



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA
FACULDADE DE ENGENHARIA
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**MODELAÇÃO DE ESTRUTURAS EM LSF EM
BIM
APLICAÇÃO A UM CASO DE ESTUDO**

Dissertação apresentada em provas públicas para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, orientada por Professora Doutora Maria de Castro Fonseca Morão Manso

Samuel João da Silva Junior n.º a22004152

2025

www.ulusofona.pt



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA
FACULDADE DE ENGENHARIA
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**MODELAÇÃO DE ESTRUTURAS EM LSF EM
BIM**
APLICAÇÃO A UM CASO DE ESTUDO
VERSÃO FINAL

Dissertação defendida em provas públicas na Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa no dia 03 de setembro de 2025, nomeado pelo Despacho de Nomeação n.º: 425/2025, de 26 de agosto de 2025, perante o júri com a seguinte constituição:

Presidente: Professor Doutor Elói João Faria Figueiredo
Arguente: Professor Doutor Miguel Ângelo Dias Azenha

Orientador: Professora Doutora Maria De Castro Fonseca Morão Manso
Este trabalho também foi orientado pelo Professor Doutor Nuno Rafael da Silva Peres

Samuel João da Silva Junior n.º a22004152

2025

www.ulusofona.pt

Dedicatória

Este trabalho representa a síntese de inúmeras experiências, desafios e aprendizagens que marcaram esta etapa da minha vida. Não só o conhecimento, mas o apoio constante da minha família em compreender os sacrifícios necessários para concluir mais esta etapa.

Aos meus orientadores, minha sincera gratidão pela disponibilidade, rigor acadêmico e espírito crítico durante este desafio. As vossas sugestões e reflexões permitiram-me alcançar uma visão apurada e estruturada sobre o tema, vosso contributo foi decisivo para a consolidação desta investigação.

Resumo

A Portaria Nº 255/2023 de 7 de agosto favorece a utilização de modelos paramétricos com recurso à metodologia BIM na elaboração dos projetos de obras públicas. Dada a inexistência de sistemas paramétricos para modelação de estruturas em LSF considera-se importante o enquadramento desta tecnologia construtiva nos softwares de modelação BIM.

Este estudo tem como objetivo desenvolver métodos de modelação e parametrização de estruturas em LSF aplicando a metodologia BIM. Propõe-se o desenvolvimento de *templates* e famílias paramétricas de modo a facilitar o projeto e a análise estrutural de estruturas em aço leve. Neste âmbito, utilizam-se os softwares: Autodesk Revit para modelação da arquitetura e estrutura, Autodesk Robot Structural Analysis para realizar o modelo estrutural, e mCalcLSF, da empresa Stabile. Esta análise comparativa visa analisar o fluxo de trabalho, o nível de interoperabilidade e de detalhe construtivo.

Neste trabalho utiliza-se como caso de estudo de uma moradia a reabilitar, situada no Alto da Ajuda em Lisboa. Demonstra-se que é possível modelar estruturas em LSF usando a metodologia BIM no contexto da reabilitação de edifícios com um nível alto de detalhe, bem como tornar o LSF uma alternativa à construção tradicional.

Palavras-chave: Estruturas metálicas, LSF, BIM, Parametrização.

Abstract

Ordinance No. 255/2023 of 7 August encourages the use of parametric models through the application of the BIM methodology in the development of public works projects. Given the lack of parametric systems for modelling LSF structures, it is considered important to integrate this construction technology into BIM modelling software.

This study aims to develop methods for modelling and parameterising LSF structures using the BIM methodology. It proposes the development of templates and parametric families to facilitate the design and structural analysis of light steel frame structures. In this context, the following software is employed: Autodesk Revit for architectural and structural modelling, Autodesk Robot Structural Analysis for structural analysis, and mCalcLSF, developed by the company Stabile. This comparative analysis seeks to evaluate the workflow, level of interoperability, and construction detailing.

A case study is conducted on a residential building to be rehabilitated, located in Alto da Ajuda, Lisbon. The study demonstrates that it is possible to model LSF structures using the BIM methodology in the context of building rehabilitation, achieving a high level of detail, while also positioning LSF as a viable alternative to traditional construction methods.

Keywords: Steel structures, LSF, BIM, Parameterization

Abreviaturas, siglas e símbolos

AISI – American Iron and Steel Institute

BIM – Modelação da Informação e Construção

IFC – Industry Foundation Classes, formato de ficheiro de transferência de dados entre diferentes programas de modelação utilizado na construção civil

LOD – Nível de detalhamento do modelo BIM

LSF – Light Steel Frame ou Framing

RVT – Programa de modelação Autodesk Revit

T3 – Designação de uma residência unifamiliar com 3 quartos, sala cozinha e casa-de-banho

IA – Inteligência artificial

Índice

1	Introdução	15
1.1	Objetivos e Metodologia.....	18
1.2	Estrutura do Trabalho	18
2	Estruturas em aço leve	21
2.1	Considerações Gerais.....	21
2.2	Tipos de Perfis.	22
2.3	Ligações para LSF	24
2.4	Tipos de elementos em LSF.....	28
2.4.1	Paredes.....	28
2.4.2	Lajes	33
2.4.3	Cobertura	35
2.4.4	Escadas	37
2.4.5	Consolas	39
3	Caso de estudo	40
3.1	Descrição do caso de estudo	41
3.2	Modelação de Famílias para Arquitetura e Estrutura	44
3.2.1	Paredes.....	47
3.2.2	Lajes e Cobertura.....	52
3.2.3	Treliças	55
3.2.4	Consolas e Vãos	59
3.2.5	Análise do Modelo Analítico.....	63
3.3	Interface Robot	65
3.4	Interface mCalc/Lsf.	69
4	Análise de Resultados	79
4.1	Autodesk Revit e Robot.....	82
4.2	mCalc/Lsf.....	84
4.3	Síntese de resultados	90
5	Conclusão.....	97
	Bibliografia.....	102
6	ANEXOS	106
6.1	BEP – Plano de Execução BIM	106

Índice de Figuras

Figura 2.1 Alinhamento vertical.....	22
Figura 2.2 Tipos de Perfis.	23
Figura 2.3 Tios de ligações e reforços.....	25
Figura 2.4 Tipos de ligações e reforços.....	25
Figura 2.5 Bucha expansão- Pecol.pt.....	27
Figura 2.6 Ligação Metal x Betão.....	28
Figura 2.7 Fixação em apoios intermédios de painéis de revestimento	30
Figura 2.8 Composição de paredes montantes C e canais U.....	30
Figura 2.9 Composição de parede em LSF	31
Figura 2.10 Fixador com varão roscado e luva para bucha química.....	32
Figura 2.11 Conjunto Parede, Montantes e painéis de revestimento	32
Figura 2.12 Detalhe construtivo da laje em LSF.....	34
Figura 2.13 Vigas compostas	35
Figura 2.14 Pormenor de ligação da viga de cumeeira	36
Figura 2.15 Por menor de ligação de viga no beirado com reforço do apoio.....	37
Figura 2.16 Escada apoiada a parede	38
Figura 2.17 Escada fechada.....	38
Figura 2.18 Pormenor consola	39
Figura 4.1 Classificação Solos no alto da Ajuda.....	42
Figura 4.2 Fase Inicial Cores Convencionais.....	43

Figura 4.3 Abertura de roços e fundação caso de estudo	44
Figura 4.4 Elementos Parede Cortina e Propriedades	48
Figura 4.5 Ferramenta Matriz.....	49
Figura 4.6 Sistema de Vigas Para Paredes em LSF	50
Figura 4.7 Plano de Trabalho para Sistema de Vigas.....	51
Figura 4.8 Modelação Laje LSF.....	52
Figura 4.9 Inserção de montante numa cobertura.	53
Figura 4.10 Adição de montante numa parede cortina.....	53
Figura 4.11 Definir Direção do Vão Vertical.....	54
Figura 4.12 Trelíça Plana Parametrizada	56
Figura 4.13 Propriedades de Tipo Trelíça Parametrizada	56
Figura 4.14 Plano de Trabalho	57
Figura 4.15 Inserir perfil Trelíça.....	57
Figura 4.16 Modelo analítico Trelíça LSF	58
Figura 4.17 Corrigindo ligação Nó Analítico.....	59
Figura 4.18 Preparação consola	60
Figura 4.19 Consola – Sistema de Travamento.....	60
Figura 4.20 Pormenor Construtivo Algeroz.....	61
Figura 4.21 Verga tipo caixa.....	61
Figura 4.22 Verga com Trelíça	62
Figura 4.23 Viga composta para vão com 5 metros.	63
Figura 4.24 Ferramenta de automação analítica.....	63

Figura 4.25 Estrutura analítica 1º piso, sótão e cobertura	64
Figura 4.26 Biblioteca Robot	67
Figura 4.27 Detalhe da Trelça Vão – Revit.....	69
Figura 4.28 Detalhe da Trelça Modelo analítico – Revit	69
Figura 4.29 Configuração do modelo estrutural no Mcalc/Lsf	71
Figura 4.30 Restrição com contraplacados.....	72
Figura 4.31 Configuração Vergas	73
Figura 4.32 Ferramentas de modelação parametrizadas	74
Figura 4.33 Configuração de cargas.....	75
Figura 4.34 Configuração da ação do vento.....	75
Figura 4.35 Fator topográfico.....	76
Figura 4.36 Render 3D do 1º Piso no mCalc/LSF.....	77
Figura 4.37 Modelo analítico no mCalc/LSF.....	78
Figura 4.38 Ligações Parafusos Modelo Analítico	78
Figura 5.1 Análise Estrutural Laje e Trelça mCalcLSF.....	85
Figura 5.2 Análise estrutural Trelça.....	85
Figura 5.3 Detalhamento construtivo	86
Figura 5.4 Limite de Serviço (SD) e de Resistência (RD) (mCalcLSF, 2021)	87
Figura 5.5 Momento em Y da consola	87
Figura 5.6 Planta do piso 1 da consola.....	88
Figura 5.7 Viga Composta telhado “Alma Cheia”	89
Figura 5.8 Estrutura Completa	89

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Medidas standard LSF	24
Tabela 2.2 Tensão de corte e arrancamento bucha química.....	27
Tabela 4.1 Descritivo de sobrecargas.....	81
Tabela 4.2 Descritivo da carga permanente	82
Tabela 4.3 Vantagens e desvantagens entre softwares quanto ao interface do utilizador	92
Tabela 4.4 Vantagens e desvantagens entre softwares quanto a Ferramentas automatizadas.....	92
Tabela 4.5 Vantagens e desvantagens do Modelo Analítico para estruturas em LSF.....	93
Tabela 4.6 Vantagens e desvantagens para Alinhamentos.....	93
Tabela 4.7 Vantagens e desvantagens Alterações e correções automáticas.....	93
Tabela 4.8 Vantagens e desvantagens para Projeto de detalhe construtivo.....	94
Tabela 4.9 Vantagens e desvantagens para Quantificação de elementos.....	95
Tabela 4.10 Vantagens e desvantagens para Exportação de arquivos.....	95
Tabela 4.11 Vantagens e Desvantagens para Tempo de modelação	96

1 Introdução

Uma breve análise da evolução da construção civil ao longo da história pode ajudar a compreender a importância do desenvolvimento tecnológico, o estudo contínuo de novas tecnologias, novos métodos de execução e técnicas de gestão, juntamente com o incrível incremento no número de soluções construtivas, que impulsiona um futuro mais sustentável e eficiente. Hoje percebe-se que a descentralização do conhecimento no processo construtivo permitiu o surgimento de novos atores compartilhando e trabalhando juntos. Esta evolução tecnológica possibilitou o desenvolvimento industrial e, no setor da construção civil, não foi diferente, conforme destaca (Mateus, 2011), ao apresentar como a progressiva transformação das técnicas construtivas e a colaboração entre diferentes agentes moldaram o panorama da construção moderna.

Há poucas décadas o pedreiro ou mestre construtor, ou como muitas vezes eram chamados artesãos, eram responsáveis por todas as informações de um projeto, só ele tinha o controle e informação completa da construção, era a experiência de vida baseava em erros e acertos que determinava o nível de sucesso de uma obra. Este processo construtivo já quase não existe, com o tempo foram surgindo novas necessidades, mais conforto, mais eficiência energética, mais isolamento acústico e isolamento térmico, temas e preocupações que até então não se haviam considerado,

Na era digital ter acesso a informação em tempo real é cada vez mais comum. Então porque na construção civil este processo é tão lento? As informações sobre alterações aos projetos e as inúmeras versões de um projeto nem sempre são devidamente partilhadas entre todos os intervenientes. Ter um modelo único em ambiente BIM (da designação em língua inglesa *Building Information Modelling*), compartilhado e colaborativo, permite que a informação seja consultada em tempo real. Não existindo versões de um mesmo projeto, somente existe “o projeto”. Os modelos tridimensionais fornecem dados como dimensões, volume, materiais, fornecedores, fichas técnicas e toda a informação que se considere ser necessária.

Observando os exemplos do passado e o impacto da construção civil no meio ambiente e na economia de todos os países, o desenvolvimento sustentável é a chave de um

futuro melhor para a humanidade e o planeta, o que implica fazer mais com menos: recursos, mão-de-obra, desperdícios, manutenção, energia, alterações durante o processo construtivo, despesas e atrasos de obra, menos serviços e consequentemente com mais eficiência. Segundo (Mendonça, 2010), a adoção de práticas sustentáveis na construção civil permite não apenas reduzir os impactos ambientais e os custos operacionais das edificações, mas também melhorar a qualidade de vida e promover o uso racional dos recursos naturais.

O BIM como um processo de modelação da informação surgiu da necessidade de mais assertividade, previsibilidade e redução de custos, e como todo processo de mudança tecnológica implica mudanças na base do processo construtivo, a formação de profissionais não se limita aos projetistas ou gestores de projeto, esta mudança deverá ocorrer em toda a cadeia de produção, onde os intervenientes deverão aprender a utilizar um modelo 3D em ambiente BIM compartilhado e colaborativo.

Em busca de promover o desenvolvimento e alternativas mais sustentáveis na construção civil este estudo tem como objetivo desenvolver métodos de modelação e parametrização de elementos estruturais em LSF (da designação em língua inglesa *Light Steel Framing*) utilizando a metodologia BIM. Este sistema tem sido uma das inúmeras alternativas aos métodos de construção tradicionais, sendo um sistema construtivo com componentes pré-fabricados, com possibilidade de montagem em obra, envolvendo um planeamento sistemático da construção. Na literatura especializada, diversos trabalhos têm evidenciado a necessidade de uma transformação no setor da construção civil, visando edificações mais eficientes, com baixo impacto ambiental e custo reduzido. Segundo (Tavares, 2025) a pré-fabricação pode reduzir os impactos e os custos do parque edificado da EU27 contribuindo assim para atingir os objetivos ambientais da União Europeia e aumentar a competitividade do setor da construção.

Conforme (Moreira, 2012), face à crescente falta de habitação em Portugal, a reabilitação com estruturas em LSF tem como objetivo prolongar a vida útil do parque edificado, reduzindo custos e resíduos numa fração do tempo de construção. Para tal, é necessário reconhecer duas limitações apontadas por (Ferreira, 2014). A primeira refere-se ao limite máximo de três pisos admissíveis, enquanto a segunda relaciona-se com restrições na execução de aberturas de grandes vãos, as quais podem condicionar o desempenho do edifício perante ações sísmicas.

Para além destas limitações, (Rego, 2012) destaca as dificuldades associadas à modelação e à análise estrutural em LSF, que apresentam elevada complexidade em virtude do grande número de elementos envolvidos e das particularidades de alguns componentes, como as fitas metálicas e os painéis OSB. O estudo comparativo de (Andrade, 2016) entre construções tradicionais e em LSF destaca as vantagens do sistema leve, corroborado por pesquisas sobre sustentabilidade (Mendonça, 2010) que apontam para a importância do planeamento de todas as etapas construtivas com minimização do desperdício, desde a conceção até a renovação. Entre as referências mais relevantes, sobressai a história do LSF e a elaboração do *Manual de Conceção de Estruturas e Edifícios em LSF* (Silvestre, Pires, & Santos, 2013), obra fundamental para a difusão das construções habitacionais em LSF em Portugal, sobretudo considerando o grau de complexidade envolvido na modelagem dessas estruturas. Finalmente conforme destaca (Zhou, Sun, Chen, Yang, & Liu, 2023) um projeto otimizado e automatizado de estruturas ligeiras em aço em zonas rurais chinesas utilizando a modelação da informação da construção e o algoritmo Simulated Annealing, destaca-se pela crescente integração de softwares de modelação com inteligência artificial, que tem potencial para reduzir custos e acelerar a adoção do LSF no mercado.

Este trabalho distingue-se dos anteriores por integrar métodos de modelação paramétrica em BIM especificamente aplicados a estruturas em LSF para reabilitação de edifícios, propondo templates e famílias parametrizadas adaptadas ao contexto português. Enquanto a literatura existente se limita, em grande parte, à caracterização estrutural e construtiva do LSF, esta dissertação avança ao propor e validar fluxos de trabalho integrados em ambiente BIM, com análise comparativa entre diferentes softwares, aplicados a um caso de reabilitação real.

Este estudo apresenta os parâmetros de projeto e análise com objetivo para maximizar o processo de modelação, incluindo a criação de um template estrutural e de famílias parametrizadas em BIM visando analisar a aplicabilidade de estruturas em LSF na reabilitação de edifícios. Além disso realizou-se uma modelação estrutural com dois programas distintos, o Autodesk Robot Structural Analysis e o mCalcLSF da empresa (www.stabile.com.br) que visa demonstrar que é possível através de um projeto em BIM projetar e proceder uma análise estrutural de uma construção em LSF de modo a ser competitivo no mercado da construção civil.

1.1 Objetivos e Metodologia

O presente estudo está inserido no tema modelação em BIM das estruturas de um edifício cuja reabilitação e ampliação será executada em LSF tendo 3 principais objetivos.

A finalidade principal é desenvolver métodos de modelação e parametrização de estruturas em LSF aplicados à metodologia BIM. Para tal, este objetivo foi desdobrado em três objetivos específicos.

O primeiro objetivo é a criação de um template estrutural em Revit (Autodesk) com famílias parametrizadas de estruturas em LSF, e em complemento demonstrar a aplicação no desenvolvimento de um projeto de modo que maximize o processo de criação, detalhe construtivo e análise estrutural.

O segundo objetivo é o detalhe construtivo do sistema LSF, incluindo as ancoragens, montagem das estruturas LSF, montantes verticais, horizontais, diagonais, complementares, reforço de vãos, pilares e vigas.

O terceiro objetivo é proceder à análise estrutural do “caso de estudo”, onde serão utilizados dois programas de análise estrutural, o Autodesk Robot e o mCalcLSF. Os resultados serão analisados conforme a resultados de cálculo, praticidade no fluxo de trabalho, nível de interoperabilidade e detalhe.

O caso de estudo deste trabalho é uma reabilitação de uma moradia situada no Alto da Ajuda com tipologia final T3, com uma área de implantação de 83,3m² e área total de 193,6 m² divididos em 3 pisos.

1.2 Estrutura do Trabalho

Este documento está organizado em 6 capítulos, e como o objetivo principal é o desenvolvimento da modelação de estruturas em LSF a base deste trabalho é a criação dos templates em Revit e as suas respetivas famílias para a reabilitação de uma moradia de três pisos onde o antigo e o novo devem interagir de forma a cumprir com todas as normas vigentes e o projeto do edifício.

O capítulo 1 está composto por uma breve introdução histórica e o desenvolvimento tecnológico na construção civil, descreve como podemos introduzir a modelação da informação na construção em LSF, destacando os principais objetivos deste estudo.

No capítulo 2 apresentam-se as considerações gerais sobre as estruturas em LSF tendo em conta o tipo de perfis e ligações mais comuns nesta solução construtiva, bem como a caracterização dos elementos necessários à execução de paredes, lajes, coberturas, escadas e consolas.

O capítulo 3 diz respeito à metodologia aplicada no que se refere aos softwares utilizados e as razões da escolha do presente caso de estudo. No subcapítulo 3.1 procede-se à descrição detalhada do caso de estudo e no subcapítulo 3.2 descreve-se a criação de famílias para elementos arquitetónicos e elementos estruturais no Revit, salientando-se a modelação dos principais componentes construtivos, nomeadamente as paredes, lajes, cobertura, treliças, consolas e vãos, no qual se destacam alguns aspetos importantes como o sentido das cargas da estrutura, a ligação dos perfis, o sistema de ancoragem e contraventamento, montagem dos painéis de parede, montagem da cobertura, sistema de fixação dos painéis, entre outros

O capítulo 4 inclui uma análise comparativa entre os softwares Autodesk Robot Structural Analysis, mCalcLSF e Autodesk Revit na modelação e análise estrutural de estruturas em LSF aplicadas à reabilitação. Neste trabalho avalia-se a integração entre os modelos analíticos, as limitações no reconhecimento de perfis e ligações, a gestão de templates e a eficiência no fluxo de trabalho. Além disso, destaca-se a importância da correta configuração do modelo analítico no Revit para exportação ao Robot, bem como as vantagens e restrições específicas do mCalcLSF, desenvolvido para o sistema LSF.

No capítulo 5 apresenta-se os procedimentos de modelação da estrutura em LSF, a configuração do modelo analítico no ambiente BIM, a definição das cargas de projeto e a descrição dos métodos e parâmetros utilizados na análise estrutural. Neste trabalho procede-se à modelação estrutural de toda a edificação com base em dois softwares visando comparar os resultados obtidos, a facilidade de utilização para estruturas em LSF e apontar as dificuldade de interface dos mesmos.

Por fim, no Capítulo 6 sintetizam-se as principais conclusões retiradas do estudo, estabelecendo recomendações para trabalhos futuros e destacando as potencialidades e limitações identificadas no decorrer da modelação da estrutura em LSF.

2 Estruturas em aço leve

2.1 Considerações Gerais

O processo de construção em aço leve, referido tipicamente como LSF (estrutura de aço leve, da designação em língua inglesa, Light Steel Framing), surgiu nos Estados Unidos e foi projetado inicialmente para construção de moradias com dois pisos, no máximo. Em 1997 foram publicados pela primeira vez os regulamentos estruturais segundo as normas vigentes na época, desenvolvidos pelo AISI (American Iron and Steel Institute) e por uma comissão de investigadores, fabricantes, projetistas e construtores em LSF.

A mudança do 2D para o BIM deve ser acompanhada não somente pelos arquitetos, engenheiros e construtores a mudança começa também nos departamentos de engenharia das fábricas, fornecer um modelo digital parametrizado gratuito que corresponda exatamente ao produto físico comercializado, com informações detalhadas, especificações de materiais, dimensões e propriedades efetivas. Ter acesso a estas famílias faz a ponte entre origem dos materiais e seu destino.

O sistema estrutural em LSF é formado por perfis metálicos alinhados verticalmente ou horizontalmente, revestidos com painéis de modo a formar painéis estruturais, dando origem às paredes e lajes do edifício. O alinhamento das almas dos perfis definem a distribuição das cargas tendo como objetivo evitar concentrar cargas e excentricidades, em resumo alinhar a alma das vigas com a alma dos montantes com distâncias iguais ou múltiplos da mesma distância, como indica a Figura 2.1.

