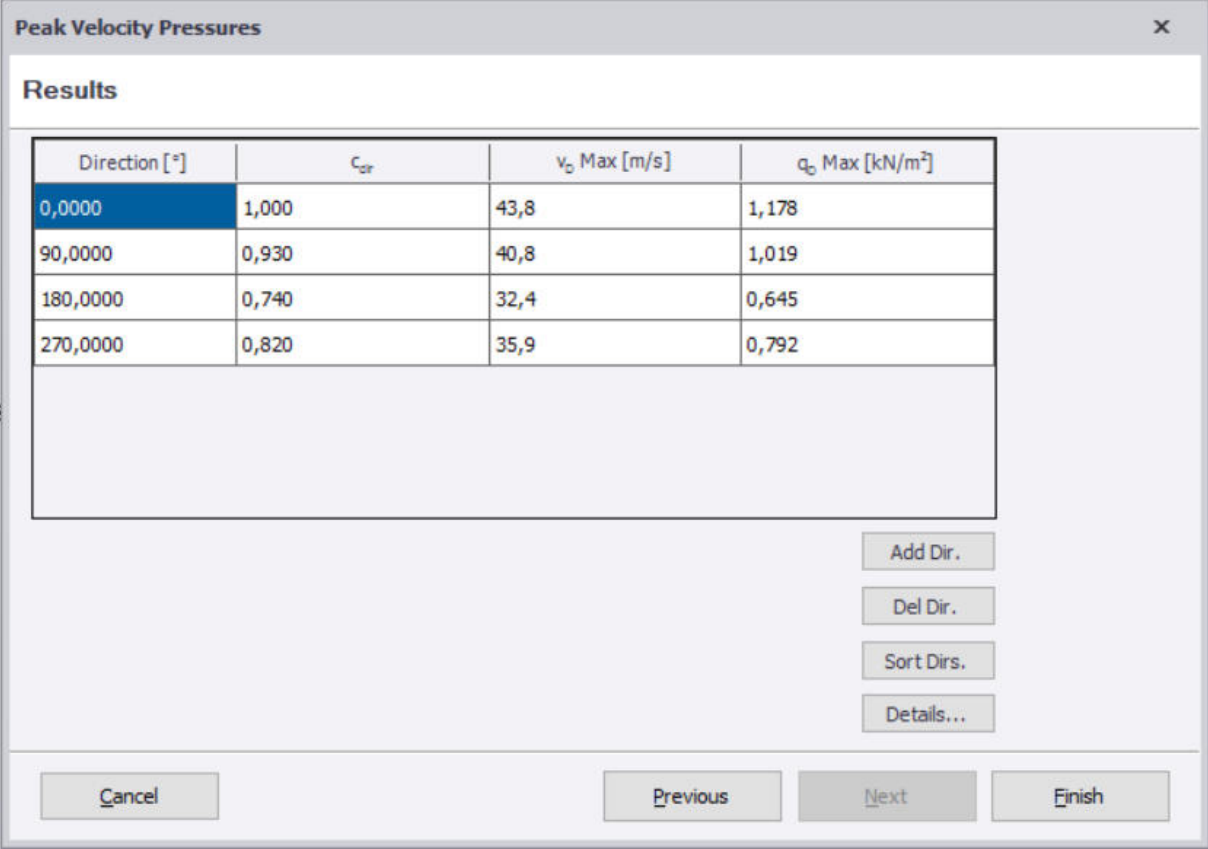


Figura 20 - Considerações orográficas do local

A análise da orografia do local indicou que não há colinas ou escarpas significativas que possam influenciar o escoamento do vento na estrutura. Dado esse contexto, a opção "None" foi selecionada, eliminando a necessidade de ajustes relacionados a efeitos aerodinâmicos devido ao relevo.

A tela seguinte é sobre os resultados da pressão do vento, como se pode ver na Figura 21.



Direction [°]	$C_{dir}$	$v_D$ Max [m/s]	$q_D$ Max [kN/m <sup>2</sup> ]
0,0000	1,000	43,8	1,178
90,0000	0,930	40,8	1,019
180,0000	0,740	32,4	0,645
270,0000	0,820	35,9	0,792

Figura 21 - Resultados da pressão do vento

Esta tela apresenta os resultados da pressão dinâmica máxima do vento em diferentes direções, de acordo com a velocidade básica do vento e os coeficientes de exposição e rugosidade do terreno. Esses valores são fundamentais para determinar as forças de vento que atuarão sobre a estrutura.

O coeficiente  $C_{dir}$  refere-se ao coeficiente de rugosidade do terreno, que ajusta a velocidade do vento conforme a topografia e obstáculos ao redor. No caso do valor ser igual a um, indica um terreno plano e exposto, sem obstáculos. Os demais casos que apresentam valores menores, como por exemplo o valor de 0,74, indica que nessa direção o vento encontra mais obstáculos naturais ou artificiais, resultando numa menor velocidade dinâmica.

O coeficiente  $V_0$  Max refere-se a velocidade máxima dinâmica do vento em cada direção analisada. O aumento significativo em relação à velocidade básica de 27 m/s ocorre devido também à aplicação de fatores de amplificação inerentes à opção "Worst Case Data", garantindo um dimensionamento estrutural seguro e conservador.

Por último, o coeficiente  $q_0$  Max representa a pressão dinâmica máxima correspondente à velocidade do vento, usada para calcular as forças aplicadas na estrutura.

Assim, a parametrização das ações do vento foi realizada conforme as diretrizes da NP EN 1991-1-4:2010, considerando as especificidades do local de implantação do pavilhão industrial. A escolha de um cenário conservador visa garantir que a estrutura seja capaz de suportar cargas de vento extremas sem comprometer sua integridade.

### **3.4 Dimensionamento dos elementos estruturais**

Posterior à modelação da estrutura, a atribuição dos materiais e a definição das combinações de ações, a próxima etapa fundamental no Tekla Structural Designer é a verificação dos elementos estruturais em conformidade com os critérios de resistência, estabilidade e serviço.

Para esse processo, o software disponibiliza, na aba "Design", o comando "Design All", responsável por verificar cada elemento e garantir que atende aos requisitos dos Estados Limites Último (ELU) e de Serviço (ELS). Além disso, essa ferramenta realiza a análise da deformabilidade dos elementos estruturais, considerando a instabilidade por deslocamento lateral (Sway), o deslocamento sísmico (Seismic Drift), o deslocamento causado pelo vento (Wind Drift), o deslocamento global devido ao vento (Overall Wind Drift) e o deslocamento total da estrutura (Overall Displacement).

Após a execução do comando, a Figura 22 mostra um exemplo do método de identificação dos elementos estruturais não suficientes para os valores limites.

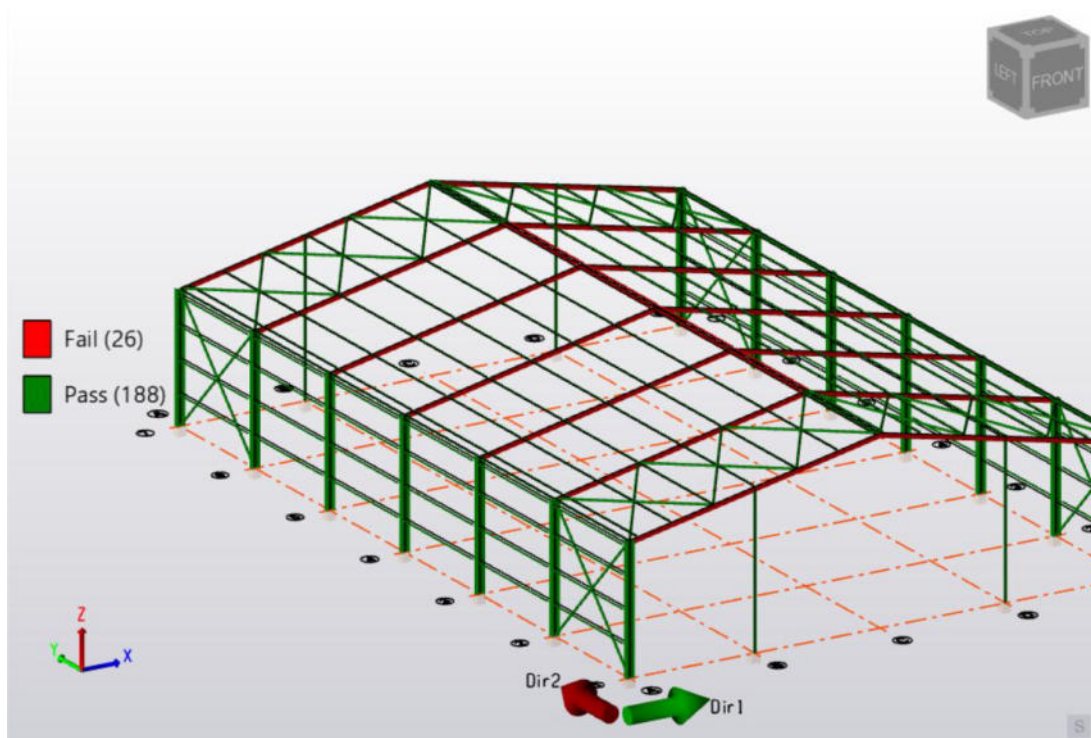


Figura 22 - Identificação dos elementos estruturais insuficientes

Elementos representados na cor verde simboliza que está dentro dos limites normativos, ao contrário do elementos representados na cor vermelho, que necessita redimensionamento ou reforço. Somado a isso, ao clicar com o botão direito num elemento, surge um menu contextual com diversas opções, como mostrado na Figura 23.

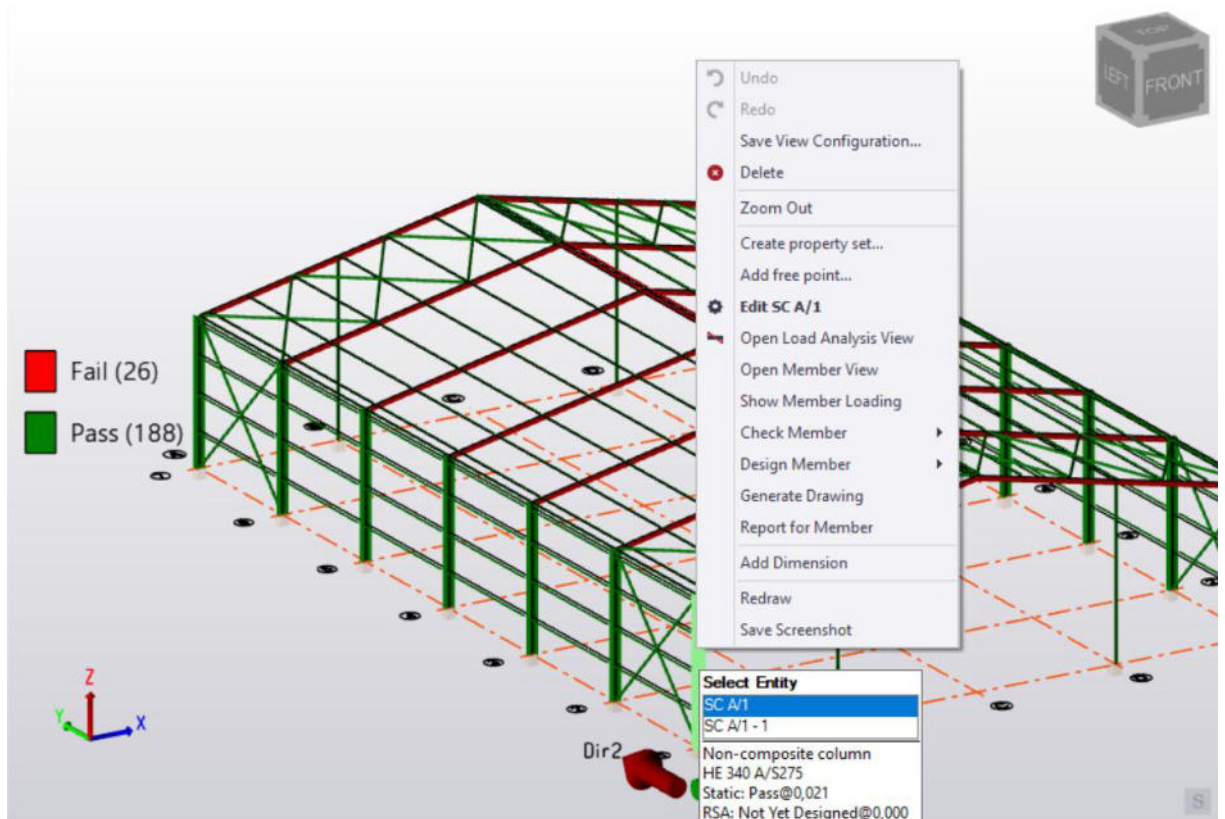


Figura 23 - Opções auxiliares de redimensionamento de elementos estruturais

As ferramentas mais relevantes para o dimensionamento e análise dos elementos estruturais são:

- Edit - Permite editar propriedades do elemento, como material e tipo de perfil, útil quando é necessário modificar um elemento específico para corrigir falhas sem precisar refazer o dimensionamento da estrutura inteira.
- Open Load Analysis View - Exibe os esforços internos no elemento selecionado, mostrado como um exemplo na Figura 24.

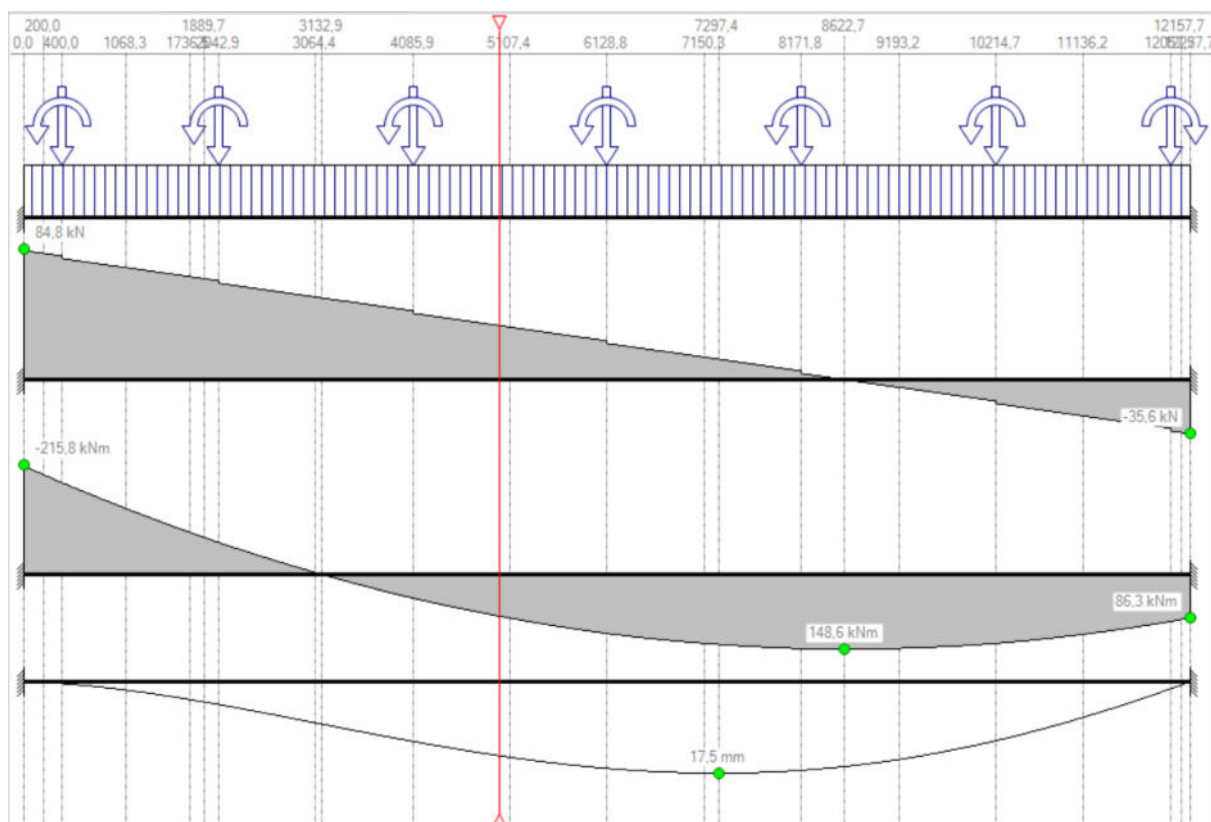


Figura 24 - Esforços internos de uma viga

Esta visualização apresenta diferentes diagramas que ajudam a compreender o comportamento do elemento sob cargas aplicadas. O primeiro diagrama indica a distribuição das cargas, o segundo representa o diagrama de esforço cortante, o terceiro representa o diagrama de momento fletor e, por último, o diagrama de deslocamento, no qual indica a deformação da viga sob carga. Além disso, é possível analisar todos os valores definidos para cada posição do elemento, arrastando a linha vermelha para posição desejada.

- Check Member - Permite verificar manualmente um elemento individual, analisando se cumpre os critérios normativos de resistência e estabilidade. Essa ferramenta fornece uma visão detalhada, conforme é mostrado na Figura 25, do comportamento da viga sob as cargas aplicadas e avalia a sua conformidade com as normas de projeto, como o EN 1993-1-1:2010 para estruturas metálicas.

SB IP 1/A/4-IP 1/C/4 results (EN 1993-1-1, 2005)

Summary IPE 500(S275)

Design Condition	#	Design Value	Design Capacity	Units	U.R.	Status
Classification	2	Class 1	-	-	-	Pass
Shear Major	38	93,5	950,6	kN	0,098	Pass
Shear Minor	43	2,8	883,5	kN	0,003	Pass
Buckling Shear Web	-	45,882	55,465	-	-	Pass
Moment Major	33	-312,7	603,4	kNm	0,518	Pass
Major Axis						
Design value Moment, $M_{y,Ed}$ = -312,7 kNm						
Classification Class 1						
$\gamma_{M0}$ = 1,000						
Plastic section modulus, $W_{ply}$ = 2194,1 cm <sup>3</sup>						
Yield strength, $f_y$ = 275,0 N/mm <sup>2</sup>						
Design resistance, $M_{c,y,Rd}$ = 603,4 kNm EN 1993-1-1: 2005 Cl 6.2.5(2)						
Ratio = 0,518 EN 1993-1-1: 2005 Cl 6.2.5(1)						
Pass						
Moment Minor	43	-4,2	92,4	kNm	0,046	Pass
Axial	33	112,8	3176,8	kN	0,035	Pass
Axial Bending Combined	33	-	-	-	0,519	Pass
Buckling Lateral Torsional	38	-193,8	200,8	kNm	0,965	Pass
Buckling Compression	33	112,8	1442,7	kN	0,078	Pass
Buckling Combined	38	-	-	-	0,991	Pass
Torsion No Significant Forces						
Not required						
Deflection Self weight	2	2,0	-	mm	-	-
Deflection Slab No loads						
Not required						
Deflection Dead	2	4,6	24,5	mm	0,187	Pass
Deflection Imposed No loads						
Not required						
Deflection Wind	38	10,8	61,3	mm	0,177	Pass
Deflection Total	38	16,3	61,3	mm	0,266	Pass

Settings Expand All Collapse All Close

Figura 25 - Ferramenta "Check Member"

O relatório de verificação de elementos estruturais apresenta três parâmetros essenciais para avaliar o desempenho da viga: Design Value, Design Capacity e U.R. (Utilization Ratio). O Design Value representa os esforços calculados que atuam no elemento estrutural, como momentos fletores, forças axiais e esforços cortantes. Já o Design Capacity indica a resistência máxima que o elemento pode suportar, conforme os critérios normativos. A relação entre esses dois valores é expressa pela taxa de utilização (U.R.), que mostra o quão próximo o elemento está do seu limite de resistência.

Se a taxa de utilização for menor a 1,0, significa que o elementos estrutural está dentro dos limites de segurança e é aprovada no dimensionamento. Caso contrário, se for igual ou superior à 1,0, o elemento precisa ser ajustado. Para maior facilidade de visualização, é possível visualizar a taxa de utilização de cada elemento estrutural de forma mais prática, conforme exibido na Figura 26.

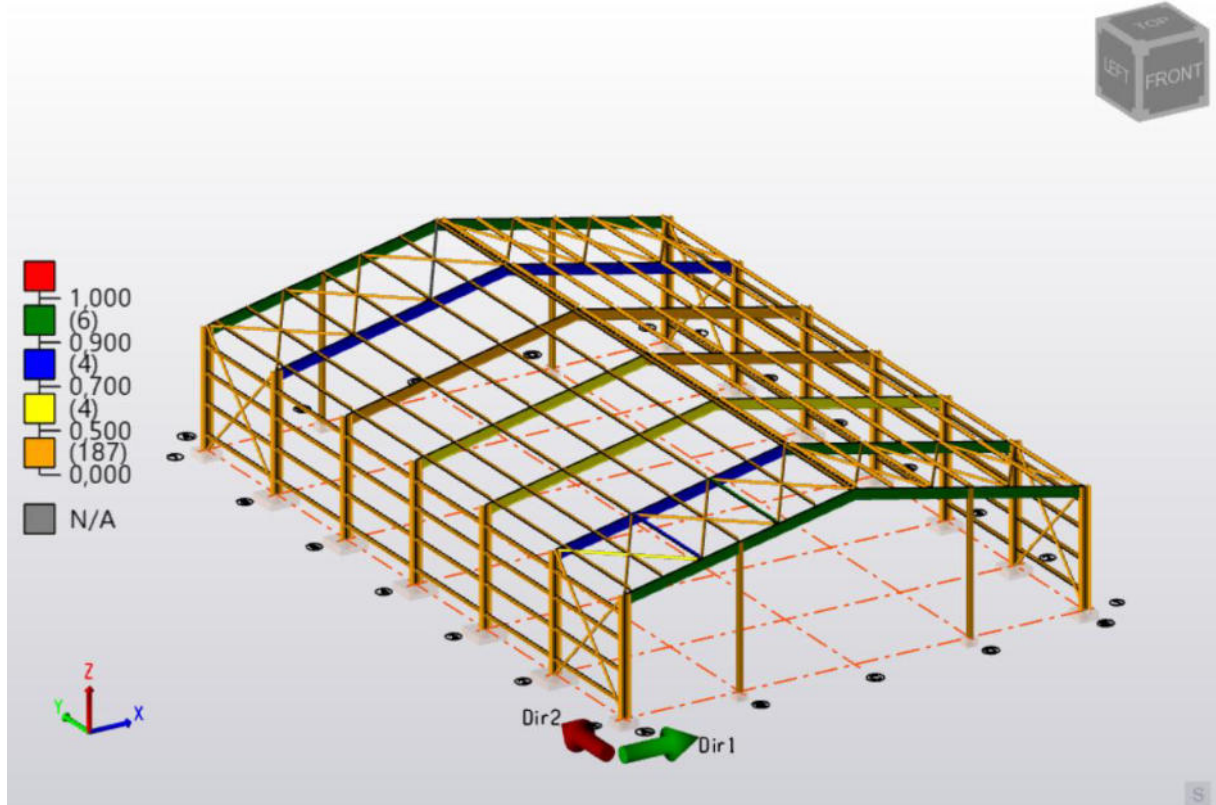


Figura 26 - Visualização da taxa de utilização os elementos estruturais.

Elementos na cor verde representam a taxa de utilização acima do valor de 0,9, na cor azul são valores acima de 0,7, na cor amarela são valores acima de 0,5 e, na cor laranja são valores abaixo de 0,3. Sendo assim, é sempre preferível atingir elementos com a cor verde, significando que o elemento atende as necessidades estruturais e não está superdimensionado.

- Design Member - Faz o dimensionamento automático do elemento selecionado, ou seja, caso o elemento esteja subdimensionado (falhou no Check Member), é selecionado automaticamente uma nova seção mais resistente dentro da biblioteca definida pelo usuário, caso contrário, se o elemento estiver superdimensionado (uso muito baixo da resistência), pode sugerir uma seção menor e mais eficiente.

### 3.5 Análises do comportamento da estrutura

No presente estudo, o redimensionamento do pavilhão industrial foi conduzido com base não apenas na indicação da cor verde nos elementos estruturais após a execução da ferramenta "Design All" no software Tekla Structural Designer, mas

também por meio de uma análise criteriosa da estabilidade global da estrutura. Essa abordagem garantiu que os deslocamentos, as frequências naturais de vibração e os efeitos de segunda ordem estivessem dentro dos limites estabelecidos pelas normas vigentes.

As análises e o redimensionamento da estrutura tiveram como base as seguintes normas:

- NP EN 1990:2009 – Bases para o projeto de estruturas;
- NP EN 1991-1-1:2009 – Ações em estruturas;
- NP EN 1993-1-1:2010 – Projeto de estruturas de aço;
- NP EN 1998-1:2010 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos – Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios.

Entre as análises realizadas, incluem-se:

- i. Análise linear estática de primeira ordem, para determinar esforços e deslocamentos sob carregamentos convencionais;
- ii. Análise modal, para avaliar os modos próprios de vibração e a resposta dinâmica da estrutura;
- iii. Análise de encurvadura de segunda ordem, para examinar a estabilidade global considerando efeitos não lineares;
- iv. Análises não lineares, para verificar o comportamento estrutural sob grandes deslocamentos ou efeitos plásticos.

O dimensionamento dos perfis metálicos foi um processo iterativo, ajustado a cada execução do "Design All" e das análises estruturais, visando a otimização dos perfis e evitando superdimensionamentos desnecessários.

Outros parâmetros essenciais foram considerados, incluindo:

- Fator de carga crítica ( $\alpha_{cr}$ ), para avaliar a estabilidade global da estrutura;
- Frequência natural de vibração e massa modal acumulada, garantindo o adequado desempenho dinâmico.

### **3.5.1 Fator de carga crítica**

Ao realizar a análise de encurvadura de segunda ordem no modelo estrutural, é determinado o fator de carga crítica ( $\alpha_{cr}$ ) para cada combinação de ações. Esse fator representa o valor pelo qual as ações de cálculo devem ser multiplicadas para provocar a instabilidade elástica da estrutura em um modo global.