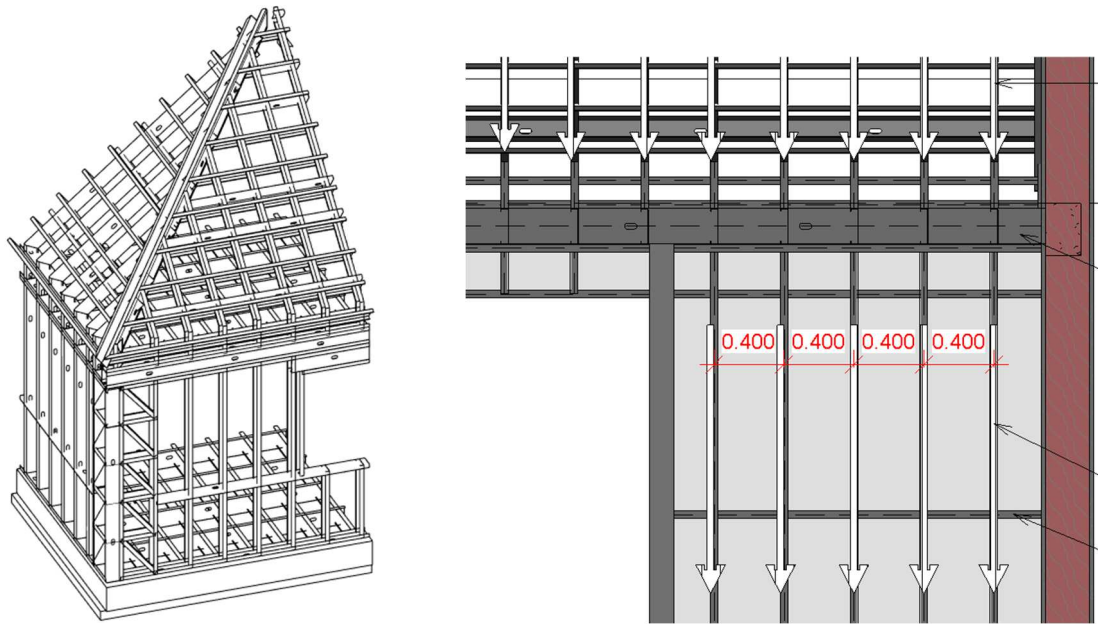


Figura 2.1 Alinhamento vertical

2.2 Tipos de Perfis.

No sistema LSF os perfis são fabricados a partir de bobinas de chapa de aço e são revestidos por imersão a quente contínuo. Estes perfis são feitos a partir de aços de baixo carbono para moldagem a frio, devem ter espessura de 0,35 até a 3 mm dependendo das propriedades mecânicas necessárias (CEN E. 1., 2015).

Os perfis mais utilizados em estruturas em LSF estão representados na Figura 2.2.

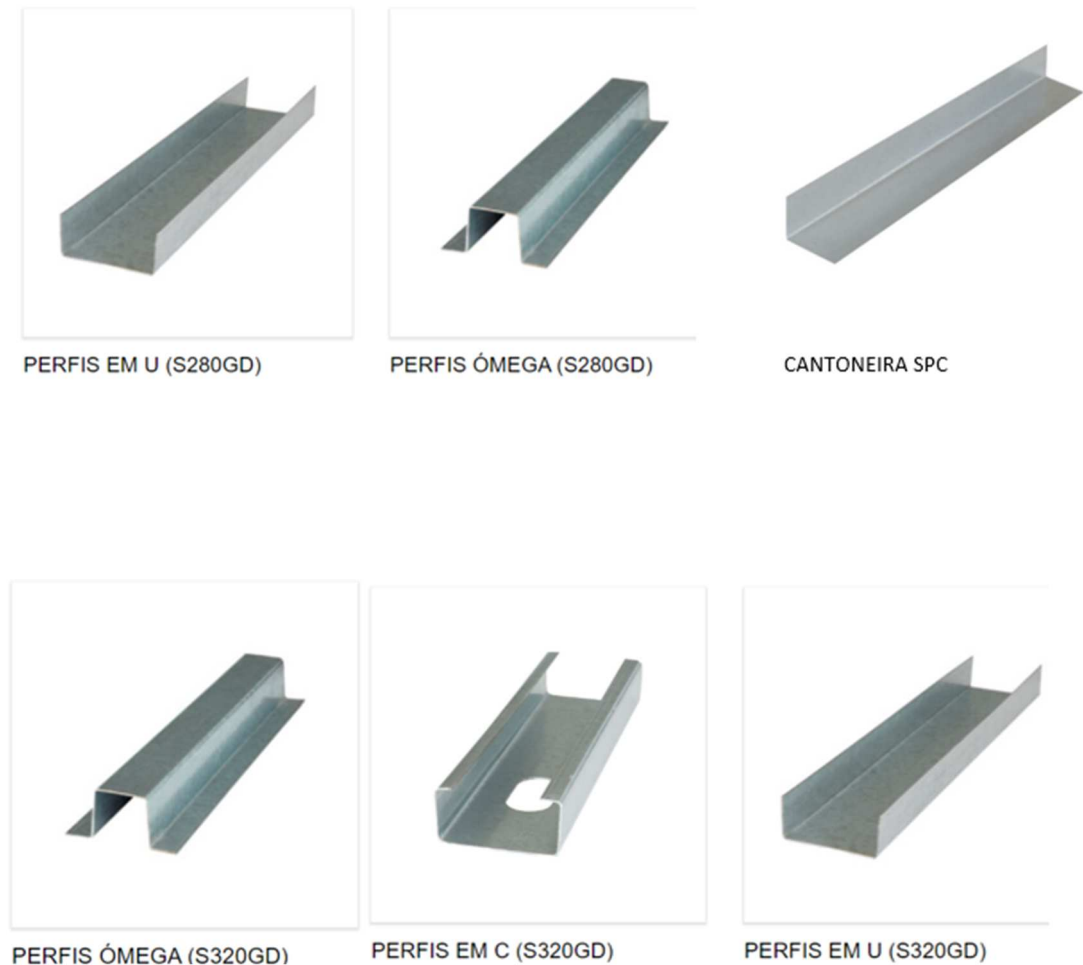


Figura 2.2 Tipos de Perfis.

A tensão mínima do aço disponível é de S280GD conforme fornecedores e fabricantes, esta classificação corresponde a um aço estrutural com limite de escoamento de no mínimo 280 MPa, também é fornecido em S320GD para casos em que se necessite maiores momentos resistentes.

É aconselhável que os perfis sejam perfilados e não quinados, a quinagem pode causar deformação excessiva na zona da dobra atingindo o limite de tensão última, além de apresentar indício de desgaste. As aberturas em paredes e pisos devem vir perfuradas e tratadas com zinco no estaleiro de fabricação. Tal processo diminui o tempo de montagem, reduzindo o custo da obra (Silvestre, Pires, & Santos, 2013).

Abaixo segue Tabela 2.1 com medidas fornecidos atualmente no mercado. Note-se que conforme a norma (CEN E. 1., 2015). a espessura máxima fornecida para perfis moldados a frio ronda entre 1,25 mm e os 2,5 mm no máximo.

Tabela 2.1 - Medidas standard LSF

PERFIS ÓMEGA (DX51D)	PERFIS EM C (S280GD)	PERFIS EM U (S280GD))	PERFIS ÓMEGA (S280GD
W44,5×1,25	C90x43x15x1,5	U93x43x1.5	W44,5×1,25
W45,3×2,00	C150x43x15x1,5	U153x43x1.5	W45,3×2,00
WR44,5×1,25	C200x43x15x2,0	U204x43x2.0	WR44,5×1,25
WR45,3×2,00	C250x43x15x2,5	U255x43x2.5	WR45,3×2,00

PERFIS EM C (S320GD)	PERFIS EM U (S320GD)	ÓMEGA (S320GD)
C90x43x15x1,5	U93x43x1.5	W44,5×1,25
C150x43x15x1,5	U153x43x1.5	W45,3×2,00
C200x43x15x2,0	U204x43x2.0	WR44,5×1,2
C250x43x15x2,5	U255x43x2.5	WR45,3×2,00

2.3 Ligações para LSF

Além dos perfis que constituem a estrutura existem os sistemas de ligações. As ligações podem ser executadas com parafusos auto-roscante e auto-perfurantes, cantoneiras e/ou fixadores específicos. Existem no mercado alguns tipos de ligações standard, estes sistemas asseguram a fixação da uma estrutura à fundação, vigas ou paredes existentes. A estrutura em LSF por ter um peso próprio tão baixo deve ter muitas ligações, apesar do mercado poder oferecer uma gama de tipos de ligações e reforços, algumas são executadas com os próprios perfis em U ou C, conforme os exemplos apresentados nas Figuras 2.3 e 2.4.

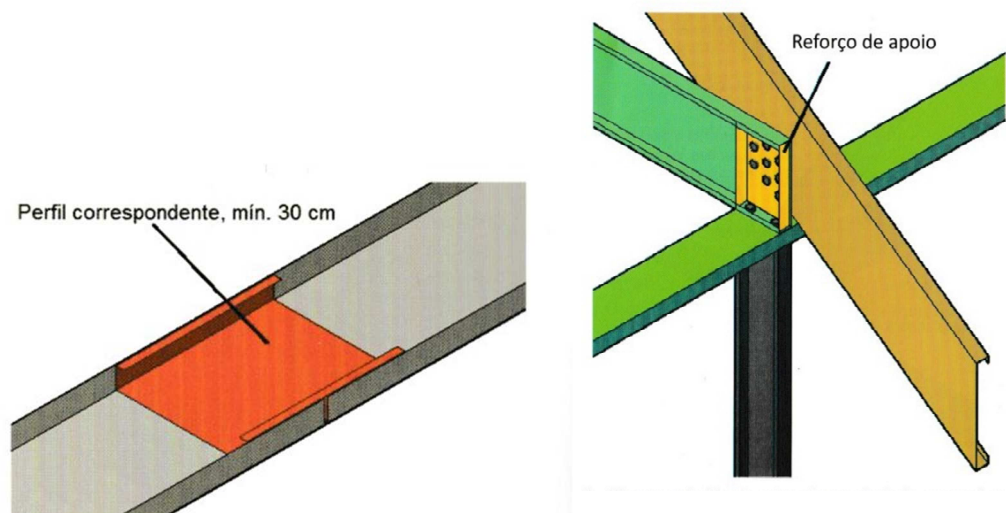


Figura 2.3 Tios de ligações e reforços

Esquadro  Elemento de união para perfis C90-C300 e U90-U300	Contraventamento  Fitas em Aço Galvanizado
Peça de ancoragem  200X60X50 3MM	Ancoragem 150X60X50 3MM  150X60X50 3mm em forma de "L"

Figura 2.4 Tipos de ligações e reforços

As ligações entre perfis podem ser diversas, o que difere entre elas é o tipo de material que compõe esta ligação, para cada situação existe um tipo e quantidade específica de parafusos. Neste estudo para um pré-dimensionamento utilizou-se o “método prescritivo” nome dado a um método de construção limitado, onde estão presentes diversas tabelas de dimensionamento segundo parâmetros pré-estabelecidos, dependendo do número de pavimentos, altura, distância entre vãos, ações do vento, ação sísmica entre outros.

O Manual de Conceção de Estrutura e Edifícios em LSF (Silvestre, Pires, & Santos, 2013) é uma tradução do método prescritivo publicado pela primeira vez em 1997 desenvolvidos pelo AISI. Neste trabalho sempre que se mencione o Manual de Conceção de Estruturas em LSF o mesmo será designado como “manual” ou “método prescritivo”. Para o dimensionamento das ligações o manual fornece uma série de tabelas onde indicam o tipo de parafusos a utilizar, o seu espaçamento e as quantidades necessárias para cada ligação ou reforço. É importante salientar que numa ligação com parafusos a estrutura metálica sempre deve ser aparafusada do perfil mais fino para o mais espesso e que os reforços nunca devem possuir uma espessura inferior ao perfil de apoio.

Os tipos de ligações podem ser:

- Aço x Aço
- Aço x Madeira
- Aço x Betão
- Aço x gesso cartonado

As ligações entre aço e betão pode ser feita de duas maneiras (Figura 2.6), por via mecânica ou química. A bucha mecânica obtém um aperto através da expansão resultante do torque do parafuso expandindo as abas, produzindo atrito (Figura 2.5)

. Este tipo de ligação não é muito utilizada por não serem indicadas para cargas muito elevadas e se deteriorarem com o tempo. Segundo a ficha técnica (Pecol.PT) uma bucha metálica M12 tem uma tensão de arrancamento de 7,6 kN para um torque de 50 Nm.



Figura 2.5 Bucha expansão- Pecol.pt

Por outro lado, a ligação química Tabela 2.2 e Figura 2.6 é descrita como a mais indicada para fixação das ancoragens dos canais de “aço leve” (Silvestre, Pires, & Santos, 2013). Esta funciona pelo princípio do atrito da capacidade adesiva dos agentes. A superfície que entra em contato deve estar limpa e ser rugosa. A ficha técnica (soudal.pt/diy/produtos/buchas-quimicas, 2024.01.19) indica a força de torque, força de arrancamento, força de corte e outros parâmetros. Se percebe que por mais que dobramos o diâmetro da bucha metálica não tem um efeito linear na tensão de arrancamento estando relacionada com o torque de aperto.

Tabela 2.2 Tensão de corte e arrancamento bucha química.




Ficha Técnica

SOUDAFIX CA1400

Revisão: 13/09/2007
Pág. 2 de 2

Parâmetros de instalação e forças:

Diâmetro do varão	d	mm	M8	M10	M12	M16	M20
Diâmetro do furo	d _B	mm	10	12	14	18	24
Profundidade do furo	h	mm	80	90	110	125	170
Distância mínima às arestas	C _m in	mm	40	50	60	70	90
Distância mínima entre furos (axial)	S _m in	mm	80	90	110	125	170
Máxima força de aperto (torque)	T	Nm	10	20	40	60	120
Tensão de arrancamento	N _{Rd}	kN	6,6	9,9	14	15,7	26,3
Tensão de corte	V _{Rd}	kN	5,3	8,3	12,1	22,6	35,3

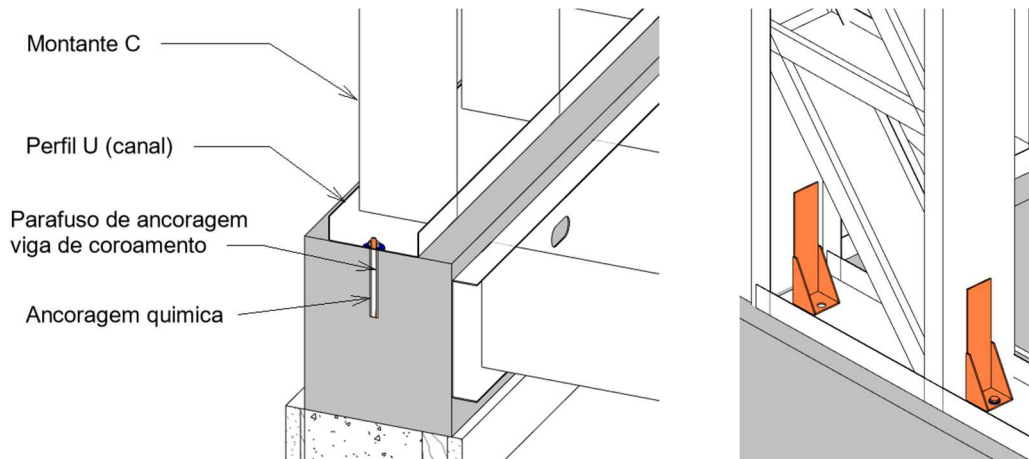


Figura 2.6 Ligação Metal x Betão

Considera-se então que uma ancoragem com bucha química é mais eficiente do que uma ancoragem com bucha mecânica, por exemplo para o diâmetro M12 uma bucha química tem 84% mais de tensão de arrancamento do que uma bucha mecânica. No Manual de (Silvestre, Pires, & Santos, 2013) na tabela 6.50, são definidas as ligações entre paredes, fundações e pavimentos. Neste caso, os dados que definem a tensão resistente necessária ao arrancamento são a distância do vão da cobertura, velocidade do vento e espaçamento (in-line framing).

2.4 Tipos de elementos em LSF

Numa estrutura LSF, os painéis que revestem a estrutura exterior e interior podem ser formados por placas de OSB (*Oriented Strand Board* em inglês) ou gesso cartonado (este último apenas no interior). Quando alinhados com a estrutura, esses painéis conferem rigidez e atuam como elementos de contraventamento. De forma semelhante, as lajes revestidas com placas de OSB, proporcionam rigidez aos pisos e paredes, contribuindo para o desempenho global do edifício.

2.4.1 Paredes

Em construções LSF, as paredes exercem simultaneamente funções arquitetónicas e estruturais. Elas são compostas por perfis metálicos Figura 2.8, montantes (perfil C) e

perfis canal (perfil U) dispostos de forma alinhada com os elementos estruturais dos pisos superior e inferior. Os perfis são revestidos com painéis de OSB ou gesso cartonado, formando painéis estruturais que resistem às ações sísmicas e do vento.

A espessura dos perfis deve ser dimensionada considerando-se o espaçamento entre montantes, as dimensões da edificação (largura e altura), além das ações de sobrecarga de neve e vento. Conforme indicado no método prescritivo a carga mínima de neve admissível em regiões de Portugal sem incidência de neve é de $1,0 \text{ kN/m}^2$, conforme apresentado na Tabela 6.2 do manual (Silvestre, Pires, & Santos, 2013).

O contraventamento das paredes é geralmente feito com fitas metálicas aplicadas em ambas as faces. Para os montantes até 2,4 m, as fitas são fixadas a meia altura. Para alturas até 3,0 m, recomenda-se fixação a $1/3$ e $2/3$ da altura. É comum também a utilização de bloqueadores à altura das vergas de janelas no perímetro exterior. O espaçamento entre os montantes é definido de modo a coincidir com as uniões dos painéis de OSB, garantindo a fixação completa ao longo das bordas, Figuras 2.7 e 2.9.

Para fixação dos montantes em paredes de alvenaria, utilizam-se ancoragens mecânicas ou químicas, conforme descrito na secção 2.3. Em situações de remodelação de edifícios com estrutura mista, como no presente estudo, o reforço da parede de alvenaria foi executado em betão armado, permitindo o uso de buchas metálicas de casquilho ou buchas químicas com luvas. Em paredes exclusivamente de alvenaria, a opção recomendada é a bucha química.

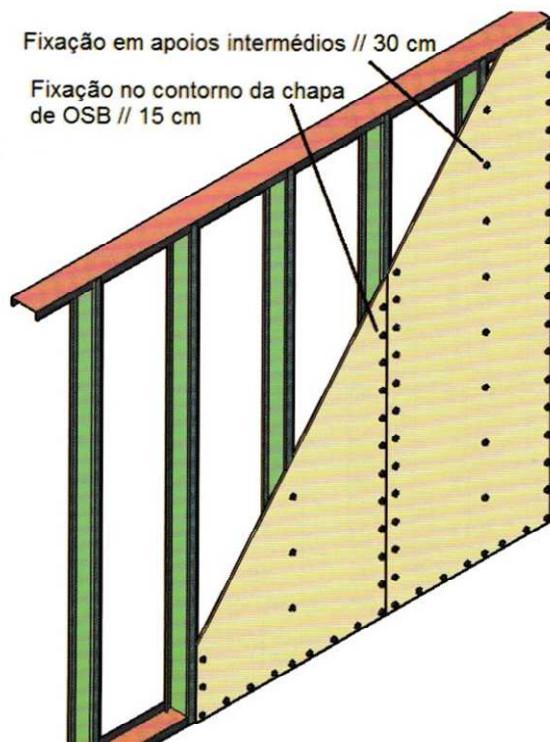


Figura 2.7 Fixação em apoios intermédios de painéis de revestimento
(Silvestre, Pires e Santos 2013)

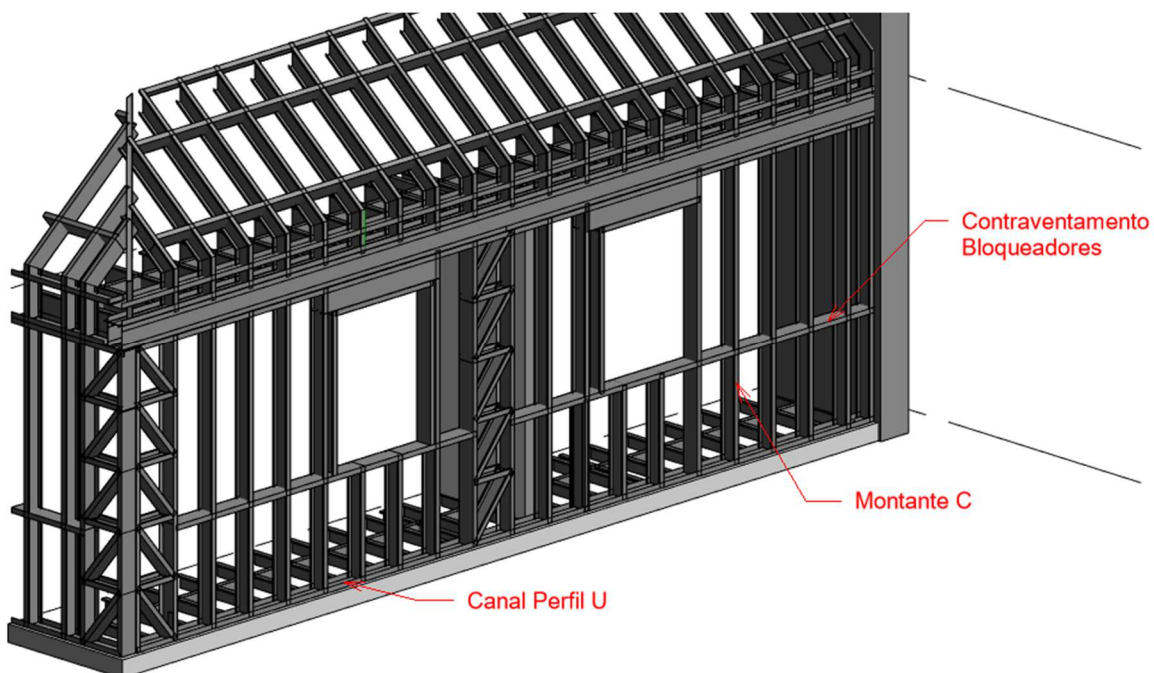


Figura 2.8 Composição de paredes montantes C e canais U

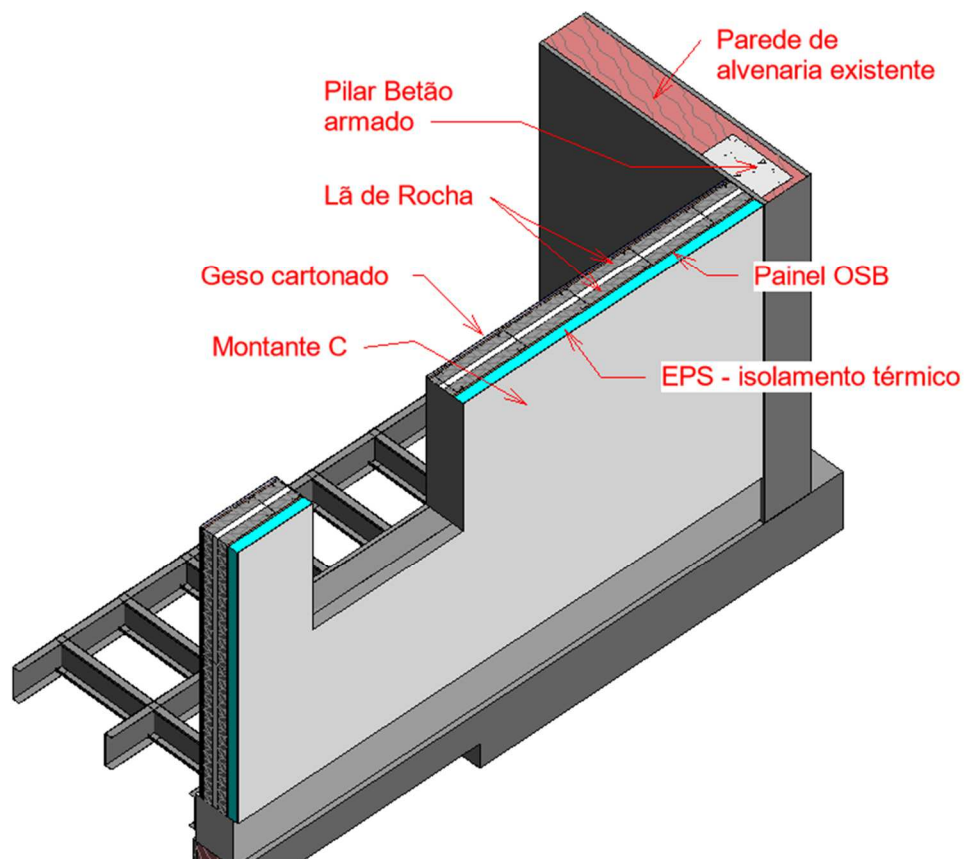


Figura 2.9 Composição de parede em LSF

Para fixação dos montantes nas paredes de alvenaria pode-se utilizar o mesmo método como referido no capítulo 2.3 Ligações para LSF. As ancoragens podem ser mecânicas ou químicas. Neste caso de estudo, sendo uma remodelação com estrutura mista, o reforço da parede existente foi realizado em betão armado, permitindo a utilização de bucha metálica em casquilho ou bucha química. Na hipótese de se tratar de uma parede de alvenaria a bucha metálica em casquilho não é adequada tendo de se utilizar bucha química com luva para uma melhor fixação à parede Figura 2.10 e 2.11.