De acordo com a NP EN 1993-1-1:2010, a interpretação do fator de carga crítica e as ações recomendadas são apresentadas na Tabela 6:

Fator de carga crítica ( $\alpha_{cr}$ )	Interpretação	Ação requerida
$\geq 10$	Estrutura altamente estável. Pode-se utilizar análise de primeira ordem, sem necessidade de considerar efeitos de segunda ordem.	Análise de primeira ordem é suficiente.
$3 \geq \alpha_{cr} < 10$	Efeitos de segunda ordem podem ser relevantes. Deve-se considerar uma análise mais detalhada para garantir segurança estrutural.	Considerar análise de segunda ordem para garantir segurança.
$< 3$	Estrutura com risco significativo de instabilidade global. Necessário realizar uma análise de segunda ordem rigorosa e possivelmente reforçar a rigidez estrutural.	Revisão urgente da estabilidade global, reforço estrutural pode ser necessário.

Tabela 6 - Interpretação do fator de carga crítica.

De todas as combinações de carregamento, o menor fator de carga crítica identificado foi de valor igual a 4,748. Dessa forma, foi necessário analisar para os casos de combinações de ações com  $\alpha_{cr}$  inferiores a 10, além dos resultados das análises de primeira ordem, os resultados das análises de segunda ordem dos elementos.

### 3.5.2 Frequência natural de vibração e massa modal acumulada

De início, avaliou-se os resultados da análise modal de primeira ordem, que é utilizada para compreender o comportamento dinâmico de uma estrutura quando sujeita a excitações externas, tais como ações sísmicas, cargas dinâmicas de vento ou vibrações induzidas por equipamentos. Esta análise permite determinar as frequências naturais de vibração, as formas modais associadas e a massa modal efetiva correspondente a cada modo de vibração. De acordo com NP EN 1998-1:2010, devem ser considerados modos suficientes para garantir que, em cada direção principal (Dir 1 e Dir 2), a soma da massa modal acumulada atinge pelo menos 90% da massa total da estrutura. Este critério assegura que a resposta dinâmica da estrutura está corretamente representada, captando os principais efeitos vibratórios que podem influenciar o desempenho estrutural.

A análise modal realizada revelou os seguintes resultados para os três primeiros modos:

- Modo 1: Frequência natural de vibração de 2,13 Hz, com uma massa modal acumulada de 29,11%;
- Modo 2: Frequência natural de vibração de 2,48 Hz, com uma massa modal acumulada de 43,34%;
- Modo 3: Frequência natural de vibração de 2,68 Hz, com uma massa modal acumulada de 27,88%.

A soma das massas modais associadas aos três primeiros modos é 100,33%, o que satisfaz os requisitos normativos da NP EN 1998-1:2010. Este estudo modal contribuiu para identificar que não há risco significativo de efeitos de ressonância ou deformações excessivas sob ação sísmica e também para a compreensão do comportamento vibratório da estrutura, permitindo uma tomada de decisão fundamentada sobre a necessidade de reforços estruturais ou considerações adicionais no contexto da resistência sísmica.

Por fim, o dimensionamento do pavilhão industrial foi conduzido com uma abordagem criteriosa, garantindo uma estrutura otimizada, segura e em conformidade com os requisitos normativos. O processo envolveu análises estruturais detalhadas, considerando estabilidade global, comportamento dinâmico e efeitos de segunda ordem, possibilitando a escolha eficiente dos perfis metálicos.

A utilização do software Tekla Structural Designer trouxe benefícios significativos para esse processo, permitindo automatizar verificações estruturais, realizar ajustes rápidos no dimensionamento, testar diferentes combinações de perfis metálicos e otimizar o consumo de material. Diferente de métodos convencionais, onde cada alteração nos perfis exige reavaliações manuais demoradas, o software possibilitou uma abordagem iterativa mais ágil, garantindo que os elementos estruturais fossem ajustados conforme necessário para alcançar um desempenho esperado. Dessa forma, é notável como ferramentas avançadas de modelagem e análise, como o software Tekla Structural Designer, potencializam a eficiência e a precisão no desenvolvimento de estruturas metálicas industriais.

### **3.6 Ligações metálicas**

Neste capítulo, aborda-se o processo de modelação, análise e verificação das ligações metálicas entre os elementos estruturais viga-viga e pilar-viga, utilizando a interação entre os softwares Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa.

A integração BIM entre estas ferramentas possibilita uma análise criteriosa de elementos estruturais complexos. Cada software possui funcionalidades complementares que, quando utilizadas em conjunto, proporcionam uma abordagem robusta para o projeto e verificação de estruturas. O conceito-chave desta interoperabilidade reside na importação do modelo estrutural e dos respectivos resultados do software Tekla Structural Designer para o software IDEA StatiCa, permitindo um refinamento da análise das ligações e dos elementos críticos. Este fluxo de trabalho reduz significativamente a necessidade de reintrodução de dados, minimiza erros humanos e melhora a precisão do projeto estrutural.

A integração BIM entre ambos os programas é viabilizada através de um BIM link, que estabelece uma conexão direta entre os modelos estruturais desenvolvidos. Este BIM link possibilita a transferência automática de informações, incluindo geometrias, cargas e propriedades dos materiais, garantindo que quaisquer alterações realizadas no modelo estrutural sejam refletidas diretamente na análise detalhada das ligações.

### **3.6.1 Criação de uma ligação metálica no software IDEA StatiCa**

Posterior à conclusão do modelo estrutural e da realização das análises necessárias, procedeu-se à seleção das ligações metálicas que requeriam verificação detalhada. Para isso, foi utilizada a funcionalidade de exportação compatível com o software IDEA StatiCa. Este processo é ilustrado na Figura 29, que demonstra a integração entre os dois softwares.

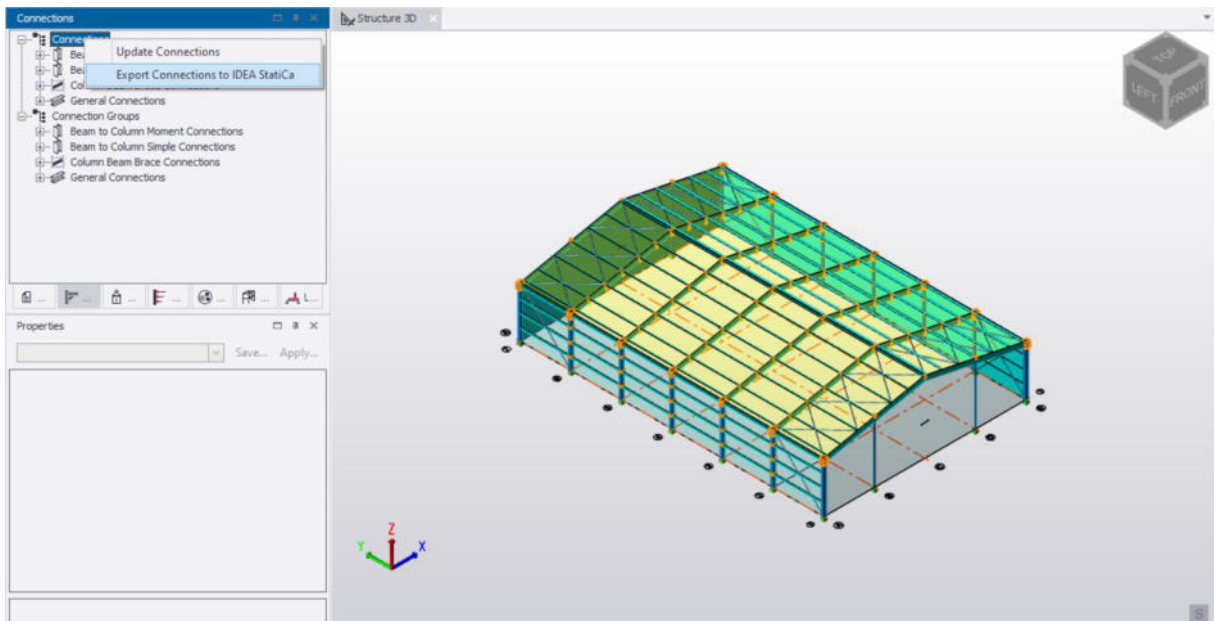


Figura 27 - Demonstração do processo de exportação do modelo para o IDEA StatiCa

Ao selecionar a opção "Export Connections to IDEA StatiCa", abre-se a janela da Figura 30, intitulada Checkbox Control Panel. Esta janela permite configurar os parâmetros da exportação, incluindo os métodos de análise, os carregamentos a exportar, a lista de ligações metálicas a exportar e o status da exportação, que indica quais ligações metálicas identificadas já foram enviadas para a exportação, conforme assinalado pelos ícones de verificação.

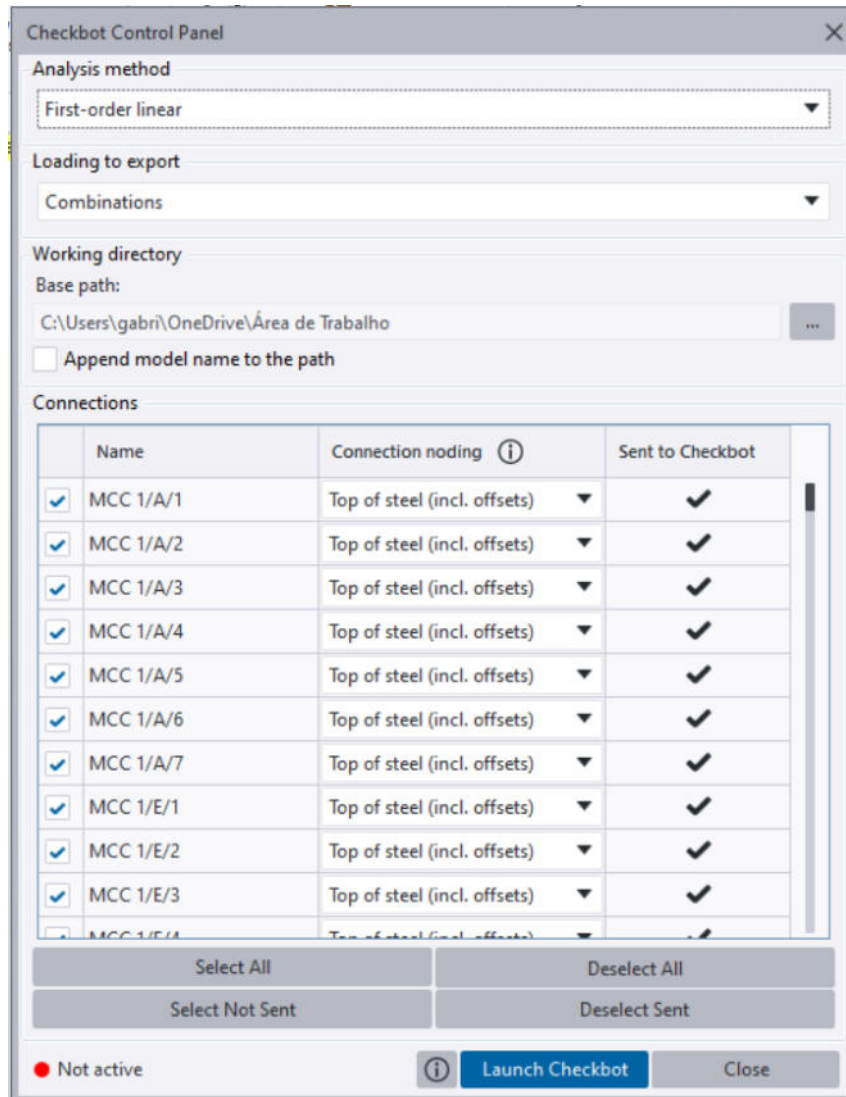


Figura 28 - Checkbox Control Panel

O modelo estrutural, incluindo as geometrias e os esforços aplicados, foi exportado diretamente a interface do software IDEA StatiCa como é mostrado na Figura 31.

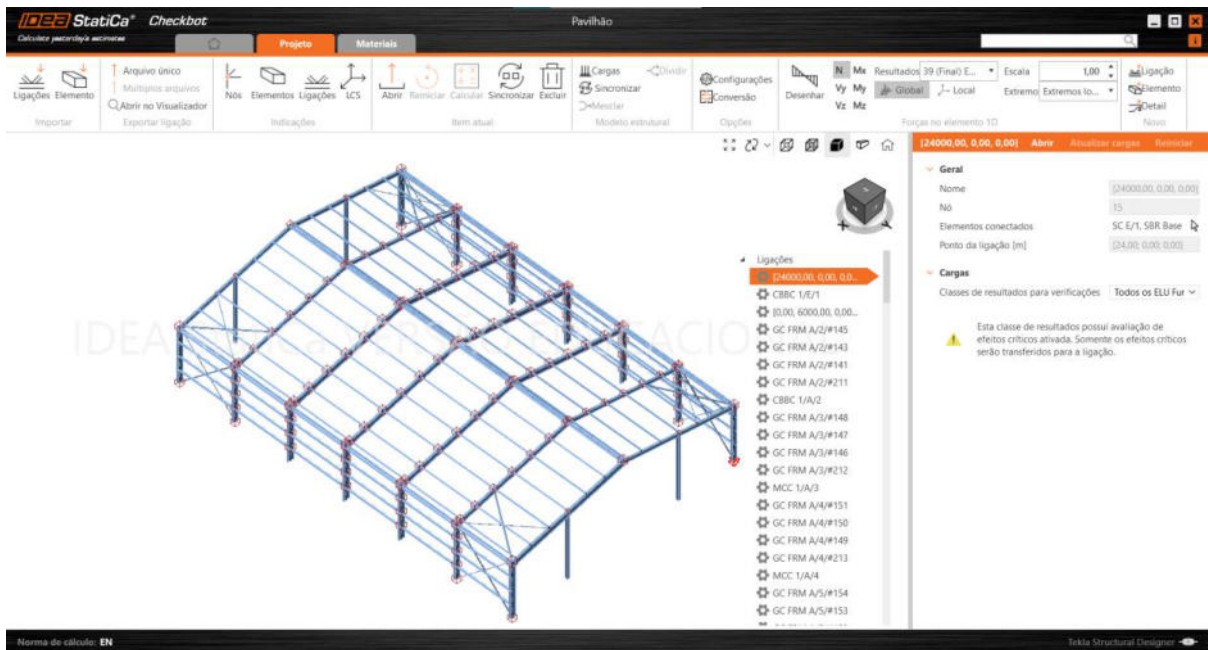


Figura 29 - Representação da exportação do modelo estrutural para o IDEA StatiCa

O software IDEA StatiCa, por sua vez, permite a modelagem e a verificação detalhada de ligações metálicas. O processo começa com a escolha de um tipo de ligação pré-configurado no IDEA StatiCa, que pode ser adaptado às necessidades específicas do projeto. A interface está dividida em quatro secções principais que guiam o utilizador na criação do modelo da ligação, como vê-se na Figura 32.

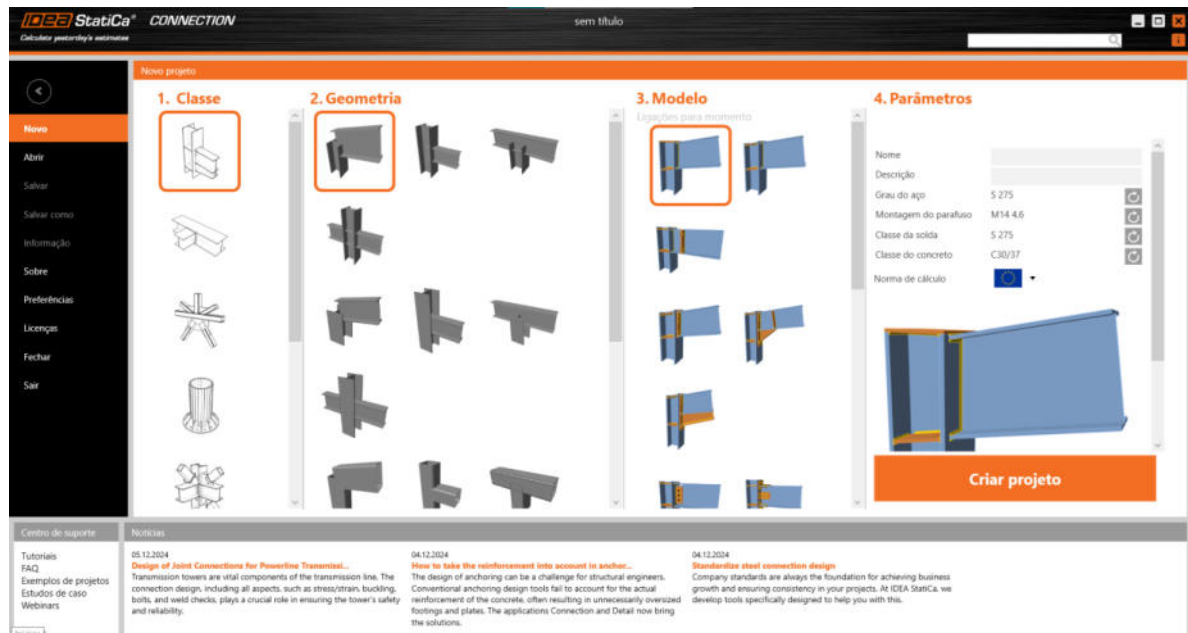


Figura 30 – Interface que precede a modelagem de ligação metálica no IDEA StatiCa.

A primeira etapa, denominada "Classe", permite selecionar o tipo geral de ligação a modelar, podendo escolher entre conexões viga-pilar, bases de pilares, ligações treliçadas, tubulares, entre outras. Esta escolha define a base estrutural da ligação e orienta as opções subsequentes.

A segunda etapa, denominada "Geometria", permite a escolha da configuração específica da ligação dentro da classe previamente definida. Nesta fase, são apresentadas diferentes variantes geométricas, incluindo ligações simples, reforçadas, com contraventamentos ou outras configurações adaptadas às necessidades estruturais do projeto. No exemplo da Figura 32, foi selecionada uma ligação viga-pilar soldada, garantindo continuidade no perfil da viga.

A terceira seção, "Modelo", aprofunda ainda mais a definição da ligação, permitindo ao utilizador escolher entre diferentes modelos específicos da geometria selecionada. Aqui, podem ser especificadas particularidades como o tipo de chapas de ligação, reforços estruturais, métodos de união (soldadura ou parafusos) e outros detalhes técnicos que influenciam o desempenho da ligação. No caso apresentado, foi escolhida uma ligação para momento, que transmite esforços fletores entre os elementos ligados.

Em seguida, a coluna "Parâmetros" permite a introdução dos valores técnicos da ligação metálica. Na Tabela 7 são mostrados os valores considerados para coeficientes, fatores de segurança e dimensões relevantes para o cálculo e verificação de ligações metálicas, de acordo com as normas citadas na coluna "Referência" e com as diretrizes do CIDECT (Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire), especificamente o CIDECT Design Guide 1 (DG 1).

Item	Valor	Referência	Descrição
Coeficiente de ponderação $\gamma_{M0}$	1	EN 1993-1-1: 6.1	Fator de segurança para resistência da secção transversal sem instabilidade.
Coeficiente de ponderação $\gamma_{M1}$	1	EN 1993-1-1: 6.1	Fator de segurança aplicado a verificações de estabilidade global.
Coeficiente de ponderação $\gamma_{M2}$	1,25	EN 1993-1-1: 6.1	Fator de segurança para falha última em parafusos e soldaduras.
Coeficiente de ponderação $\gamma_{M3}$	1,1	EN 1993-1-8: 2.2	Fator de segurança aplicado em ligações metálicas e conexões.
Coeficiente de ponderação $\gamma_C$	1,5	EN 1992-1-1: 2.4.2.4	Fator de segurança para o betão na verificação estrutural.
Coeficiente de ponderação $\gamma_{Inst}$	1,2	EN 1992-4: Tabela 4.1	Fator de segurança para efeitos de instalação e montagem.
Coeficiente da ligação $\beta_j$	0,67	EN 1993-1-8: 6.2.5	Fator que considera a distribuição de tensões em ligações metálicas.
Área efetiva - influência do tamanho da malha	0,1	-	Fator que considera a redução da área efetiva devido à malha estrutural.
Coeficiente de atrito - betão	0,25	EN 1993-1-8	Considera o atrito entre betão e aço em conexões mistas.
Coeficiente de atrito na resistência ao deslizamento	0,3	EN 1993-1-8 aba 3.7	Considera o atrito entre superfícies metálicas em ligações aparafusadas.
Limite de deformação plástica	0,05	EN 1993-1-5	Deformação máxima permitida antes da plastificação da ligação.
Detalhamento	Sim	-	Indica que a estrutura foi detalhada conforme normas técnicas.
Distância entre os parafusos [d]	2,2	EN 1993-1-8: aba 3.3	Distância mínima recomendada entre parafusos para evitar falhas prematuras.
Distância entre os parafusos e a borda [d]	1,2	EN 1993-1-8: aba 3.3	Distância mínima entre parafusos e a borda da chapa para evitar ruturas.
Verificação da resistência à rutura do betão	Ambos	EN 1992-4: 7.2.1.4 and 7.2.2.5	Indica se a ligação foi verificada para rutura do betão.
Usar $c_b$ calculada na verificação da capacidade de carga	Sim	EN 1993-1-8: aba 3.4	Consideração do coeficiente $c_b$ na verificação estrutural da ligação.
Betão fissurado	Sim	EN 1992-4	Considera se o betão está fissurado na análise estrutural.
Verificação da deformação local	Sim	CIDECT DG 1, 3 - 1.1	Confirma se a ligação atende aos critérios de deformação máxima permitida.
Limite da deformação local	0,03	CIDECT DG 1, 3 - 1.1	Limite máximo de deformação local permitida em ligações metálicas.
Sistema contraventado	Sim	EN 1993-1-8: 5.2.2.5	Indica se a estrutura conta ou não com contraventamentos.

Tabela 7 - Configuração dos coeficientes e fatores considerados no dimensionamento e verificação de estruturas metálicas.

Por fim, o utilizador pode definir o nome do projeto, a descrição e os materiais estruturais, como o grau do aço das vigas e das chapas de ligação, a classe dos parafusos e das soldaduras, bem como a classe do betão, caso a ligação envolva uma base de pilar. Após a configuração destes parâmetros, o utilizador pode prosseguir

clicando em "Criar projeto", permitindo ao IDEA StatiCa gerar o modelo detalhado da ligação.

### 3.6.2 Determinação da ligação metálica submetida ao caso mais crítico

No software Tekla Structural Designer, é possível gerar um “envelope” de esforços, que consiste na compilação dos valores máximos e mínimos de todas as combinações de carga aplicadas à estrutura. Este envelope permite visualizar, de forma clara e detalhada, os esforços internos máximos e mínimos que cada elemento estrutural pode experienciar ao longo da sua vida útil. Através da análise destes relatórios, torna-se possível identificar quais são os elementos estruturais mais solicitados e em que posições ocorrem os valores mais críticos de esforço, seja em termos de momento fletor, esforço cortante ou esforço axial. Na Figura 33, vê-se a representação dos momentos fletores do “envelope” criado.

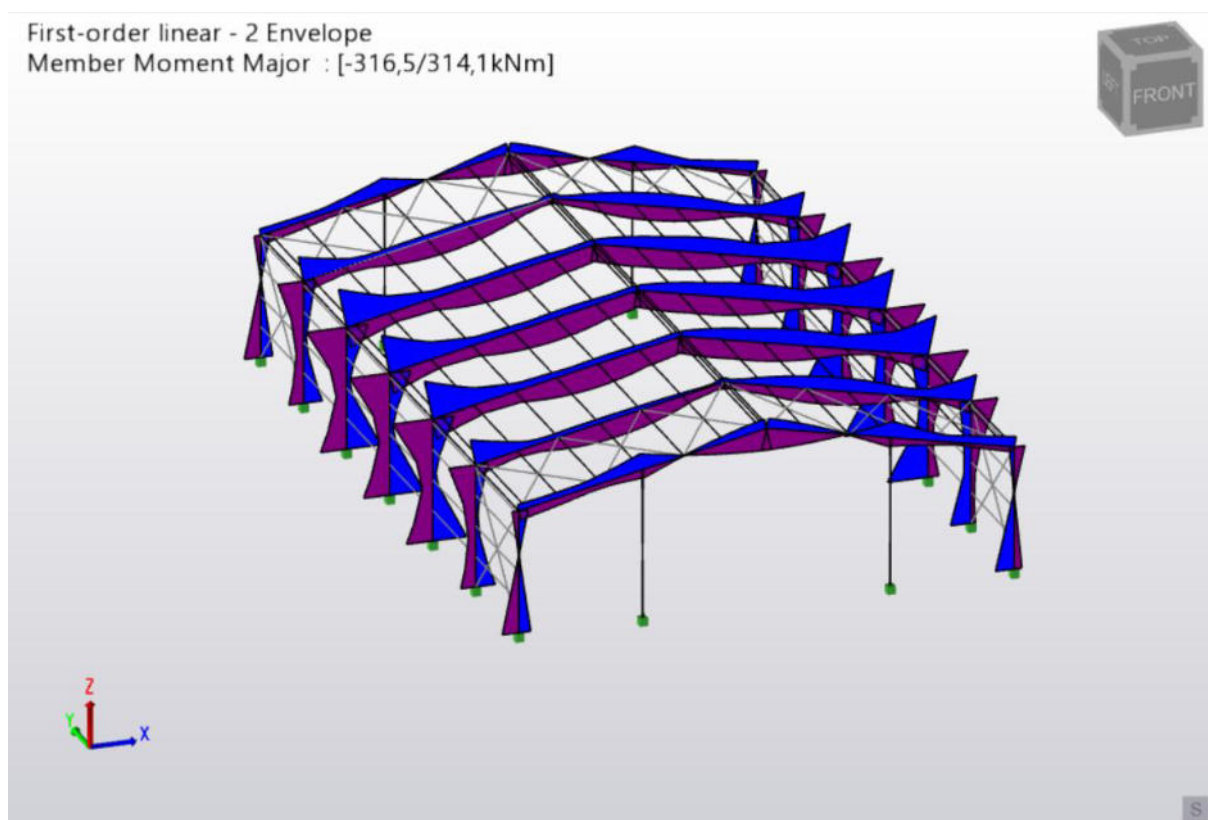


Figura 31 - Representação dos momentos fletores solicitados pelo envelope.

Neste exemplo, são apresentados os valores mais críticos identificados a partir da análise de todas as combinações de carregamento aplicadas à estrutura. Os valores extremos de momento fletor, -316,5 kNm e 314,1 kNm, ocorrem nas junções

entre os pilares e as vigas dos pórticos centrais do pavilhão industrial, indicando os pontos de maior solicitação estrutural.

Através da ferramenta "Open Load Analysis View", mencionada no tópico 3.4, é possível visualizar os diagramas dos esforços internos para todas as combinações de carga geradas, além de identificar qual combinação específica de carregamento é responsável por cada valor crítico da análise.

Com base nesta análise, é possível tomar decisões fundamentadas sobre o dimensionamento das ligações metálicas. Em particular, ao identificar a posição mais crítica da estrutura, pode-se projetar uma ligação metálica que seja capaz de resistir a esse pior cenário. Esta abordagem garante que a ligação estará dimensionada para suportar as condições de carga mais exigentes dentro do projeto.

Além disso, ao considerar o envelope de esforços, evita-se a necessidade de projetar ligações individualmente para cada caso de carga, o que poderia resultar num processo de dimensionamento fragmentado e menos eficiente. Em vez disso, ao adotar uma ligação projetada para o pior caso, garante-se que todas as restantes ligações submetidas a esforços inferiores estarão igualmente seguras, simplificando o processo de projeto e garantindo um desempenho global adequado da estrutura.

Dessa forma, observa-se que as ligações metálicas dos pórticos centrais estão localizadas nas regiões onde os esforços internos atingem os valores mais elevados. Por esse motivo, essas ligações foram selecionadas como ponto de partida para a modelação na interface do software IDEA StatiCa.

Esse critério de escolha é fundamental, pois a integração entre ambos os softwares permite não apenas a exportação da geometria, mas também a transferência dos esforços internos atuantes. Sendo assim, esses esforços serão diretamente considerados na verificação estrutural, garantindo uma análise mais precisa e alinhada com as reais condições de carga da estrutura.

### **3.6.3 Processo de criação e dimensionamento das ligações metálicas pilar-Viga e viga-viga**

O início da criação e dimensionamento das ligações metálicas pilar-viga e viga-viga deu-se a partir da seleção da ferramenta "Autodesign". Esta ferramenta no software IDEA StatiCa visa otimizar automaticamente as ligações metálicas de acordo com os critérios normativos e os requisitos estruturais do projeto, reduzindo significativamente o tempo necessário para o dimensionamento de ligações, tornando o processo mais

eficiente e acessível. Ao ser ativado, o Autodesign executa uma série de iterações automáticas para ajustar os parâmetros da ligação, tais como:

- Espessuras das chapas;
- Dimensões dos reforços;
- Tipo e tamanho de parafusos;
- Configuração das soldaduras.

A ferramenta analisa múltiplas combinações possíveis e seleciona a solução mais eficiente e estruturalmente segura. Porém, apesar da sua eficácia, o Autodesign não garante que todas as ligações sejam automaticamente aprovadas para todos os casos.

As etapas seguintes para o dimensionamento das ligações metálicas baseou-se num processo iterativo, ajustado a cada execução de cálculo e das análises estruturais, visando a otimização dos elementos e evitando superdimensionamentos.

Um parâmetro preliminar a ser considerado para a verificação do elemento estrutural é observado na Figura 32.



Figura 32 - Parâmetro para verificação de uma ligação metálica no software IDEA StatiCa.

A coloração dos elementos na análise do software IDEA StatiCa indica o nível de esforço e aproveitamento estrutural de cada componente da ligação. No caso, os elementos esverdeados indicam que o comportamento estrutural da ligação foi aceito, enquanto o parafuso amarelado sugere que o elemento específico está sob maior solicitação, podendo requerer uma revisão detalhada.

Os principais parâmetros de verificação e análise situam-se na aba “Verificação”, na qual entrega diferentes ferramentas visuais e analíticas referentes aos resultados obtidos. Na Figura 33, vê-se um exemplo do relatório gerado em relação as chapas a partir dos resultados de análises e verificações sobre a ligação metálica.

Análise									
Chapas									
Parafusos									
Soldas									
Flambagem									
<b>Verificação dos elementos e das chapas de aço para o efeito da carga extrema</b>									
		Status	Item	$t_p$ [mm]	Cargas	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	
	+	✓	SC A/5-bfl 1	19,0	33 (Final) STR_{6.34}-1	174,4	0,0	0,0	
>	+	✓	SC A/5-tfl 1	19,0	94 (Final) EQU_{4.4}-0,	273,2	0,0	33,2	
	+	✓	SC A/5-w 1	11,0	33 (Final) STR_{6.34}-1	215,1	0,0	0,0	
	+	✓	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-bfl 1	16,0	85 (Final) STR_{9.15}-C	275,0	0,0	0,0	
	+	✓	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-tfl 1	16,0	85 (Final) STR_{9.15}-C	203,1	0,0	0,0	
	+	✓	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-w 1	10,2	85 (Final) STR_{9.15}-C	198,7	0,0	0,0	
	+	✓	STIFF1a	6,0	33 (Final) STR_{6.34}-1	123,9	0,0	0,0	
	-	✓	STIFF1b	6,0	33 (Final) STR_{6.34}-1	125,1	0,0	0,0	
<b>Valores de cálculo utilizados na análise</b>									
$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 275,0 \text{ MPa}$									
Onde:									
$f_{yk} = 275,0 \text{ MPa}$ – resistência característica ao escoamento									
$\gamma_{M0} = 1,00$ – coeficiente de ponderação para o material de aço EN 1993-1-1 – 6.1									
<b>Dados do projeto</b>									
Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]							
S 275	275,0	5,0							

Figura 33 - Exemplo de relatório de resultados para chapas.

A interface está dividida três seções principais:

- I. Tabela de verificação das chapas;
- II. Cálculo de resistência do material;
- III. Dados do projeto.

A tabela de verificação das chapas fornece detalhes sobre as chapas analisadas e os esforços aplicados a elas, sendo:

- Status - os ícones verdes indicam que as chapas passaram na verificação e estão dentro dos limites normativos;
- Item - identificação da chapa analisada;
- $t_p$  - espessura da chapa;
- Cargas - Combinação de carga utilizada na análise;
- $\sigma_{Ed}$  – Tensão equivalente de von Mises máxima atuante na chapa devido às cargas aplicadas, obtida pelo do método de elementos finitos;
- $\epsilon_{PI}$  - Deformação plástica na chapa;
- $\sigma_{c,Ed}$  - Tensão de contato considerada na chapa.

Na seção de cálculo de resistência do material, são apresentados os valores de cálculo utilizados na análise, seguindo um padrão comum nos relatórios dos elementos da ligação metálica. Caso o status ou o detalhamento não sejam suficientes para atender aos critérios de verificação, o relatório indica os ajustes necessários para adequação do projeto.

No caso específico das chapas, a verificação baseia-se na equação utilizada para calcular a resistência de cálculo ao escoamento do aço, conforme a norma NP EN 1993-1-1:2010.

Por fim, na seção dados do projeto, é apresentada uma tabela que sintetiza as propriedades do material empregado e os parâmetros adotados na análise. No exemplo em questão, o S275 corresponde ao aço estrutural com uma resistência ao escoamento de 275 MPa. O parâmetro  $f_y$  representa a resistência ao escoamento do material, enquanto  $\epsilon_{lim}$  define o limite de deformação plástica.

Na Figura 34, vê-se um exemplo do relatório gerado em relação aos parafusos a partir dos resultados de análises e verificações sobre a ligação metálica.

Análise Chapas Parafusos Soldas Flambagem										
Verificação dos parafusos para o efeito da carga extrema										
Status	Item	Grau	Cargas	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{tt}$ [%]	$U_{ts}$ [%]	$U_{tts}$ [%]	
+	✓	B1	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_(6.34)-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}S	98,3	6,2	88,3	92,9	10,6	76,9
<b>Verificação de resistência à tração (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)</b> $F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 105,8 \text{ kN} \geq F_{t,Ed} = 98,3 \text{ kN}$ <p>Onde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>k_2 = 0,90</math> – Fator</li> <li><math>f_{ub} = 600,0 \text{ MPa}</math> – Limite de resistência à tração do parafuso</li> <li><math>A_s = 245 \text{ mm}^2</math> – Área de tensão de tração do parafuso</li> <li><math>\gamma_{M2} = 1,25</math> – Coeficiente de ponderação</li> </ul>										
+	✓	B2	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_(6.34)-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}S	99,3	6,4	88,3	93,8	10,9	77,9
+	✓	B3	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_(6.34)-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}S	103,5	6,2	83,4	97,8	10,5	80,3
+	✓	B4	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_(6.34)-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}S	99,9	6,2	86,2	94,4	10,6	78,0
+	✓	B5	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_(6.34)-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}S	88,5	5,4	70,5	83,6	9,2	69,0

**Dados do projeto**

Item	$F_{t,Rd}$ [kN]	$F_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M20 6.8 - 1	105,8	206,0	58,8

Figura 34 - Exemplo de relatório de resultados para parafusos.

De forma semelhante e adaptado para os parafusos, a tabela de verificação das chapas apresenta informações sobre:

- Grau - Grau de resistência do parafuso;
- $F_{t,Ed}$  - Esforço axial de tração no parafuso;
- $F_{v,Ed}$  - Esforço de cisalhamento no parafuso;
- $F_{b,Rd}$  – Resistência do apoio da chapa;
- $U_{tt}$  - Taxa de utilização da tração no parafuso;
- $U_{ts}$  - Taxa de utilização do cisalhamento;
- $U_{tts}$  - Taxa de utilização combinada dos esforços.

Para o cálculo de resistência do material, conforme indicado pela NP EN 1993-1-8:2010, são desenvolvidas as etapas de verificação, que inclui a resistência à tração e ao cisalhamento, a capacidade de carga dos elementos, a taxa de utilização sob tração e cisalhamento, bem como a interação entre esses esforços.

Em relação aos dados do projeto, a resistência à tração do parafuso é representada por  $F_{t,Rd}$ , enquanto a resistência ao cisalhamento por punção é

indicada por  $B_p, R_d$ . Já a resistência ao cisalhamento do parafuso é expressa por  $F_v, R_d$ .

Na Figura 35, vê-se um exemplo do relatório gerado em relação as soldas a partir dos resultados de análises e verificações sobre a ligação metálica.

Análise Chapas Parafusos Soldas Flambagem																						
Verificação de soldas para o efeito da carga extrema																						
Status	Item	Borda	Th [mm]	L [mm]	Cargas	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{Pl}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	Ut [%]											
+	✓	SC A/5-bfl 1	STIFF1a	▲ 5,0 ▼	117	33 (Final) STI	36,5	0,0	12,3	11,9	15,9	9,0										
<p><b>Verificação da resistência da solda</b> (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)</p> $\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 404,7 \text{ MPa} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 36,5 \text{ MPa}$ $\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 309,6 \text{ MPa} \geq  \sigma_{\perp}  = 12,3 \text{ MPa}$ <p>onde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>f_u = 430,0 \text{ MPa}</math> – Resistência última</li> <li><math>\beta_w = 0,85</math> – Fator de correlação EN 1993-1-8 - Tabela 4.1</li> <li><math>\gamma_{M2} = 1,25</math> – Coeficiente de ponderação</li> </ul>																						
+	✓			▲ 5,0 ▼	117	33 (Final) STI	32,1	0,0	6,5	-7,0	-16,7	7,9										
+	✓	SC A/5-w 1	STIFF1a	▲ 5,0 ▼	297	94 (Final) EQ	50,7	0,0	-2,9	-3,3	29,0	12,5										
+	✓			▲ 5,0 ▼	297	94 (Final) EQ	50,3	0,0	-3,9	3,5	-28,8	12,4										
+	✓	SC A/5-tfl 1	STIFF1a	▲ 5,0 ▼	117	94 (Final) EQ	132,3	0,0	-64,2	-65,1	-15,0	32,7										
<p><b>Dados do projeto</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th><math>f_u</math> [MPa]</th> <th><math>\beta_w</math> [-]</th> <th><math>\sigma_{w,Rd}</math> [MPa]</th> <th><math>0,9 \sigma</math> [MPa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S 275</td> <td>430,0</td> <td>0,85</td> <td>404,7</td> <td>309,6</td> </tr> </tbody> </table>													Material	$f_u$ [MPa]	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0,9 \sigma$ [MPa]	S 275	430,0	0,85	404,7	309,6
Material	$f_u$ [MPa]	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0,9 \sigma$ [MPa]																		
S 275	430,0	0,85	404,7	309,6																		

Figura 35 - Exemplo de relatório de resultados para soldas.

Para o caso de soldas, a tabela de verificação apresenta informações sobre:

- Borda - Representa a localização da solda na estrutura;
- Th - Espessura do cordão de solda;
- L - Comprimento da solda analisada;
- $\sigma_{w,Ed}$  - Tensão atuante na solda devido às cargas aplicadas;
- $\epsilon_{Pl}$  - Deformação plástica na solda;
- $\sigma_{\perp}$ ,  $\tau_{\perp}$  e  $\tau_{\parallel}$  - Tensões normais e cisalhantes que atuam na solda;
- Ut - Taxa de utilização da solda em relação à sua resistência.

Na verificação da resistência do material, é descrito a memória de cálculo da verificação da resistência da solda e da determinação da taxa de utilização da solda em relação à sua resistência, conforme a NP EN 1993-1-8:2010

Na tabela de dados de projeto, a resistência última do aço é representada por  $f_u$ , o fator de correlação da solda é representada por  $\beta_w$ , enquanto  $\sigma_w$ ,  $R_d$  representa a resistência última da solda e, por último,  $0,9 \sigma$  representa resistência de cálculo com fator de segurança.

A tabela de resultados apresentada na última seção, apresenta os diferentes modos de encurvadura e os respectivos fatores críticos de carga. Os resultados obtidos no relatório mostram que todos os fatores de flambagem para os diferentes modos analisados são bastante superiores a 10,0. Estes valores, de acordo com a NP EN 1993-1-1:2010, indicam que a ligação apresenta uma elevada resistência à instabilidade por flambagem, garantindo um desempenho estrutural seguro.

### **3.6.3.1 Ferramentas visuais obtidas a partir do CBFEM.**

A análise estrutural de ligações metálicas é tradicionalmente realizada através do Método das Componentes. Este método modela a ligação como um conjunto de componentes individuais — tais como chapas, parafusos e soldaduras — cujas propriedades são determinadas com base em formulações simplificadas apresentadas na NP EN 1993-1-1:2010. Apesar de eficaz e suficientemente preciso para muitas aplicações correntes, este método apresenta limitações significativas no que respeita à capacidade de representar com rigor os esforços internos e a distribuição real das tensões nos elementos da ligação.

No âmbito do software IDEA StatiCa, essas limitações são superadas com a aplicação do Método dos Elementos Finitos Baseado em Componentes (CBFEM), desenvolvido para otimizar o cálculo e a verificação estrutural de ligações metálicas. Diferentemente do modelo tradicional, o CBFEM recorre ao Método dos Elementos Finitos (MEF) para simular a ligação como um sistema estrutural integrado, considerando de forma explícita a interação entre todos os seus componentes.

A Figura 40 ilustra esta distinção metodológica. À esquerda, encontra-se o modelo tradicional por componentes, baseado em representações esquemáticas e simplificadas das resistências individuais. Ao centro, apresenta-se a geometria real da ligação parafusada, e à direita, o modelo CBFEM, onde se observa a distribuição real das tensões obtida pela análise por elementos finitos. Este último permite identificar com precisão as zonas críticas da ligação, bem como os caminhos reais de transferência de esforços entre os elementos.

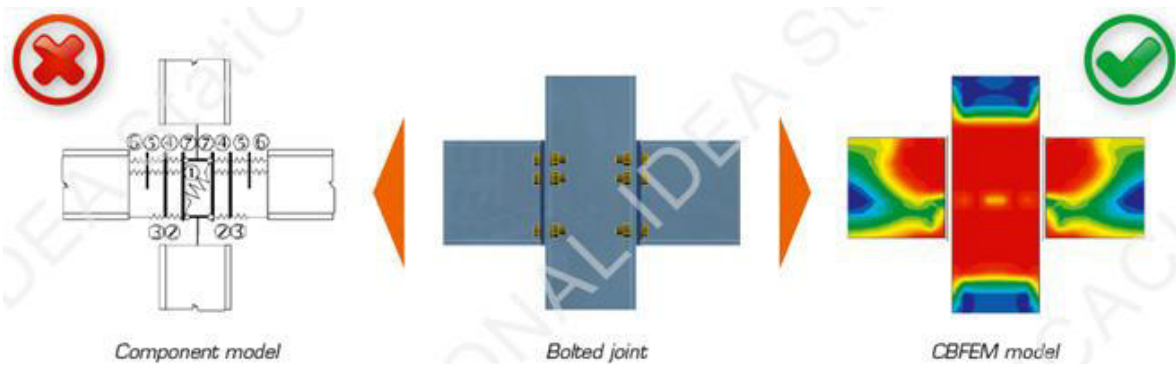


Figura 36 - Comparação entre abordagens de dimensionamento de ligações metálicas.

Neste enquadramento, os relatórios obtidos através da análise por elementos finitos realizada no software IDEA StatiCa são utilizados como complemento às verificações normativas de segurança e estabilidade, permitindo uma avaliação mais aprofundada do comportamento estrutural das ligações metálicas. Esta abordagem disponibiliza representações gráficas tridimensionais e resultados numéricos detalhados. A Figura 37 exhibe as ferramentas de representação 3D dos esforços na interface do software.

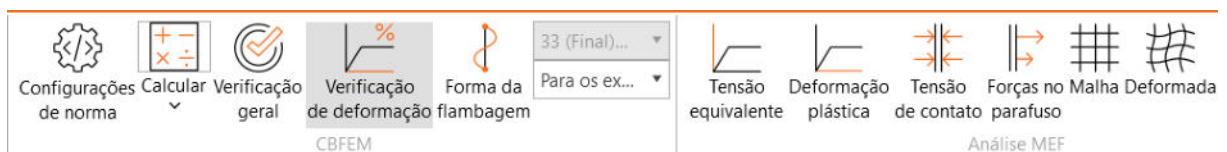


Figura 37 – Ferramentas visuais de verificação estrutural no IDEA StatiCa.

Através da seleção das opções “Malha” e “Deformada”, toda a ligação metálica passa a ser representada por uma malha retangular de elementos finitos. Esta malha divide a estrutura em pequenos elementos, permitindo simular e calcular com maior precisão o comportamento da ligação sob a ação das cargas aplicadas. Simultaneamente, é possível obter uma representação gráfica das verificações realizadas, facilitando a análise dos resultados.

A Figura 38 apresenta a verificação da deformação plástica, onde é indicado o nível de deformação que ocorreu devido ao carregamento.

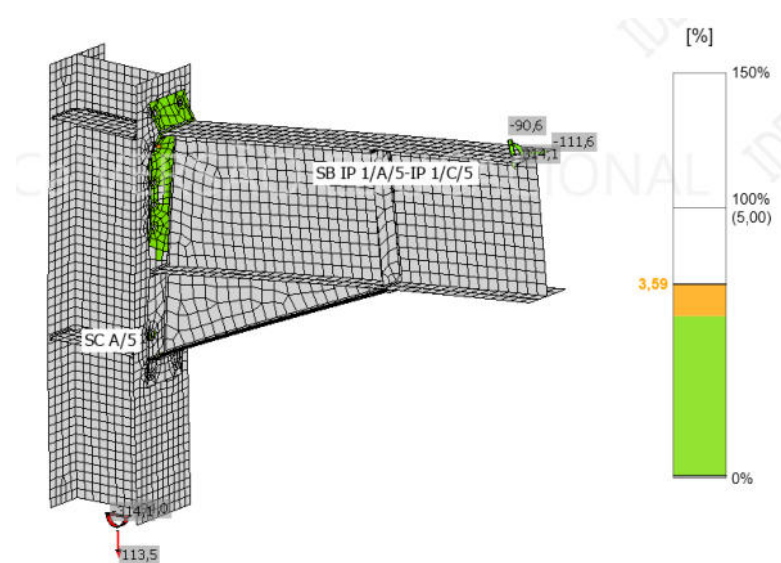


Figura 38 - Representação da verificação da deformação.

O software utiliza um sistema de cores com base na percentagem de deformação plástica, no caso, a cor verde caracteriza baixa deformação plástica, dentro de uma zona segura. Já a cor laranja traduz ser uma zona de atenção, na qual a deformação começa a ser mais significativa, por fim, a cor vermelha indicaria plastificação elevada ou possível falha localizada.

No exemplo, a confirmação de que as deformações plásticas não ultrapassam o valor limite de 5%, assegura que a ligação metálica permanece no domínio admissível de comportamento estrutural e não entra em colapso local. A concentração de deformações em zonas específicas e esperadas (como próximo das soldas ou parafusos) valida que a geometria e os materiais foram corretamente escolhidos e dimensionados. Por fim, a análise permite identificar antecipadamente áreas mais sensíveis à deformação, que podem ser reforçadas caso se pretenda aumentar a durabilidade ou a margem de segurança do elemento estrutural.

Na Figura 39, é mostrado a representação da forma de encurvadura obtida a partir da análise de estabilidade da ligação metálica.

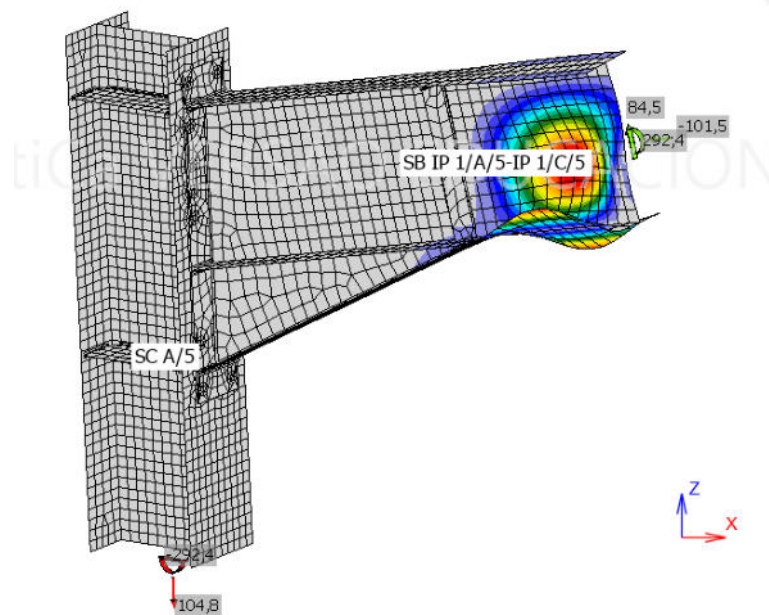


Figura 39 – Representação da forma de encurvadura.

Trata-se de uma visualização gráfica utilizada no dimensionamento para identificar modos de instabilidade local que podem ocorrer sob determinadas combinações de carga. As deformações estão amplificadas graficamente, de modo a tornar visível a forma típica de flambagem, facilitando a identificação de zonas críticas.

No exemplo, observa-se uma concentração de deformação representada por bandas de cores, que indicam o modo de encurvadura dominante, conforme o padrão habitual de gradiente de tensões. As regiões com menores deslocamentos são representadas pela cor azul, e à medida que os deslocamentos aumentam, ocorre uma transição gradual de cores, passando por tons intermédios (como verde, amarelo e laranja) até atingir o vermelho, que indica as zonas com maior deslocamento.

O mesmo gradiente de tensões é utilizado na representação da distribuição das tensões equivalentes de von Mises na ligação metálica, o qual considera os efeitos combinados das tensões normais e de cisalhamento num ponto, como é mostrado na Figura 40.

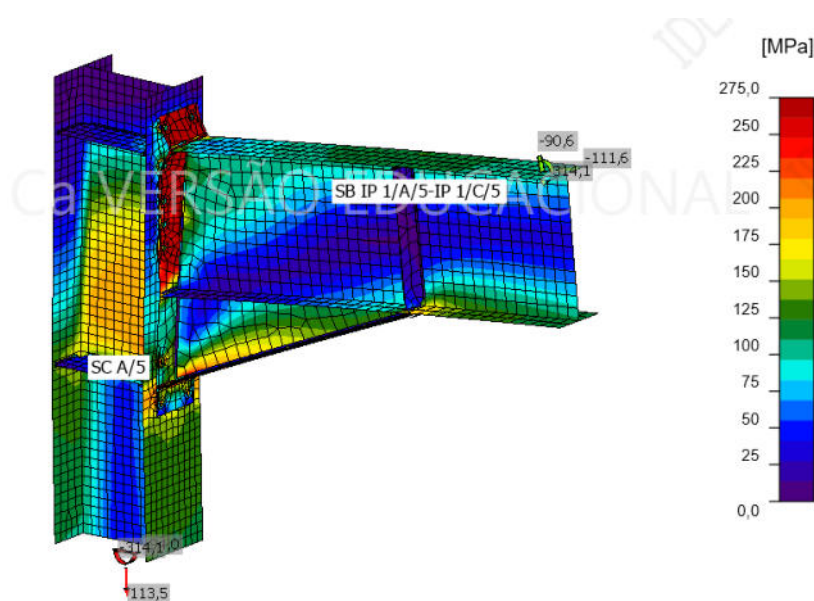


Figura 40 - Representação da distribuição das tensões equivalentes de von Mises

A partir da localização das tensões máximas, é decidido ser necessário ou não a implementação de um reforço na geometria local ou então adaptar o dimensionamento dos elementos estruturais envolvidos. Além disso, a distribuição das tensões ao longo da ligação fornece uma indicação clara sobre a eficiência estrutural dos componentes. Uma distribuição homogênea das tensões sugere um comportamento equilibrado e uma boa utilização dos materiais, enquanto concentrações localizadas podem indicar possíveis zonas de fragilidade ou sobredimensionamento de outras partes da ligação.

No presente caso, observou-se que a maioria da ligação apresenta tensões moderadas, bem distribuídas, situando-se abaixo do limite de escoamento do aço utilizado. No entanto, foram identificadas concentrações localizadas de tensão junto à extremidade da viga, particularmente na região da chapa frontal e nas zonas envolventes às soldaduras e parafusos. Estes pontos de maior sollicitação coincidem com as áreas onde ocorre a transferência dos esforços principais (nomeadamente momentos e forças cortantes), sendo, por isso, esperadas e admissíveis, desde que devidamente verificadas.

Estas concentrações, apesar de localizadas, não comprometem a integridade da ligação, uma vez que os valores de tensão permanecem dentro dos limites admissíveis e as zonas críticas foram modeladas com a devida precisão.