Figura 2.10 Fixador com varão roscado e luva para bucha química

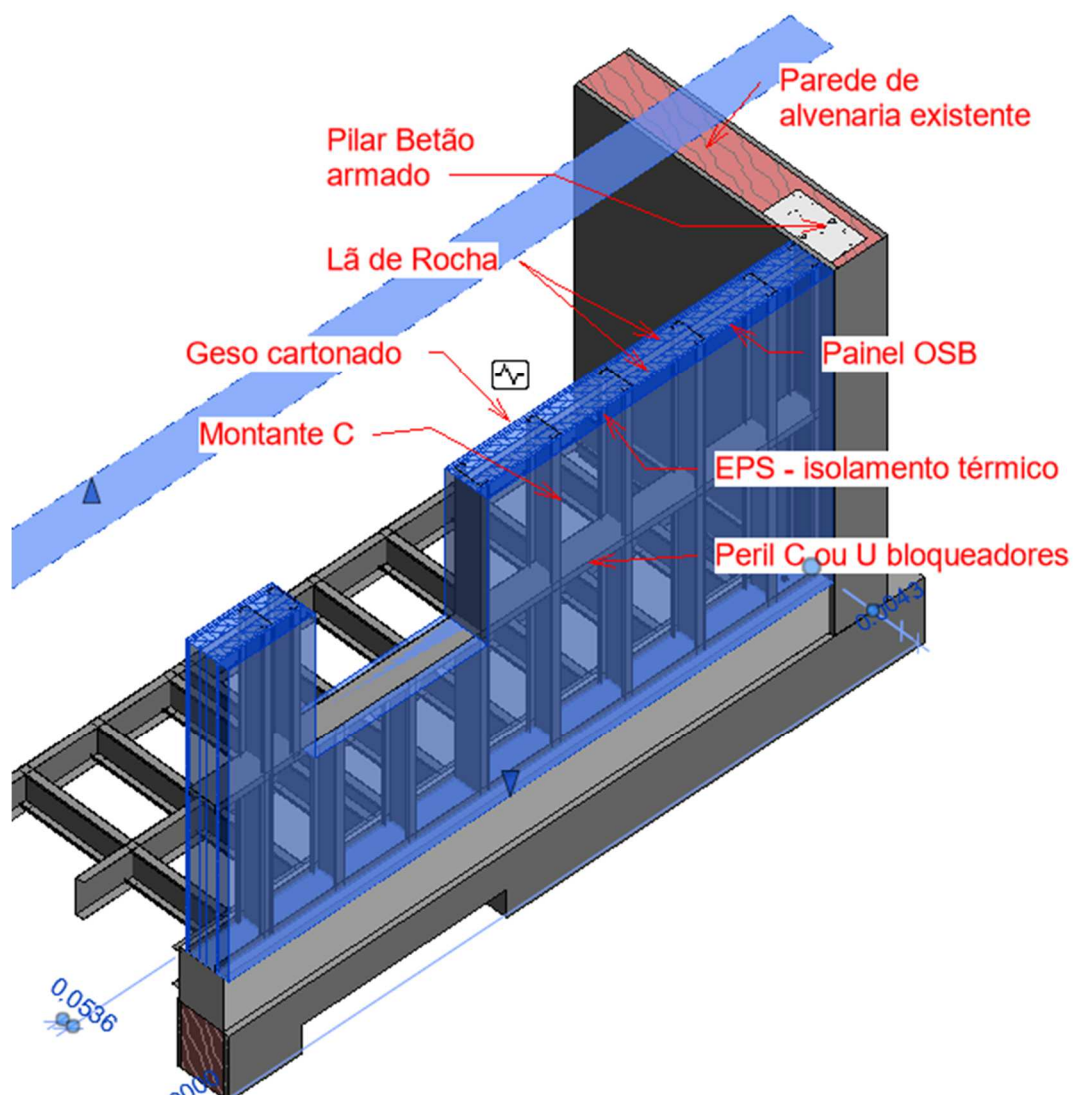


Figura 2.11 Conjunto Parede, Montantes e painéis de revestimento

2.4.2 Lajes

As lajes em LSF são compostas por perfis metálicos C e U e placas de OSB. Como em estruturas tradicionais de betão armado, as vigas (perfis C) devem ser dispostas na direção do menor vão. O espaçamento entre vigas, usualmente entre 30 cm e 60 cm, depende da sobrecarga, das ações do vento e sismos, Figura 2.12.

Os elementos principais da laje em LSF incluem:

- Perfis C (vigas) no sentido do menor vão;
- Perfis U (bordadura da laje) em todo o perímetro;
- Bloqueadores (perfil C) posicionados de forma a coincidir com as bordas dos painéis de revestimento;
- Fitas metálicas para evitar torções e aumentar a rigidez;
- Reforços de alma nos perfis C, especialmente nas zonas de ligação;

Placas OSB, dispostas perpendicularmente às vigas. É comum a utilização de duas placas de 9 mm sobrepostas e fixadas em sentido alternado, em vez de utilizar uma placa de 18 mm, para melhorar a rigidez do diafragma horizontal.

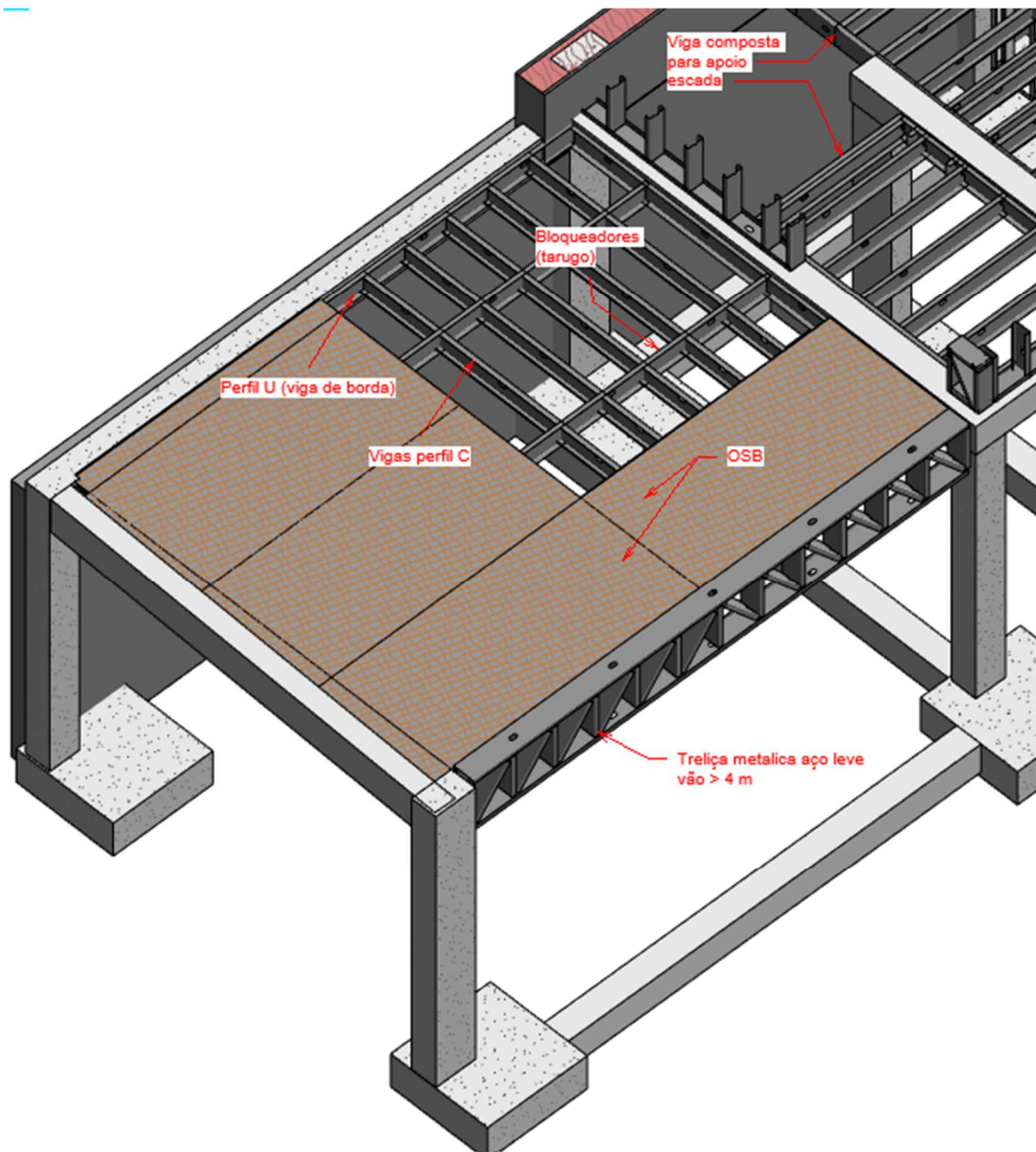


Figura 2.12 Detalhe construtivo da laje em LSF

Para vãos superiores as tabelas do manual (Silvestre, Pires, & Santos, 2013) sugerem a utilização de vigas compostas que aumentam a rigidez das almas e consequentemente a estabilidade do pavimento. A principal vantagem das vigas compostas é a capacidade de aumentar a carga admissível sem alterar a espessura da laje. Além disso, o alinhamento preciso das almas das vigas permite que a carga seja centrada, ou que minimize significativamente os efeitos de torção e excentricidade. Em termos de inércia, ao duplicar a seção através de vigas compostas, o aumento da inércia excede o dobro da inicial,

proporcionando uma melhoria expressiva nas propriedades estruturais. Existem diversas configurações de vigas compostas, sendo as mais comuns as apresentadas na Figura 2.13.

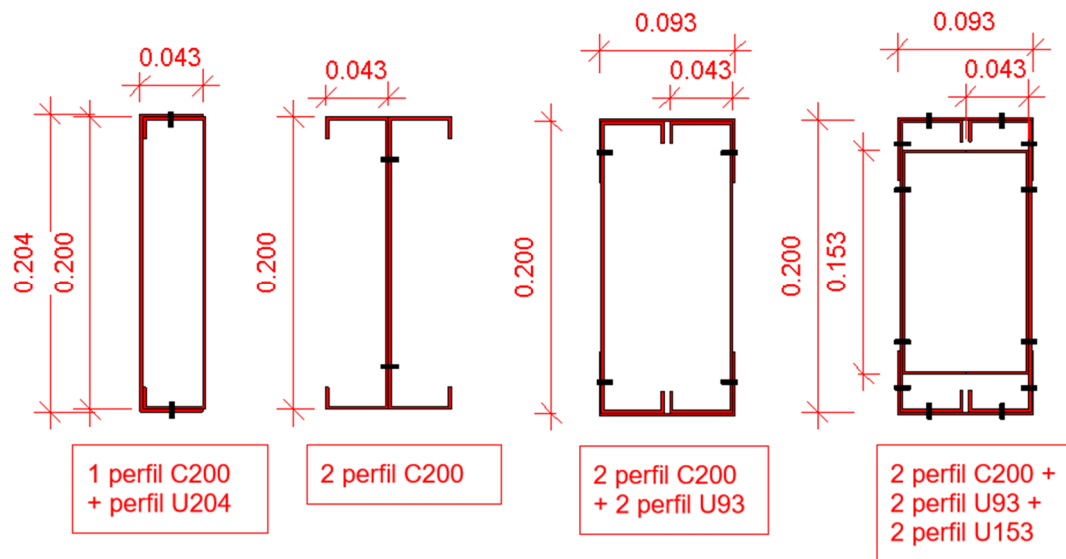


Figura 2.13 Vigas compostas

2.4.3 Cobertura

A cobertura em LSF utiliza os mesmos princípios das lajes, com vigas dimensionadas de acordo com os vãos e cargas atuantes. Em coberturas habitáveis (sótãos), com sobrecarga superior a $0,24 \text{ kN/m}^2$, a estrutura deve ser tratada como piso. Os perfis C90 a C300 são utilizados para vencer vãos de até 12 m. Recomenda-se dimensionar os vãos considerando a projeção horizontal e não o comprimento inclinado. A fixação da cumeeira é realizada com “clips” ou cantoneiras, cuja quantidade e espaçamento dos parafusos dependem das cargas do vento e da neve.

Assim como nas lajes, a cobertura deve ser contraventada com bloqueadores e fitas metálicas. A verificação das flechas é essencial, podendo adotar-se vigas compostas em situações onde as deformações ultrapassem os limites admissíveis.

A fixação da viga de cumeeira deverá cumprir os requisitos mínimos de fixação, conforme indicado na Figura 2.14 podem se utilizar os “clips” ou troços de cantoneiras. A fixação é feita com um certo número de parafusos que varia a quantidade conforme distancia

do vão, vento e sobre carga de neve. Da mesma forma que se utilizam reforços na ligação das vigas da laje Figura 2.15, bloqueadores ou fitas metálicas na cobertura o princípio é o mesmo

É extremamente importante a verificação da flexa, apesar do Manual (Silvestre, Pires, & Santos, 2013) sugerir tipos de perfis, espaçamentos, quantidade de parafusos, tipos de reforços e outros parâmetros, é importante considerar caso a caso. Para tal sugere-se verificar as sobrecargas, calcular a flecha e se necessário utilizar vigas compostas a fim de evitar deformações transversais máximas.

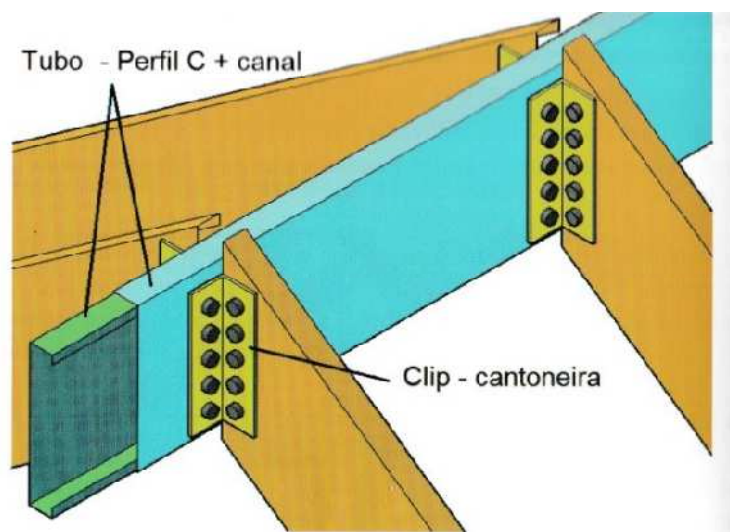


Figura 2.14 Pormenor de ligação da viga de cumeeira
(Silvestre, Pires, & Santos, 2013)

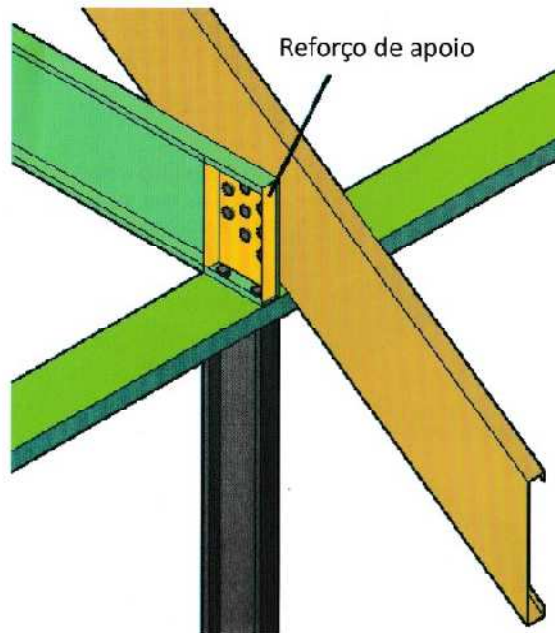


Figura 2.15 Por menor de ligação de viga no beirado com reforço do apoio
(Silvestre, Pires, & Santos, 2013)

2.4.4 Escadas

As escadas em LSF utilizam os mesmos perfis C e U das demais estruturas. Apesar da ausência de tabelas específicas para escadas no Manual, é possível utilizar as tabelas de cobertura, adaptando os valores de sobrecarga e inclinação.

Os três tipos básicos de escadas são:

- Apoiada em uma parede, com viga composta tubular na lateral oposta, figura 2.16.
- Sem apoio lateral, com vigas compostas ou treliçadas em ambos os lados.
- Escada fechada, com paredes inferiores de suporte, seguindo o princípio de enquadramento em linha para evitar cargas concentradas.



Figura 2.16 Escada apoiada a parede

O segundo tipo de escada não possui apoio lateral nas duas faces laterais, existe uma viga composta em ambos os lados da escada com perfis C e U similar à Figura 2.17. Além das combinações de perfis (viga composta) existe a possibilidade de substituir as vigas compostas por treliças, por questão estrutural ou mesmo ou arquitetónica.

O terceiro tipo de escada é fechada com paredes por de baixo que suportam a carga, segue o princípio igual para toda a construção em LSF enquadramento em linha, tem o objetivo de distribuir a carga igualmente evitando cargas concentradas e excentricidades.

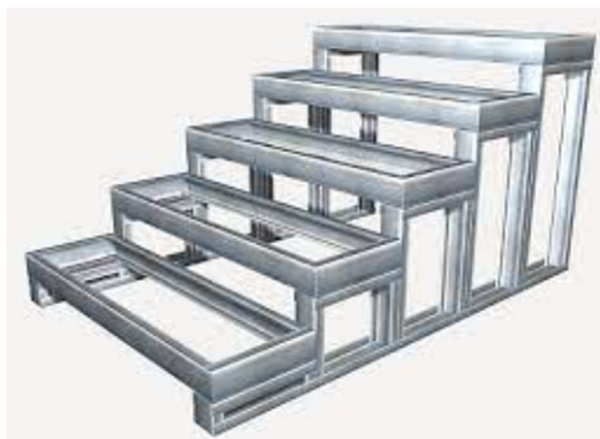


Figura 2.17 Escada fechada

2.4.5 Consolas

Consolas são elementos em balanço que se projetam para fora da estrutura vertical. O método prescritivo (Silvestre, Pires, & Santos, 2013) Figura 2.18, limita o balanço a 60 cm, com pelo menos 1,2 m de apoio dentro da edificação. Para vencer balanços maiores, é possível empregar vigas compostas (duplo C ou perfil I), alinhadas pelas almas para manter a simetria estrutural e reduzir a torção.

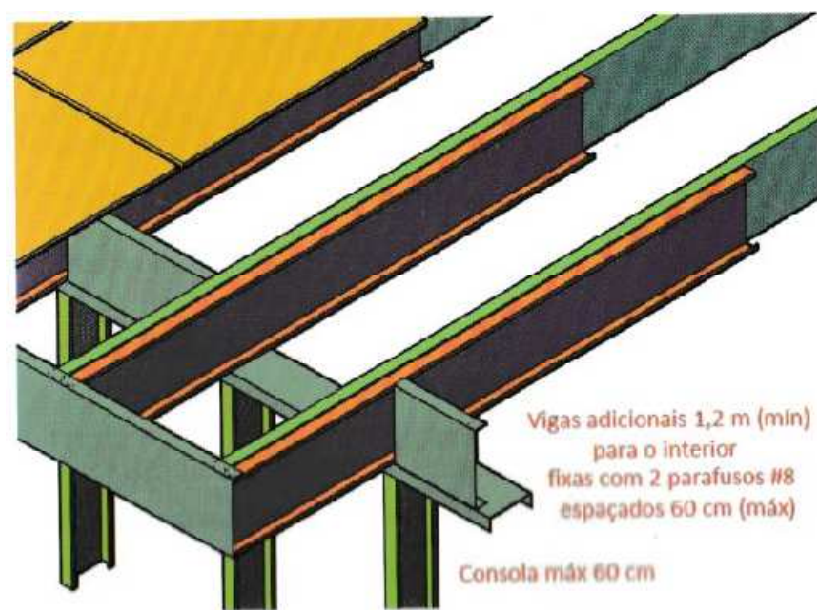


Figura 2.18 Pormenor consola
(Silvestre, Pires, & Santos, 2013)

3 Caso de estudo

A escolha de uma moradia existente, na qual o autor já havia realizado intervenções anteriores, permitiu acompanhar e registar todas as etapas do processo, bem como os problemas surgidos e as soluções que poderiam ser adotadas caso a estrutura fosse executada em LSF. Este trabalho destaca-se por consistir numa remodelação quase integral, mantendo apenas as paredes existentes do piso térreo. O edifício é constituído por uma combinação de alvenaria, betão armado e estrutura em LSF. O presente estudo considera a modelação da estrutura em LSF de um edifício habitacional a reabilitar utilizando a metodologia BIM. O software escolhido para modelação da arquitetura e estrutura foi o Autodesk Revit 2024, tendo a estrutura posteriormente sido exportada para o software Autodesk Robot Structural Analysis 2024. Para análise comparativa com o Robot foi selecionado o software mCalcLSF da empresa St_Stabili (mCalcLSF, 2021), desenvolvido no Brasil para estruturas em LSF.

Uma das vantagens de se trabalhar com projetos em BIM é que o mercado fornece, cada vez mais modelos digitais parametrizados de seus produtos, o que deve ser aproveitado sempre que possível. Além disso, para que o BIM cumpra sua função de integração total, deve haver uma conexão entre as etapas de fabricação, modelação, montagem, manutenção e eventual reciclagem de todos os materiais utilizados. Assim, em alternativa à criação manual de cada perfil metálico (C, U e W), optou-se neste trabalho por adquirir os modelos diretamente do site do fabricante, já incluindo as respetivas características técnicas de cada perfil.

Apesar do método prescritivo segundo (Silvestre, Pires, & Santos, 2013) fornecer tabelas com tipos de perfis, espaçamento, tipos de reforços, quantidades de parafusos, dimensão de vergas e contraventamento considera-se importante proceder à verificação estrutural de alguns elementos construtivos.

O caso de estudo foi escolhido por ser uma construção real. Salienta-se que a obra foi construída em estrutura mista, contendo sapatas e vigas em betão armado, pilares e vigas em estrutura metálica composta por perfis laminados a quente de aço S275JR, HEA160, HEB 160, HEA240 e PE140 incluindo ligações aparafusadas e soldadas, paredes em alvenaria sobre vigas de coroamento nas paredes existentes (alvenaria ordinária). O objetivo

do estudo além de desenvolver métodos de modelação BIM em LSF visa também demonstrar as vantagens desta solução estrutural para a reabilitação de edifícios.

Após a caracterização do caso de estudo, torna-se necessário definir um plano de execução BIM (BEP) que oriente todas as fases do trabalho, desde a modelação paramétrica em Revit até à análise estrutural em Robot Structural Analysis e mCalcLSF.

Este plano no anexo 1 estabelece as diretrizes metodológicas, os objetivos BIM, as normas de referência, nível de desenvolvimento (LOD) esperado, os softwares utilizados e a forma como será conduzida a interoperabilidade. Dessa forma, garante-se a consistência do processo, a rastreabilidade dos dados e a comparabilidade dos resultados, assegurando que a modelação e a análise estrutural seguem um procedimento sistemático e validado.

3.1 Descrição do caso de estudo

O caso de estudo consiste na reabilitação de uma moradia unifamiliar situada no Alto da Ajuda com tipologia final T3, com uma área de implantação de 83,3 m², uma área bruta de 193,6 m², cuja altura total é de 8,24 m. O edifício é composto por 3 pisos. O piso térreo é constituído por paredes existente de +- 40 cm de espessura, em alvenaria ordinária a manter. A fundação existente é constituída por blocos de pedra assentes sobre terra, tendo-se verificado a inexistência de pilares. A proposta de reabilitação do edifício contempla uma estrutura mista de betão armado e LSF. As sapatas, pilares e viga de coroamento propostos são em betão armado para consolidar as paredes existentes e a fundação, o segundo piso é constituído por paredes e laje em LSF apoiadas e ancoradas sobre viga e coroamento em betão armado, a cobertura também é em LSF revestida em OSB assim como as paredes e lajes, as paredes e teto pelo interior são revestidas em gesso cartonado.