### **3.6.4 Geração de relatório técnico**

Após a modelação e análise de uma ligação metálica no software IDEA StatiCa Connection, é possível gerar um relatório técnico detalhado, que inclui todas as verificações estruturais realizadas com base nas normas aplicáveis, bem como informações geométricas, características dos materiais e representações gráficas da ligação em estudo. O relatório referente à ligação do tipo viga-pilar encontra-se apresentado no Anexo A.

O documento inicia-se com os dados de identificação do projeto, como a designação da ligação, o material utilizado e a norma de cálculo adotada. De seguida, são apresentados os elementos que compõem a ligação, com destaque para os perfis metálicos estruturais utilizados — nomeadamente, um perfil HEA 400 para os pilares e um perfil IPE 500 para as vigas — representados através de modelos tridimensionais e desenhos técnicos cotados, que facilitam a compreensão da configuração geométrica da ligação.

A secção seguinte do relatório é dedicada à apresentação das combinações de ações aplicadas à ligação, previamente definidas no software Tekla Structural Designer e posteriormente importadas para o software IDEA StatiCa. Estas combinações representam os cenários de carregamento mais desfavoráveis e são descritas através de tabelas com os valores máximos de forças e momentos transmitidos pelos elementos ligados.

Na continuidade, o relatório detalha os resultados das verificações estruturais, com especial enfoque na taxa de utilização de cada componente da ligação. São analisadas individualmente as chapas, parafusos, soldaduras e as condições de encurvadura, sendo cada elemento avaliado quanto ao cumprimento dos requisitos estabelecidos nas normas NP EN 1993-1-1:2010 e NP EN 1993-1-8:2010. A conformidade é assinalada pela designação “OK” sempre que a taxa de utilização se mantém dentro dos limites admissíveis, garantindo assim a segurança e eficiência mecânica da ligação metálica.

Complementarmente, o relatório apresenta representações gráficas tridimensionais do modelo da ligação e dos resultados obtidos pelas análises numéricas, incluindo mapas de tensões equivalentes, modos de encurvadura e deformações locais. Estas visualizações facilitam a interpretação dos resultados e

permitem uma avaliação qualitativa e intuitiva do comportamento estrutural da ligação analisada.

Em seguida, é detalhada a lista de componentes utilizados, bem como as operações de fabrico associadas. O relatório identifica cada componente individual da ligação — chapas, reforços, soldaduras e parafusos — organizando-os numa tabela de materiais, onde constam as dimensões, espessuras, comprimentos, tipo de aço (S275), tipo de soldadura (filete duplo) e número de unidades. Destacam-se os elementos STIFF1, STIFF2, STIFF3, EP1 e WID1, cada um com as suas configurações geométricas e especificações de soldadura.

No que diz respeito aos elementos de fixação, o relatório indica uma tabela quantitativa do material. As páginas finais do relatório apresentam os desenhos de cada componente, com indicação das cotas principais, ajudando a visualizar a geometria de fabrico das chapas de reforço e das placas envolvidas na ligação. Estes desenhos permitem a preparação da produção em oficina e a conferência em obra.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se de forma sistematizada os resultados obtidos nas análises estruturais desenvolvidas no software Tekla Structural Designer, abrangendo a avaliação dos deslocamentos máximos, as tensões atuantes e o dimensionamento dos perfis metálicos da estrutura.

Complementarmente, é abordado o dimensionamento e a verificação das ligações metálicas, com especial enfoque nas ligações do tipo viga-viga e viga-pilar, recorrendo ao software IDEA StatiCa. A interoperabilidade entre plataformas foi assegurada através da exportação do modelo estrutural e partilha de dados entre os softwares, o que permitiu a importação precisa dos esforços atuantes e das características geométricas dos elementos a ligar.

Esta integração possibilitou a realização de análises detalhadas das ligações, com foco na sua resistência, estabilidade e rigidez, garantindo o desempenho adequado face às combinações de ações mais desfavoráveis. Todas as verificações foram efetuadas com base nas normas NP EN 1993-1-1:2010 e NP EN 1993-1-8:2010, as quais estão devidamente integradas nas ferramentas de cálculo do IDEA StatiCa, assegurando que os esforços transferidos entre os elementos estruturais cumprem integralmente os requisitos de segurança e funcionalidade previstos no projeto.

### 4.1 Modelo estrutural

Após a definição das ações atuantes, a modelação geométrica e a aplicação das cargas, foi desenvolvido o modelo final no software Tekla Structural Designer, no qual se basearam todas as análises estruturais subsequentes. Nesta secção são apresentados os principais elementos do modelo e os resultados obtidos.

A configuração estrutural do pavilhão industrial foi mantida conforme o conceito inicial, sem alterações arquitetónicas ao longo do desenvolvimento do projeto. A estrutura é composta por sete pórticos principais, dispostos ao longo do comprimento, com espaçamento regular de seis metros entre eles.

O pavilhão apresenta vão longitudinal de 36 metros e vão transversal de 24 metros, totalizando uma área de 864 m<sup>2</sup>. A altura livre nos pilares é de seis metros.

Nos planos das fachadas laterais (nas extremidades), foram dispostos contraventamentos em X para garantir estabilidade frente às ações horizontais, como

o vento. Ao longo dos pilares, foram instaladas vigas de travamento a cada 1,5 metro, reforçando a rigidez da estrutura vertical.

A cobertura é inclinada, com vigas inclinadas a  $11,8^\circ$ , convergindo para o cume central, onde também há disposição de terças. As terças estão distribuídas com espaçamento de dois metros ao longo dos planos inclinados da cobertura, proporcionando apoio para o fechamento superior.

A partir da exportação dos desenhos da estrutura no formato .dxf, foi possível abrir o modelo no AutoCAD para elaboração das representações técnicas. Com base nesse modelo, desenvolveu-se uma folha técnica contendo a planta baixa, os alçados frontais e laterais, organizados de forma clara e objetiva para fins de documentação e apresentação.

Após a finalização dos ajustes gráficos e da inserção de cotas, legendas e identificações dos elementos estruturais, os arquivos foram salvos no formato .dwg e posteriormente convertidos para .pdf para viabilizar a impressão e compartilhamento do material.

O Anexo C apresenta a disposição dos elementos estruturais em planta baixa, com a indicação dos eixos principais e a marcação dos componentes estruturais. Neste mesmo anexo, estão também incluídos os alçados frontal e lateral, nos quais se evidenciam detalhes como a altura dos pilares, a inclinação da cobertura e a disposição dos contraventamentos. No seu conjunto, estas representações oferecem uma visão da geometria da estrutura e do seu sistema de montagem, facilitando a compreensão global da configuração do pavilhão industrial.

#### **4.1.1 Esforços internos**

A obtenção dos esforços internos (momentos fletores, esforços cortantes e axiais) foi realizada por meio de uma análise linear de primeira ordem e segunda ordem, complementadas por análises modais e de encurvadura, conforme exigido pelos Eurocódigos.

Foram consideradas todas as combinações de carga relevantes, incluindo ações permanentes, variáveis, térmicas, sísmicas e de vento. O software permitiu a visualização gráfica dos esforços, facilitando a identificação dos pontos mais solicitados.

A distribuição dos esforços confirmou o comportamento típico de um sistema de pórticos metálicos, com transferência eficiente de cargas verticais e laterais para

os apoios. A análise permitiu também verificar a coerência do modelo com as premissas adotadas, validando sua estabilidade global e local.

A Tabela 8 apresenta os elementos estruturais adotados no pavilhão, com seus respectivos perfis metálicos, comprimentos nominais e quantidades.

Elemento	Perfil adotado	Comprimento (m)	Quantidade (un.)
Viga principal	IPE 500	12,25	14
Terças	IPE 200	6	18
Pilar principal	HEA 400	6	14
Pilar secundário	HEA 140	7,25	4
Vigas de travamento	UAP 175	6	132
Contraentamento em X	CHS 114.3x6.0	6,5	32

Tabela 8 - Quadro de Perfis Estruturais Adotados no Pavilhão Industrial

A Tabela 9 apresenta os valores máximos dos esforços internos atuantes nas vigas e pilares do pavilhão industrial, obtidos por meio dos relatórios de análise gerados no software Tekla Structural Designer. Esses resultados correspondem às combinações de ações mais críticas consideradas no dimensionamento, incluindo momentos fletores, forças cortantes e esforços normais.

Elemento	Eixo	Tipo de esforço	Valor máx.	Unidade	Combinação
IPE 500	6	Esforço axial	201,9	kN	96 EQU - 0,9G+1,5W
	3	Esforço cortante	93,5	kN	38 STR - 1,35G + 1,5 $\psi_0$ Q+1,50 $\psi_0$ S+1,5 $\psi_0$ W+EHFdir1
	5	Momento fletor	-314,1	kN.m	33 STR - 1,35G + 1,5Q+1,50 $\psi_0$ S+1,5 $\psi_0$ W+EHFdir2
HEA 400	5	Esforço axial	129,9	kN	33 STR - 1,35G + 1,5Q+1,50 $\psi_0$ S+1,5 $\psi_0$ W+EHFdir2
	5	Esforço cortante	94	kN	33 STR - 1,35G + 1,5Q+1,50 $\psi_0$ S+1,5 $\psi_0$ W+EHFdir2
	5	Momento fletor	314,1	kN.m	33 STR - 1,35G + 1,5Q+1,50 $\psi_0$ S+1,5 $\psi_0$ W+EHFdir2

Tabela 9 - Resumo dos esforços internos máximos – vigas e pilares

As combinações de ações utilizadas na análise estrutural do pavilhão industrial foram definidas segundo os critérios estabelecidos na NP EN 1990:2009, em articulação com a NP EN 1993-1-1:2010 para estruturas metálicas e a NP EN 1998-1:2010 para ações sísmicas. As combinações foram geradas automaticamente no software Tekla Structural Designer, com base nos coeficientes parciais de segurança para ações permanentes e variáveis, bem como nos coeficientes de combinação  $\psi_0$ , conforme estipulado pelas normas.

Três combinações críticas destacaram-se na verificação dos esforços internos máximos:

- Combinação 33 STR - 1,35G + 1,5Q + 1,50 $\psi_0$ S + 1,5 $\psi_0$ W + EHFdir2

Esta combinação representa um Estado Limite Último (ELU) para situação sísmica. Inclui as ações permanentes (peso próprio, revestimentos), ações variáveis (sobrecarga de utilização, vento e serviços) reduzidas pelos coeficientes  $\psi_0$ , e ainda a ação sísmica horizontal na direção 2 (EHFdir2).

- Combinação 38 STR -  $1,35G + 1,5\psi_0Q + 1,50\psi_0S + 1,5\psi_0W + EHFdir1$

Também se trata de uma combinação sísmica ao ELU, aplicada nesta configuração para a direção 1 da estrutura. A utilização dos fatores  $\psi_0$  permite representar adequadamente a redução das ações variáveis secundárias, de acordo com a probabilidade de ocorrência simultânea com o sismo. Esta combinação complementa a anterior, garantindo que ambas as direções principais da estrutura são avaliadas face à ação sísmica.

- Combinação 96 EQU -  $0,9G + 1,5W$

Esta combinação refere-se ao Estado Limite de Equilíbrio (EQU), e tem como objetivo verificar a estabilidade global da estrutura sob a ação do vento. A redução da ação permanente para 90% representa um cenário de menor contributo estabilizador da gravidade, enquanto a ação do vento é amplificada, simulando condições extremas que possam induzir o escorregamento ou tombamento da estrutura.

#### **4.1.2 Taxa de utilização dos elementos estruturais**

Após a análise estrutural e o dimensionamento dos diversos elementos constituintes do pavilhão metálico, foi possível determinar a taxa de utilização final de cada secção estrutural, com base nas combinações de ações mais desfavoráveis. Esta taxa representa a relação entre a solicitação máxima a que o elemento está sujeito e a sua resistência disponível, conforme os critérios definidos pela NP EN 1993-1-1:2010.

Na Figura 41 detalha-se as margens das taxas de utilização obtidas para os elementos principais da estrutura — nomeadamente vigas, pilares, contraventamentos, terças e vigas de travamento.

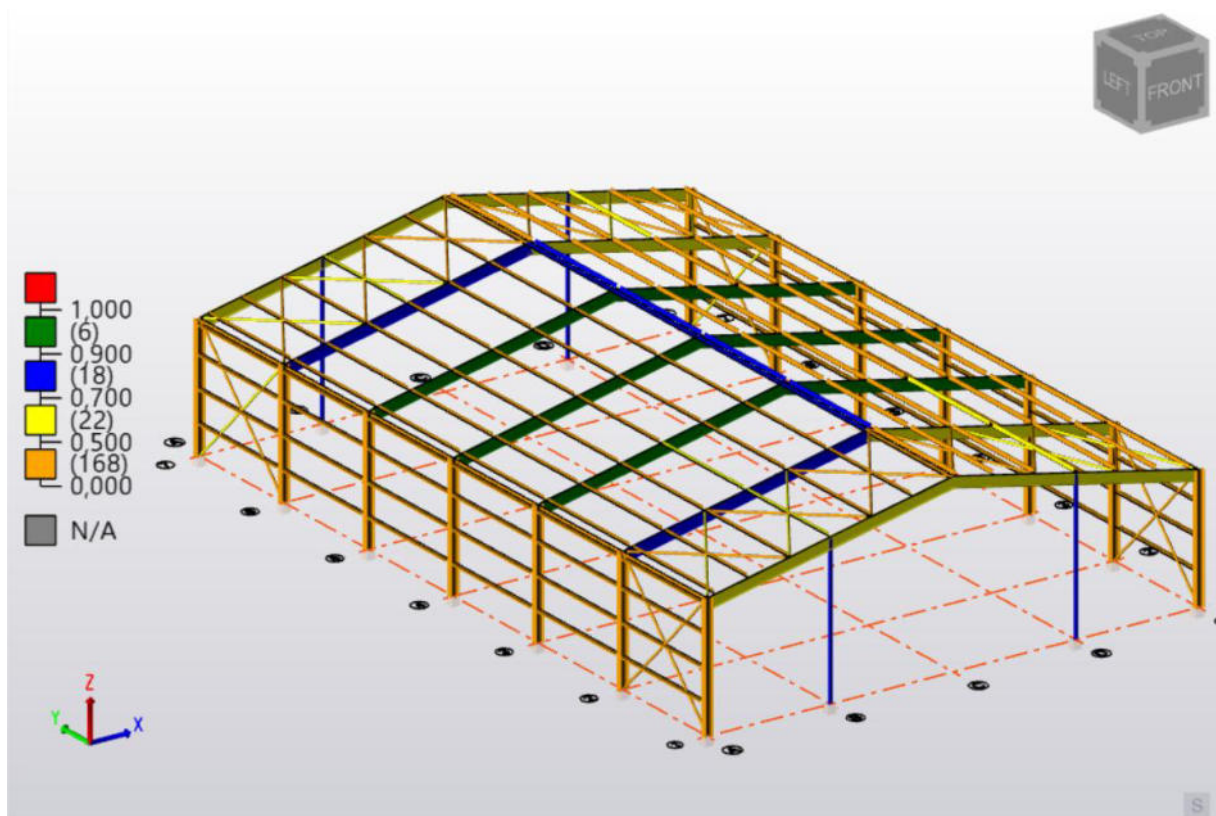


Figura 41 - Distribuição das taxas de utilização dos perfis estruturais

A análise da representação gráfica permite identificar visualmente que os pilares principais apresentam, de forma geral, taxas de utilização inferiores a 0,5. Já as vigas centrais, localizadas nos eixos 3, 4 e 5, atingem valores próximos de 1,0, indicando que estão próximas da sua capacidade resistente máxima, o que é coerente com a sua função estrutural central na distribuição dos esforços.

As terças situadas na região da cumeeira também evidenciam taxas de utilização elevadas, próximas do limite admissível, refletindo a concentração de cargas na zona superior da cobertura. Os contraventamentos, por sua vez, apresentam valores geralmente superiores a 0,5, demonstrando o seu papel relevante na resistência a ações horizontais, como o vento e o sismo.

Relativamente aos pilares secundários, observam-se valores intermédios, entre 0,7 e 0,9, o que indica uma utilização eficiente sem comprometer a segurança. Finalmente, as vigas de travamento revelam taxas de utilização máximas na mesma ordem de grandeza (0,7 a 0,9), compatíveis com a sua função de garantir a estabilidade global da estrutura.

## **4.2 Resultados das ligações metálicas**

Esta secção apresenta os resultados obtidos nas ligações selecionadas, justificando-se a sua escolha com base nos esforços mais representativos da estrutura, e analisando-se a sua resposta face às ações combinadas a que estão sujeitas.

As ligações metálicas analisadas no software IDEA StatiCa corresponderam aos tipos viga-pilar e viga-viga. A seleção das ligações a analisar baseou-se na identificação das zonas da estrutura submetidas aos esforços mais exigentes, recorrendo-se à ferramenta de “envelope” disponibilizada pelo software Tekla Structural Designer. Este procedimento permitiu determinar, para cada tipo de ligação, a combinação de ações mais desfavorável ao longo do modelo global. Ao dimensionar as ligações para essas situações críticas, assume-se que todas as restantes ligações do mesmo tipo, sujeitas a esforços inferiores, satisfazem igualmente os requisitos de segurança e funcionalidade.

A análise das ligações teve início com a utilização da funcionalidade BIM Link, que permitiu a interoperabilidade entre os Tekla Structural Designer e o IDEA StatiCa. Através desta ligação, foram transferidas as informações tridimensionais do pavilhão industrial, bem como os esforços internos a que a estrutura está sujeita. No software IDEA StatiCa, as ligações foram analisadas com recurso ao método CBFEM (Component-Based Finite Element Method), o qual combina a modelação por elementos finitos com os princípios do método dos componentes. Esta abordagem possibilita uma simulação precisa do comportamento local das ligações metálicas, fornecendo resultados pormenorizados sobre a distribuição de tensões, deformações e os mecanismos de rotura mais prováveis.

### **4.2.1 Ligação metálica viga-pilar**

A ligação analisada corresponde ao encontro entre uma viga IPE500 e um pilar HEA400, ambos em aço S275. Esta ligação do tipo viga-pilar foi concebida como rígida, com recurso a uma configuração com consolas (steel haunch) e reforços adicionais através de chapas de enrijecimento. O modelo tridimensional da ligação foi desenvolvido no IDEA StatiCa com base nas geometrias reais da estrutura, considerando o conjunto de elementos estruturais envolvidos e respetivas espessuras de chapa. A união entre os elementos foi realizada com parafusos M20 de classe 6.8,

totalizando 14 unidades, e soldaduras de filete duplo com espessuras variáveis entre 5 e 8 mm. O modelo tridimensional da ligação foi desenvolvido no IDEA StatiCa com base nas geometrias reais extraídas do modelo global, incluindo todos os elementos relevantes para o comportamento da ligação.

As combinações de ações foram inicialmente exportadas do Tekla Structural Designer por meio do BIM Link, o que permitiu a transferência automática dos esforços internos atuantes nos nós da estrutura. No IDEA StatiCa, essas combinações foram processadas e avaliadas, sendo automaticamente selecionadas as combinações mais desfavoráveis para efeitos de dimensionamento. A combinação crítica adotada na verificação estrutural correspondeu à combinação 33 STR -  $1,35G + 1,5Q + 1,50\psi_0S + 1,5\psi_0W + EHFdir2$ , na qual se verificaram valores significativos de esforço axial (113,5 kN), esforço transversal (94,0 kN) e momento fletor negativo (-314,1 kNm).

A análise efetuada demonstrou que a ligação cumpre os requisitos da norma NP EN 1993-1-8:2010. O aproveitamento dos parafusos mais solicitados a registarem uma utilização de 97,8% e as soldaduras até 98,2%. A deformação plástica nas chapas manteve-se num valor máximo de 3,6%, inferior ao limite admissível de 5%. O fator de encurvadura mínimo apurado foi de 10,67, evidenciando uma margem de segurança estrutural adequada.

O relatório técnico completo gerado pelo software IDEA StatiCa encontra-se apresentado no Anexo A, que apresenta, de forma detalhada, todos os parâmetros de entrada e resultados da análise da ligação. Inicia-se com a identificação do projeto e os materiais utilizados, seguido da geometria da ligação e das secções transversais dos perfis. Em seguida, são listadas as combinações de ações aplicadas e os esforços atuantes. O relatório inclui ainda as verificações individualizadas das chapas, parafusos, soldaduras e elementos de reforço, incluindo mapas de tensões, deformações e modos de encurvadura. Por fim, são apresentados os coeficientes de segurança adotados, tabelas resumo dos aproveitamentos e uma listagem de materiais e operações de fabrico correspondentes à ligação modelada.

#### **4.2.2 Ligação metálica viga-viga**

A ligação viga-viga modelada corresponde à união entre dois perfis IPE500 em aço S275, representando uma situação típica de continuidade estrutural no alinhamento das vigas principais do pavilhão. A solução adotada baseou-se numa configuração parafusada com sobreposição de chapas laterais (gusset plates) e

reforços internos, assegurando a transferência eficaz dos esforços entre os elementos conectados. A ligação foi realizada com recurso a parafusos M20 de classe 6.8 e soldaduras de filete duplo com espessuras de garganta entre 4,0 mm e 6,0 mm. A modelação tridimensional considerou ainda a presença de enrijecedores verticais e horizontais para garantir rigidez e confinamento das zonas mais solicitadas.

Através da integração BIM Link entre o Tekla Structural Designer e o IDEA StatiCa, foram importadas todas as combinações de ações relevantes, sendo posteriormente avaliadas pelo software, que identificou automaticamente as mais desfavoráveis. A combinação crítica considerada para dimensionamento foi a 96 EQU - 0,9G + 1,5W, na qual se verificaram valores significativos de esforço axial (-145,6 kN), esforço transversal (35,1 kN) e momento fletor de 178,2 kNm atuando na extremidade das vigas.

Os resultados obtidos demonstraram a conformidade da ligação com os requisitos da NP EN 1993-1-8:2010. O aproveitamento dos parafusos atingem uma taxa de utilização de 88,8%, e as soldaduras até 87,3%. As deformações plásticas nas chapas mantiveram-se abaixo de 1%, significativamente inferiores ao limite de 5% considerado seguro. Todos os componentes estruturais foram verificados individualmente, incluindo a resistência dos parafusos à tração e ao cisalhamento, a capacidade das soldaduras e o comportamento das chapas sob os esforços aplicados.

Importa referir que não foi efetuada a verificação de instabilidade global ou local, o que é justificado pelas características geométricas e estruturais da ligação. A configuração adotada apresenta uma disposição simétrica, com elementos estruturais predominantemente solicitados por momentos flectores e esforços transversos, sem a presença significativa de componentes comprimidos com esbelteza elevada. Além disso, a rigidez adicional fornecida pelas chapas de união e pelos parafusos distribuídos de forma equilibrada contribui para uma elevada estabilidade do conjunto. Nestes casos, o risco de ocorrência de modos de flambagem relevantes é reduzido, não se justificando a ativação dessa análise no processo computacional. Assim, a ausência de verificação por instabilidade não compromete a fiabilidade da ligação, sendo esta considerada estruturalmente segura dentro do seu domínio de aplicação.

O relatório completo desta ligação encontra-se disponível no Anexo B do presente projeto e apresenta, de forma detalhada, todos os elementos necessários à verificação da ligação conforme os requisitos da norma NP EN 1993-1-8:2010.

Inicialmente, o relatório identifica o projeto, os materiais utilizados (incluindo aço base e características dos parafusos), bem como a geometria das secções transversais dos perfis envolvidos. Segue-se a descrição da configuração da ligação, especificando as chapas, soldaduras, parafusos e eventuais elementos de reforço. Na secção seguinte, são listadas todas as combinações de ações consideradas, com destaque para a combinação crítica automaticamente selecionada pelo software.

O relatório inclui ainda uma análise detalhada dos esforços internos aplicados, assim como as verificações individuais dos vários componentes da ligação: resistência das chapas, tração e corte nos parafusos, capacidade das soldaduras e comportamento conjunto da união. Mapas de tensões e deformações são apresentados sob a forma de gráficos e imagens, permitindo a visualização das zonas críticas da ligação. Também são listadas as operações de fabrico, como número e tipo de soldaduras, quantidade e especificações dos parafusos, espessuras de chapas e materiais utilizados. Por fim, o relatório apresenta os parâmetros normativos considerados no dimensionamento.

## **5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Este capítulo tem como objetivo refletir criticamente sobre o processo de desenvolvimento do trabalho e os resultados obtidos ao longo da sua execução. A partir da análise prática da aplicação da metodologia BIM, pretende-se discutir os benefícios e limitações identificados, bem como as dificuldades enfrentadas no domínio das ferramentas utilizadas e na adaptação às exigências técnicas e metodológicas do projeto. Serão também avaliadas as expectativas inicialmente traçadas face aos resultados finais, procurando compreender em que medida os objetivos foram atingidos e quais os contributos que este estudo pode oferecer ao meio académico e profissional. Esta discussão visa, assim, contextualizar os dados obtidos à luz das opções metodológicas adotadas e propor reflexões sobre a aplicabilidade e potencial evolução do BIM em projetos similares.

### **5.1 Vantagens e desvantagens da metodologia BIM no contexto de estudo**

A adoção da metodologia BIM (Building Information Modeling) revelou-se, ao longo do desenvolvimento do trabalho, uma abordagem altamente vantajosa no que diz respeito à organização, precisão e interoperabilidade dos dados do projeto. A possibilidade de centralizar todas as informações num modelo tridimensional dinâmico permitiu uma visão mais integrada e coerente da obra, facilitando a coordenação entre diferentes disciplinas e reduzindo inconsistências. Contudo, esta metodologia também apresentou algumas limitações.

A sua complexidade inicial e a necessidade de uma curva de aprendizagem significativa tornaram o processo de implementação mais moroso, especialmente para utilizadores com pouca experiência prévia. Além disso, a dependência de softwares específicos e, por vezes, pouco intuitivos, implicou um investimento considerável em tempo para dominar as funcionalidades essenciais, o que pode ser um entrave em contextos com prazos apertados.