O terreno situa-se a uma altitude de 113 metros (Geoportal energia e Geologia, 2024). Segundo mapa de classificação dos solos o terreno está localizado sobre o complexo vulcânico de Lisboa com vulnerabilidade sísmica do solo baixa e possui uma classificação “A” segundo o Eurocódigo 8 (CEN E. 8., 2004), Figura 3.1.

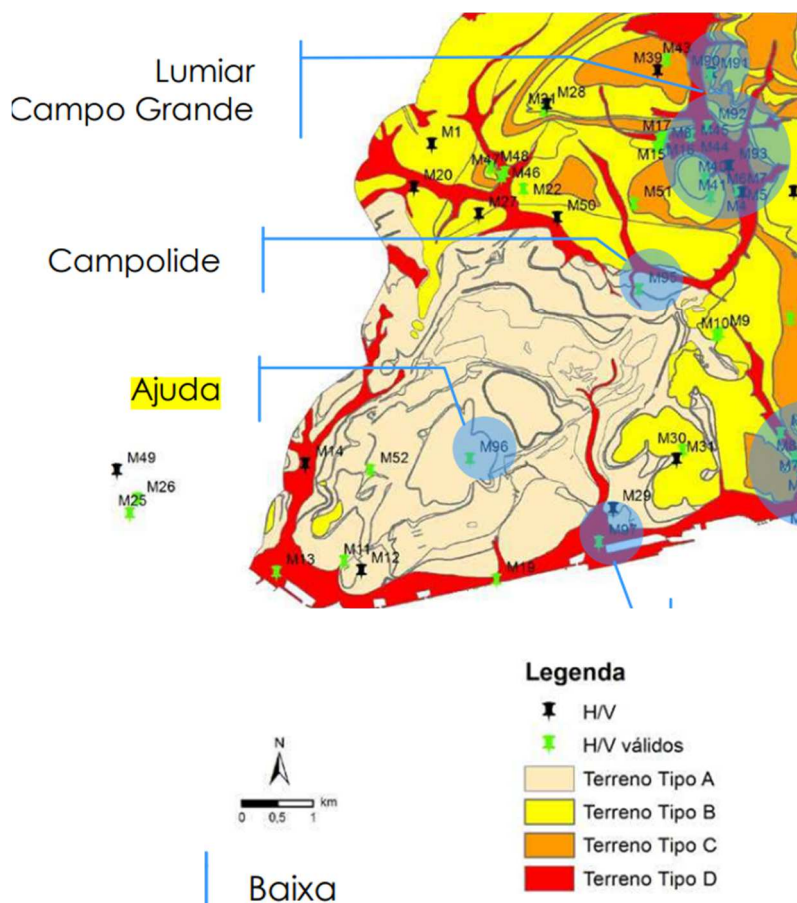


Figura 3.1 Classificação Solos no alto da Ajuda
(Liliana Oliveira, 2024)

O vento predominante de toda a zona do Alto da Ajuda como toda Lisboa vem de Norte com uma velocidade média de 19,4 km/h em dezembro, podendo alcançar quase os 35 km/h no mesmo período (weatherspark.com, 2024).

Na estrutura existente optou-se por manter as paredes externas de alvenaria para preservar o alinhamento em relação à via pública, Figura 3.2 e 3.3 As paredes existentes são compostas por pedras unidas com juntas largas de argamassa de argila e saibro. O engenheiro de estruturas idealizou sapatas e vigas de betão armado vigas e aos pilares metálicos HEB160 no térreo, inicialmente previstos, a proposta contempla sapatas de menor volume e pilares em betão armado, visando uma consolidação mais eficaz da alvenaria existente. Para garantir a estabilidade e a integração da estrutura integrou-se uma viga de coroamento em betão armado no topo das paredes de alvenaria, funcionando como ponto de ligação e suporte para a estrutura em LSF.

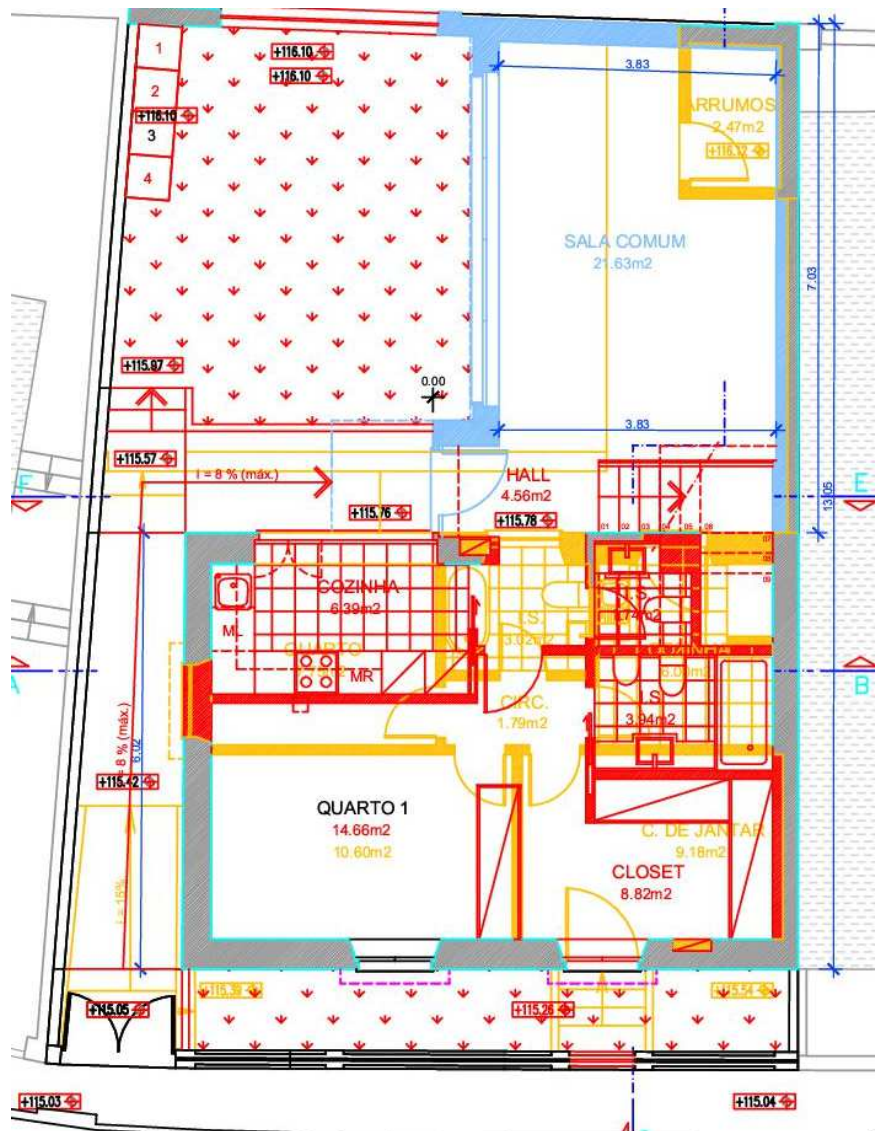


Figura 3.2 Fase Inicial Cores Convencionais



Figura 3.3 Abertura de roços e fundação caso de estudo

Tendo em consideração que o início da obra foi num período de elevada pluviosidade, optou-se por não remover o telhado em madeira e telha cerâmica, até ter toda a fundação executada como sapatas, chumbadouros e vigas betonadas. Com a proposta de integração de uma estrutura em LSF foi possível reduzir as sapatas e vigas significante. Além disso, o peso da estrutura em LSF é muito inferior a uma laje tradicional ou mesmo à utilização de barrotes de madeira. Conforme proposto no Manual (Silvestre, Pires, & Santos, 2013) a execução de um ensoleiramento geral é a melhor opção custo-benefício.

3.2 Modelação de Famílias para Arquitetura e Estrutura

Um template é uma estrutura pré-definida onde se organizam todos os dados de um projeto. Em comparação ao desenvolvimento de um projeto tradicional, onde as fichas técnicas estão organizadas em pastas e os dados de fornecedores, mapas de quantidades e fases do projeto são armazenados separadamente, o ambiente BIM permite que todas essas informações estejam organizadas dentro de um único sistema, sendo atualizadas automaticamente conforme a modelação avança. Além de armazenar e classificar dados, um template possui sistemas pré-configurados e componentes necessários para a modelação de cada especialidade, como arquitetura, estruturas, sistemas hidráulicos e elétricos, bem como templates configurados para integração com sistemas externos de monitorização e manutenção (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

A modelação dos painéis e perfis em LSF foi conduzida em conformidade com os princípios da (ISO 22014:2024) que define requisitos para objetos de biblioteca em AEC, arquitetura, engenharia e construção. Esta norma assegura a consistência geométrica e informacional dos componentes BIM, condição essencial para a interoperabilidade entre Revit, Robot Structural Analysis e mCalcLSF, bem como para a rastreabilidade dos dados ao longo do estudo. Além disso, garante que os objetos contenham atributos mínimos padronizados, como materiais, dimensões, propriedades estruturais e referências normativas, o que facilita a execução de análises automáticas e a troca de informação através do formato IFC. Neste contexto, (ISO 16739, 2024) (Industry Foundation Classes — IFC) estabelece o esquema internacional de dados para a partilha de modelos BIM ao longo do ciclo de vida da construção. A norma define uma estrutura semântica e geométrica que organiza entidades, propriedades, relações e representações dos elementos construtivos, permitindo que diferentes aplicações de software interpretem de forma consistente a mesma informação. Assim, assegura-se a interoperabilidade entre plataformas, a integridade do modelo e a rastreabilidade dos dados, fatores indispensáveis para a coordenação multidisciplinar e para a fiabilidade das análises estruturais em LSF.

Em complemento, a (ISO 23386:2020) estabelece a metodologia para descrever, criar e manter propriedades em dicionários de dados interligados, ampliando a padronização do modelo. Assim, a definição dos parâmetros aplicados na modelação dos perfis e painéis em LSF — como espessura de perfil, passo de montante, tipo de ligação ou classe de aço — passa a seguir regras claras quanto a identificadores únicos, unidades consistentes e rastreabilidade das revisões. Esta integração entre as duas normas reforça a robustez metodológica do estudo, assegurando que tanto os objetos como as suas propriedades estejam alinhados com práticas internacionais de BIM.

Por sua vez, a (ISO 23387:2020) aprofunda este enquadramento ao definir a estrutura para templates de propriedades em BIM, fornecendo um formato padronizado para organizar e disponibilizar os atributos associados a objetos de biblioteca. Esta norma permite que fabricantes, projetistas e engenheiros utilizem modelos digitais com um vocabulário comum, garantindo a coerência semântica entre diferentes sistemas de informação

Para o caso de estudo e criação do template em vez de se criar as famílias dos perfis metálicos (C e U) optou-se por descarregar os perfis diretamente do site do fabricante. Esta

biblioteca BIM encontra-se disponível na página principal da empresa na seção documento e a seguir biblioteca BIM, conforme <https://perfisa.pt/biblioteca-bim/>. Esta foi a 1ª biblioteca BIM especializada em LSF de Portugal fornecida por um fabricante. No entanto, apenas estão disponíveis os perfis individualmente, sem qualquer elemento composto.

É comum que diferentes modelos utilizem as mesmas famílias, no entanto, é fundamental considerar os objetivos e os níveis de detalhe adequados para cada fase ou especialidade do projeto. Um exemplo é o uso da ferramenta "parede cortina", habitualmente utilizada para representar paredes em LSF, contendo a estrutura e suas camadas distintas. Essa ferramenta também facilita a produção de mapas de quantidades de montantes para estudos preliminares, porém, não deve ser utilizada como base para análise estrutural. Isso não impede, no entanto, que uma modelação arquitetónica utilize famílias com funções estruturais, uma vez que, em muitos casos, a própria estrutura compõe o conjunto arquitetónico. Este estudo desenvolveu famílias tanto para as especialidades de arquitetura quanto para a engenharia estrutural, com o objetivo principal de aprimorar métodos eficientes de modelação específicas à análise estrutural. Conforme apresentado na secção 3.1, o caso de estudo foi modelado em Revit, para demonstrar a sequência dos trabalhos e a distinção entre as famílias utilizadas em cada especialidade.

No caso de um modelo estrutural, é fundamental que ele seja o mais fiel possível à realidade, uma vez que muitos sistemas hidráulicos e elétricos frequentemente entram em conflito com a estrutura. Por essa razão, a compatibilização entre as diferentes especialidades é essencial. A estrutura é o elemento que mais condiciona a instalação desses sistemas, e a capacidade de prever interferências, erros e omissões durante uma fase de projeto resulta em uma redução significativa de custos e tempo.

Como referido na secção 2.4 os elementos construtivos de uma estrutura em LSF são paredes, lajes, cobertura, escadas, consolas, elementos de fixação, treliças e chapas de OSB, neste estudo serão abordadas apenas as paredes, lajes, treliças e coberturas de forma a maximizar a produção e minimizar o tempo de modelação de um projeto com estrutura em LSF.

Antes de iniciar a modelação e parametrização das famílias, é fundamental compreender o conceito de “plano de trabalho”. Ao modelar um componente no Revit,

independentemente de se tratar de uma extrusão, mescla ou varredura, é sempre necessária uma base de referência, designada como plano de trabalho. Em situações de modelação de famílias complexas, onde é preciso definir múltiplos planos de trabalho, essa funcionalidade minimiza erros de modelação e melhora o fluxo da modelação (CA: Autodesk, 2023).

3.2.1 Paredes

As estruturas de parede no software de modelação podem ser representadas de diferentes formas. No presente estudo, foca-se a análise das paredes do tipo 'cortina', em função de sua relevância para a arquitetura do projeto, as quais são formadas por quatro elementos, a bordadura da parede, os eixos, os montantes e o painel cortina.

A bordadura da parede é formada pelo perímetro superior e inferior definida pelos parâmetros das restrições de base e superior, (Autodesk Ajuda, 2024), geralmente são formadas por perfis chamadas canais U, que servirão de base inferior e superior para fixação dos montantes verticais. Os eixos dividem a parede em secções horizontais ou verticais, podendo ser editados parâmetros como distâncias fixas, número fixo de montantes, espaçamento máximo ou mínimo (Autodesk Ajuda, 2024). Tal como referido anteriormente uma estrutura em LSF segue um espaçamento igual para toda a construção com o objetivo de distribuir a carga igualmente evitando cargas concentradas e excentricidades.

Os montantes são colocados nas linhas do eixo e bordas da parede cortina, e podem ser substituídos na seção de propriedades pelos perfis anteriormente inserido e extraído da biblioteca BIM da Perfisa Figura 4.4. O painel cortina preenche o espaço entre os montantes formado pelos eixos. Podem ser formados por diversos materiais como vidro, lã de rocha, isolamentos XPS, ou qualquer outro tipo de material necessário, esta definição está inserida na seção de propriedades de cada família.

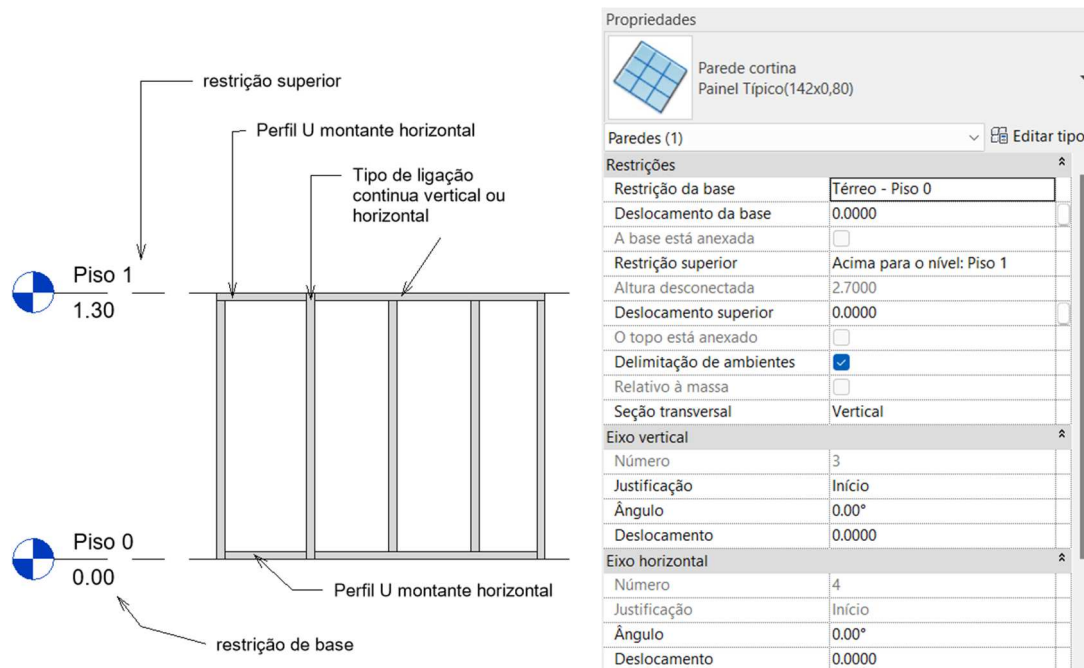


Figura 3.4 Elementos Parede Cortina e Propriedades
Revit 2024

A configuração precisa das famílias de perfis é fundamental para garantir a precisão da orçamentação num projeto BIM. Essas informações são a base do conceito de modelação da informação, pois é por meio dos dados inseridos que se tornam possíveis quantificar, identificar e filtrar os elementos.

Como mencionado anteriormente, a ferramenta "parede cortina" é uma família que oferece diversas vantagens e desvantagens, dependendo dos objetivos específicos do projetista. Ao inserir uma parede cortina, os perfis são organizados automaticamente, incluindo os perfis de perímetro ao se abrirem vãos para portas ou janelas. No entanto, uma limitação significativa dessa ferramenta é que os perfis gerados não possuem propriedades técnicas.

Para contornar essa limitação, serão propostas abordagens alternativas para a modelação de paredes, lajes e coberturas, com o objetivo de melhoria da preparação do projeto estrutural para a análise de esforços.

Inicialmente, idealizou-se a utilização de uma família de treliças parametrizadas para a modelação automática das estruturas das paredes em LSF. No entanto, constatou-se que essa abordagem não era viável, pois impedia a abertura de vãos, resultando em erros no modelo analítico e comprometendo a modelação adequada das paredes. Outra alternativa foi o uso da ferramenta de linha de modelo. No entanto, essa abordagem também se revelou impraticável devido à quantidade excessiva de erros gerados.

Outra abordagem adotada para modelar as paredes, as lajes e as coberturas consistiu na inserção de um ou mais elementos, que são posteriormente replicados utilizando a ferramenta de 'matriz'. Essa ferramenta permite a criação de uma matriz linear ou radial dos elementos seleccionados (Autodesk Ajuda, 2024). Como ilustrado na Figura 3.5, é possível definir o espaçamento e o número de repetições. As principais vantagens dessa técnica incluem a rapidez na modelação de estruturas e a facilidade em replicar configurações complexas com espaçamento uniforme.

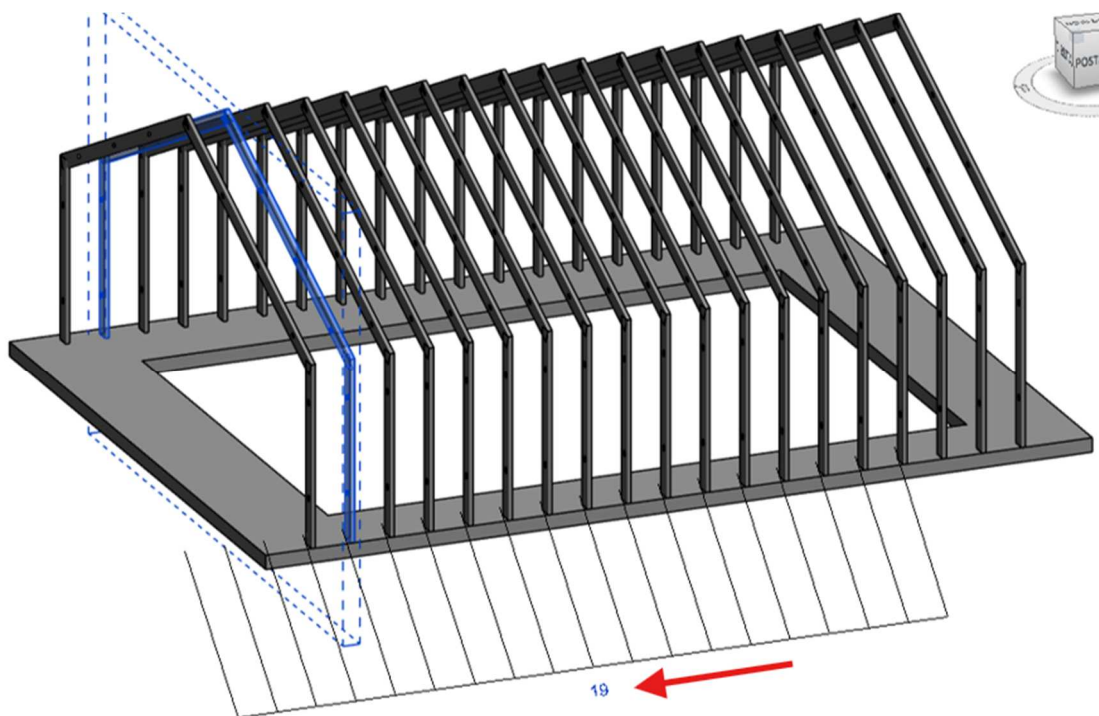


Figura 3.5 Ferramenta Matriz

É evidente que o Revit apresenta diversas oportunidades de melhoria, especialmente no que diz respeito às ferramentas de uniões e reforços para perfis em LSF.

Uma das limitações significativas na modelação de estruturas é a dificuldade de representar perfis com comprimento pequenos.

O último método de modelação de paredes em LSF abordado neste capítulo envolve o uso de 'sistemas de vigas'. Esta ferramenta cria um conjunto de vigas alinhadas que se ajustam automaticamente às alterações no projeto (Autodesk Ajuda, 2024). Neste caso é possível estabelecer uma comparação com os elementos replicados por meio de matrizes. Enquanto, na matriz, a edição de um perfil resulta na alteração de todos os perfis simultaneamente, no sistema de vigas essa relação é diferente. No sistema de vigas, é viável editar um perfil individualmente, modificando suas dimensões, rotação ou tipo, sem que as demais vigas sejam afetadas. Cada componente opera de maneira independente e se adapta automaticamente a alterações na estrutura. Como ilustrado na Figura 3.6, essa ferramenta foi projetada para a criação de sistemas de vigas para lajes, incluindo a possibilidade de abrir vãos com cortes automáticos.