De forma geral, a Tabela 10 apresenta um resumo dos principais aspetos positivos e negativos associados à aplicação da metodologia BIM no contexto deste trabalho.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Integração de diferentes disciplinas num único modelo centralizado	Curva de aprendizagem acentuada para novos utilizadores
Redução de erros e inconsistências por meio de verificação automática	Requer tempo significativo para domínio dos softwares
Melhoria na visualização e compreensão espacial do projeto	Dependência de licenças e ferramentas específicas, muitas vezes dispendiosas
Facilidade na extração de quantidades e geração de documentação	
Possibilidade de simulações e análises com base no modelo	

Tabela 10 - Síntese crítica da metodologia BIM aplicada

Estes pontos refletem não apenas observações técnicas, mas também experiências práticas vivenciadas ao longo do desenvolvimento do projeto, com impacto direto na produtividade, qualidade da modelação e na gestão da informação estrutural. As vantagens destacadas evidenciam o potencial do BIM para promover uma maior integração e automatização dos processos, enquanto as desvantagens revelam os desafios que ainda persistem, nomeadamente no que diz respeito à curva de aprendizagem e aos recursos exigidos para a sua implementação eficaz. A sistematização destes elementos permite uma visão crítica e equilibrada sobre a utilidade e as limitações da abordagem adotada.

## **5.2 Funcionamento e desempenho dos softwares utilizados**

Durante o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados dois softwares principais: o Tekla Structural Designer e o IDEA StatiCa. O Tekla Structural Designer revelou-se uma ferramenta robusta e eficiente para a modelação e análise estrutural, permitindo a criação de modelos tridimensionais integrados com elevada precisão. A sua capacidade de realizar análises automáticas, gerar documentação técnica e aplicar normas de dimensionamento facilitou consideravelmente o processo de projeto, ao mesmo tempo que garantiu coerência entre os diferentes elementos estruturais. Já o software IDEA StatiCa destacou-se pela sua especialização na verificação e dimensionamento de ligações estruturais em elementos metálicos. A sua interface gráfica, aliada ao elevado rigor das análises por elementos finitos, possibilitou uma avaliação aprofundada do comportamento das ligações, contribuindo para a segurança e eficiência do projeto. Apesar do desempenho positivo de ambos

os programas, registaram-se desafios relacionados com a curva de aprendizagem, sobretudo no domínio das funcionalidades mais avançadas, exigindo tempo e prática para uma utilização fluente. Ainda assim, a sinergia entre os dois softwares demonstrou-se vantajosa na consolidação de um fluxo de trabalho integrado, coerente com os princípios do BIM estrutural.

### **5.3 Dificuldades de aprendizagem e adaptação**

A introdução e utilização do software Tekla Structural Designer e do software IDEA StatiCa no contexto deste estudo representaram um desafio significativo no que diz respeito à aprendizagem e adaptação às ferramentas. Ambos os softwares apresentam uma vasta gama de funcionalidades, muitas das quais exigem um conhecimento técnico aprofundado tanto das plataformas como dos conceitos estruturais subjacentes. A complexidade da interface e a multiplicidade de opções disponíveis podem, numa fase inicial, gerar alguma frustração e sobrecarga cognitiva, sobretudo para utilizadores sem experiência prévia nestes ambientes.

A familiarização com os comandos, os fluxos de trabalho e a integração entre análise e dimensionamento revelou-se morosa, exigindo um investimento considerável de tempo em autoaprendizagem. Esse processo foi sustentado por recursos formativos disponibilizados pelas próprias plataformas dos softwares utilizados, nomeadamente os cursos e-learning oferecidos pela Trimble Learn (Tekla Structural Designer), como o Introduction to Tekla Structural Designer, que proporcionou uma visão geral das funcionalidades principais do programa e da sua lógica de modelação estrutural, e o Modeling and Analysis Techniques, que aprofundou estratégias práticas de modelação, definição de cargas e interpretação de resultados analíticos.

No caso do IDEA StatiCa, o apoio formativo foi garantido pela IDEA StatiCa Campus, com destaque para o curso Steel Connections Design, que permitiu compreender os critérios normativos aplicados ao dimensionamento de ligações metálicas, bem como os métodos de análise baseados em elementos finitos. Adicionalmente, o módulo Code-Check Manager Workflow abordou a integração entre o IDEA StatiCa e outros softwares de modelação, esclarecendo fluxos de trabalho compatíveis com ambientes BIM.

A conclusão destes cursos, acompanhada pela emissão dos respetivos certificados, contribuiu para uma apropriação mais sólida e fundamentada das

ferramentas, possibilitando a sua aplicação eficaz no projeto desenvolvido. A experimentação prática e o estudo de exemplos aplicados complementaram esta formação, permitindo consolidar os conhecimentos e enfrentar com maior confiança os desafios técnicos do trabalho.

No geral, a superação destas dificuldades traduziu-se numa evolução contínua da proficiência com os softwares, demonstrando que, apesar das exigências iniciais, é possível alcançar um domínio eficaz e produtivo quando se adota uma atitude persistente e orientada para a aprendizagem.

#### **5.4 Limitações do estudo e da aplicação do BIM**

Apesar dos resultados positivos obtidos, este estudo apresenta algumas limitações que devem ser reconhecidas. Em primeiro lugar, o foco exclusivo na modelação e análise estrutural, sem o envolvimento direto de outras especialidades (como instalações, arquitetura ou fase de obra), restringiu a exploração completa do potencial colaborativo da metodologia BIM. Adicionalmente, o trabalho foi desenvolvido num contexto académico, o que implicou certas simplificações em termos de escala, complexidade e prazos, em comparação com projetos realizados em ambiente profissional.

A utilização de apenas dois softwares — Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa — limitou também a amplitude da análise no que diz respeito à interoperabilidade entre diferentes plataformas. Outro fator relevante diz respeito à curva de aprendizagem: devido à necessidade de adquirir competências em paralelo com a execução do trabalho, algumas funcionalidades mais avançadas não foram exploradas em profundidade. Estas limitações, no entanto, não comprometem os objetivos principais do estudo, mas evidenciam oportunidades futuras de desenvolvimento e investigação mais abrangente.

#### **5.5 Avaliação dos resultados obtidos face às expectativas**

A avaliação global dos resultados obtidos confirma que os objetivos estabelecidos no início deste trabalho foram amplamente atingidos e, em alguns aspetos, superaram as expectativas iniciais. Um dos principais propósitos era compreender e aplicar a metodologia BIM no contexto do dimensionamento estrutural, mais concretamente através do desenvolvimento de um pavilhão industrial metálico.

No que respeita ao Objetivo 1, foi possível elaborar um modelo estrutural completo em ambiente BIM, recorrendo ao software Tekla Structural Designer como ferramenta principal para a modelação e análise. Este modelo serviu de base para cumprir o Objetivo 2, permitindo a verificação e o dimensionamento dos principais elementos estruturais segundo os Eurocódigos, com resultados rigorosos e compatíveis com as exigências normativas.

O Objetivo 3 foi igualmente concretizado, com a verificação detalhada das ligações metálicas mais relevantes através do software IDEA StatiCa, cuja análise baseada em elementos finitos proporcionou uma visão aprofundada do seu comportamento estrutural. Além disso, a ferramenta permitiu a geração automática de relatórios técnicos completos, contendo não só os resultados numéricos e gráficos das verificações, mas também os critérios normativos aplicados, o que reforça a transparência e fiabilidade do processo de dimensionamento.

Por fim, o Objetivo 4 — avaliar as vantagens e limitações da metodologia BIM — revelou-se particularmente enriquecedor, evidenciando não só os benefícios da integração digital de informação, mas também os desafios relacionados com a curva de aprendizagem e a adaptação às ferramentas utilizadas. De forma geral, os resultados obtidos demonstram a viabilidade e pertinência da abordagem adotada, validando a aplicação do BIM no contexto estrutural e apontando caminhos para investigações futuras.

## **6 CONCLUSÃO**

Este capítulo final sintetiza os principais resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do presente estudo, retomando os objetivos inicialmente propostos e avaliando o grau da sua concretização.

### **6.1 Generalidades**

Ao longo do trabalho, abordaram-se aspectos fundamentais relacionados com o dimensionamento e verificação de estruturas metálicas, com base na aplicação da metodologia BIM. No Capítulo 2, foi desenvolvido um estudo da arte que contextualizou o panorama atual da indústria da construção, destacando os conceitos, vantagens e desafios associados à adoção do BIM. No Capítulo 3, descreveu-se o processo de dimensionamento de um pavilhão industrial metálico, incluindo a definição da sua localização de referência, a geometria, a quantificação das ações e a construção do modelo estrutural. O Capítulo 4 apresentou os resultados das análises estruturais e da verificação das ligações metálicas, enquanto o Capítulo 5 promoveu uma reflexão crítica sobre os resultados obtidos, a eficácia dos softwares utilizados, e os desafios enfrentados ao longo do processo.

O principal objetivo deste trabalho consistiu em explorar a aplicação prática da metodologia BIM no âmbito da engenharia estrutural, com especial enfoque na modelação e dimensionamento de uma estrutura metálica tipo pavilhão industrial. Através da utilização dos softwares Tekla Structural Designer e IDEA StatiCa, foi possível alcançar os objetivos definidos: modelar uma estrutura metálica em ambiente BIM, realizar o dimensionamento e a verificação de seus elementos conforme os Eurocódigos, simular e validar ligações estruturais com base em elementos finitos, e avaliar de forma crítica as potencialidades e limitações do processo adotado.

Entre os principais contributos do estudo, destaca-se a demonstração prática da viabilidade do BIM para o dimensionamento estrutural, evidenciada na precisão do modelo, na automatização dos cálculos e na qualidade da documentação técnica gerada. Verificaram-se melhorias significativas ao nível da gestão da informação, visualização tridimensional e rastreabilidade dos dados. No entanto, também foram identificadas limitações relevantes, como a necessidade de um período de aprendizagem significativo para o domínio das ferramentas utilizadas e algumas restrições na interoperabilidade entre plataformas distintas.

## **6.2 Trabalhos futuros**

Com base na experiência adquirida e nas reflexões desenvolvidas, sugerem-se, como perspectivas para trabalhos futuros, o alargamento da aplicação da metodologia BIM a outras fases do ciclo de vida da construção, como o planeamento da obra, manutenção ou reabilitação estrutural. Seria igualmente pertinente incluir outras especialidades (arquitetura, instalações, segurança), a fim de potenciar a vertente colaborativa do BIM em ambiente multidisciplinar. Por fim, recomenda-se a comparação entre diferentes softwares de cálculo estrutural integrados no fluxo BIM, de modo a avaliar critérios de precisão, desempenho e usabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS

AGUILAR-MOLINA, M. L., & JUNIOR, W. A. O ensino/aprendizado do BIM no curso de Engenharia Civil da UFJF. VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, 2015.

CEN – European Committee for Standardization. EN 1992-1-4: Eurocode 2 – Design of Concrete Structures – Part 1-4: General Rules – Lightweight Aggregate Concrete with Closed Structure. Brussels: CEN, 2006.

CIDECT – Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire. Design Guide for Circular and Rectangular Hollow Section Welded Joints under Predominantly Static Loading (CIDECT DG 1.1). 2.<sup>a</sup> ed. Lausanne: CIDECT, 2008.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.

GOOGLE EARTH. Localização e visualização do terreno. [visualização de satélite]. Google, 2024. Disponível em: <https://earth.google.com>. [Consultado em: 20 de fevereiro de 2025].

IDEA STATICA. Code-Check Manager Workflow. IDEA StatiCa Campus. [Em linha]. Disponível em: <https://www.ideastatica.com/campus> [Consultado em: 15 de novembro de 2024].

IDEA STATICA. Steel Connections Design – eLearning Course. IDEA StatiCa Campus. [Em linha]. Disponível em: <https://www.ideastatica.com/campus> [Consultado em: 05 de novembro de 2024].

IPQ – Instituto Português da Qualidade. NP EN 1990:2009 – Eurocódigo: Bases para o Projeto de Estruturas. Lisboa: IPQ, 2009.

IPQ – Instituto Português da Qualidade. NP EN 1991-1-1:2010 – Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-1: Ações Gerais – Pesos Próprios das Construções, Cargas de Utilização nos Edifícios. Lisboa: IPQ, 2010.

IPQ – Instituto Português da Qualidade. NP EN 1991-1-3:2010 – Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-3: Ações Gerais – Ações da Neve. Lisboa: IPQ, 2010.

IPQ – Instituto Português da Qualidade. NP EN 1991-1-4:2010 – Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-4: Ações Gerais – Ações do Vento. Lisboa: IPQ, 2010.

IPQ – Instituto Português da Qualidade. NP EN 1991-1-5:2010 – Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-5: Ações Gerais – Ações Térmicas. Lisboa: IPQ, 2010.

IPQ – Instituto Português da Qualidade. NP EN 1992-1-1:2010 – Eurocódigo 2: Projeto de Estruturas de Betão – Parte 1-1: Regras Gerais e Regras para Edifícios. Lisboa: IPQ, 2010.

IPQ – Instituto Português da Qualidade. NP EN 1993-1-2:2010 – Eurocódigo 3: Projeto de Estruturas de Aço – Parte 1-2: Regras Gerais – Projeto de Estruturas contra Incêndio. Lisboa: IPQ, 2010.

PQ – Instituto Português da Qualidade. NP EN 1993-1-8:2010 – Eurocódigo 3: Projeto de Estruturas de Aço – Parte 1-8: Projeto das Ligações. Lisboa: IPQ, 2010.

IPQ – Instituto Português da Qualidade. NP EN 1998-1:2010 – Eurocódigo 8: Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos – Parte 1: Regras Gerais, Ações Sísmicas e Regras para Edifícios. Lisboa: IPQ, 2010.

LINO, J. C., AZENHA, M., & LOURENÇO, P. Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas. BE2012-Encontro Nacional Betão Estrutural, 2012.

Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 - Folha 14-D Viseu. Lisboa: LNEG, 2009. Disponível em: <https://www.lneg.pt>.

MATOS, B. C. As novas tendências da construção civil em Portugal. Observador, 12 set. 2023.

PORTUGAL. Direção-Geral do Território. Carta Topográfica de Viseu. Escala 1:25 000. Lisboa: DGT, 2022. Disponível em: <https://www.dgterritorio.gov.pt>. [Consultado em: 21 de fevereiro de 2025].

PORTUGAL. Governo de Portugal. Plano de Ação para a Transição Digital. Lisboa: Governo de Portugal, 2020.

PORTUGAL. Ministério da Administração Interna. Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE). Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro. Diário da República, 1.ª série — N.º 249, 2008.

REV@Construction. Projeto REV@Construction.

TOPOGRAPHIC-MAP.COM. Mapa topográfico de Viseu, Portugal. [Em linha]. Disponível em: <https://pt-pt.topographic-map.com/map-n2zzh/Viseu/> [Consultado em: 28 de outubro de 2024].

TRIMBLE. Introduction to Tekla Structural Designer. Trimble Learn. [Em linha]. Disponível em: <https://learn.trimble.com> [Consultado em: 5 de setembro de 2024].

TRIMBLE. Modeling and Analysis Techniques in Tekla Structural Designer. Trimble Learn. [Em linha]. Disponível em: <https://learn.trimble.com> [Consultado em: 26 de setembro de 2024].

UNIÃO EUROPEIA. Digital Europe Programme: 2021-2027.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2014/24/UE, de 26 de fevereiro de 2014. Jornal Oficial da União Europeia, L 94, p. 65-242.

UNIÃO EUROPEIA. Horizon Europe 2021-2027: Oportunidades de Financiamento.

## **ANEXOS**

Os anexos apresentados a seguir têm como objetivo complementar as análises, resultados e discussões descritos ao longo deste trabalho, fornecendo pormenores técnicos que reforçam a compreensão do projeto desenvolvido. Esses materiais incluem desenhos de fabrico e montagem desenvolvidos em AutoCad, bem como relatórios detalhados das ligações metálicas dimensionadas no IDEA StatiCa.

Devido à extensão dos conteúdos e à necessidade de garantir a legibilidade das fórmulas e resultados apresentados, os relatórios completos gerados pelo software IDEA StatiCa encontram-se disponíveis nos Anexos A e B, disponibilizados como documentos separados em alta resolução.





Projeto: Pilar-Viga  
Projeto nº:  
Autor: Gabriel

## Dados do projeto

Nome do projeto: Pilar-Viga  
Número do projeto:  
Autor: Gabriel  
Descrição: Ligação viga-pilar  
Data: 25/12/2024  
Norma: EN

## Material

Aço: S 275

Projeto: Pilar-Viga  
 Projeto nº:  
 Autor: Gabriel

## Item do projeto Steel Haunch

### Cálculo

Nome: Steel Haunch  
 Descrição:  
 Análise: Tensão, deformação/ cargas em equilíbrio

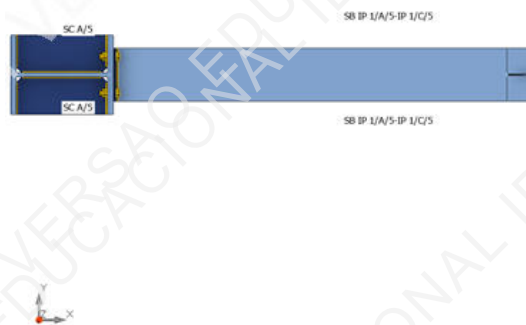
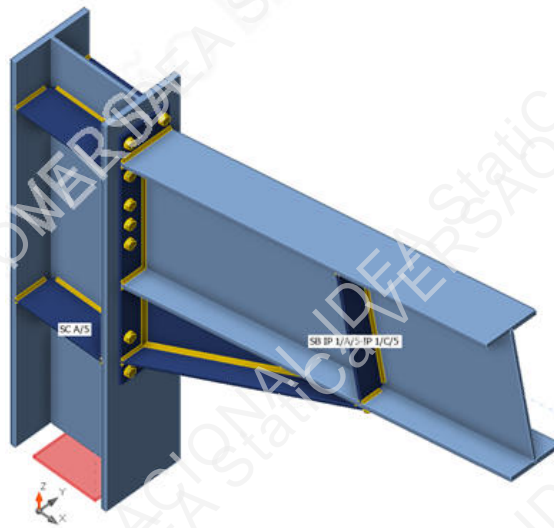
### Elementos

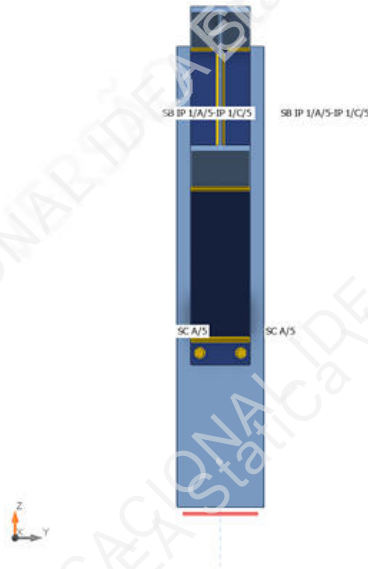
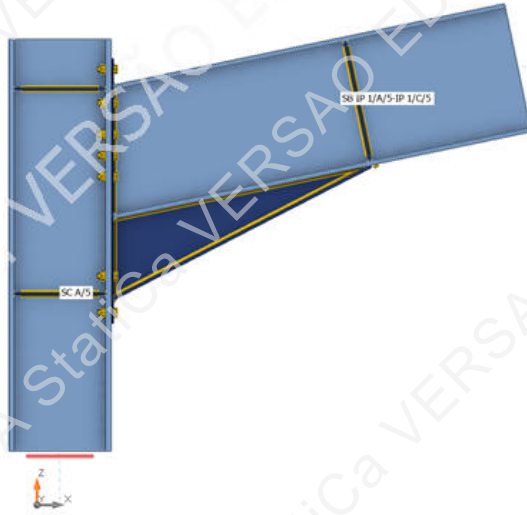
#### Geometria

Nome	Seção transversal	$\beta$ - Direção [°]	$\gamma$ - Passo [°]	$\alpha$ - Rotação [°]	Deslocamento ex [mm]	Deslocamento ey [mm]	Deslocamento ez [mm]
SC A/5	1 - HEA400	0,0	-90,0	0,0	0	0	0
SB IP 1/A/5-IP 1/C/5	2 - IPE500	0,0	11,8	0,0	500	0	0

#### Apoios e forças

Nome	Apoio	Forças em	X [mm]
SC A/5 / final	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Nó	0
SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / final		Nó	0

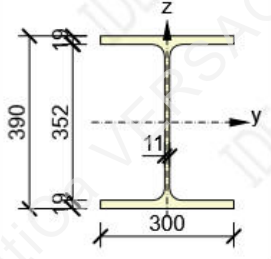
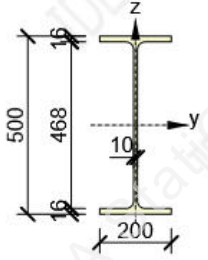




#### Seções transversais

Nome	Material
1 - HEA400	S 275
2 - IPE500	S 275

**Seções transversais**

Nome	Material	Desenho
1 - HEA400	S 275	
2 - IPE500	S 275	

**Parafusos**

Nome	Diâmetro [mm]	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	Área bruta [mm <sup>2</sup> ]
M20 6.8	20	480,0	600,0	314

**Efeitos da carga (forças em equilíbrio)**

Nome	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	SC A/5 / Fim	113,5	0,0	-94,0	0,0	-314,1	0,0
	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / Fim	-111,6	0,0	-90,6	0,0	314,1	0,0
94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	SC A/5 / Fim	-49,9	0,0	61,6	0,0	165,3	0,0
	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / Fim	58,6	0,0	40,0	0,0	-165,3	0,0
99 (Final) EQU_{4.9}-0,9G+1,5W(4)	SC A/5 / Fim	-48,1	0,0	33,9	0,0	116,1	0,0
	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / Fim	60,0	0,0	37,8	0,0	-116,1	0,0
52 (Final) STR_{8.17}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir2-}(5)	SC A/5 / Fim	85,5	0,0	-75,0	0,0	-249,4	0,0
	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / Fim	-74,8	0,0	-70,0	0,0	249,4	0,0
85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	SC A/5 / Fim	104,8	0,0	-87,5	0,0	-292,4	0,0
	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / Fim	-101,5	0,0	84,5	0,0	292,4	0,0
46 (Final) STR_{8.10}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1-}(3)	SC A/5 / Fim	68,4	0,0	-82,6	0,0	-231,6	0,0
	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / Fim	-94,8	0,0	-48,3	0,0	231,6	0,0
26 (Final) STR_{6.27}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2+}(6)	SC A/5 / Fim	86,7	0,0	-74,3	0,0	-247,6	0,0
	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / Fim	-80,0	0,0	-70,1	0,0	247,6	0,0
96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(8)	SC A/5 / Fim	108,8	0,0	-90,2	0,0	-301,7	0,0
	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / Fim	-106,9	0,0	-87,6	0,0	301,7	0,0
38 (Final) STR_{8.1}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1+}(9)	SC A/5 / Fim	110,2	0,0	-33,3	0,0	-193,8	0,0
	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / Fim	-82,9	0,0	-93,5	0,0	193,8	0,0
103 (Final) EQU_{4.13}-0,9G+1,5W(10)	SC A/5 / Fim	3,2	0,0	-31,3	0,0	-59,7	0,0
	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5 / Fim	-23,3	0,0	2,8	0,0	59,7	0,0

**Forças desbalanceadas**

Nome	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	-184,8	0,0	-225,0	0,0	45,3	0,0
94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	110,8	0,0	101,0	0,0	-20,0	0,0
99 (Final) EQU_{4.9}-0,9G+1,5W(4)	84,9	0,0	97,3	0,0	-18,9	0,0
52 (Final) STR_{8.17}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir2-}(5)	-134,0	0,0	-169,3	0,0	35,0	0,0
85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	-204,1	0,0	-42,8	0,0	-42,3	0,0
46 (Final) STR_{8.10}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1-}(3)	-165,6	0,0	-135,0	0,0	24,2	0,0
26 (Final) STR_{6.27}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2+}(6)	-138,3	0,0	-171,6	0,0	35,1	0,0
96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(8)	-177,0	0,0	-216,4	0,0	43,8	0,0
38 (Final) STR_{8.1}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1+}(9)	-95,4	0,0	-218,6	0,0	46,8	0,0
103 (Final) EQU_{4.13}-0,9G+1,5W(10)	-54,7	0,0	-5,2	0,0	-1,4	0,0

## Verificação

### Resumo

Nome	Valor	Status da verificação
Análise	100,0%	OK
Chapas	3,6 < 5,0%	OK
Parafusos	97,8 < 100%	OK
Soldas	98,2 < 100%	OK
Flambagem	10,67	

### Chapas

Nome	$t_p$ [mm]	Cargas	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
SC A/5-bfl 1	19,0	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5\psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2)}(1)	176,2	0,0	0,0	OK
SC A/5-tfl 1	19,0	94 (Final) EQU_{(4.4)}-0,9G+1,5W(2)	265,3	0,0	144,2	OK
SC A/5-w 1	11,0	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5\psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2)}(1)	253,8	0,0	0,0	OK
SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-bfl 1	16,0	85 (Final) STR_{(9.15)}-G+1,5W+EHF_{(Dir2)}(7)	275,0	0,0	0,0	OK
SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-tfl 1	16,0	85 (Final) STR_{(9.15)}-G+1,5W+EHF_{(Dir2)}(7)	203,4	0,0	0,0	OK
SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-w 1	10,2	85 (Final) STR_{(9.15)}-G+1,5W+EHF_{(Dir2)}(7)	198,6	0,0	0,0	OK
STIFF1a	6,0	94 (Final) EQU_{(4.4)}-0,9G+1,5W(2)	120,5	0,0	0,0	OK
STIFF1b	6,0	94 (Final) EQU_{(4.4)}-0,9G+1,5W(2)	119,5	0,0	0,0	OK
EP1	10,0	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5\psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2)}(1)	282,5	3,6	247,3	OK
WID1a	10,0	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5\psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2)}(1)	220,0	0,0	0,0	OK
WID1b	10,0	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5\psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2)}(1)	275,2	0,1	0,0	OK
STIFF2a	8,0	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5\psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2)}(1)	197,2	0,0	0,0	OK
STIFF2b	8,0	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5\psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2)}(1)	204,5	0,0	0,0	OK
STIFF3a	8,0	85 (Final) STR_{(9.15)}-G+1,5W+EHF_{(Dir2)}(7)	80,0	0,0	0,0	OK
STIFF3b	8,0	85 (Final) STR_{(9.15)}-G+1,5W+EHF_{(Dir2)}(7)	79,1	0,0	0,0	OK