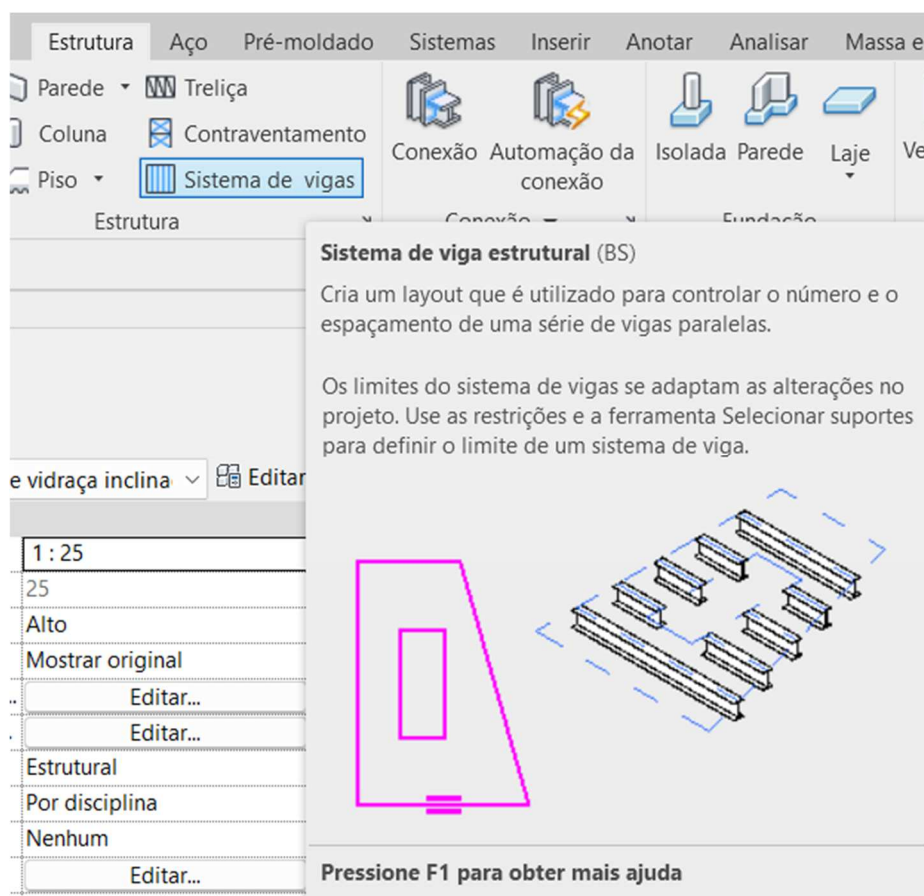


Figura 3.6 Sistema de Vigas Para Paredes em LSF
(Revit 2024)

Para a criação das paredes utilizando o sistema de vigas, é essencial definir um plano de trabalho, que deve ser alinhado paralelamente às vigas. Nesse contexto, o plano deve ser vertical para que se forme uma parede vertical. Antes de criar os montantes verticais, é aconselhável inserir os perfis de canal U, conforme ilustrado nas Figuras 3.4 e 3.7. Os perfis U, também conhecidos como canais, são colocados no plano de trabalho horizontal, apoiados sobre a laje. Esses perfis servirão como referência para o plano de trabalho na criação da parede com a ferramenta de sistema de vigas, onde os montantes serão posteriormente inseridos e fixado

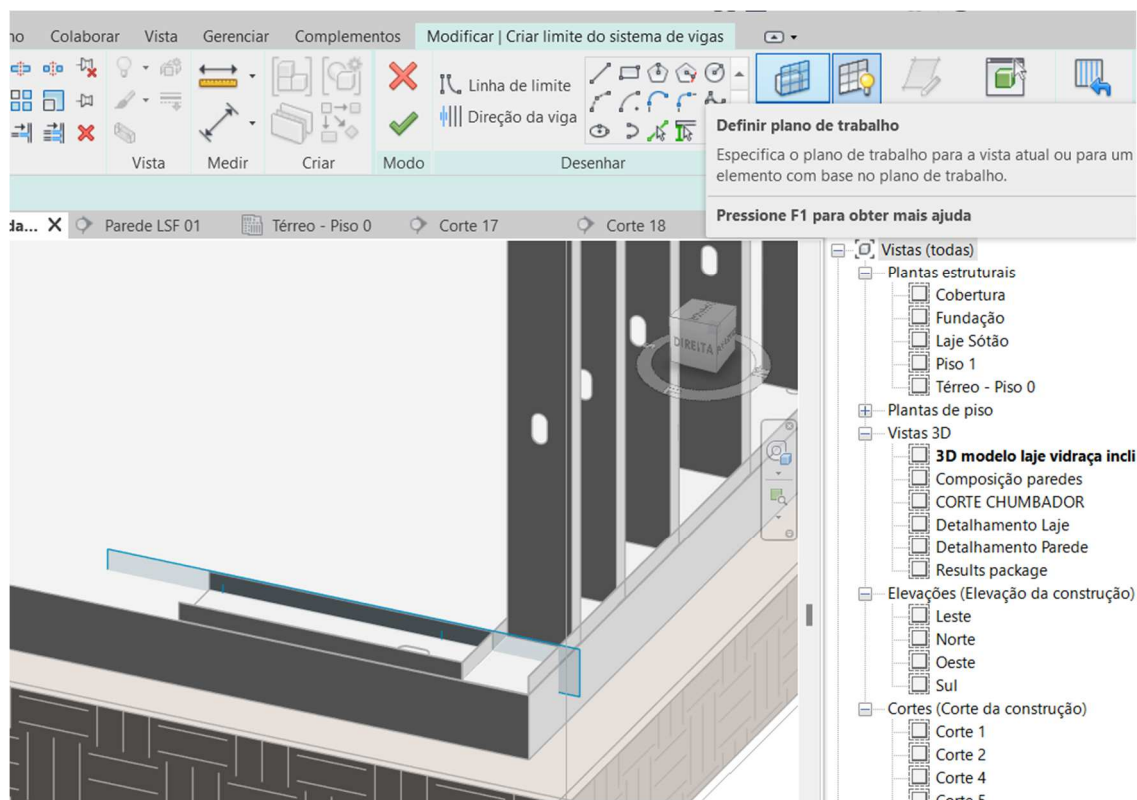


Figura 3.7 Plano de Trabalho para Sistema de Vigas

A configuração do espaçamento em um sistema de vigas apresenta algumas limitações em comparação com o sistema de replicação por matriz. As opções de ajuste, ponto de referência para o início, meio ou fim do alinhamento da estrutura exigem atenção especial por parte do projetista. Caso sejam necessárias mais edições especiais a solução será semelhante ao método de matrizes, optando-se por desagrupar os elementos, ou seja, remover o sistema de vigas, tornando todos os perfis elementos independentes que não estarão mais sujeitos a alterações automáticas. No caso de estudo, as paredes existentes serão

mantidas. Para garantir uma base sólida para a fixação da estrutura em LSF, optou-se por utilizar uma viga de coroamento como elemento estrutural.

3.2.2 Lajes e Cobertura

Na modelação de lajes e coberturas em LSF, o Revit disponibiliza a ferramenta 'vidraça inclinada' Figura 3.8, que segue o mesmo princípio das paredes cortina. Uma característica importante a ser observada é que, embora a 'vidraça inclinada' seja pré-configurada com uma inclinação, ela pode ser ajustada para atender a diferentes necessidades do projeto. Ao se optar pela modelação de lajes, é crucial remover essa inclinação, permitindo a criação de superfícies planas que se integrem adequadamente à estrutura. Esse ajuste facilita a adaptação da estrutura em LSF às exigências arquitetônicas do projeto, garantindo que a interface entre lajes e coberturas atende às especificações necessárias, sem comprometer a estética ou a funcionalidade da edificação.

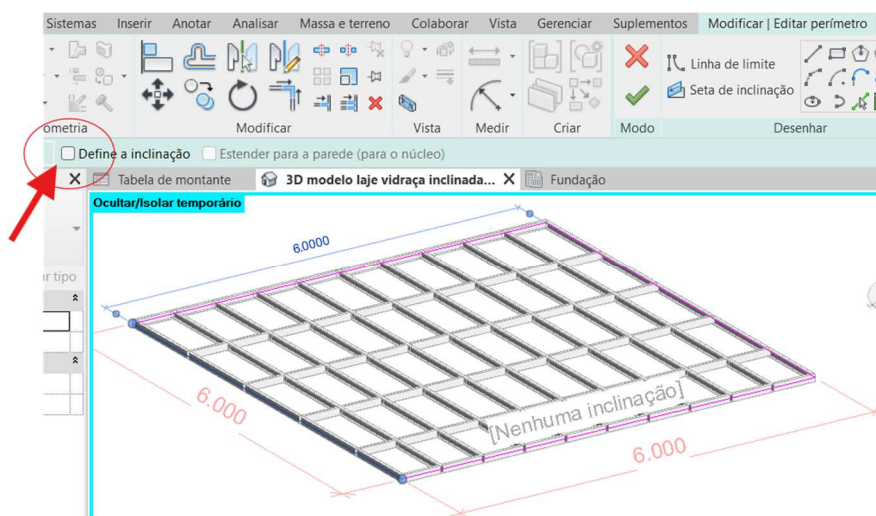


Figura 3.8 Modelação Laje LSF

A edição ou adição de múltiplos perfis à família 'vidraça inclinada' ou 'parede cortina' pode ser realizada por meio da ferramenta 'Eixo Cortina e Montante'. Ao incorporar um perfil, ele passa a estar vinculado à família, ajustando-se automaticamente às modificações estruturais subsequentes. Como ilustrado nas Figuras 3.9 e 3.10, é possível inserir perfis num eixo que sobreponha todos os segmentos da estrutura, ou optar por

inserir um perfil que não se sobreponha aos demais, proporcionando flexibilidade na modelação e adaptação das configurações estruturais

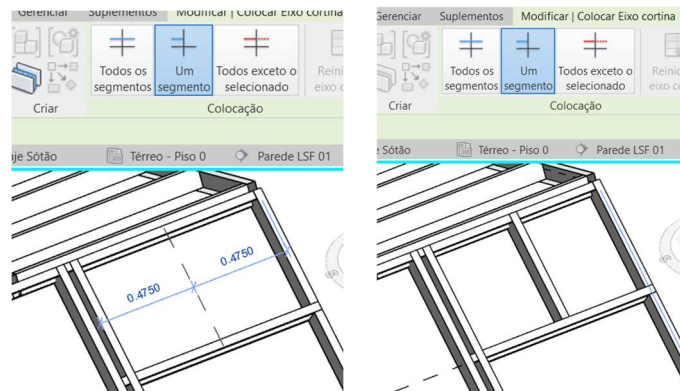


Figura 3.9 Inserção de montante numa cobertura.

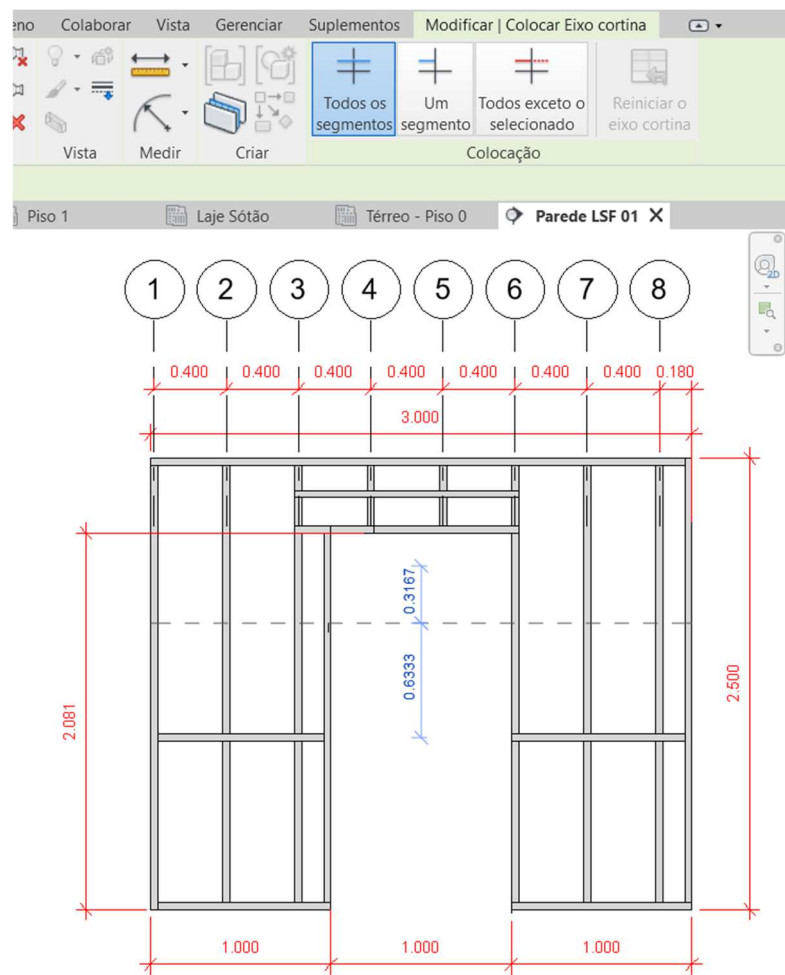


Figura 3.10 Adição de montante numa parede cortina

A ferramenta 'Eixo Cortina e Montante' disponível no menu de arquitetura oferece a vantagem de permitir a inserção de montantes sem a necessidade de definir um plano de

trabalho, pois os perfis são automaticamente alinhados com os componentes existentes da estrutura.

As lajes podem ser construídas utilizando ferramentas como linha de modelo, matriz de elementos, grupos de elementos ou a ferramenta 'Sistema de Vigas'. O projetista deve analisar cuidadosamente o projeto arquitetónico, levando em conta os alinhamentos das paredes, lajes e coberturas, assim como as limitações das ferramentas disponíveis, a fim de escolher o método de modelação que melhor se adapte à situação.

No que se refere à modelação de lajes, a ferramenta 'Sistema de Vigas' é bastante funcional para criar lajes, para tal é necessário apenas definir o plano de trabalho na horizontal, nas propriedades do tipo, e é possível aceder às configurações de deslocamento vertical, considerando as camadas superiores, como OSB e materiais de acabamento.

Além disso, existe a opção de 'Sistema de Vigas Automático', que está disponível apenas em uma vista de planta. Ao seleccionar esta ferramenta e posicionar o cursor próximo ao perímetro interno de um sistema de vigas, o Revit determina automaticamente o perímetro e distribui as vigas na direção do vão escolhido, conforme ilustrado na Figura 3.11.

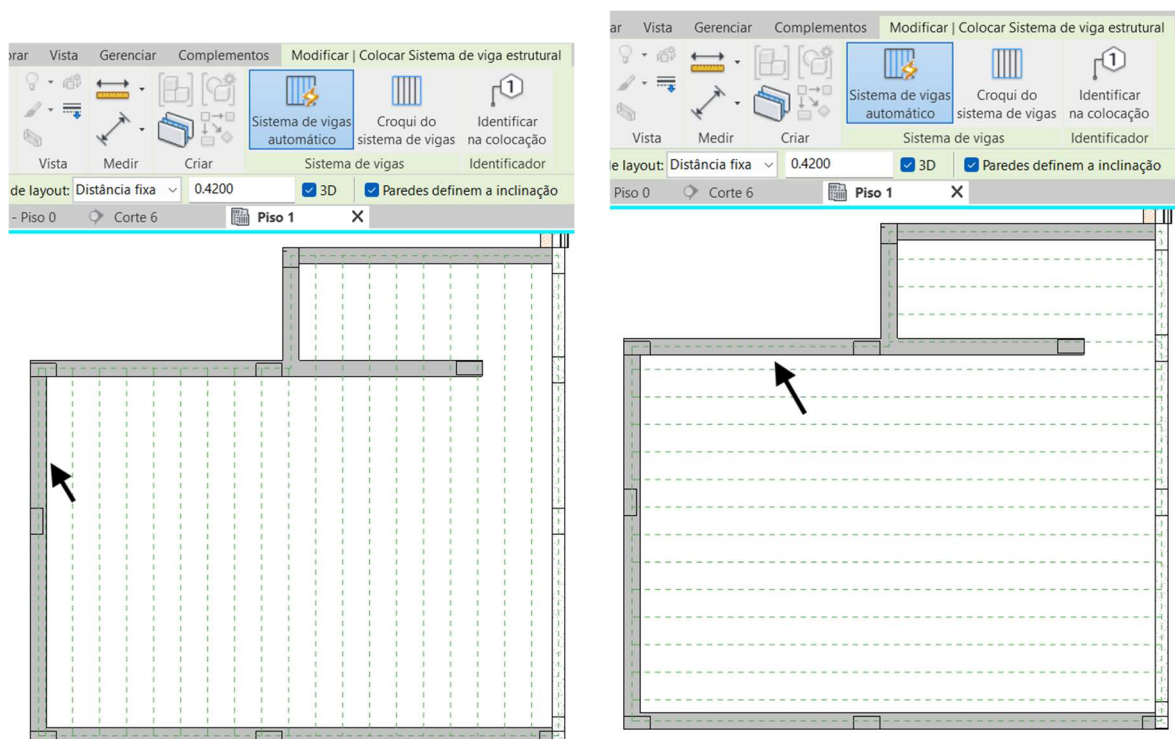


Figura 3.11 Definir Direção do Vão Vertical

3.2.3 Treliças

Uma treliça é uma estrutura formada várias barras ligadas entre si de forma a criar uma série de triângulos, podendo ser constituída por diversos materiais como metal, madeira ou betão. Esses elementos são conectados geralmente nas extremidades por parafusos, pregos ou solda. Os pontos onde a estrutura se conecta são designados de nós. Diferente das paredes cortina e das vidraças inclinadas, os perfis carregados dentro das famílias da treliça possuem as propriedades do material utilizado e podem ser utilizados numa análise estrutural posterior sem necessidade de qualquer alteração.

Para inserir ou modelar uma treliça, existem diversas abordagens. No entanto, destacam-se duas soluções pela eficiência, considerando que o objetivo deste trabalho é desenvolver métodos de modelação. A primeira abordagem envolve o uso de famílias pré-configuradas e parametrizadas, conforme ilustrado nas Figuras 3.12 e 3.13), enquanto a segunda consiste na modelação no local, utilizando a ferramenta “linha do modelo” no menu arquitetura Figura 3.14.

A primeira abordagem é mais intuitiva consiste na utilização de treliças parametrizadas, que se adaptam automaticamente à distância entre os pontos de inserção. Após a inserção das treliças no projeto e sua seleção, é possível aceder ao menu de propriedades, onde se pode definir o tipo, a altura e o espaçamento dos montantes verticais e horizontais. De maneira análoga à configuração de paredes cortinas e vidraças inclinadas (incluindo paredes, lajes e coberturas), é viável alterar os tipos de perfis, como os banzos superiores, as teias verticais, as teias diagonais e o banzo inferior. Além dessas opções, o sistema oferece uma variedade de configurações adicionais, como a orientação da teia, os ângulos dos perfis, a descrição, o fornecedor e custos.

As treliças parametrizadas são formadas por painéis contendo 1 teia vertical e 1 teia diagonal, o número de painéis são replicados através de ferramenta matriz que formam a estrutura completa de uma treliça, o número de painéis é definido pelo comprimento linear e espaçamento.

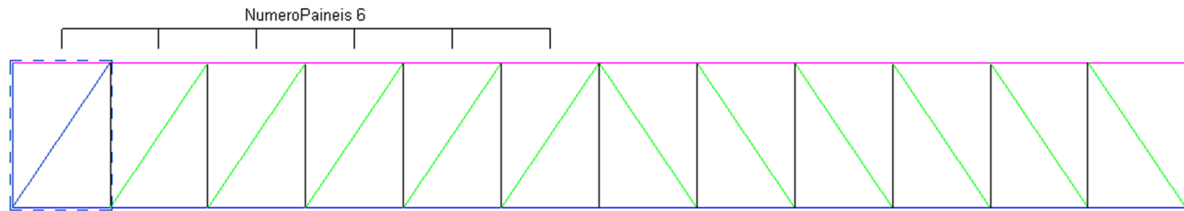


Figura 3.12 Treliza Plana Parametrizada

Propriedades de tipo

Família: M_Howe Treliza plana

Tipo: TR_C150_500h

Carregar...
Duplicar...
Renomear...

Parâmetros de tipo

Parâmetro	Valor
Banzos superiores	
Projeção vertical analítica	Linha de localização
Tipo de framing estrutural	PERFISA-Perfil_U-R19:U153x43x1.5 S280GD
Iniciar a liberação	Fixo
Finalizar liberação	Fixo
Ângulo	-90.00°
Teias verticais	
Tipo de framing estrutural	PERFISA-Perfil_C-R19:C150x43x15x1.5 S280GD
Iniciar a liberação	Fixo
Finalizar liberação	Fixo
Ângulo	90.00°
Teias diagonais	
Tipo de framing estrutural	PERFISA-Perfil_C-R19:C150x43x15x1.5 S280GD
Iniciar a liberação	Fixo
Finalizar liberação	Fixo
Ângulo	90.00°
Banzos inferiores	
Projeção vertical analítica	Linha de localização
Tipo de framing estrutural	PERFISA-Perfil_U-R19:U153x43x1.5 S280GD
Iniciar a liberação	Definido pelo usuário
Finalizar liberação	Definido pelo usuário
Ângulo	90.00°
Construção	
Teias têm redução simbólica	☒
Orientação da teia	Vertical
Dados de identidade	

Figura 3.13 Propriedades de Tipo Treliza Parametrizada

A segunda abordagem mais eficiente para a modelação de uma treliça é a utilização da ferramenta “Linha do Modelo”. Esta ferramenta permite a criação de linhas em um ambiente tridimensional, que servirão como referência para a inserção dos perfis. A modelação em BIM é intrinsecamente tridimensional, o que implica a necessidade de estabelecer um plano de trabalho antes de desenhar as linhas de modelo. Para o caso

específico de uma treliça, o plano de trabalho deve ser perpendicular à altura da estrutura, conforme ilustrado na Figura 3.14.

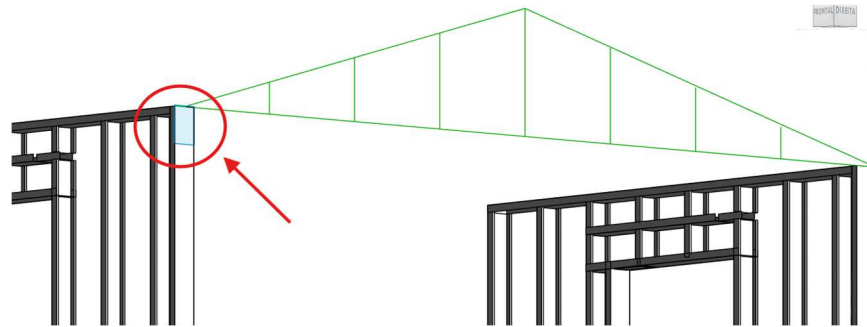


Figura 3.14 Plano de Trabalho

Com o plano de trabalho definido, é possível proceder ao desenho das linhas de modelo. A disposição dessas linhas determinará a configuração da estrutura de acordo com as necessidades específicas do projeto. Dependendo da modelação da família do perfil, pode ser necessário ajustar o ângulo de rotação para atender às exigências estruturais ver Figura 3.15.

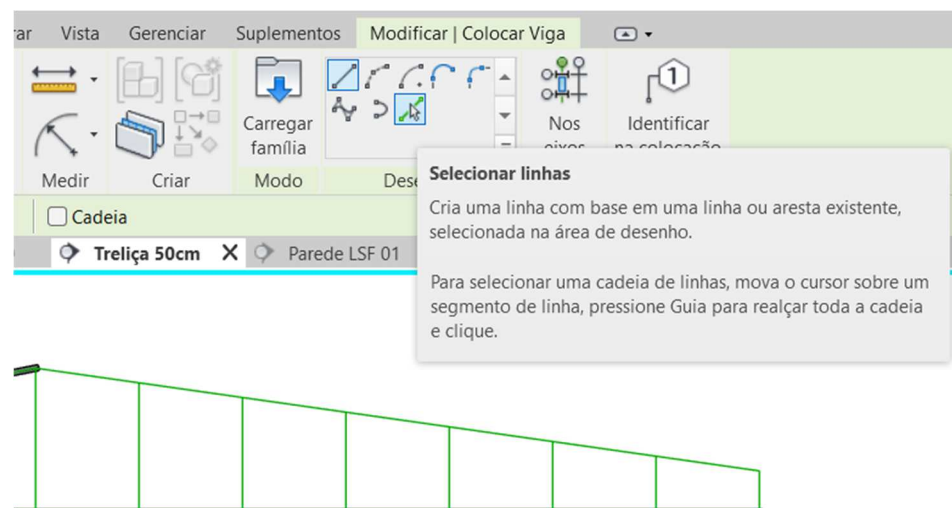


Figura 3.15 Inserir perfil Treliça

Além dos ajustes de rotação dos perfis, é essencial realizar uma análise do modelo analítico da estrutura. O modelo analítico é composto por componentes estruturais, geometria, propriedades dos materiais e cargas, formando assim um sistema de engenharia coerente (Autodesk Ajuda, 2024). Como mencionado anteriormente, uma treliça, assim

como outras estruturas em LSF, é constituída por perfis conectados principalmente em suas extremidades. Os pontos de conexão, denominados "nós", são fundamentais para a integridade estrutural e podem ser visualizados nas Figuras 3.16 e 3.17. Esses "nós" e as linhas vermelhas associadas fornecerão dados cruciais para a análise estrutural subsequente.

Após a visualização e revisão das conexões dos perfis no modelo analítico, é possível identificar dois nós desconectados, que precisam de ajustes. Para modificar a ligação entre nós, deve-se selecionar uma das linhas vermelhas do modelo analítico. Essa ação permite o acesso à ferramenta de “ajuste analítico”, conforme destacado na parte superior da interface conforme ilustrado na Figura 3.16. Essa ferramenta é fundamental para garantir a integridade da ligação da estrutura correta.

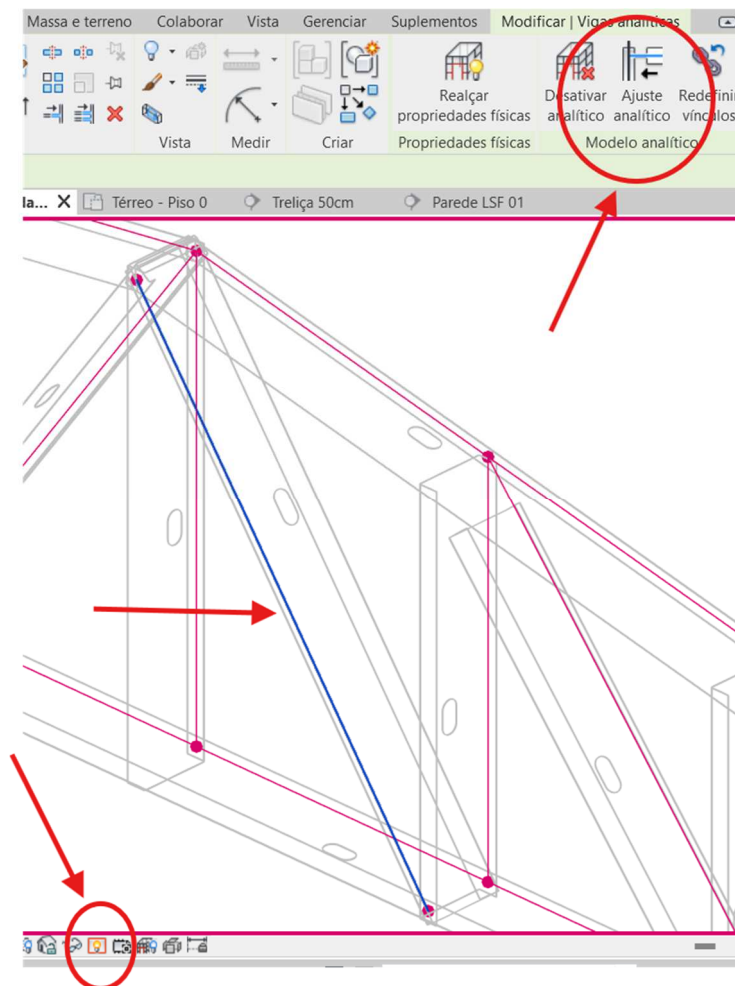


Figura 3.16 Modelo analítico Trelça LSF

Ao seleccionar a ferramenta de ajuste analítico, é possível reestabelecer a conexão de nós através dos eixos, conforme ilustrado na Figura 3.17. Essa correção no modelo analítico é crucial, pois a ausência de uma análise nesta fase pode resultar em exportações problemáticas para o software de análise estrutural Robot. Isso pode provocar a geração de picos de momentos ou até mesmo indicar o colapso da estrutura, comprometendo a segurança e a integridade do projeto ou estruturas superdimensionadas.

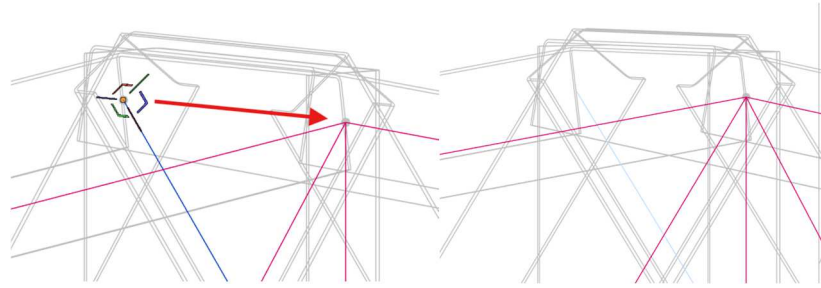


Figura 3.17 Corrigindo ligação Nó Analítico

3.2.4 Consolas e Vãos

Conforme exposto no capítulo 2.4, o método prescritivo do manual de LSF apresenta limitações, especialmente no que diz respeito à análise de consolas e grandes vãos (Silvestre, Pires, & Santos, 2013). No contexto do caso de estudo abordado neste trabalho, foi decidido manter as paredes do piso térreo em alvenaria, reforçando-as com uma estrutura de pilares e vigas em betão armado. Para a construção da consola da varanda, optou-se pelo rebaixamento da viga de coroamento, alinhando-a com o pórtico localizado abaixo da varanda, conforme ilustrado nas figuras 3.18 e 3.19.

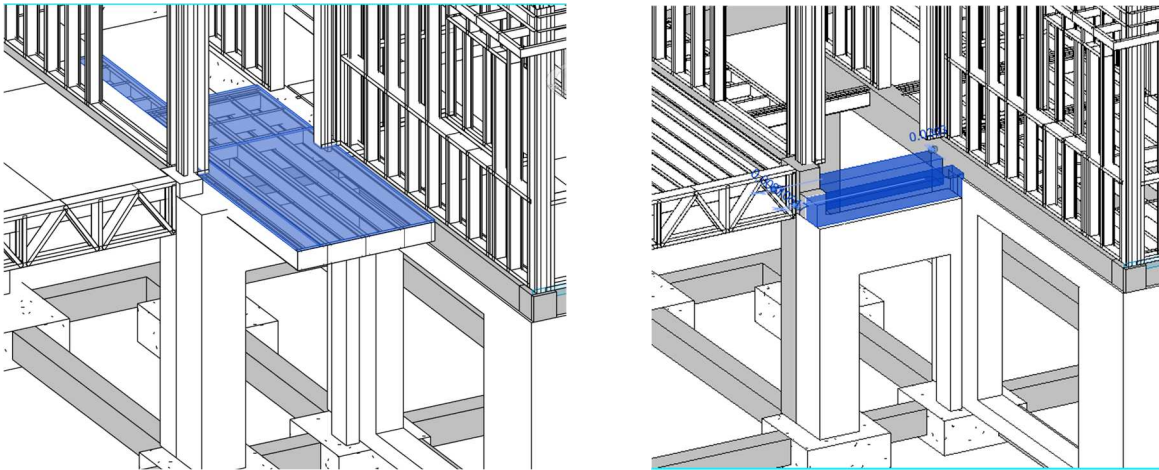


Figura 3.18 Preparação consola

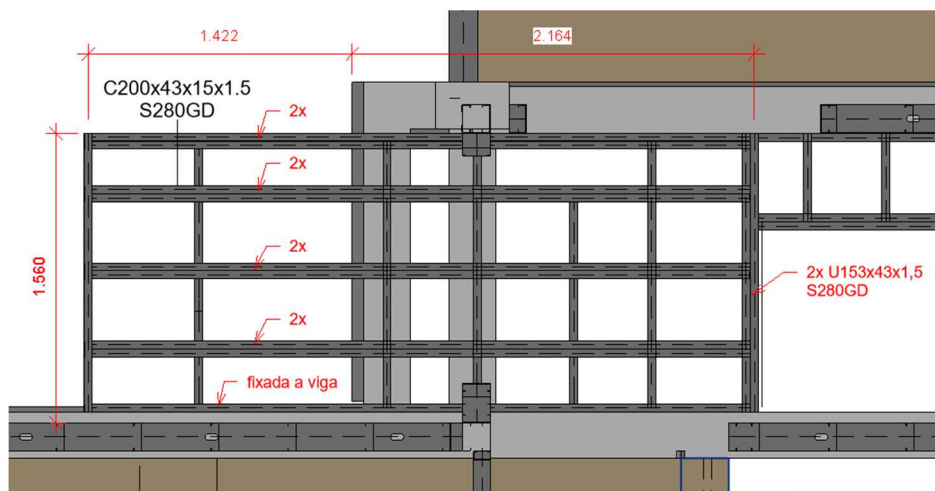


Figura 3.19 Consola – Sistema de Travamento

Outro elemento em consola presente neste projeto é o algeroz, que se estende ao longo de quase todo o perímetro exterior da cobertura. De acordo com o projeto de arquitetura, este algeroz está posicionado acima do nível da laje do sótão, impossibilitando o prolongamento dos perfis que compõem a laje do sótão até o exterior para a formação da estrutura. A solução encontrada consistiu na inserção de perfis aparafusados na face superior da laje, garantindo a resistência necessária para suportar as cargas provenientes dos revestimentos e do volume de água pluvial (Figura 3.20).

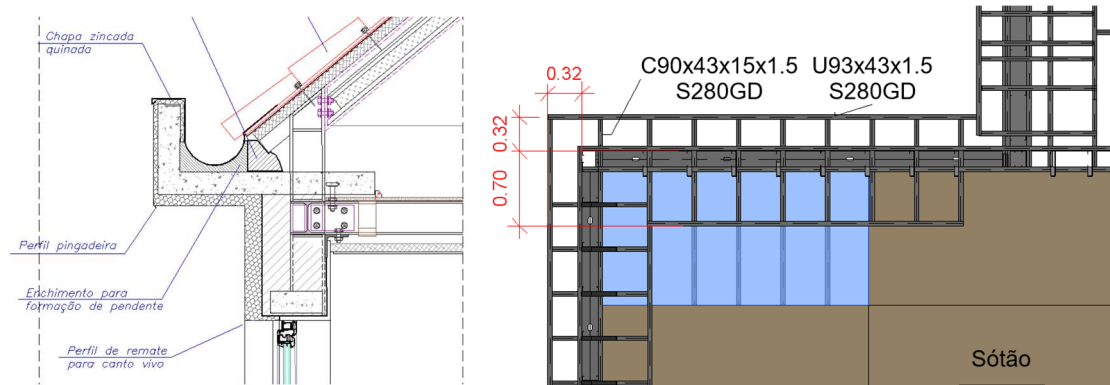


Figura 3.20 Pormenor Construtivo Algeroz

O Manual de (Silvestre, Pires, & Santos, 2013) fornece as tabelas 6.15 a 6.17 para vergas tipo caixa, conforme indicado na Figura 3.21, as quais são as mais utilizadas pois ampliam a área de contato da alma com o revestimento, facilitando a aplicação dos painéis de revestimento. Em alternativa também podem utilizar-se versões “back-to-back”, onde as almas dos perfis ficam alinhadas.

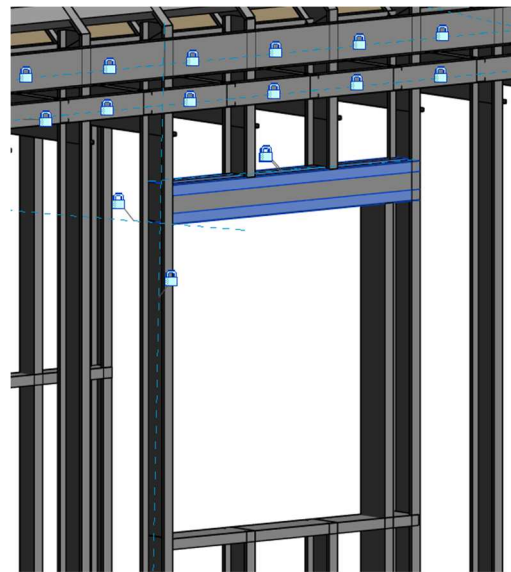


Figura 3.21 Verga tipo caixa

Para o projeto proposto, foi considerado um vão de 5,00 m, sendo que esta verga suportará o peso de uma laje bi-apoiada, sem cobertura ou paredes, formando um terraço que contará apenas com uma guarda de vidro de 1,10 m.

Neste caso foram analisados dois tipos de vergas. O primeiro tipo de verga, escolhido para este projeto, consiste numa treliça composta por perfis C200 e U200, reduzindo o peso e o custo dos materiais necessários à sua execução. Na Figura 3.22, podem observar-se os detalhes construtivos, que evidenciam o alinhamento dos perfis da laje com a divisão dos montantes da treliça. No contexto de uma reabilitação, recomenda-se a produção in loco das vergas e um estudo cuidadoso do alinhamento em relação às paredes existentes.

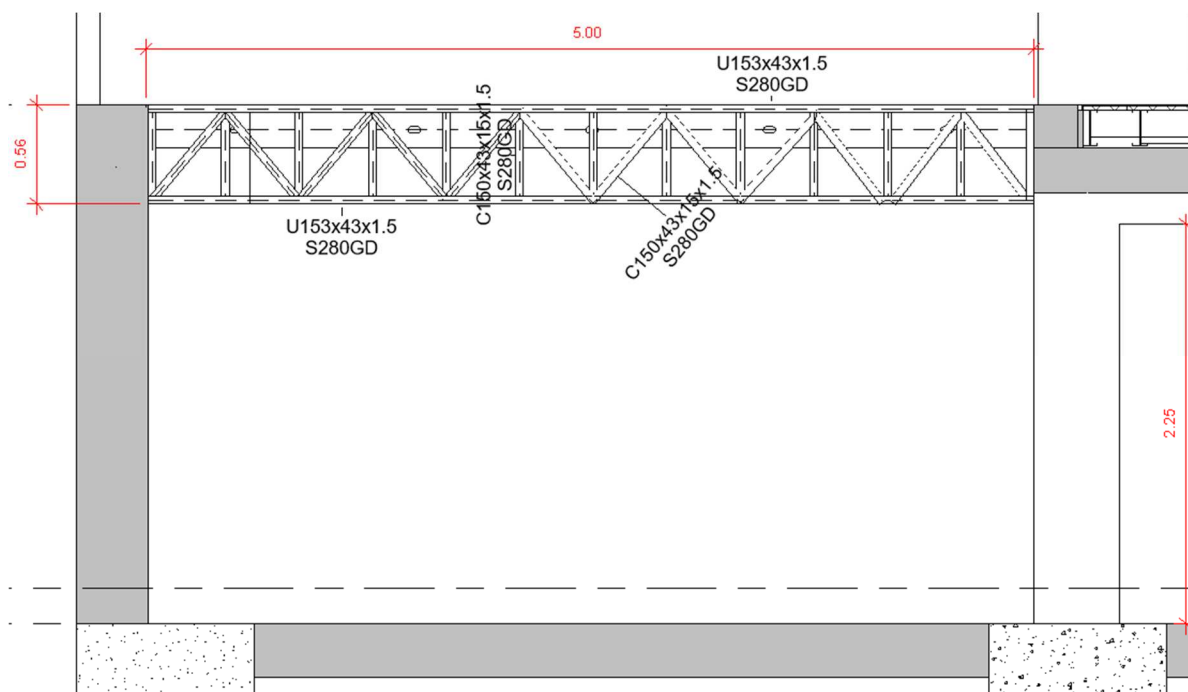


Figura 3.22 Verga com Treliça

Uma segunda opção seria uma verga em caixa figura 3.23, ou seja, uma viga composta por 2 perfis C250x43x15x2,5, 2 perfis UC255x43x15x2,5 e 1 perfil U93x43x1,5 na face inferior, a vantagem deste tipo de viga é a esbelteza da estrutura e a facilidade de montagem, sendo uma estrutura assimétrica que evita excentricidades e torções nas almas.

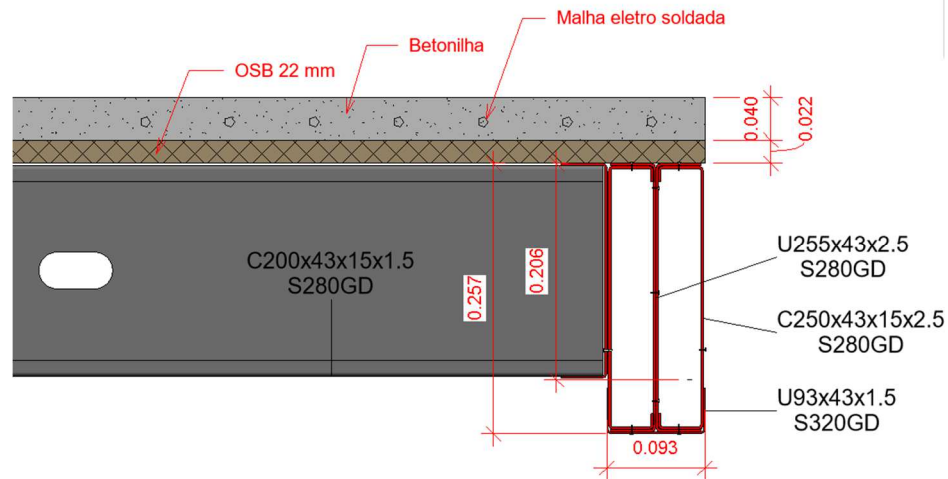


Figura 3.23 Viga composta para vão com 5 metros.

3.2.5 Análise do Modelo Analítico

O modelo analítico é uma representação simplificada do modelo físico, é utilizado por diversos softwares de análise estrutural. Segundo a (Graphisoft.com, 2024) fabricante do Archicad principal concorrente do Revit situa que no Archicad o modelo analítico é gerado em segundo plano simultaneamente com o Modelo Físico e no Revit até as versões 2022 isto não era diferente, a partir da versão 2023 do Revit este processo foi automatizado com a criação de uma ferramenta chamada “automação analítica” figura 3.24.

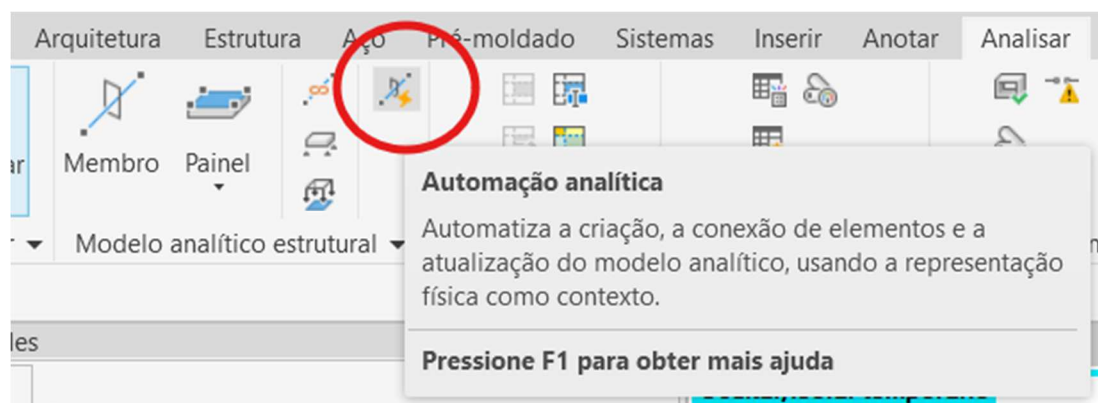


Figura 3.24 Ferramenta de automação analítica.

A opção analítica no Revit atua como uma ferramenta de comunicação bidirecional, permitindo tanto a transmissão de informações quanto a importação de dados para o software de modelação. Quando são permitidas alterações no modelo estrutural, é por meio das representações de "pontos e linhas" que o Revit define a volumetria.

Os erros na análise estrutural frequentemente surgem das ligações entre os membros analíticos e os nós. A verificação do modelo analítico no Revit pode reduzir significativamente o tempo de análise, uma vez que a interface do Robot é mais complexa dada a quantidade de elementos numa estrutura de LSF, figura 3.25.

O ajuste do modelo analítico deve ser configurado nas propriedades antes da criação do quadro estrutural, especialmente nas opções de Justificação em Z e Justificação em Y. Recomenda-se configurar a Justificação em Z para o "centro" antes da modelação da estrutura, pois alterações posteriores podem deslocar a posição de todo o quadro estrutural.

Após a conclusão da modelação da estrutura, foi utilizada a ferramenta “Automação Analítica”. Até a versão 2022 do Revit, essa funcionalidade era impossível, uma vez que o modelo analítico estava diretamente relacionado ao modelo físico. Contudo, o programa reportou erros ao tentar ajustar os elementos analíticos ao nível mais próximo, indicando que diversas ligações analíticas permanecem desconectadas.

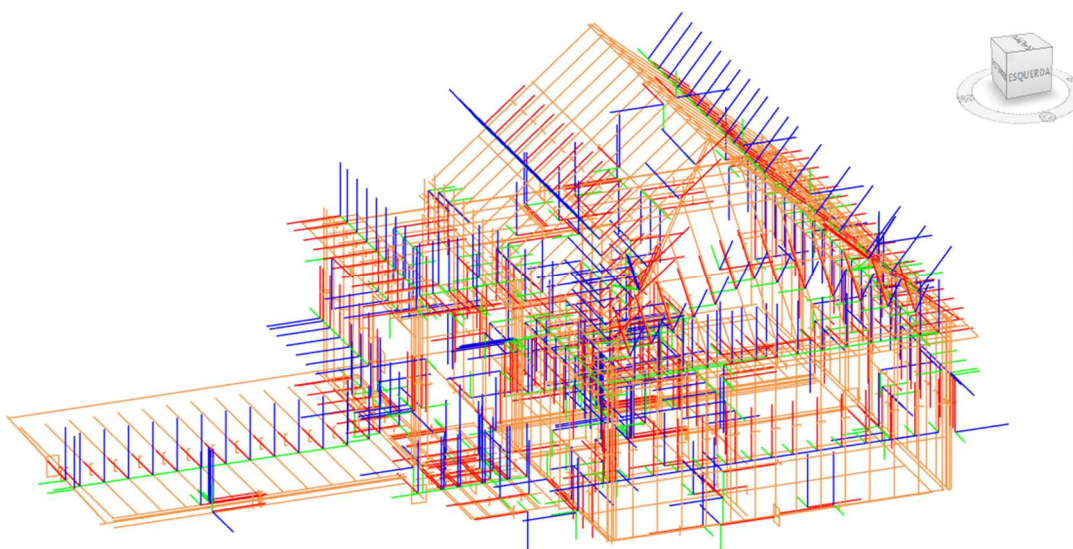


Figura 3.25 Estrutura analítica 1º piso, sótão e cobertura

A proposta inicial para a análise estrutural consiste na utilização de dois softwares: o Autodesk Robot Structural Analysis, adiante designado como Robot, e o mCalc/LSF. O objetivo central é avaliar a interface entre esses programas e otimizar o tempo de modelação e nível de dificuldade.

Neste contexto, é fundamental distinguir entre as famílias destinadas à modelação arquitetónica e aquelas específicas à modelação estrutural. A principal diferença reside nas categorias inseridas, que permitem a seleção e filtragem de dados, incluindo informações quantitativas e especificações técnicas de cada elemento. Essa distinção é crucial, pois a modelação estrutural no Revit requer abordagens específicas para a realização de uma análise estrutural eficaz, sendo assim os elementos devem possuir propriedades determinadas. Por exemplo, ao considerar um pilar arquitetónico, as propriedades disponíveis na secção correspondente referem-se apenas aos níveis e dados de identidade, como comentários e marcações. No entanto, para uma análise estrutural, é necessário que se incluam informações sobre o tipo de material estrutural e volumetria, elementos essenciais para a criação do modelo analítico. Esses dados técnicos devem ser corretamente transferidos durante o processo de exportação para o Robot, garantindo a integridade e a utilidade das informações.

3.3 Interface Robot

A proposta de estudo da interface entre o Revit e o Robot enfatiza uma integração direta, uma vez que ambos os softwares pertencem ao mesmo fabricante, o que simplifica o processo e minimiza a necessidade de um conhecimento aprofundado sobre o assunto. Essa integração permite a troca de informações em ambas as direções. A janela de acesso às configurações é idêntica aos dois programas, possibilitando atualizações contínuas da estrutura após modificações realizadas, seja no Revit ou no Robot.

O Robot apresenta vantagens consideráveis para análises estruturais, especialmente em termos de capacidade técnica e precisão. A Autodesk adota uma interface segmentada

por abas e painéis laterais, com comandos agrupados por tipo de operação, modelação, análise e resultados (Autodesk Ajuda, 2024).