### Dados do projeto

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275,0	5,0

### Explicação do símbolo

$t_p$	Espessura da chapa
$\sigma_{Ed}$	Tensão equivalente
$\epsilon_{pl}$	Deformação plástica
$\sigma_{c,Ed}$	Tensão de contato
$f_y$	Resistência ao escoamento
$\epsilon_{lim}$	Limite de deformação plástica

### Resultado detalhado para EP1

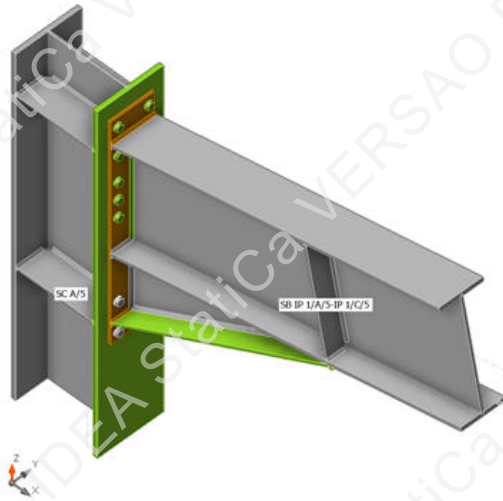
#### Valores de cálculo utilizados na análise

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 275,0 \text{ MPa}$$

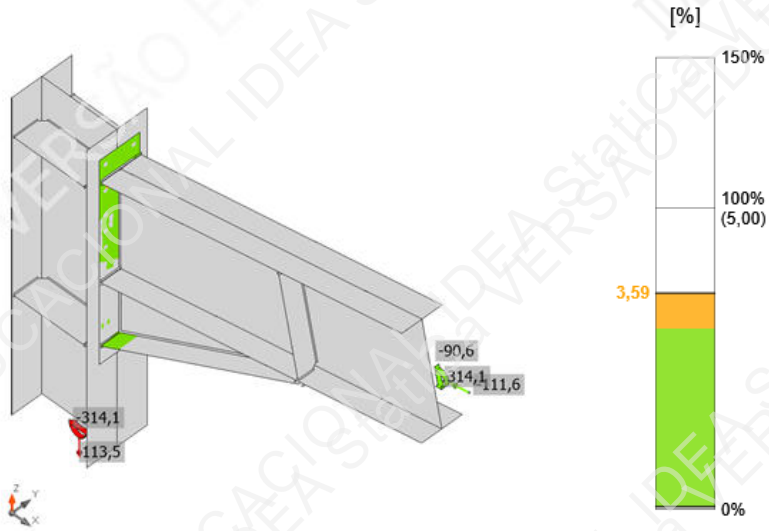
Onde:

$$f_{yk} = 275,0 \text{ MPa} \quad \text{-- resistência característica ao escoamento}$$

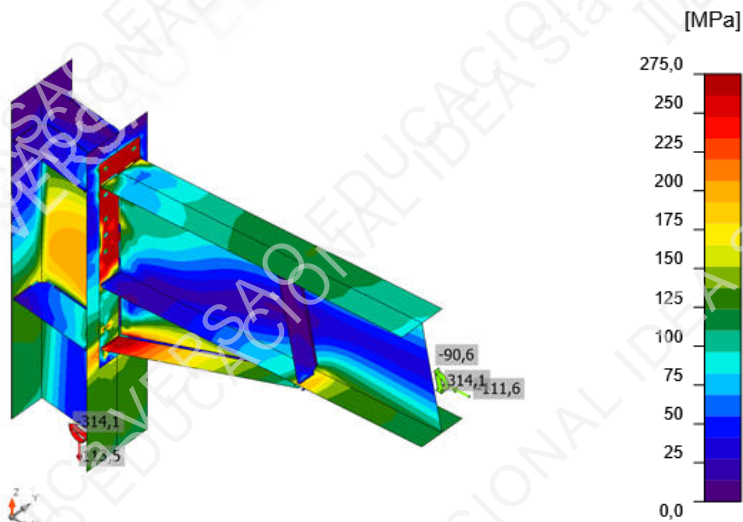
$$\gamma_{M0} = 1,00 \quad \text{-- coeficiente de ponderação para o material de aço EN 1993-1-1 - 6.1}$$



Verificação geral, 33 (Final) STR\_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi\_{0}S+1,5psi\_{0}W+EHF\_{(Dir2)}(1)



Verificação de deformação, 33 (Final) STR\_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi\_{0}S+1,5psi\_{0}W+EHF\_{(Dir2)}(1)



Tensão equivalente, 33 (Final) STR\_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi\_{0}S+1,5psi\_{0}W+EHF\_{(Dir2)}(1)

Parafusos

Formato	Item	Grau	Cargas	F <sub>t,Ed</sub> [kN]	F <sub>v,Ed</sub> [kN]	F <sub>b,Rd</sub> [kN]	U <sub>t</sub> [%]	U <sub>s</sub> [%]	U <sub>ts</sub> [%]	Detalhamento	Status
	B1	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	98,3	6,2	88,3	92,9	10,6	76,9	OK	OK
	B2	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	99,3	6,4	88,3	93,8	10,9	77,9	OK	OK
	B3	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	103,5	6,2	83,4	97,8	10,5	80,3	OK	OK
	B4	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	99,9	6,2	86,2	94,4	10,6	78,0	OK	OK
	B5	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	88,5	5,4	70,5	83,6	9,2	69,0	OK	OK
	B6	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	87,8	5,3	73,0	83,0	9,0	68,3	OK	OK
	B7	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	85,2	4,6	69,4	80,5	7,8	65,3	OK	OK
	B8	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	85,4	5,0	67,8	80,7	8,5	66,1	OK	OK
	B9	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	85,3	5,8	68,0	80,6	9,9	67,5	OK	OK
	B10	M20 6.8 - 1	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	85,3	6,0	68,0	80,6	10,1	67,7	OK	OK
	B11	M20 6.8 - 1	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	86,7	7,9	86,5	81,9	13,4	71,8	OK	OK
	B12	M20 6.8 - 1	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	87,0	7,4	85,7	82,2	12,5	71,3	OK	OK
	B13	M20 6.8 - 1	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	89,8	14,8	88,3	84,8	25,2	85,8	OK	OK
	B14	M20 6.8 - 1	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	89,7	14,9	88,3	84,7	25,3	85,9	OK	OK

Dados do projeto

Grau	F <sub>t,Rd</sub> [kN]	B <sub>p,Rd</sub> [kN]	F <sub>v,Rd</sub> [kN]
M20 6.8 - 1	105,8	206,0	58,8

Explicação do símbolo

F <sub>t,Ed</sub>	Força de tração
F <sub>v,Ed</sub>	Resultante das forças cortantes do parafuso Vy e Vz em planos de cisalhamento
F <sub>b,Rd</sub>	Resistência do apoio da chapa EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
U <sub>t</sub>	Utilização em tração
U <sub>s</sub>	Utilização em cisalhamento
U <sub>ts</sub>	Interação da tração e cisalhamento EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
F <sub>t,Rd</sub>	Resistência à tração do parafuso EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
B <sub>p,Rd</sub>	Resistência ao cisalhamento por punção EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
F <sub>v,Rd</sub>	Resistência ao cisalhamento do parafuso EN 1993-1-8 – Tab. 3.4

Resultado detalhado para B3

Verificação de resistência à tração (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 105,8 \text{ kN} \geq F_{t,Ed} = 103,5 \text{ kN}$$

Onde:

$k_2 = 0,90$	– Fator
$f_{ub} = 600,0 \text{ MPa}$	– Limite de resistência à tração do parafuso
$A_s = 245 \text{ mm}^2$	– Área de tensão de tração do parafuso
$\gamma_{M2} = 1,25$	– Coeficiente de ponderação

Verificação da resistência à punção (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 206,0 \text{ kN} \geq F_{t,Ed} = 103,5 \text{ kN}$$

Onde:

$d_m = 32 \text{ mm}$	– A média dos pontos transversais e das dimensões planas da cabeça do parafuso ou da porca, o que for menor
$t_p = 10 \text{ mm}$	– Espessura da chapa
$f_u = 430,0 \text{ MPa}$	– Resistência última
$\gamma_{M2} = 1,25$	– Coeficiente de ponderação

#### Verificação da resistência ao cisalhamento (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_p \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 58,8 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 6,2 \text{ kN}$$

Onde:

- $\beta_p = 1,00$  – Fator de redução para enchimento  
 $\alpha_v = 0,50$  – Fator de redução para tensão de cisalhamento  
 $f_{ub} = 600,0 \text{ MPa}$  – Limite de resistência à tração do parafuso  
 $A = 245 \text{ mm}^2$  – Área de tensão de tração do parafuso  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Coeficiente de ponderação

#### Verificação de capacidade de carga (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 83,4 \text{ kN} \geq F_{b,Ed} = 6,2 \text{ kN}$$

Onde:

- $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7, 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7, 2,5) = 2,12$  – Fator para distância da borda e espaçamento do parafuso perpendicular a direção da transferência de carga  
 $\alpha_b = \min(\frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1) = 0,57$  – Fator para distância da extremidade e espaçamento do parafuso na direção da transferência de carga  
 $e_2 = 30 \text{ mm}$  – Distância perpendicular da borda da chapa à força cortante  
 $p_2 = \infty \text{ mm}$  – Distância entre os parafusos perpendiculares à direção da força cortante  
 $d_0 = 22 \text{ mm}$  – Diâmetro do furo do parafuso  
 $e_1 = 38 \text{ mm}$  – Distância até a borda da chapa na direção da força cortante  
 $p_1 = \infty \text{ mm}$  – Distância entre os parafusos na direção da força cortante  
 $f_{ub} = 600,0 \text{ MPa}$  – Limite de resistência à tração do parafuso  
 $f_u = 430,0 \text{ MPa}$  – Resistência última da chapa  
 $d = 20 \text{ mm}$  – Diâmetro nominal do fixador  
 $t = 10 \text{ mm}$  – Espessura da chapa  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Coeficiente de ponderação

#### Utilização em tração

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})} = 0,98 \leq 1,0$$

Onde:

- $F_{t,Ed} = 103,5 \text{ kN}$  – Força de tração  
 $F_{t,Rd} = 105,8 \text{ kN}$  – Resistência à tensão  
 $B_{p,Rd} = 206,0 \text{ kN}$  – Resistência à punção

#### Utilização em cisalhamento

$$\max(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}, \frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}}) = 0,10 \leq 1,0$$

Onde:

- $F_{v,Ed} = 6,2 \text{ kN}$  – Força cortante (no plano de cisalhamento decisivo)  
 $F_{v,Rd} = 58,8 \text{ kN}$  – Resistência ao cisalhamento  
 $F_{b,Ed} = 6,2 \text{ kN}$  – Força de pressão (para chapa determinante)  
 $F_{b,Rd} = 83,4 \text{ kN}$  – Capacidade de carga

#### Interação da tração e cisalhamento (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} = 0,80 \leq 1,0$$

Onde:

- $F_{v,Ed} = 6,2 \text{ kN}$  – Força cortante (no plano de cisalhamento decisivo)  
 $F_{v,Rd} = 58,8 \text{ kN}$  – Resistência ao cisalhamento  
 $F_{t,Ed} = 103,5 \text{ kN}$  – Força de tração  
 $F_{t,Rd} = 105,8 \text{ kN}$  – Resistência à tensão

Projeto: Pilar-Viga  
 Projeto nº:   
 Autor: Gabriel



Soldas

Item	Borda	T <sub>w</sub> [mm]	L [mm]	Cargas	σ <sub>w,Ed</sub> [MPa]	ε <sub>p1</sub> [%]	σ <sub>⊥</sub> [MPa]	T <sub>⊥</sub> [MPa]	T <sub>  </sub> [MPa]	Ut [%]	Ut <sub>c</sub> [%]	Detalhamento	Status
SC A/5-bfl 1	STIFF1a	▲ 5,0 ▲	117	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	36,5	0,0	12,3	11,9	15,9	9,0	9,0	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	117	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	32,1	0,0	6,5	-7,0	-16,7	7,9	7,9	OK	OK
SC A/5-w 1	STIFF1a	▲ 5,0 ▲	297	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	50,7	0,0	-2,9	-3,3	29,0	12,5	9,8	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	297	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	50,3	0,0	-3,9	3,5	-28,8	12,4	9,6	OK	OK
SC A/5-tfl 1	STIFF1a	▲ 5,0 ▲	117	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	132,3	0,0	-64,2	-65,1	-15,0	32,7	22,9	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	117	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	153,6	0,0	-76,1	75,2	16,9	38,0	25,4	OK	OK
SC A/5-bfl 1	STIFF1b	▲ 5,0 ▲	117	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	30,9	0,0	-5,4	-6,3	-16,4	7,6	7,6	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	117	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	36,0	0,0	-12,2	11,4	15,9	8,9	8,9	OK	OK
SC A/5-w 1	STIFF1b	▲ 5,0 ▲	297	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	49,9	0,0	-4,5	-4,0	28,4	12,3	9,5	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	297	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	51,2	0,0	-3,6	4,1	-29,2	12,6	9,9	OK	OK
SC A/5-tfl 1	STIFF1b	▲ 5,0 ▲	117	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	149,4	0,0	-73,8	-73,5	-15,0	36,9	25,5	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	117	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	127,3	0,0	-62,5	62,8	12,3	31,5	22,6	OK	OK
EP1	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-bfl 1	▲ 8,0 ▲	200	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	53,5	0,0	-33,1	-24,3	0,4	13,2	9,8	OK	OK
		▲ 8,0 ▲	200	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	48,1	0,0	-18,8	25,4	-2,8	11,9	9,0	OK	OK
EP1	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-tfl 1	▲ 8,0 ▲	200	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	397,3	0,4	217,0	190,2	-27,5	98,2	76,3	OK	OK
		▲ 8,0 ▲	200	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	396,8	0,1	168,8	-185,7	92,1	98,0	71,0	OK	OK
EP1	SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-w 1	▲ 6,0 ▲	494	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	252,5	0,0	-102,9	-81,3	105,4	62,4	35,5	OK	OK
		▲ 6,0 ▲	494	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	336,1	0,0	-121,8	143,3	-110,4	83,1	49,5	OK	OK
EP1	WID1a	▲ 8,0 ▲	300	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	122,5	0,0	-61,0	-60,3	11,2	30,3	19,0	OK	OK
		▲ 8,0 ▲	300	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	122,3	0,0	-60,0	60,8	-9,7	30,2	19,0	OK	OK
SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-bfl 1	WID1a	▲ 8,0 ▲	998	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	71,8	0,0	-9,7	-10,1	-39,8	17,7	16,8	OK	OK
		▲ 8,0 ▲	998	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	74,2	0,0	-10,4	10,1	41,2	18,3	17,2	OK	OK
WID1b	WID1a	▲ 8,0 ▲	1100	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	97,1	0,0	-13,3	-13,3	-53,9	24,0	19,1	OK	OK
		▲ 8,0 ▲	1100	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	98,5	0,0	-13,8	13,9	54,6	24,3	19,4	OK	OK

item	Borda	T <sub>w</sub> [mm]	L [mm]	Cargas	σ <sub>w,Ed</sub> [MPa]	ε <sub>pI</sub> [%]	σ <sub>⊥</sub> [MPa]	τ <sub>⊥</sub> [MPa]	τ <sub>  </sub> [MPa]	Ut [%]	Ut <sub>c</sub> [%]	Detalhamento	Status
EP1	WID1b	▲ 8,0 ▼	200	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	396,6	0,0	-79,0	-214,7	-65,2	98,0	77,0	OK	OK
		▲ 8,0 ▼	200	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	224,3	0,0	-145,5	95,6	24,0	55,4	51,7	OK	OK
SB IP 1/A/5- IP 1/C/5- bfl 1	WID1b	▲ 8,0 ▼	200	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	392,5	0,0	2,4	-226,6	0,6	97,0	57,0	OK	OK
		▲ 8,0 ▼	200	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	61,7	0,0	-16,4	19,7	-28,1	15,2	15,2	OK	OK
SC A/5-bfl 1	STIFF2a	▲ 6,0 ▼	117	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	83,2	0,0	-16,6	-19,0	-43,1	20,6	18,2	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	117	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	94,8	0,0	-32,4	30,0	41,8	23,4	20,3	OK	OK
SC A/5-w 1	STIFF2a	▲ 6,0 ▼	298	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	84,1	0,0	-24,6	-22,6	40,5	20,8	14,8	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	298	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	79,0	0,0	-14,3	16,2	-41,8	19,5	16,0	OK	OK
SC A/5-tfl 1	STIFF2a	▲ 6,0 ▼	117	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	313,2	0,0	-147,7	-149,2	-56,3	77,4	44,2	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	117	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	214,2	0,0	-102,7	101,0	39,7	52,9	31,3	OK	OK
SC A/5-bfl 1	STIFF2b	▲ 6,0 ▼	117	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	92,9	0,0	-31,9	-28,8	-41,3	23,0	20,1	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	117	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	80,9	0,0	-16,8	19,9	41,1	20,0	17,7	OK	OK
SC A/5-w 1	STIFF2b	▲ 6,0 ▼	298	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	76,9	0,0	-14,6	-17,0	40,2	19,0	15,3	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	298	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	82,4	0,0	-24,3	21,8	-39,9	20,4	14,5	OK	OK
SC A/5-tfl 1	STIFF2b	▲ 6,0 ▼	117	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	197,9	0,0	-93,2	-93,7	-37,0	48,9	30,5	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	117	33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5ψ_{0}S+1,5ψ_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	289,9	0,0	-138,9	138,1	50,1	71,6	41,9	OK	OK
SB IP 1/A/5- IP 1/C/5- bfl 1	STIFF3a	▲ 6,0 ▼	74	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	65,5	0,0	-10,8	-26,6	26,2	16,2	14,9	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	74	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	55,5	0,0	0,4	18,3	26,3	13,7	11,4	OK	OK
SB IP 1/A/5- IP 1/C/5- w 1	STIFF3a	▲ 6,0 ▼	426	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	27,6	0,0	-11,1	-9,5	-11,0	6,8	6,8	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	426	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	23,8	0,0	-6,5	8,1	10,4	5,9	5,9	OK	OK
SB IP 1/A/5- IP 1/C/5- tfl 1	STIFF3a	▲ 6,0 ▼	74	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	36,9	0,0	4,3	5,5	-20,4	9,1	9,1	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	74	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	42,8	0,0	-17,3	15,1	-16,8	10,6	10,6	OK	OK
SB IP 1/A/5- IP 1/C/5- bfl 1	STIFF3b	▲ 6,0 ▼	74	85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	54,2	0,0	1,0	-17,0	-26,2	13,4	11,2	OK	OK

Item	Borda	T <sub>w</sub> [mm]	L [mm]	Cargas	σ <sub>w,Ed</sub> [MPa]	ε <sub>pl</sub> [%]	σ <sub>⊥</sub> [MPa]	τ <sub>⊥</sub> [MPa]	τ <sub>  </sub> [MPa]	Ut [%]	Ut <sub>c</sub> [%]	Detalhamento	Status
		▲ 6,0 ▼	74	85 (Final) STR_{(9.15)}-G+1,5W+EHF_{(Dir2)}(7)	64,5	0,0	-10,9	26,0	-25,9	15,9	14,7	OK	OK
SB IP 1/A/5- IP 1/C/5- w 1	STIFF3b	▲ 6,0 ▼	425	85 (Final) STR_{(9.15)}-G+1,5W+EHF_{(Dir2)}(7)	23,6	0,0	-6,5	-7,9	-10,4	5,8	5,8	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	426	85 (Final) STR_{(9.15)}-G+1,5W+EHF_{(Dir2)}(7)	27,5	0,0	-11,2	9,8	10,7	6,8	6,8	OK	OK
SB IP 1/A/5- IP 1/C/5- tfl 1	STIFF3b	▲ 6,0 ▼	74	85 (Final) STR_{(9.15)}-G+1,5W+EHF_{(Dir2)}(7)	42,5	0,0	-17,2	-15,4	16,3	10,5	10,5	OK	OK
		▲ 6,0 ▼	74	85 (Final) STR_{(9.15)}-G+1,5W+EHF_{(Dir2)}(7)	36,4	0,0	4,7	-5,4	20,1	9,0	9,0	OK	OK

#### Dados do projeto

Material	f <sub>u</sub> [MPa]	β <sub>w</sub> [-]	σ <sub>w,Rd</sub> [MPa]	0,9 σ [MPa]
S 275	430,0	0,85	404,7	309,6

#### Explicação do símbolo

T <sub>w</sub>	Espessura da garganta a
L	Comprimento
σ <sub>w,Ed</sub>	Tensão equivalente
ε <sub>pl</sub>	Deformação
σ <sub>⊥</sub>	Tensão perpendicular
τ <sub>⊥</sub>	Tensão de cisalhamento perpendicular ao eixo da solda
τ <sub>  </sub>	Tensão de cisalhamento paralela ao eixo da solda
Ut	Utilização
Ut <sub>c</sub>	Estimativa da capacidade da solda
▲	Solda de filete
f <sub>u</sub>	Resistência última da solda
β <sub>w</sub>	Fator de correlação EN 1993-1-8 - Tabela 4.1
σ <sub>w,Rd</sub>	Resistência à tensão equivalente
0,9 σ	Resistência à tensão perpendicular: 0,9*fu/γM2

#### Resultado detalhado para EP1 / SB IP 1/A/5-IP 1/C/5-tfl 1

##### Verificação da resistência da solda (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 404,7 \text{ MPa} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)]^{0,5} = 397,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 309,6 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 236,7 \text{ MPa}$$

onde:

f <sub>u</sub> = 430,0 MPa	– Resistência última
β <sub>w</sub> = 0,85	– Fator de correlação EN 1993-1-8 - Tabela 4.1
γ <sub>M2</sub> = 1,25	– Coeficiente de ponderação

#### Uso da tensão

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0,98 \leq 1,0$$

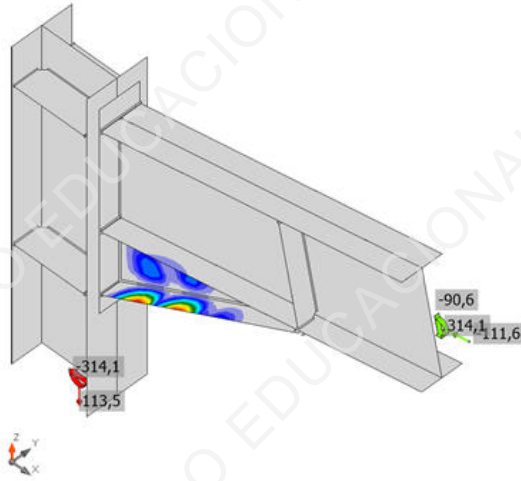
Onde:

σ <sub>w,Ed</sub> = 397,3 MPa	– Tensão normal máxima transversal ao eixo da solda
σ <sub>w,Rd</sub> = 404,7 MPa	– Resistência à tensão equivalente
σ <sub>⊥</sub> = 236,7 MPa	– Tensão normal perpendicular à direção da garganta
σ <sub>⊥,Rd</sub> = 309,6 MPa	– Resistência à tensão perpendicular

**Flambagem**

Cargas	Formato	Fator [-]
33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2-} (1)	1	10,67
	2	10,84
	3	13,69
	4	14,20
	5	15,84
	6	16,05
94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	1	19,77
	2	21,22
	3	26,51
	4	27,58
	5	34,04
	6	35,09
99 (Final) EQU_{4.9}-0,9G+1,5W(4)	1	29,20
	2	31,37
	3	39,13
	4	40,79
	5	53,06
	6	54,96
52 (Final) STR_{8.17}-1,35G+1,5\psi_{0}Q+1,5\psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir2-} (5)	1	13,50
	2	13,72
	3	17,32
	4	17,97
	5	19,41
	6	19,79
85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(7)	1	11,64
	2	12,57
	3	12,97
	4	13,05
	5	15,61
	6	15,99
46 (Final) STR_{8.10}-1,35G+1,5\psi_{0}Q+1,5\psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1-} (3)	1	14,67
	2	14,90
	3	18,67
	4	19,33
	5	22,20
	6	22,65
26 (Final) STR_{6.27}-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{0}S+1,5\psi_{0}W+EHF_{Dir2+} (6)	1	13,57
	2	13,79
	3	17,41
	4	18,06
	5	19,78
	6	20,11
96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(8)	1	11,10
	2	11,28
	3	14,25
	4	14,78
	5	16,46
	6	16,68
38 (Final) STR_{8.1}-1,35G+1,5\psi_{0}Q+1,5\psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1+} (9)	1	16,55
	2	16,85
	3	21,58
	4	22,45
	5	23,35
	6	24,37







Cargas	Formato	Fator [-]
103 (Final) EQU_{4.13}-0,9G+1,5W(10)	1	60,16
	2	60,86
	3	69,89
	4	74,53
	5	74,82
	6	76,76



Forma do primeiro modo de flambagem, 33 (Final) STR\_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5\psi\_{0}S+1,5\psi\_{0}W+EHF\_{Dir2-}(1)

**Lista de material**

**Operações de fabricação**

Nome	Chapas [mm]	Formato	Nº.	Soldas Espessura da garganta [mm]	Comprimento [mm]	Parafusos	Nº.
STIFF1	P6,0x144,5-352,0 (S 275)		2	Filete duplo: 5,0	1066,0		
EP1	P10,0x200,0-1010,7 (S 275)		1	Filete duplo: 8,0 Filete duplo: 6,0	400,0 494,4	M20 6.8	14
WID1	P10,0x503,9-979,0 (S 275)		1	Filete duplo: 8,0	2801,1		
	P10,0x200,0-1103,7 (S 275)		1				
STIFF2	P8,0x144,5-352,0 (S 275)		2	Filete duplo: 6,0	1066,0		
STIFF3	P8,0x94,9-468,0 (S 275)		2	Filete duplo: 6,0	1147,6		
CUT2							

**Soldas**

Tipo	Material	Espessura da garganta [mm]	Tamanho da perna [mm]	Comprimento [mm]
Filete duplo	S 275	5,0	7,1	1066,0
Filete duplo	S 275	8,0	11,3	3201,1
Filete duplo	S 275	6,0	8,5	2708,0