De início o software exige alguma prática para compreender o fluxo de trabalho, o que pode ser um fator de desmotivação para novos utilizadores ou para aqueles habituados a interfaces mais dinâmicos. Além disso, a ausência de ferramentas mais automatizadas ou específicas para certos tipos de modelação pode limitar a produtividade e aumentar a complexidade de tarefas que, em outros softwares, poderiam ser realizadas com mais agilidade. Isso reflete diretamente na experiência do utilizador, que pode optar por alternativas mais otimizadas para melhorar o fluxo de trabalho e a eficiência em projetos estruturais.

Tendo em conta que a modelação da estrutura se fez no Revit ao inserir o modelo estrutural no Robot, verificou-se que o software não conseguiu identificar corretamente alguns perfis do modelo. Apesar das falhas no reconhecimento dos perfis, o modelo analítico apresenta algumas das propriedades físicas dos elementos que foram transferidos, o que indica que os dados do modelo têm certa integridade estrutural necessitando apenas indicar o tipo de perfil dentro do Robot. Um benefício significativo de trabalhar com famílias de estruturas bem classificadas é que o software pode agrupar elementos estruturais semelhantes, o que facilita a aplicação de disposições e configurações de seções em grupos de perfis simultaneamente. Isso aumenta a eficiência na edição e otimização do modelo.

É importante observar que tanto o Robot quanto o Revit trabalham com templates, permitindo que os perfis importados ou criados fiquem disponíveis para uso em projetos futuros. Nos dois softwares é possível desenvolver perfis exclusivos, utilizar bibliotecas nativas conforme apresentado na Figura 3.26 e adaptá-las conforme as necessidades do projeto. Essa flexibilidade de personalização oferece uma vantagem ao projetista, que pode criar especificações com características específicas, garantindo a compatibilidade com os requisitos estruturais e normas vigentes.

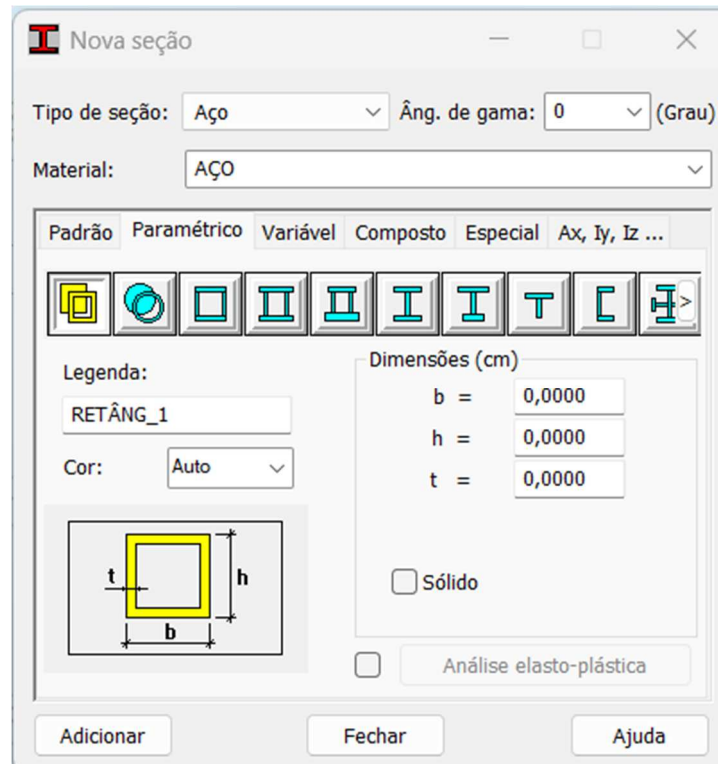


Figura 3.26 Biblioteca Robot

Ao mesmo tempo, a criação de novos perfis exige um cuidado redobrado para que todas as propriedades geométricas (e.g., larguras e espessuras) e materiais (e.g., tensão de cedência) sejam corretamente definidas. Essa abordagem modular no Robot e no Revit favorece a padronização e a reutilização, pois os perfis configurados ou alterados podem ser facilmente recuperados e aplicados em outros projetos, o que otimiza o fluxo de trabalho e melhora a consistência entre projetos.

Um dos problemas identificados no modelo estrutural do Autodesk Robot foi o desalinhamento de perfis, exigindo uma revisão detalhada de todos os elementos. Este desalinhamento ocorreu devido à rotação incorreta de alguns perfis em relação ao eixo de referência do modelo analítico. Dependendo da necessidade do projetista alguns problemas podem ser evitados no Revit como a configuração dos ajustes dos perfis em “Z, Y e YZ na seção de propriedades dos perfis. Embora o Robot apresente flexibilidade para modificar as propriedades dos perfis, os ajustes ou edição no Revit facilitam o processo de revisão, pois permitem que o projetista visualize e ajuste o alinhamento dos perfis com ferramentas mais simples, economizando tempo na modelação.

No Revit, a associação automática dos perfis aos eixos e elementos adjacentes contribui significativamente para identificar e corrigir inconsistências. No entanto, é essencial observar que o modelo analítico nem sempre está alinhado com o perfil físico, mesmo que o posicionamento visual do perfil pareça correto. Isso pode levar a problemas durante a exportação para o Robot, pois apenas o modelo analítico é transferido para análise. Caso o modelo analítico esteja rodado ou desalinhado, o Robot interpretará esses dados de forma imprecisa, resultando em erros de rotação e posicionamento. Após várias tentativas de criar um fluxo de trabalhos que reduza o tempo de modelação, percebe-se que, retificar o modelo analítico dentro do Revit antes da exportação é mais eficiente, garantindo que os dados transferidos para o Robot sejam mais precisos. Em teoria essa prática não apenas minimiza os erros durante uma análise estrutural, mas também otimiza o fluxo de trabalho.

Um exemplo desta dificuldade foi a modelação de uma treliça composta por perfis U153x43x1.5 S280GD e C150x43x15x1.5 S280GD. Observe-se que esses elementos estavam perfeitamente alinhados e rodados corretamente no Revit, com o modelo analítico também ajustado de forma precisa, conforme ilustrado nas Figuras 3.27 e 3.28. Entretanto, ao exportar o modelo para o Robot, obteve-se um desalinhamento visual significativo dos perfis superiores e inferior, esse problema ressalta a necessidade de uma maior compatibilidade entre o modelo físico e o modelo analítico, bem como a importância de interfaces gráficas mais modernas e consistentes para facilitar a visualização e o controle durante o processo de exportação e análise estrutural. Além disso, esta questão reforça os desafios enfrentados em fluxos de trabalho que envolvem a integração de múltiplos softwares, destacando a importância de padronizações e ajustes mais sofisticados.

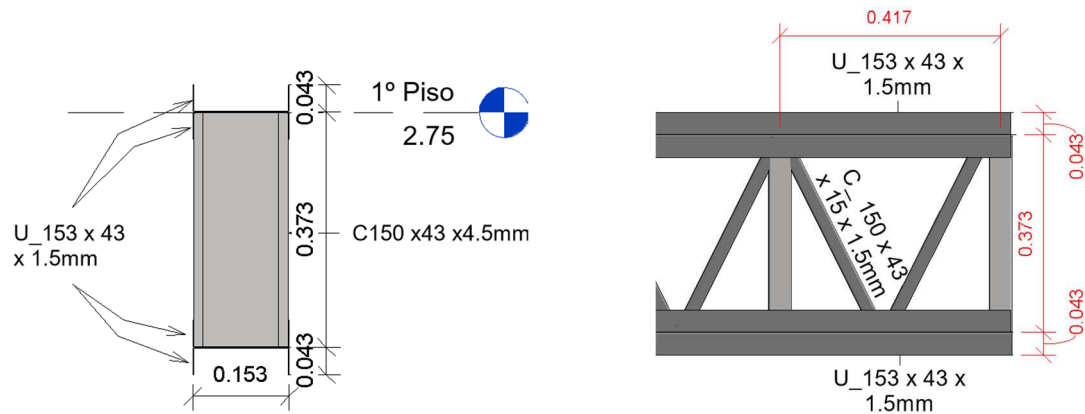


Figura 3.27 Detalhe da Treliza Vão – Revit

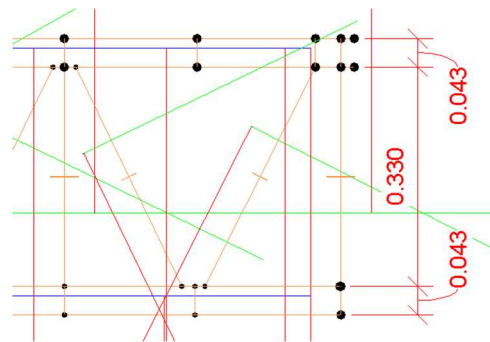


Figura 3.28 Detalhe da Treliza Modelo analítico – Revit

Uma das vantagens do Robot é permitir a integração de diferentes tipos de materiais de forma conjunta. Essa flexibilidade é essencial para projetos como estruturas de aço e betão ou aplicações com materiais menos convencionais. A funcionalidade do software inclui a compreensão de comportamentos diferentes entre os materiais, como deformações, esforços e competência, respeitando as suas propriedades. Além disso, o Robot é compatível com diferentes normativas internacionais, o que permite adequar a análise aos requisitos de cada tipo de material, de acordo com o país ou a região do projeto. Isso se torna uma ferramenta poderosa para projetos de alta complexidade estrutural ou requisitos específicos.

3.4 Interface mCalc/Lsf.

O programa mCalc/LSF foi criado inicialmente para atender aos padrões brasileiros e americanos, mas também oferece a opção de análise estrutural conforme o Eurocódigo.

Essa opção só está disponível após a realização da análise da estrutura. Além disso, o programa fornece solicitações de cálculo, comprimento das barras e resistência de cálculo, e a análise por ser feita a cada elemento individual ou por grupos (montantes, vigas, guias) ou qualquer outro elemento cálculo.

O mCalcLSF necessita apenas da planta 2D para modelação de todos os elementos estruturais em LSF, os quais já estão configurados de maneira padronizada, facilitando a modelação e análise estrutural. Posteriormente é possível exportar o modelo tridimensional com todos os dados parametrizados em formato IFC para se poder compatibilizar as demais especialidades e elaborar os detalhes construtivos para produção ou montagem

Ao iniciar o programa mCalc/LSF e abrir um novo arquivo, o software exige uma definição do espaçamento da malha, que corresponde a uma projeção em planta dos alinhamentos dos perfis metálicos de toda estrutura. Nas estruturas de LSF, o alinhamento das almas é crucial para a correta distribuição das cargas. Este método garante que, durante a modelação de toda a estrutura seja construída com um único módulo.

A escolha do espaçamento foi baseada nas dimensões dos materiais que serão utilizados para os revestimentos exteriores e interiores. Considerando que os OSB contraplacados disponíveis em Portugal têm uma dimensão padrão de 1250 mm x 2500 mm, optou-se por um espaçamento de 416,67 mm. Essa configuração não apenas otimiza a utilização de materiais, mas também garante a estabilidade e eficiência da estrutura em LSF ao escolher o perfil adequado segundo as tabelas do Manual LSF.

Ao iniciar é fundamental verificar as configurações dos perfis que serão utilizados no projeto. O software já vem configurado com uma série de perfis habitualmente utilizados no mercado brasileiro, mas permite a criação rápida de novos perfis utilizando uma base de dados existente. Para isso, é necessário apenas definir novas dimensões para o perfil existente e adicioná-los a biblioteca.

Um diferencial significativo do mCalc/LSF é que ele foi projetado especificamente para estruturas em LSF, oferecendo uma variedade de perfis e conexões que atendem às necessidades básicas de um projetista. Além disso, possui um interface de software simples e intuitivo conforme ilustrado na Figura 3.29, com poucos menus e caminhos para

configurações, não apenas facilita a navegação, mas também otimiza o processo de modelação, permitindo uma interação mais eficiente com o projetista.

mCalcLSF :: C:\Users\Samuel Junior\Documents\Samuel\M

Estrutura Cargas Padrão Ação do Vento Interface Pro

Elemento	Nome do Perfil
Montante Externo	UENR 150 x 43 x 15 x 1.5
Montante Interno	UENR 90 x 43 x 15 x 1.5
Guia Externa	[153 x 43 x 1.5
Guia Interna	[93 x 43 x 1.5
Viga	IENR 150 x 43 x 15 x 1.5 x 0
Contravento	RET 35 x 0.95
Bloqueador	[93 x 43 x 1.5
Espigão/Rincão	CA 150 x 43 x 15 x 1.5
Banzos Treliças	IENR 200 x 43 x 15 x 2 x 0.0
Diagonais Treliças	UENR 200 x 45 x 15 x 2
Espelho do Beiral	[93 x 45 x 1.5
Cumeeira	CA 200 x 45 x 15 x 2
Oitão Banzo	[153 x 43 x 1.5
Terça	CART 30 x 40 x 12 x 0.8
Longarina	CART 30 x 40 x 12 x 0.8
Tacaniça	[93 x 45 x 1.5
Viga Externa	CA 150 x 43 x 15 x 1.5

Elemento	Nome do Perfil
Guia Interna	[93 x 43 x 1.5
Viga	IENR 150 x 43 x 15 x 1.5 x 0
Contravento	RET 35 x 0.95
Bloqueador	[93 x 43 x 1.5
Espigão/Rincão	CA 150 x 43 x 15 x 1.5
Banzos Treliças	IENR 200 x 43 x 15 x 2 x 0.0
Diagonais Treliças	UENR 200 x 45 x 15 x 2
Espelho do Beiral	[93 x 45 x 1.5
Cumeeira	CA 200 x 45 x 15 x 2
Oitão Banzo	[153 x 43 x 1.5
Terça	CART 30 x 40 x 12 x 0.8
Longarina	CART 30 x 40 x 12 x 0.8
Tacaniça	[93 x 45 x 1.5
Viga Externa	CA 150 x 43 x 15 x 1.5
Viga Externa Lateral	UENR 150 x 45 x 15 x 1.5
Sanefa	[153 x 43 x 1.5

Figura 3.29 Configuração do modelo estrutural no Mcalc/Lsf

Complementarmente, nas definições dos tipos de perfis, tipo de aço, tipos e espaçamentos dos parafusos, o programa é capaz de considerar restrições à torção e flambagem dos painéis aparafusados aos perfis Figura 3.30. Essa opção é configurável pelo projetista, podendo ser ativada conforme necessário. Os contraplacados funcionam como um sistema de diafragma, aumentando consideravelmente a resistência ao cisalhamento. É possível considerar o travamento externo e interno, este travamento permite a estrutura resistir ações horizontais (como sismos e vento), especialmente em estruturas LSF, onde o baixo peso não garante estabilidade por si só.

Figura 3.30 Restrição com contraplacados
(mCalcLSF, 2021)

O programa oferece duas formas de modelação. A primeira é através do modelador LSF, que utiliza plantas 2D e permite o uso de ferramentas automáticas para modelação de paredes, lajes, treliças e coberturas. Assim como no Revit, há uma separação entre a modelação geométrica e o modelo analítico. A segunda opção é a modelação no ambiente 3D do modelo analítico, como no Robot/ Autodesk é possível modelar através de coordenadas vetoriais e não com planos de trabalho, definir tipos de perfis, ligações, cargas e ações do vento, o problema é que todo elemento criado ou alterado no ambiente 3D do modelo analítico não altera a estrutura no modelador LSF, mas é possível proceder com a análise estrutural e perceber as alterações necessárias para garantir a estabilidade da estrutura.

Outro problema nesse processo é que, sempre que o projetista sai do modelador LSF para o ambiente 3D, o sistema salva o arquivo automaticamente, o que impede desfazer alterações na estrutura.

O mCalc/LSF permite importar projetos em DXF sendo a única referência para a criação de guias e montantes no modelador LSF, o programa não permite a criação de perfis por meio da inserção de cotas ou vetores, exceto no modo de modelação 3D do modelo analítico. Dessa forma, é fundamental coordenar com o projetista de arquitetura aspectos como o alinhamento das linhas centrais das paredes, os descontos nas aberturas (guarnições), o isolamento térmico e os níveis de pavimento.

Vale apenas destacar algumas ferramentas automáticas que facilita e maximiza o tempo de modelação e de detalhe construtivo, nomeadamente a criação automática de paredes com guias e montantes, o ajuste dos montantes nos encontros das paredes, as vigas de laje em treliça, as treliças de telhado, os beirados e a abertura e reforço de vãos com perfis (paredes, laje e telhado). As vantagens destas ferramentas no caso de modelação de vergas Figura 3.31 e 3.32, são pré configurados pelo projetista como um template, e suas ligações do modelo analítico são automáticas, reduzindo muito o tempo de modelação.

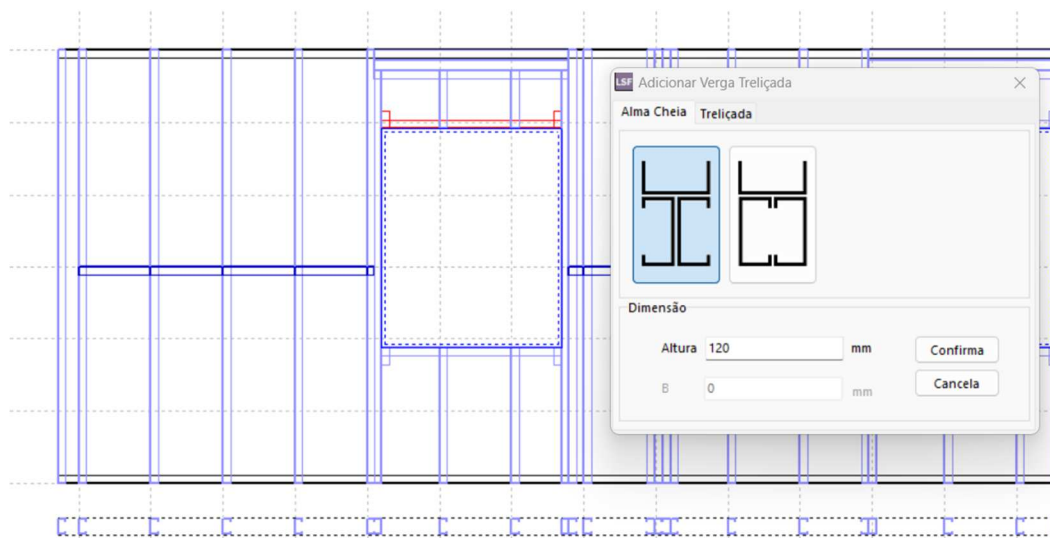


Figura 3.31 Configuração Vergas
(mCalcLSF, 2021)

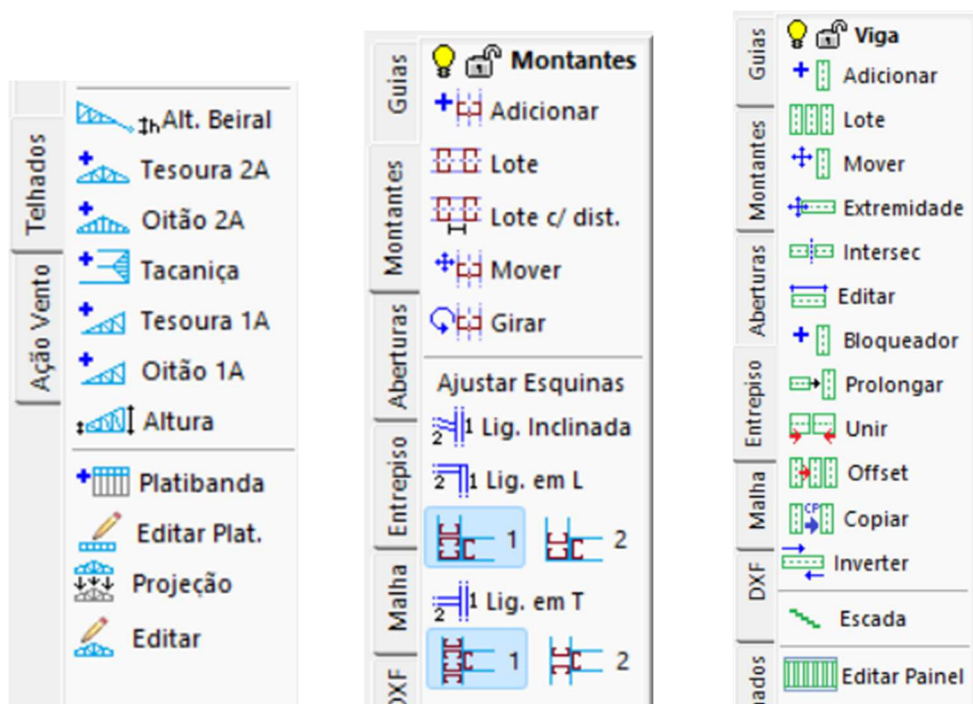


Figura 3.32 Ferramentas de modelação parametrizadas
Mcalc/LSF

Além das configurações físicas do programa, as informações técnicas são fundamentais para uma análise estrutural que represente uma modelação o mais próxima possível da realidade. O software disponibiliza uma ampla gama de configurações, incluindo peso próprio, revestimentos, entrepisos, ações do vento (Figura 3.33, 3.34 e 3.35), bem como opções de interface (cores e unidades de medida de força e comprimento), também permite especificar dimensões dos revestimentos, como contraplacados e gesso cartonado.

O valor da sobrecarga definido para edifícios com atividades domésticas e residenciais será de $2,0 \text{ kN/m}^2$, (CEN E., EN 1991-1-1 Eurocode 1, 2002), os demais valores seguem conforme cada tipo de material utilizado, paredes (placas e revestimentos internos e externo), entrepisos (laje, revestimento de pavimento, forro), telhado (telhas, isolamento, utilidades e sobrecarga).

mCalcLSF :: C:\Users\Samuel Junior\Documents\Samuel\Mestrado\Mestrado 0...

Estrutura **Cargas Padrão** Ação do Vento Interface Projeto Revestimento

PP Parede

Placas internas	8	kgf/m ²	Placa externa	12	kgf/m ²
Revest. interno	6.5	kgf/m ²	Extra	5	kgf/m ²
Revest. externo	8.5	kgf/m ²			

Entrepiso

Laje	35	kgf/m ²
Piso	18	kgf/m ²
Forro	15	kgf/m ²
Sobrecarga	200	kgf/m ²
Extra	10	kgf/m ²

Telhado

Telhas	7.5	kgf/m ²
Isolamento	5	kgf/m ²
Forro	9	kgf/m ²
Utilidades	10	kgf/m ²
Sobrecarga	125	kgf/m ²

☐ Salvar como Padrão

Figura 3.33 Configuração de cargas.

mCalcLSF :: C:\Users\Samuel Junior\Documents\Samuel\Mestrado\Mestrado 0...

Estrutura **Cargas Padrão** **Ação do Vento** Interface Projeto Revestimento

Cpi 0.2

Pdin 23.99 kgf/m²

Telhado

C ₀	8
C ₉₀	8

Paredes

C ₀	0.7	A ₉₀	0.7
A ₀ = B ₀	0.9	C ₉₀ = D ₉₀	0.9
D ₀	0.5	B ₉₀	0.5

☐ Salvar como Padrão

Figura 3.34 Configuração da ação do vento.