**Parafusos**

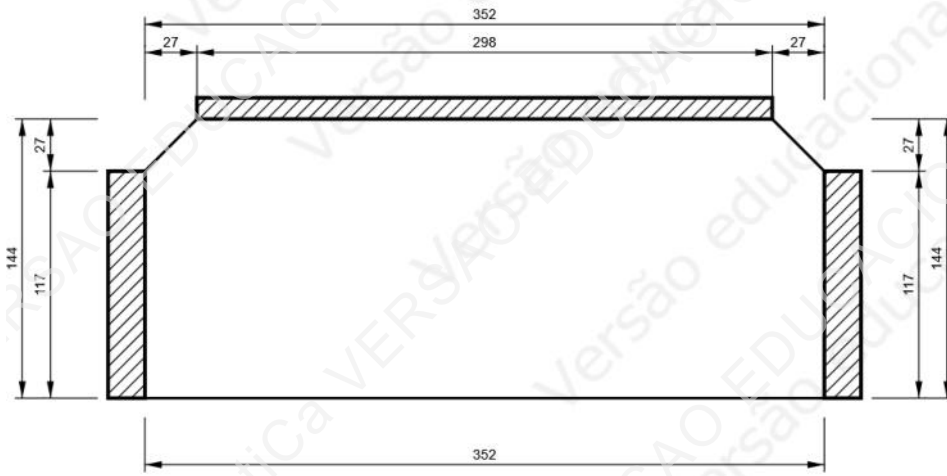
Nome	Comprimento da aderência [mm]	Contagem
M20 6.8	29	14

**Desenho**

**STIFF1**

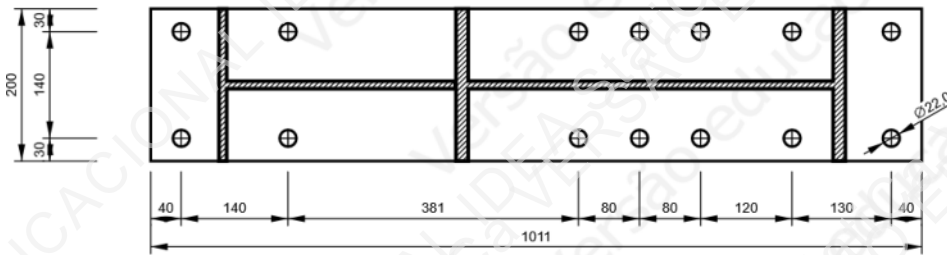
Projeto: Pilar-Viga  
Projeto nº:   
Autor: Gabriel

P6,0x352-144 (S 275)



EP1

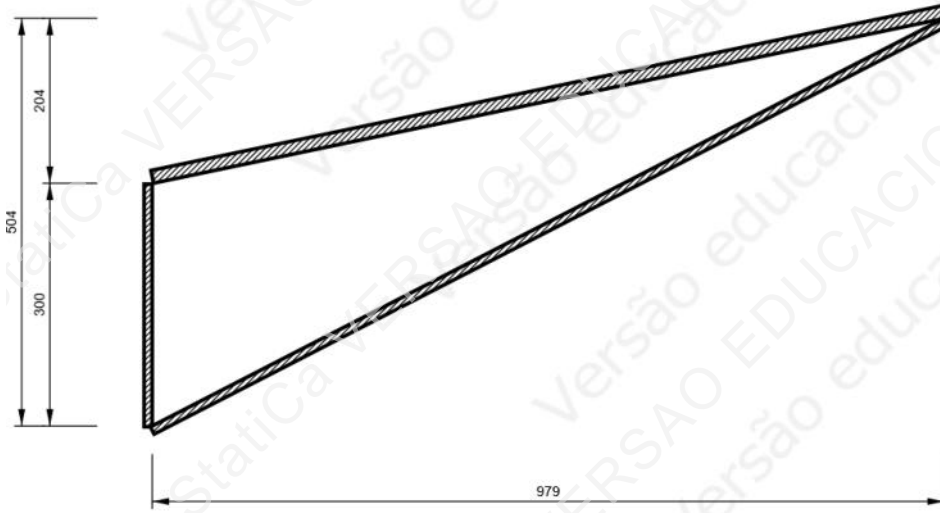
P10,0x1011-200 (S 275)



Projeto: Pilar-Viga  
Projeto nº:  
Autor: Gabriel

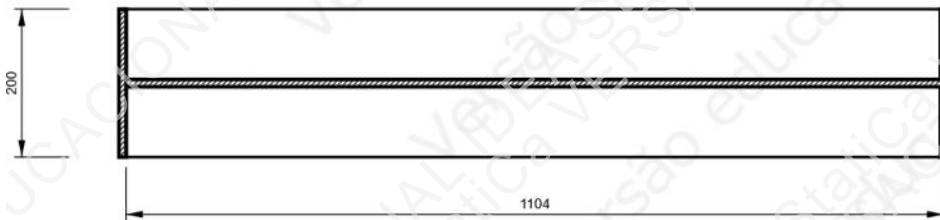
**WID1 - WID1a**

P10,0x979-504 (S 275)



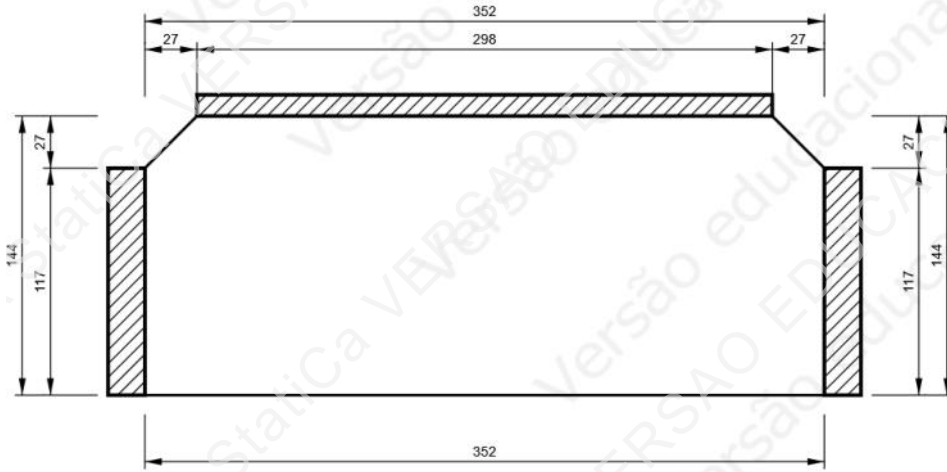
**WID1 - WID1b**

P10,0x1104-200 (S 275)



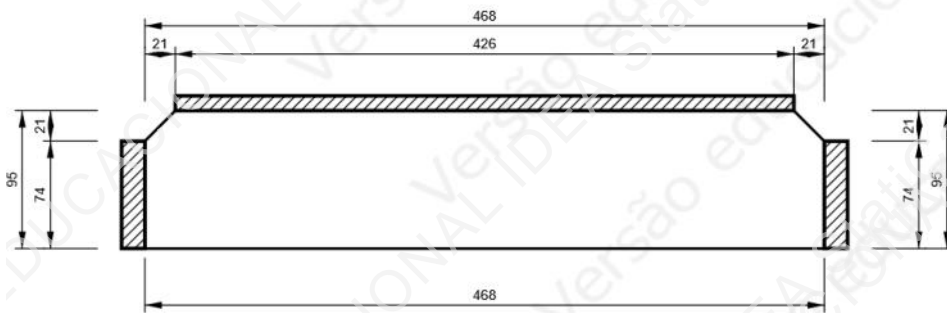
**STIFF2**

P8,0x352-144 (S 275)

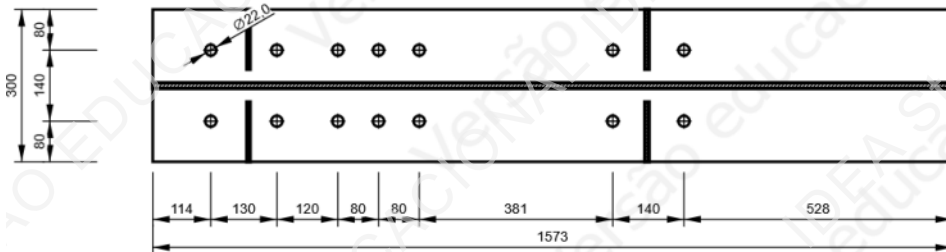


**STIFF3**

P8,0x468-95 (S 275)



**SC A/5, HEA400 - Mesa superior 1:**



**Configurações de norma**

Item	Valor	Unidade	Referência
Coefficiente de ponderação $\gamma_{M0}$	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Coefficiente de ponderação $\gamma_{M1}$	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Coefficiente de ponderação $\gamma_{M2}$	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Coefficiente de ponderação $\gamma_{M3}$	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
Coefficiente de ponderação $\gamma_C$	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
Coefficiente de ponderação $\gamma_{Inst}$	1,20	-	EN 1992-4: Table 4.1
Coefficiente da ligação $\beta_j$	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Área efetiva - influência do tamanho da malha	0,10	-	
Coefficiente de atrito - concreto	0,25	-	EN 1993-1-8
Coefficiente de atrito na resistência ao deslizamento	0,30	-	EN 1993-1-8 aba 3.7
Limite de deformação plástica	0,05	-	EN 1993-1-5
Detalhamento	Sim		
Distância entre os parafusos [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: aba 3.3
Distância entre os parafusos e a borda [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: aba 3.3
Verificação da resistência à ruptura do concreto	Ambos		EN 1992-4: 7.2.1.4 and 7.2.2.5
Usar $a_b$ calculada na verificação da capacidade de carga.	Sim		EN 1993-1-8: aba 3.4
Concreto fissurado	Sim		EN 1992-4
Verificação da deformação local	Sim		CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Limite da deformação local	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Não linearidade geométrica (GMNA)	Sim		Análise com grandes deformações para ligações de seção tubular
Sistema contraventado	Não		EN 1993-1-8: 5.2.2.5

Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

## Dados do projeto

Nome do projeto  
Número do projeto  
Autor  
Descrição  
Data 28/12/2024  
Norma EN

## Material

Aço S 275

Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

## Item do projeto Viga-viga

### Cálculo

Nome Viga-viga  
Descrição  
Análise Tensão, deformação/ cargas em equilíbrio

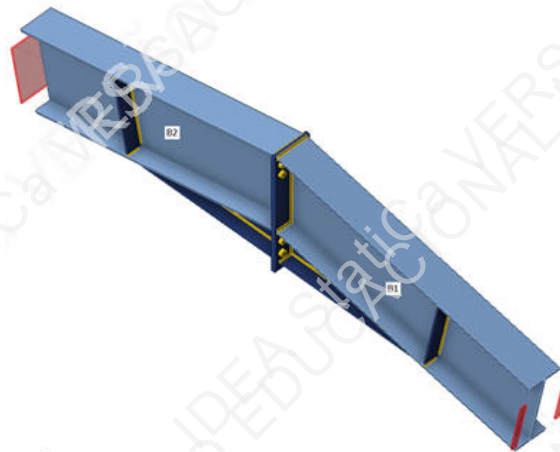
### Elementos

#### Geometria

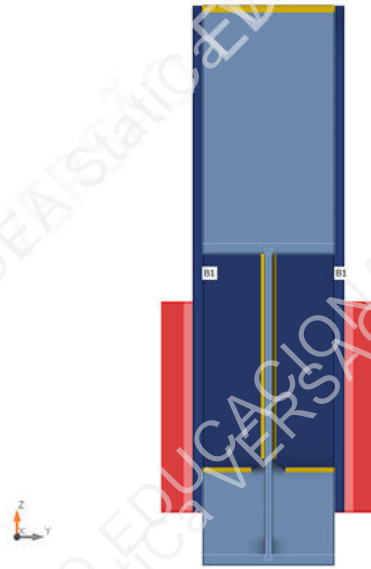
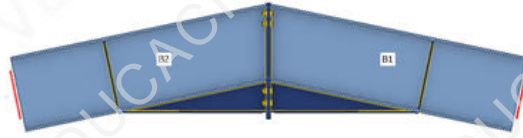
Nome	Seção transversal	$\beta$ - Direção [°]	$\gamma$ - Passo [°]	$\alpha$ - Rotação [°]	Deslocamento ex [mm]	Deslocamento ey [mm]	Deslocamento ez [mm]
B1	2 - IPE500	0,0	-11,8	0,0	0	0	0
B2	1 - IPE500	180,0	-11,8	0,0	0	0	0

#### Apoios e forças

Nome	Apoio	Forças em	X [mm]
B1 / final	Vy-Mx-Mz	Nó	0
B2 / final	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Nó	0



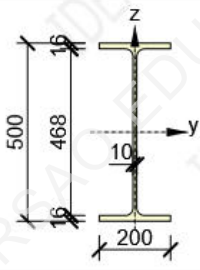
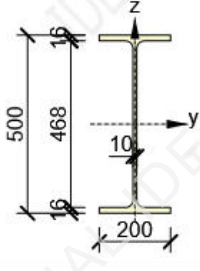
Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:



**Seções transversais**

Nome	Material
2 - IPE500	S 275
1 - IPE500	S 275

**Seções transversais**

Nome	Material	Desenho
2 - IPE500	S 275	
1 - IPE500	S 275	

**Parafusos**

Nome	Diâmetro [mm]	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	Área bruta [mm <sup>2</sup> ]
M20 6.8	20	480,0	600,0	314

**Efeitos da carga (forças em equilíbrio)**

Nome	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
33 (Final) STR_{(6.34)-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5\psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2-)}(1)	B1 / Fim	-115,1	0,0	29,3	0,0	159,0	0,0
	B2 / Fim	-115,1	0,0	29,3	0,0	159,0	0,0
94 (Final) EQU_{(4.4)-0,9G+1,5W(2)	B1 / Fim	40,8	0,0	-17,4	0,0	-76,0	0,0
	B2 / Fim	47,1	0,0	-2,7	0,0	-76,0	0,0
91 (Final) EQU_{(4.1)-0,9G+1,5W(3)	B1 / Fim	-45,6	0,0	0,5	0,0	41,1	0,0
	B2 / Fim	-35,1	0,0	21,0	0,0	41,1	0,0
36 (Final) STR_{(6.37)-1,35G+1,5Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5\psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2-)}(4)	B1 / Fim	-53,8	0,0	14,2	0,0	58,3	0,0
	B2 / Fim	-53,8	0,0	14,2	0,0	58,3	0,0
48 (Final) STR_{(8.12)-1,35G+1,5\psi_{(0)}Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5W+EHF_{(Dir1-)}(5)	B1 / Fim	-57,4	0,0	21,3	0,0	71,6	0,0
	B2 / Fim	-63,2	0,0	10,1	0,0	71,6	0,0
40 (Final) STR_{(8.3)-1,35G+1,5\psi_{(0)}Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5W+EHF_{(Dir1+)}(6)	B1 / Fim	-31,8	0,0	-2,7	0,0	17,9	0,0
	B2 / Fim	-21,2	0,0	17,7	0,0	17,9	0,0
103 (Final) EQU_{(4.13)-0,9G+1,5W(7)	B1 / Fim	-23,7	0,0	12,7	0,0	26,1	0,0
	B2 / Fim	-29,4	0,0	1,5	0,0	26,1	0,0
44 (Final) STR_{(8.8)-1,35G+1,5\psi_{(0)}Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5W+EHF_{(Dir2+)}(8)	B1 / Fim	-138,6	0,0	33,5	0,0	164,6	0,0
	B2 / Fim	-138,6	0,0	33,5	0,0	164,6	0,0
109 (Final) EQU_{(4.19)-0,9G+1,5W(10)	B1 / Fim	10,9	0,0	-1,9	0,0	-38,9	0,0
	B2 / Fim	10,9	0,0	-1,9	0,0	-38,9	0,0
41 (Final) STR_{(8.4)-1,35G+1,5\psi_{(0)}Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5W+EHF_{(Dir1+)}(11)	B1 / Fim	7,0	0,0	-8,8	0,0	-30,5	0,0
	B2 / Fim	13,3	0,0	5,8	0,0	-30,5	0,0
80 (Final) STR_{(9.10)-G+1,5W+EHF_{(Dir1-)}(12)	B1 / Fim	-57,3	0,0	21,1	0,0	73,8	0,0
	B2 / Fim	-63,0	0,0	9,9	0,0	73,8	0,0
85 (Final) STR_{(9.15)-G+1,5W+EHF_{(Dir2-)}(14)	B1 / Fim	-98,4	0,0	25,2	0,0	138,7	0,0
	B2 / Fim	-98,4	0,0	25,2	0,0	138,7	0,0
46 (Final) STR_{(8.10)-1,35G+1,5\psi_{(0)}Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5W+EHF_{(Dir1-)}(15)	B1 / Fim	-83,5	0,0	27,7	0,0	109,2	0,0
	B2 / Fim	-89,3	0,0	16,6	0,0	109,2	0,0
96 (Final) EQU_{(4.6)-0,9G+1,5W(9)	B1 / Fim	-145,6	0,0	35,1	0,0	178,2	0,0
	B2 / Fim	-145,6	0,0	35,1	0,0	178,2	0,0
38 (Final) STR_{(8.1)-1,35G+1,5\psi_{(0)}Q+1,5\psi_{(0)}S+1,5W+EHF_{(Dir1+)}(20)	B1 / Fim	-79,4	0,0	9,1	0,0	86,6	0,0
	B2 / Fim	-68,9	0,0	29,5	0,0	86,6	0,0

Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

### Forças desbalanceadas

Nome	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
33 (Final) STR_{6.34}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(1)	0,0	0,0	104,4	0,0	0,0	0,0
94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	-9,1	0,0	-37,6	0,0	0,0	0,0
91 (Final) EQU_{4.1}-0,9G+1,5W(3)	-14,5	0,0	37,5	0,0	0,0	0,0
36 (Final) STR_{6.37}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{0}S+1,5psi_{0}W+EHF_{Dir2-}(4)	0,0	0,0	49,8	0,0	0,0	0,0
48 (Final) STR_{8.12}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1-}(5)	7,9	0,0	55,3	0,0	0,0	0,0
40 (Final) STR_{8.3}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1+}(6)	-14,5	0,0	25,4	0,0	0,0	0,0
103 (Final) EQU_{4.13}-0,9G+1,5W(7)	7,9	0,0	24,8	0,0	0,0	0,0
44 (Final) STR_{8.8}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir2+}(8)	0,0	0,0	122,2	0,0	0,0	0,0
109 (Final) EQU_{4.19}-0,9G+1,5W(10)	0,0	0,0	-8,1	0,0	0,0	0,0
41 (Final) STR_{8.4}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1+}(11)	-9,2	0,0	-7,1	0,0	0,0	0,0
80 (Final) STR_{9.10}-G+1,5W+EHF_{Dir1-}(12)	7,9	0,0	54,9	0,0	0,0	0,0
85 (Final) STR_{9.15}-G+1,5W+EHF_{Dir2-}(14)	0,0	0,0	89,4	0,0	0,0	0,0
46 (Final) STR_{8.10}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1-}(15)	7,9	0,0	78,7	0,0	0,0	0,0
96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	0,0	0,0	128,2	0,0	0,0	0,0
38 (Final) STR_{8.1}-1,35G+1,5psi_{0}Q+1,5psi_{0}S+1,5W+EHF_{Dir1+}(20)	-14,5	0,0	68,0	0,0	0,0	0,0

### Verificação

#### Resumo

Nome	Valor	Status da verificação
Análise	100,0%	OK
Chapas	0,9 < 5,0%	OK
Parafusos	88,8 < 100%	OK
Soldas	87,3 < 100%	OK
Flambagem	Não calculado	

#### Chapas

Nome	t <sub>p</sub> [mm]	Cargas	σ <sub>Ed</sub> [MPa]	ε <sub>pl</sub> [%]	σ <sub>c,Ed</sub> [MPa]	Status
B1-bfl 1	16,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	166,4	0,0	0,0	OK
B1-tfl 1	16,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	261,4	0,0	0,0	OK
B1-w 1	10,2	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	124,8	0,0	0,0	OK
B2-bfl 1	16,0	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	100,2	0,0	0,0	OK
B2-tfl 1	16,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	259,7	0,0	0,0	OK
B2-w 1	10,2	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	103,8	0,0	0,0	OK
PP1a	10,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	276,9	0,9	181,3	OK
PP1b	10,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	276,8	0,8	181,3	OK
WID1a	6,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	223,2	0,0	0,0	OK
WID1b	6,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	275,0	0,0	0,0	OK
WID2a	6,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	211,1	0,0	0,0	OK
WID2b	6,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	275,0	0,0	0,0	OK
STIFF1a	6,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	27,8	0,0	0,0	OK
STIFF1b	6,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	27,7	0,0	0,0	OK
STIFF2a	6,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	9,8	0,0	0,0	OK
STIFF2b	6,0	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	9,8	0,0	0,0	OK

#### Dados do projeto

Material	f <sub>y</sub> [MPa]	ε <sub>lim</sub> [%]
S 275	275,0	5,0

#### Explicação do símbolo

t <sub>p</sub>	Espessura da chapa
σ <sub>Ed</sub>	Tensão equivalente
ε <sub>pl</sub>	Deformação plástica
σ <sub>c,Ed</sub>	Tensão de contato
f <sub>y</sub>	Resistência ao escoamento
ε <sub>lim</sub>	Limite de deformação plástica

Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

**Resultado detalhado para PP1a**

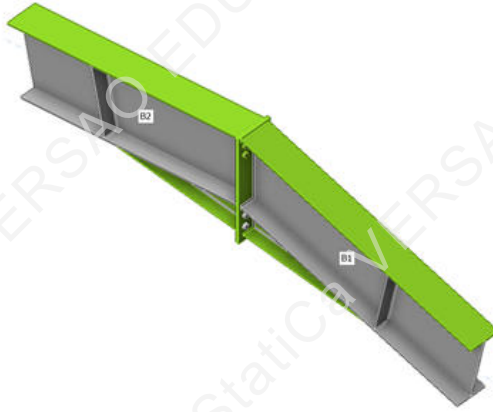
**Valores de cálculo utilizados na análise**

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 275,0 \text{ MPa}$$

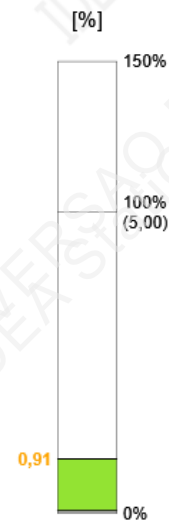
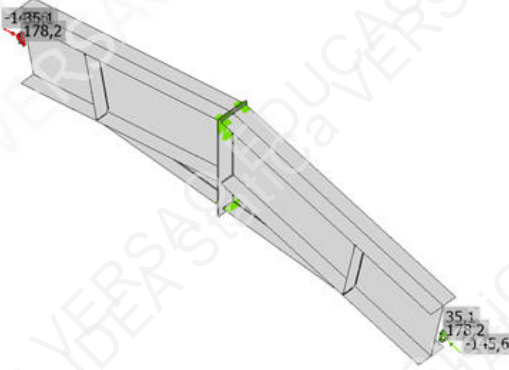
Onde:

$f_{yk} = 275,0 \text{ MPa}$  – resistência característica ao escoamento

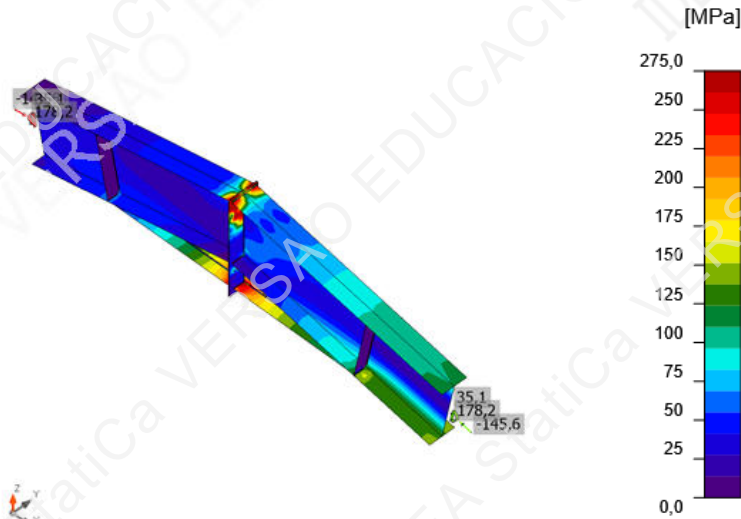
$\gamma_{M0} = 1,00$  – coeficiente de ponderação para o material de aço EN 1993-1-1 – 6.1



Verificação geral, 96 (Final) EQU\_{(4.6)-0,9G+1,5W(9)}



Verificação de deformação, 96 (Final) EQU\_{(4.6)-0,9G+1,5W(9)}



Tensão equivalente, 96 (Final) EQU\_{(4.6)-0,9G+1,5W(9)}

### Parafusos

Formato	Item	Grau	Cargas	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Detalhamento	Status
	B1	M20 6.8 - 1	96 (Final) EQU_{(4.6)-0,9G+1,5W(9)}	94,0	5,2	126,4	88,8	8,8	72,2	OK	OK
	B2	M20 6.8 - 1	96 (Final) EQU_{(4.6)-0,9G+1,5W(9)}	94,0	5,2	126,4	88,8	8,8	72,2	OK	OK
	B3	M20 6.8 - 1	96 (Final) EQU_{(4.6)-0,9G+1,5W(9)}	86,0	8,5	126,4	81,2	14,5	72,6	OK	OK
	B4	M20 6.8 - 1	96 (Final) EQU_{(4.6)-0,9G+1,5W(9)}	86,1	8,5	126,4	81,3	14,4	72,5	OK	OK
	B5	M20 6.8 - 1	94 (Final) EQU_{(4.4)-0,9G+1,5W(2)}	62,7	3,2	165,5	59,3	5,5	47,9	OK	OK
	B6	M20 6.8 - 1	94 (Final) EQU_{(4.4)-0,9G+1,5W(2)}	64,4	3,2	165,5	60,9	5,5	49,0	OK	OK
	B7	M20 6.8 - 1	94 (Final) EQU_{(4.4)-0,9G+1,5W(2)}	80,0	3,1	165,5	75,5	5,3	59,3	OK	OK
	B8	M20 6.8 - 1	94 (Final) EQU_{(4.4)-0,9G+1,5W(2)}	77,0	3,1	165,5	72,7	5,3	57,3	OK	OK

### Dados do projeto

Grau	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M20 6.8 - 1	105,8	206,0	58,8

### Explicação do símbolo

$F_{t,Ed}$	Força de tração
$F_{v,Ed}$	Resultante das forças cortantes do parafuso Vy e Vz em planos de cisalhamento
$F_{b,Rd}$	Resistência do apoio da chapa EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$U_{t_t}$	Utilização em tração
$U_{t_s}$	Utilização em cisalhamento
$U_{t_{ts}}$	Interação da tração e cisalhamento EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$F_{t,Rd}$	Resistência à tração do parafuso EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$B_{p,Rd}$	Resistência ao cisalhamento por punção EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$F_{v,Rd}$	Resistência ao cisalhamento do parafuso EN 1993-1-8 – Tab. 3.4

### Resultado detalhado para B2

#### Verificação de resistência à tração (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 105,8 \text{ kN} \geq F_{t,Ed} = 94,0 \text{ kN}$$

Onde:

$k_2 = 0,90$	– Fator
$f_{ub} = 600,0 \text{ MPa}$	– Limite de resistência à tração do parafuso
$A_s = 245 \text{ mm}^2$	– Área de tensão de tração do parafuso
$\gamma_{M2} = 1,25$	– Coeficiente de ponderação

Projeto:

Projeto nº:

Autor:

**Verificação da resistência à punção** (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 206,0 \text{ kN} \geq F_{t,Ed} = 94,0 \text{ kN}$$

Onde:

- $d_m = 32 \text{ mm}$  – A média dos pontos transversais e das dimensões planas da cabeça do parafuso ou da porca, o que for menor
- $t_p = 10 \text{ mm}$  – Espessura da chapa
- $f_u = 430,0 \text{ MPa}$  – Resistência última
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Coeficiente de ponderação

**Verificação da resistência ao cisalhamento** (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_p \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 58,8 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 5,2 \text{ kN}$$

Onde:

- $\beta_p = 1,00$  – Fator de redução para enchimento
- $\alpha_v = 0,50$  – Fator de redução para tensão de cisalhamento
- $f_{ub} = 600,0 \text{ MPa}$  – Limite de resistência à tração do parafuso
- $A = 245 \text{ mm}^2$  – Área de tensão de tração do parafuso
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Coeficiente de ponderação

**Verificação de capacidade de carga** (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 126,4 \text{ kN} \geq F_{b,Ed} = 5,2 \text{ kN}$$

Onde:

- $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7, 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7, 2,5) = 2,50$  – Fator para distância da borda e espaçamento do parafuso perpendicular a direção da transferência de carga
- $\alpha_b = \min(\frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1) = 0,73$  – Fator para distância da extremidade e espaçamento do parafuso na direção da transferência de carga
- $e_2 = 45 \text{ mm}$  – Distância perpendicular da borda da chapa à força cortante
- $p_2 = 140 \text{ mm}$  – Distância entre os parafusos perpendiculares à direção da força cortante
- $d_0 = 22 \text{ mm}$  – Diâmetro do furo do parafuso
- $e_1 = \infty \text{ mm}$  – Distância até a borda da chapa na direção da força cortante
- $p_1 = 65 \text{ mm}$  – Distância entre os parafusos na direção da força cortante
- $f_{ub} = 600,0 \text{ MPa}$  – Limite de resistência à tração do parafuso
- $f_u = 430,0 \text{ MPa}$  – Resistência última da chapa
- $d = 20 \text{ mm}$  – Diâmetro nominal do fixador
- $t = 10 \text{ mm}$  – Espessura da chapa
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Coeficiente de ponderação

**Utilização em tração**

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})} = 0,89 \leq 1,0$$

Onde:

- $F_{t,Ed} = 94,0 \text{ kN}$  – Força de tração
- $F_{t,Rd} = 105,8 \text{ kN}$  – Resistência à tensão
- $B_{p,Rd} = 206,0 \text{ kN}$  – Resistência à punção

**Utilização em cisalhamento**

$$\max(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}}) = 0,09 \leq 1,0$$

Onde:

- $F_{v,Ed} = 5,2 \text{ kN}$  – Força cortante (no plano de cisalhamento decisivo)
- $F_{v,Rd} = 58,8 \text{ kN}$  – Resistência ao cisalhamento
- $F_{b,Ed} = 5,2 \text{ kN}$  – Força de pressão (para chapa determinante)
- $F_{b,Rd} = 126,4 \text{ kN}$  – Capacidade de carga

Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

Interação da tração e cisalhamento (EN 1993-1-8 – Tabela 3.4)

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} = 0,72 \leq 1,0$$

Onde:

$F_{v,Ed} = 5,2 \text{ kN}$  – Força cortante (no plano de cisalhamento decisivo)

$F_{v,Rd} = 58,8 \text{ kN}$  – Resistência ao cisalhamento

$F_{t,Ed} = 94,0 \text{ kN}$  – Força de tração

$F_{t,Rd} = 105,8 \text{ kN}$  – Resistência à tensão

Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

**Soldas**

Item	Borda	T <sub>w</sub> [mm]	L [mm]	Cargas	σ <sub>w,Ed</sub> [MPa]	ε <sub>p1</sub> [%]	σ <sub>⊥</sub> [MPa]	T <sub>⊥</sub> [MPa]	T <sub>  </sub> [MPa]	U <sub>t</sub> [%]	U <sub>t,c</sub> [%]	Detalhamento	Status
PP1a	B1-bfl 1	▲ 6,0 ▲	200	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	69,9	0,0	-45,7	-29,8	-6,6	17,3	11,4	OK	OK
		▲ 6,0 ▲	200	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	113,0	0,0	68,1	-33,2	40,1	27,9	25,0	OK	OK
PP1a	B1-tfl 1	▲ 6,0 ▲	200	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	188,0	0,0	-45,0	-27,8	101,6	46,4	29,6	OK	OK
		▲ 6,0 ▲	200	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	353,4	0,0	231,7	-113,6	-104,0	87,3	82,7	OK	OK
PP1a	B1-w 1	▲ 6,0 ▲	493	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	241,8	0,0	116,6	118,4	-30,6	59,7	31,4	OK	OK
		▲ 6,0 ▲	493	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	236,9	0,0	116,1	-114,2	34,1	58,5	30,6	OK	OK
PP1b	B2-bfl 1	▲ 6,0 ▲	200	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	57,1	0,0	-4,6	-1,6	32,8	14,1	10,3	OK	OK
		▲ 6,0 ▲	200	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	115,2	0,0	69,7	-34,1	-40,5	28,5	26,6	OK	OK
PP1b	B2-tfl 1	▲ 6,0 ▲	200	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	190,7	0,0	-43,9	-26,2	-103,9	47,1	28,3	OK	OK
		▲ 6,0 ▲	200	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	346,8	0,0	227,2	-112,0	101,6	85,7	81,5	OK	OK
PP1b	B2-w 1	▲ 6,0 ▲	493	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	242,6	0,0	115,0	113,3	-48,7	60,0	29,6	OK	OK
		▲ 6,0 ▲	493	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	245,1	0,0	114,9	-116,7	44,7	60,6	29,9	OK	OK
PP1b	WID1a	▲ 5,0 ▲	200	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	168,6	0,0	82,2	85,0	-1,2	41,7	25,1	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	200	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	163,0	0,0	83,7	-80,7	0,9	40,3	25,2	OK	OK
B2-bfl 1	WID1a	▲ 5,0 ▲	998	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	79,9	0,0	-20,0	-19,9	-40,0	19,7	12,4	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	998	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	79,8	0,0	-19,9	20,0	39,9	19,7	12,4	OK	OK
WID1b	WID1a	▲ 5,0 ▲	978	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	172,1	0,0	-39,4	-39,5	-88,3	42,5	31,1	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	978	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	172,7	0,0	-40,1	39,9	88,4	42,7	31,2	OK	OK
PP1b	WID1b	▲ 5,0 ▲	170	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	277,3	0,0	-94,7	-146,8	-32,9	68,5	66,4	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	170	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	293,0	0,0	-134,6	134,8	-66,3	72,4	64,9	OK	OK
B2-bfl 1	WID1b	▲ 5,0 ▲	170	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	104,3	0,0	-3,3	-59,3	10,5	25,8	24,6	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	170	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	23,6	0,0	-5,0	8,7	10,2	5,8	5,8	OK	OK
PP1a	WID2a	▲ 5,0 ▲	200	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	167,2	0,0	85,7	82,8	3,4	41,3	25,8	OK	OK
		▲ 5,0 ▲	200	94 (Final) EQU_{4.4}-0,9G+1,5W(2)	172,8	0,0	84,2	-87,1	-3,1	42,7	25,8	OK	OK
B1-bfl 1	WID2a	▲ 5,0 ▲	998	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	63,3	0,0	-16,7	-16,8	-31,0	15,6	14,2	OK	OK

Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

Item	Borda	T <sub>w</sub> [mm]	L [mm]	Cargas	σ <sub>w,Ed</sub> [MPa]	ε <sub>pI</sub> [%]	σ <sub>⊥</sub> [MPa]	τ <sub>⊥</sub> [MPa]	τ <sub>  </sub> [MPa]	Ut [%]	Ut <sub>c</sub> [%]	Detalhamento	Status
		▲ 5,0 ▼	998	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	63,3	0,0	-16,7	16,7	31,1	15,7	14,2	OK	OK
WID2b	WID2a	▲ 5,0 ▼	978	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	162,2	0,0	-38,4	-38,5	-82,5	40,1	29,5	OK	OK
		▲ 5,0 ▼	978	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	161,4	0,0	-37,9	37,7	82,4	39,9	29,3	OK	OK
PP1a	WID2b	▲ 5,0 ▼	170	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	282,1	0,0	-130,8	-128,8	-65,0	69,7	68,7	OK	OK
		▲ 5,0 ▼	170	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	303,1	0,0	-138,4	140,4	67,4	74,9	67,1	OK	OK
B1-bfil 1	WID2b	▲ 5,0 ▼	170	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	246,4	0,0	-19,1	-138,5	-30,3	60,9	53,6	OK	OK
		▲ 5,0 ▼	170	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	56,3	0,0	-11,6	19,6	-25,1	13,9	13,9	OK	OK
B1-bfil 1	STIFF1a	▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	28,6	0,0	-3,8	-0,2	-16,3	7,1	7,1	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	34,3	0,0	0,8	2,8	19,6	8,5	8,5	OK	OK
B1-w 1	STIFF1a	▲ 4,0 ▼	425	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	18,0	0,0	10,3	8,3	-1,8	4,4	4,4	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	425	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	14,8	0,0	-5,1	5,6	5,8	3,7	3,7	OK	OK
B1-tfil 1	STIFF1a	▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	26,1	0,0	3,1	3,5	-14,5	6,5	6,5	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	27,9	0,0	-10,9	10,2	-10,8	6,9	6,9	OK	OK
B1-bfil 1	STIFF1b	▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	34,0	0,0	0,5	-2,9	-19,4	8,4	8,4	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	28,4	0,0	-3,9	0,4	16,3	7,0	7,0	OK	OK
B1-w 1	STIFF1b	▲ 4,0 ▼	425	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	14,8	0,0	-5,1	-5,5	-5,8	3,7	3,7	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	425	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	17,9	0,0	10,3	-8,3	1,8	4,4	4,4	OK	OK
B1-tfil 1	STIFF1b	▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	28,0	0,0	-10,9	-10,2	10,9	6,9	6,9	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	26,2	0,0	3,1	-3,5	14,6	6,5	6,5	OK	OK
B2-bfil 1	STIFF2a	▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	11,7	0,0	-1,7	0,1	-6,7	2,9	2,9	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	14,6	0,0	0,1	1,8	8,2	3,6	3,6	OK	OK
B2-w 1	STIFF2a	▲ 4,0 ▼	425	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	6,4	0,0	3,3	3,2	0,0	1,6	0,0	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	425	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	7,1	0,0	3,4	-3,6	-0,2	1,8	0,0	OK	OK
B2-tfil 1	STIFF2a	▲ 4,0 ▼	74	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{(0)}S+1,5psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2-)} (1)	10,6	0,0	-4,5	-3,9	3,9	2,6	2,6	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	74	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{(0)}S+1,5psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2-)} (1)	9,0	0,0	1,0	-1,4	5,0	2,2	2,2	OK	OK
B2-bfil 1	STIFF2b	▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{4.6}-0,9G+1,5W(9)	14,8	0,0	0,2	-1,7	-8,4	3,7	3,7	OK	OK

item	Borda	T <sub>w</sub> [mm]	L [mm]	Cargas	σ <sub>w,Ed</sub> [MPa]	ε <sub>pl</sub> [%]	σ <sub>⊥</sub> [MPa]	τ <sub>⊥</sub> [MPa]	τ <sub>  </sub> [MPa]	U <sub>t</sub> [%]	U <sub>t,c</sub> [%]	Detalhamento	Status
		▲ 4,0 ▼	74	96 (Final) EQU_{(4.6)}-0,9G+1,5W(9)	11,8	0,0	-1,7	-0,3	6,8	2,9	2,9	OK	OK
B2-w 1	STIFF2b	▲ 4,0 ▼	425	96 (Final) EQU_{(4.6)}-0,9G+1,5W(9)	7,1	0,0	3,4	3,6	0,2	1,8	0,0	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	425	96 (Final) EQU_{(4.6)}-0,9G+1,5W(9)	6,4	0,0	3,3	-3,2	0,1	1,6	0,0	OK	OK
B2-tfl 1	STIFF2b	▲ 4,0 ▼	74	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{(0)}S+1,5psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2-)} (1)	9,0	0,0	1,1	1,4	-4,9	2,2	2,2	OK	OK
		▲ 4,0 ▼	74	33 (Final) STR_{(6.34)}-1,35G+1,5Q+1,5psi_{(0)}S+1,5psi_{(0)}W+EHF_{(Dir2-)} (1)	10,5	0,0	-4,5	3,9	-3,9	2,6	2,6	OK	OK

#### Dados do projeto

Material	f <sub>u</sub> [MPa]	β <sub>w</sub> [-]	σ <sub>w,Rd</sub> [MPa]	0,9 σ [MPa]
S 275	430,0	0,85	404,7	309,6

#### Explicação do símbolo

T <sub>w</sub>	Espessura da garganta a
L	Comprimento
σ <sub>w,Ed</sub>	Tensão equivalente
ε <sub>pl</sub>	Deformação
σ <sub>⊥</sub>	Tensão perpendicular
τ <sub>⊥</sub>	Tensão de cisalhamento perpendicular ao eixo da solda
τ <sub>  </sub>	Tensão de cisalhamento paralela ao eixo da solda
U <sub>t</sub>	Utilização
U <sub>t,c</sub>	Estimativa da capacidade da solda
▲	Solda de filete
f <sub>u</sub>	Resistência última da solda
β <sub>w</sub>	Fator de correlação EN 1993-1-8 - Tabela 4.1
σ <sub>w,Rd</sub>	Resistência à tensão equivalente
0,9 σ	Resistência à tensão perpendicular: 0,9*f <sub>u</sub> /γ <sub>M2</sub>

#### Resultado detalhado para PP1a / B1-tfl 1

##### Verificação da resistência da solda (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 404,7 \text{ MPa} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)]^{0,5} = 353,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 309,6 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 231,7 \text{ MPa}$$

onde:

f <sub>u</sub> = 430,0 MPa	– Resistência última
β <sub>w</sub> = 0,85	– Fator de correlação EN 1993-1-8 - Tabela 4.1
γ <sub>M2</sub> = 1,25	– Coeficiente de ponderação

#### Uso da tensão

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0,87 \leq 1,0$$

Onde:

σ <sub>w,Ed</sub> = 353,4 MPa	– Tensão normal máxima transversal ao eixo da solda
σ <sub>w,Rd</sub> = 404,7 MPa	– Resistência à tensão equivalente
σ <sub>⊥</sub> = 231,7 MPa	– Tensão normal perpendicular à direção da garganta
σ <sub>⊥,Rd</sub> = 309,6 MPa	– Resistência à tensão perpendicular








#### Flambagem

A análise de flambagem não foi calculada.

Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

## Lista de material

### Operações de fabricação

Nome	Chapas [mm]	Formato	Nº.	Soldas Espessura da garganta [mm]	Comprimento [mm]	Parafusos	Nº.
PP1	P10,0x230,0-768,2 (S 275)		1	Filete duplo: 6,0	1788,8	M20 6.8	8
	P10,0x230,0-768,2 (S 275)		1				
WID1	P6,0x203,9-979,0 (S 275)		1	Filete duplo: 5,0	2519,0		
	P6,0x170,0-979,0 (S 275)		1				
WID2	P6,0x203,9-979,0 (S 275)		1	Filete duplo: 5,0	2519,0		
	P6,0x170,0-979,0 (S 275)		1				
STIFF1	P6,0x94,9-468,0 (S 275)		2	Filete duplo: 4,0	1147,6		
STIFF2	P6,0x94,9-468,0 (S 275)		2	Filete duplo: 4,0	1147,6		

### Soldas

Tipo	Material	Espessura da garganta [mm]	Tamanho da perna [mm]	Comprimento [mm]
Filete duplo	S 275	6,0	8,5	1788,8
Filete duplo	S 275	5,0	7,1	5038,0
Filete duplo	S 275	4,0	5,7	2295,2

### Parafusos

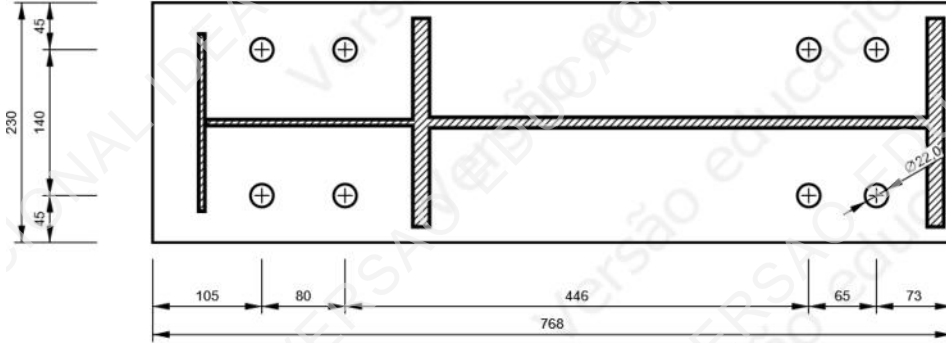
Nome	Comprimento da aderência [mm]	Contagem
M20 6.8	20	8

### Desenho

PP1 - PP1a

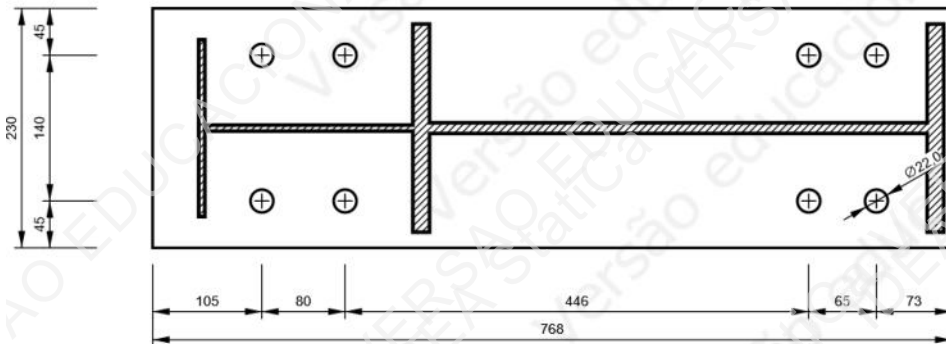
Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

P10,0x768-230 (S 275)



PP1 - PP1b

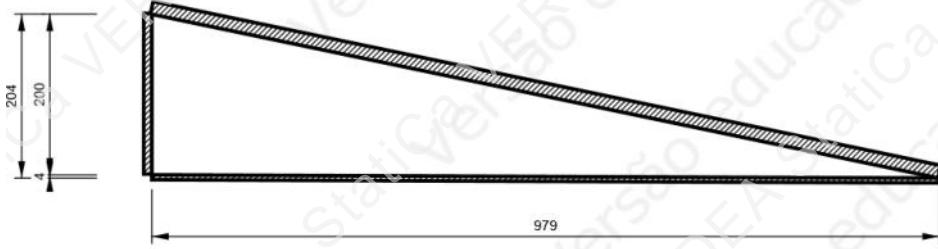
P10,0x768-230 (S 275)



Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

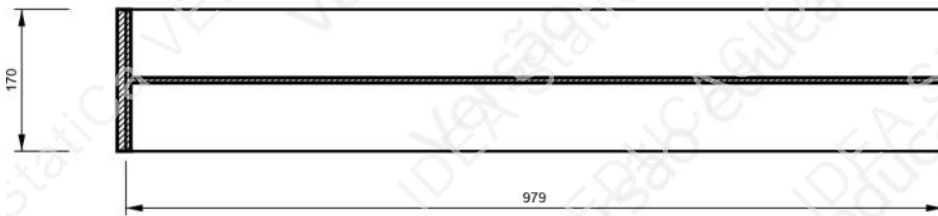
**WID1 - WID1a**

P6,0x979-204 (S 275)



**WID1 - WID1b**

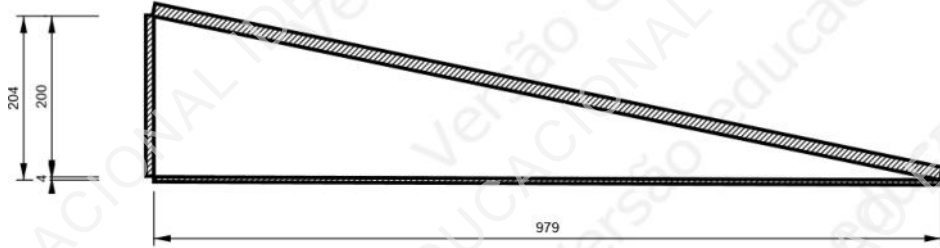
P6,0x979-170 (S 275)



Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

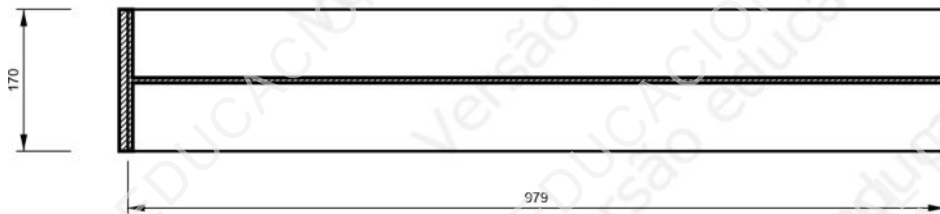
**WID2 - WID2a**

P6,0x979-204 (S 275)



**WID2 - WID2b**

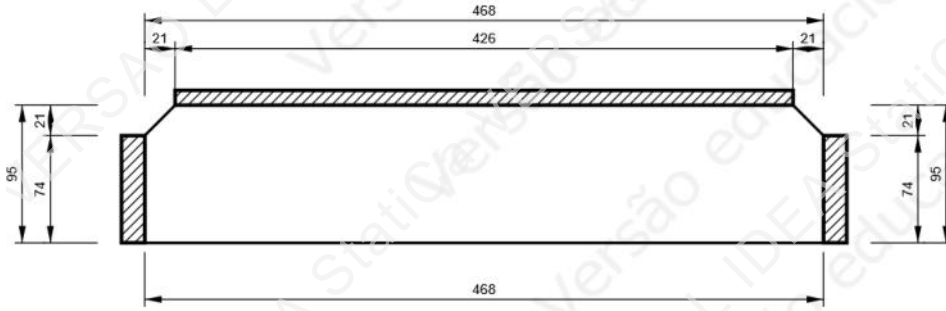
P6,0x979-170 (S 275)



Projeto:  
Projeto nº:  
Autor:

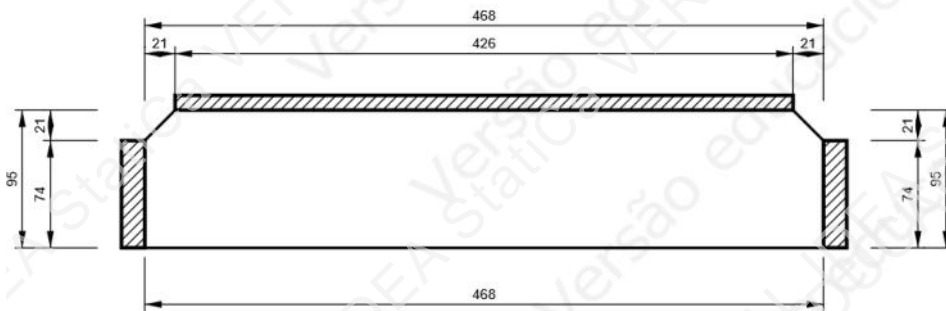
**STIFF1**

P6,0x468-95 (S 275)



**STIFF2**

P6,0x468-95 (S 275)



Projeto:  
 Projeto nº:  
 Autor:

## Configurações de norma

Item	Valor	Unidade	Referência
Coefficiente de ponderação $\gamma_{M0}$	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Coefficiente de ponderação $\gamma_{M1}$	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Coefficiente de ponderação $\gamma_{M2}$	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Coefficiente de ponderação $\gamma_{M3}$	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
Coefficiente de ponderação $\gamma_C$	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
Coefficiente de ponderação $\gamma_{inst}$	1,20	-	EN 1992-4: Table 4.1
Coefficiente da ligação $\beta_j$	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Área efetiva - influência do tamanho da malha	0,10	-	
Coefficiente de atrito - concreto	0,25	-	EN 1993-1-8
Coefficiente de atrito na resistência ao deslizamento	0,30	-	EN 1993-1-8 aba 3.7
Limite de deformação plástica	0,05	-	EN 1993-1-5
Detalhamento	Sim		
Distância entre os parafusos [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: aba 3.3
Distância entre os parafusos e a borda [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: aba 3.3
Verificação da resistência à ruptura do concreto	Ambos		EN 1992-4: 7.2.1.4 and 7.2.2.5
Usar $\alpha_b$ calculada na verificação da capacidade de carga.	Sim		EN 1993-1-8: aba 3.4
Concreto fissurado	Sim		EN 1992-4
Verificação da deformação local	Sim		CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Limite da deformação local	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Não linearidade geométrica (GMNA)	Sim		Análise com grandes deformações para ligações de seção tubular
Sistema contraventado	Não		EN 1993-1-8: 5.2.2.5