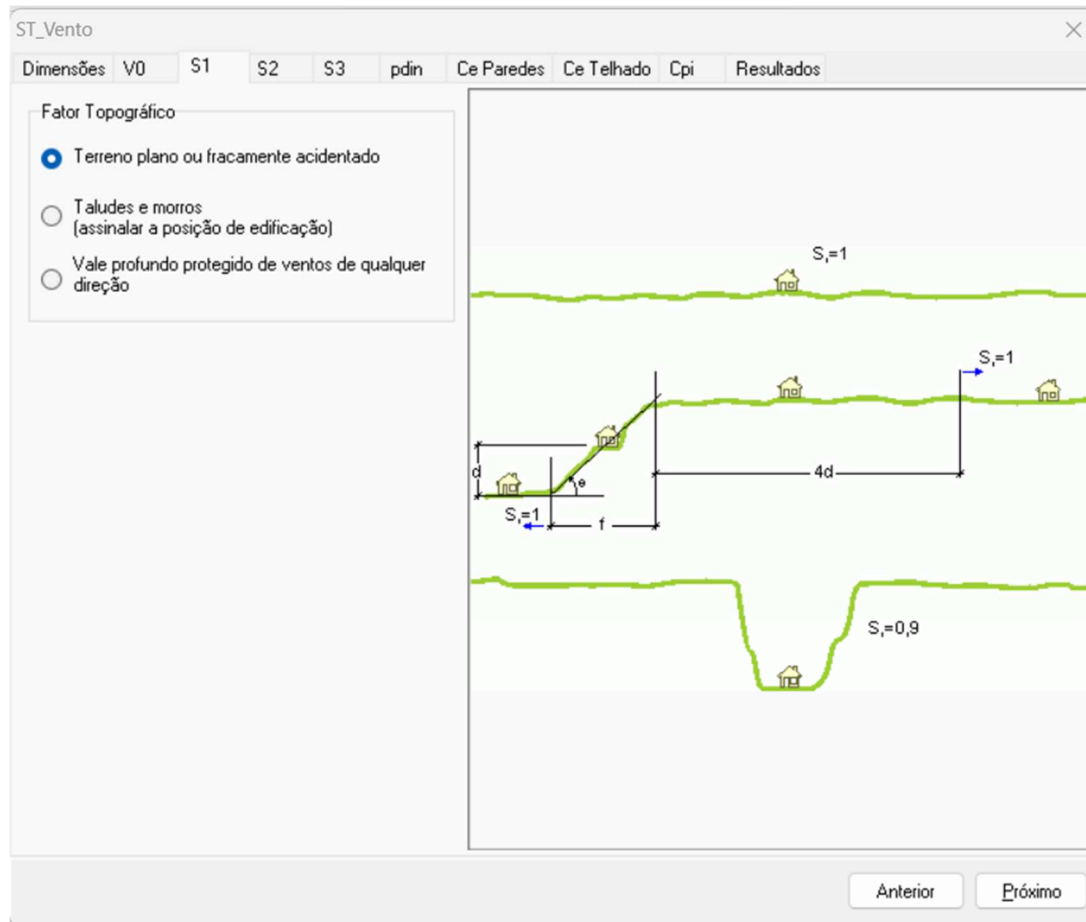


Figura 3.35 Fator topográfico.

Uma das principais dificuldades no mCalc/LSF foi o nivelamento dos perfis de pavimento do piso 1, estes perfis serão fixados na lateral interior da viga de coroamento superior das paredes existente, as guias dos montantes da parede serão fixados com bucha química sobre a mesma viga de coroamento. O programa foi desenvolvido e configurado para estabelecer certos tipos de conexões e continuidade entre os perfis, mas, no contexto de uma modelação de reabilitação mista de alvenaria, betão e LSF, as ferramentas disponíveis no software são limitadas. O software não reconhece adequadamente as ligações estruturais entre os elementos de betão e LSF, é necessário inserir apoios manualmente no ambiente 3D do modelo analítico.

O mCalc/LSF oferece um ambiente 3D do modelo analítico (Figura 3.37) para visualização e edição, mas apresenta limitações significativas para a edição de perfis nesse ambiente. Para projetistas habituados a desenvolver projetos diretamente em 3D e trabalhar

com planos de trabalho, conforme descrito na secção 4.2 (Modelação de Famílias), pode ser um desafio compreender como alcançar certos objetivos.

O programa disponibiliza ferramentas para visualização (Figura 3.36) e geração automática de folhas de projeto. Contudo, apresenta restrições quanto ao detalhe em corte, uma vez que não permite visualizar, em simultâneo, paredes de níveis distintos (inferior e superior) ou a sua relação com os perfis de pavimento e eventuais desníveis. O modelo 3D gerado tem carácter estritamente gráfico, o que torna o processo relativamente lento. Assim, não é possível obter um corte integrado da estrutura, já que o software produz apenas folhas individuais de painéis no modelador LSF. A única alternativa para observar as ligações é o recurso ao Render 3D, que possibilita a visualização dos perfis e conexões. Embora existam filtros que auxiliam na leitura dos elementos, trata-se apenas de uma representação visual, sem possibilidade de edição dos componentes.

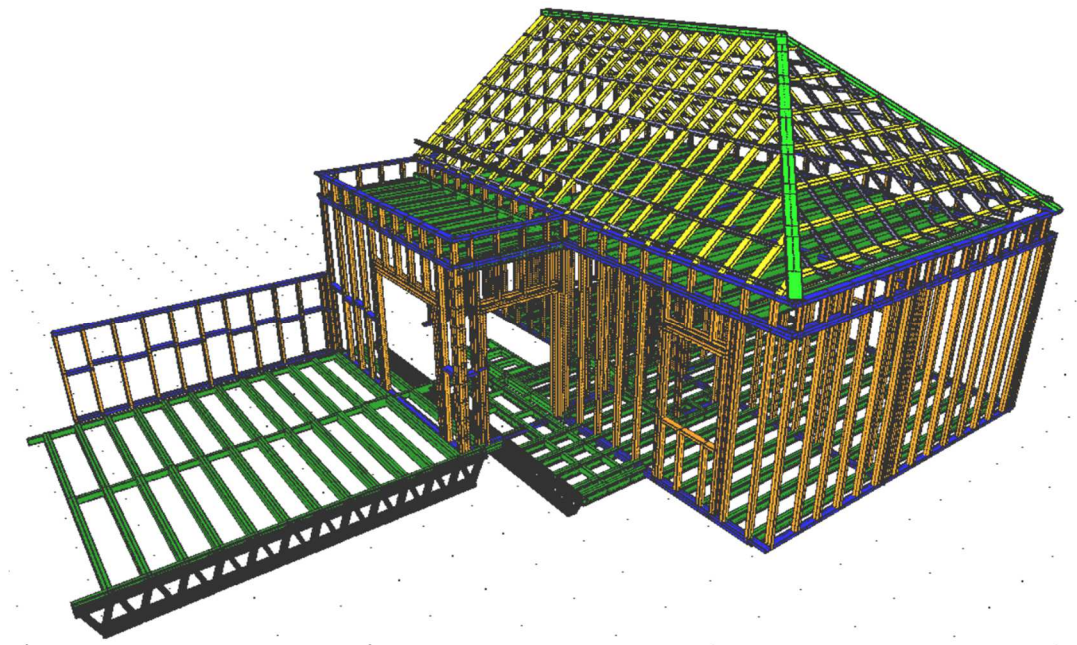


Figura 3.36 Render 3D do 1º Piso no mCalc/LSF.

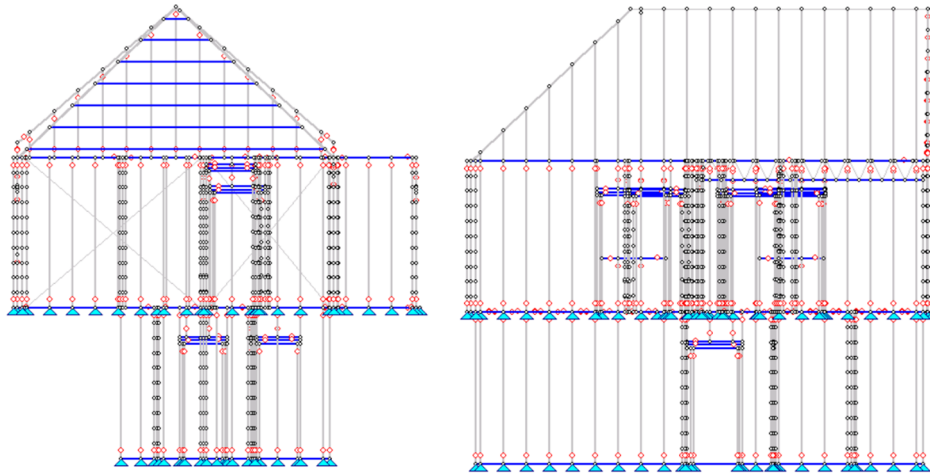


Figura 3.37 Modelo analítico no mCalc/LSF.

Uma das vantagens do mCalc/LSF em comparação ao Revit e o Robot são as ligações dos parafusos dos perfis metálicos, o espaçamento dos parafusos é definido pelo projetista, estas ligações são criadas automaticamente conforme modelo analítico na Figura 3.37 e 3.38. Criar estas ligações no Revit ou Robot da Autodesk é algo impensável dependendo do tamanho do projeto, e nem sempre é possível seguir um padrão sendo que estas ligações são feitas manualmente.

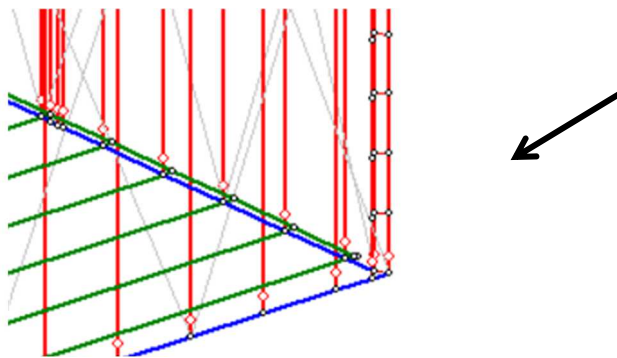


Figura 3.38 Ligações Parafusos Modelo Analítico

Após análise do mCalc/LSF constatou se que o programa é capaz de executar diversos tipos de análises, semelhantes aos de programas típicos de análise estrutural, análise de carga em elementos de LSF, análise de 1ª e 2ª ordem, efeito de temperatura, análise de flambagem local e global.

4 Análise de Resultados

O domínio do software é a parte mais importante do processo da construção da industrializada. Um software que atenda às necessidades de modelação e detalhe construtivo de estruturas em LSF integrado à reabilitação de edifícios existentes, deveria ser capaz de permitir a integração de diferentes tipos de materiais de forma conjunta. Incluso criar automaticamente as ligações entre esses materiais. Tal ferramenta seria essencial para garantir a interação correta entre sistemas estruturais mistos, otimizando tanto o processo de modelação quanto a análise de compatibilidade entre os elementos.

O programa deve ser capaz de fornecer um ambiente 3D que ofereça ao projetista maior liberdade criativa, permitindo a visualização da estrutura sob diferentes ângulos e possibilitando uma análise detalhada de como os elementos se conectam. Trabalhar em um ambiente assim minimiza os riscos de interferências com outros componentes do projeto, melhorando a precisão na compatibilização entre os diversos elementos. Conforme citado no Secção 2.3, "Ligações para LSF", as ligações entre perfis ou infraestruturas podem variar significativamente, dependendo do tipo de material, bem como quantidade e espaçamento dos parafusos. Em projetos de pequena dimensão, essas ligações podem ser criadas manualmente, contudo, em projetos de médio e grande porte, esse procedimento torna-se inviável devido à sua complexidade e ao tempo exigido para rever e corrigir todas as ligações necessárias. A falta de ferramentas de modelação específicas em LSF como conexões ou mesmo perfis pode resultar em perda de precisão e causar falhas de projeto na análise estrutural.

Após a modelação e análise estrutural de toda a edificação utilizando o mCalcLSF versão:1.096.22 64bits, constatou-se elevada eficiência e precisão no desenvolvimento de projetos e no detalhe construtivo de estruturas em LSF fornecidas por ferramentas de software especializado. Os alinhamentos, conexões, sistemas de contraventamento, análises de cargas, vento entre outros elementos, apesar de poder alterá-los posteriormente são definidos no princípio da modelação. Esse processo otimiza a precisão e a produtividade no desenvolvimento estrutural, garantindo a conformidade do projeto com os requisitos técnicos.

Para projetistas BIM habituados a ferramentas como Revit, Archicad e SketchUp, a modelação e visualização simultânea entre plantas de piso e vistas 3D não é apenas comum, mas essencial, garantindo liberdade para criar e editar em ambas as visualizações do projeto. Nesse aspecto, o mCalcLSF não cumpre na totalidade o esperado, embora o software apresente um ambiente 3D, a transição não é fluida entre o modelo analítico e o modelo físico, ou seja, entre o modelador de LSF e o ambiente 3D. Ao mudar do modelador LSF para o ambiente 3D o software sempre salva o arquivo, um processo que pode durar um tempo de espera, ao repetir inúmeras vezes este caminho perde-se muito tempo e impacta o fluxo de trabalho.

Os tipos de perfis escolhidos no pré-dimensionamento foram escolhidos conforme prescrição das tabelas fornecidas por (Silvestre, Pires, & Santos, 2013), e a modelação estrutural foi dividida entre paredes, pavimentos e cobertura.

De acordo com (Silvestre, Pires, & Santos, 2013) na tabela 6.12, as indicações para paredes de até 3 metros de altura sujeitas a cargas de dois pavimentos mais a cobertura com uma largura total do edifício de 8,5 metros, recomenda-se o uso de montantes com largura entre 90 mm à 140 mm e espessura entre 0,8 mm e 1,1 mm. No entanto, como o mercado português não oferece perfis de 140 mm, optou-se pelos montantes C150x1,5 e guias do tipo U153x1,5. Garantindo assim uma margem adicional para a passagem de sistemas, instalação de isolamento térmico e acústico.

Segundo (Silvestre, Pires, & Santos, 2013) na tabela 5.3 lajes, para superar um vão simples de 3,98 m com sobrecarga de $1,92 \text{ kN/m}^2$ prescreve-se um perfil C/200x1,7mm. Entretanto considerando uma sobrecarga de 3 kN/m^2 em um terraço com possibilidade de concentração de pessoas (churrasqueira), optou-se por uma viga composta duplo C150x1,5mm, alinhados pela alma com espaçamento de 41,67 cm. A laje distribui a carga numa lateral sobre uma viga de coroamento de betão armado, no outro extremo distribui a carga sobre uma treliça formada por perfis C150x1,5mm e U153x1,5mm.

Para as cargas de revestimento com ripa “tipo deck” madeira maciça (20 mm), consideraram-se 2 placas de OSB Classe 3 de 18 mm cada, XPS (isolamento) de 100 mm e gesso cartonado de 13 mm, totalizando uma carga permanente sem o peso próprio da estrutura $49,5 \text{ kg/m}^2$.

$$0,4854 \frac{kN}{m^2} * 0,4167m = 0.202 \frac{kN}{m}$$

Carga distribuída por m² ao longo do espaçamento de 0,4167 m

$$\text{Carga uniformemente distribuída e bi-apoiada} = \frac{0,202}{2} = 0,101 \text{ kN/m.}$$

$$\text{Carga por cada perfil C200x2 mm} = \frac{0,101}{2} = 0,051 \text{ kN/m.}$$

Para simplificação dos dados de carga de revestimento, considerou-se o mesmo valor para a laje no interior, apesar de existir uma diferença de 4 kg/m² entre o revestimento utilizado no exterior e o pavimento flutuante laminado adotado no interior. Assim, foi adotado um valor padronizado de 0,051 kN/m sobre cada perfil conforme as tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 Descritivo de sobrecargas

Sobrecarga	0,4 kN/m ²	2 kN/m ²	3 kN/m ²
	Cobertura revestimento	Laje interior	Laje exterior
Número de vigas	19	19	12
Comprimento da viga	3,87	5,32	4
Carga distribuída por m ²	0,4 kN/m ²	2 kN/m ²	3 kN/m ²
Espaçamento entre vigas	0,4167 m	0,4167 m	0,4167 m
Carga linear por viga composta	0,166	0,833 kN/m	1,250 kN/m
Número de perfis por viga	2	2	2
Carga linear por perfil individual	0,08334 kN/m	0,417 kN/m	0,625 kN/m

A distribuição da carga permanente de revestimento da cobertura segue o mesmo princípio, contendo 2 placas de OSB Classe 3 de 18 mm, telha cerâmica tipo Marselha, isolamento lã de rocha 80mm, gesso cartonado 13mm. Totalizando uma carga permanente sem o peso da estrutura de 82,6 kg/m².

Tabela 4.2 Descritivo da carga permanente

Número de vigas	11	19
Comprimento da viga	1,8m	3,85m
Carga distribuída por m ²	0,4 KN/m ²	0,826 KN/m ²
Espaçamento entre vigas	0,4167 m	0,4167 m
Carga linear por viga composta horizontal	0,1667 KN/m	0,344 kN/m
Carga linear corrigida pela inclinação (real na viga)		$\frac{0,344}{\cos (40^{\circ})} = 0,449\text{kN/m}$
Número de perfis por viga	2	2
Carga linear por perfil individual	0,1088 kN/m	0,224 kN/m

4.1 Autodesk Revit e Robot

Dando sequência com o estudo de métodos de modelação com segundo software o Robot, após a modelação e geração do modelo analítico no Revit 2024, é possível identificar diversas considerações relevantes em termos de produtividade, elaboração de projetos, como plantas, alçados, detalhes construtivos e finalizando com a análise estrutural.

Deve destacar-se que o Revit é um programa de modelação arquitetónica e de especialidades, sendo uma delas a modelação de estruturas. Enquanto o mCalc/LSF é um programa de modelação estrutural e análise específico para estruturas em LSF. De forma geral, a modelação de estruturas em LSF no Revit atende aos principais requisitos de um projeto BIM voltado à arquitetura, mas, ainda, apresenta limitações em termos de produtividade de projetos para a análise estrutural. O software oferece um ambiente 3D dinâmico, com ferramentas que permitem a automação e parametrização na criação de famílias. Existe também a possibilidade de integração nas bibliotecas BIM de informação

fornecida pelos fabricantes, o que contribui para maior precisão e eficiência no desenvolvimento do modelo. Além disso, possibilita a criação de diversos tipos de materiais e componentes personalizados, essenciais numa reabilitação onde a estrutura nova tem de se adaptar à antiga. Esta liberdade de criação é fundamental para evolução do BIM e consequentemente de projetos mais eficientes.

Como citado anteriormente, uma das formas de otimizar a produtividade na ausência de ferramentas específicas para estruturas em LSF é através do uso de matrizes. Mesmo tratando-se de uma reabilitação, muitos elementos estruturais repetem-se ao longo do modelo. Ao explorar essa repetição consegue-se reduzir significativamente o tempo de modelação. Outra estratégia importante é trabalhar de forma integrada, entre o modelo físico e o modelo analítico, ao serem ambos modelados, verificam-se apenas as ligações e procede-se à replicação dos elementos com auxílio de matrizes. Este método proporciona maior precisão, facilita eventuais ajustes e contribui para a rapidez na produção e revisão dos modelos.

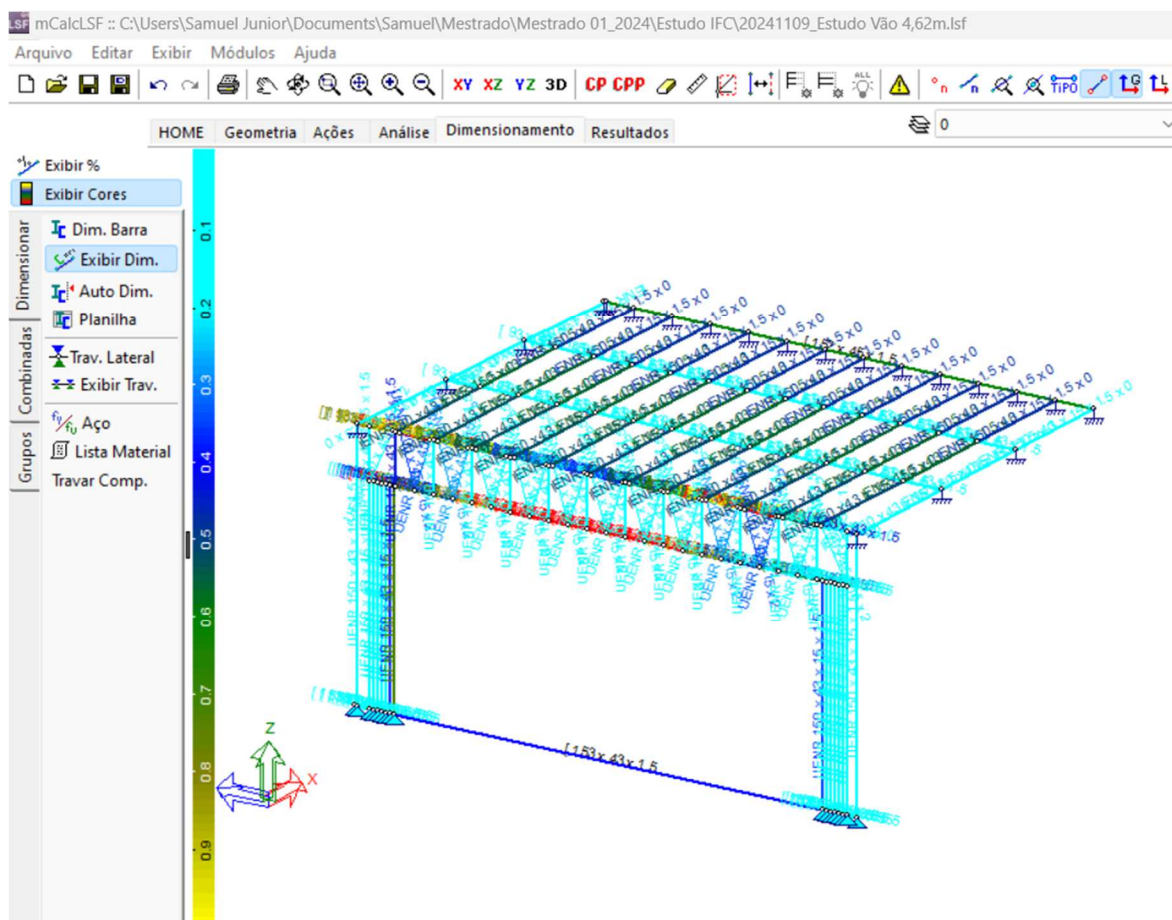
A transferência do modelo estrutural para o Robot não é fluida como em outros projetos estruturais, o Robot não reconhece vários perfis, mesmo depois de definir cada perfil e construir o modelo no Robot não é possível fazer uma atualização por integração direta ou através de arquivo intermediário (.SMXX). A solução foi verificar todos os erros no Robot, alterar no Revit e transferir o modelo novamente para o Robot como um modelo novo.

Na integração do Revit para o Robot as vigas, pilares, lajes podem não estar devidamente conectados nos seus nós analíticos no Revit, pois pequenas diferenças de posição milimétricas já criam nós duplicados ou ligações incompletas no Robot. Isso exige uma verificação minuciosa antes da integração, evitando erros. Os perfis compostos como vigas duplas alinhadas pela alma, podem não ser corretamente lidos como um único elemento estrutural. As restrições de apoio e articulações aplicadas no Revit podem não ser replicadas fielmente no Robot e algumas ligações ou condições de contorno precisam ser redefinidas para assegurar a consistência do modelo. Sendo assim, é fundamental conferir conectividade dos nós, validar seções e materiais, verificar a presença e posição das cargas, rever as condições de apoio e ligações.

Estes procedimentos devem ser feitos em todos os projetos, o problema reside na quantidade de membros e nós analíticos que possui uma estrutura em LSF, o que é um trabalho que consome muito tempo, praticamente inviável economicamente em projetos de médio e grande porte.

4.2 mCalc/Lsf

Após a modelação e análise no mCalc/LSF, seguindo com a verificação dos estados de serviço no maior vão, formado por uma treliça que suporta o terraço acessível figura 4.1, constatou-se que quase toda a estrutura atende a limites aceitáveis, exceto o banzo inferior sendo destacado em vermelho. A solução adotada foi duplicar o banzo inferior e superior figura 4.2 e 4.3, utilizando perfis C150x1,5 e U153x1,5. Com soluções deste tipo percebe-se a versatilidade de trabalhar com perfis de LSF permitindo adaptações eficientes para atender aos requisitos estruturais.



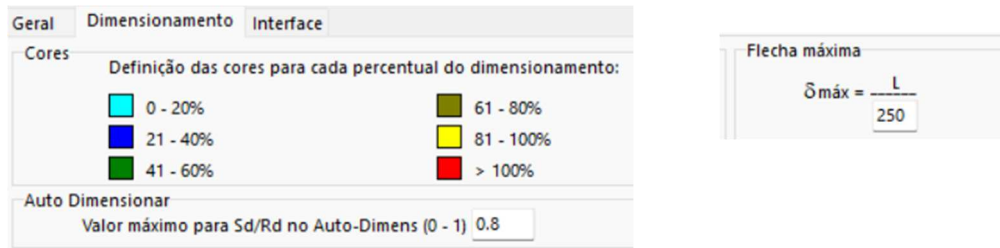


Figura 4.1 Análise Estrutural Laje e Treliça
mCalcLSF.

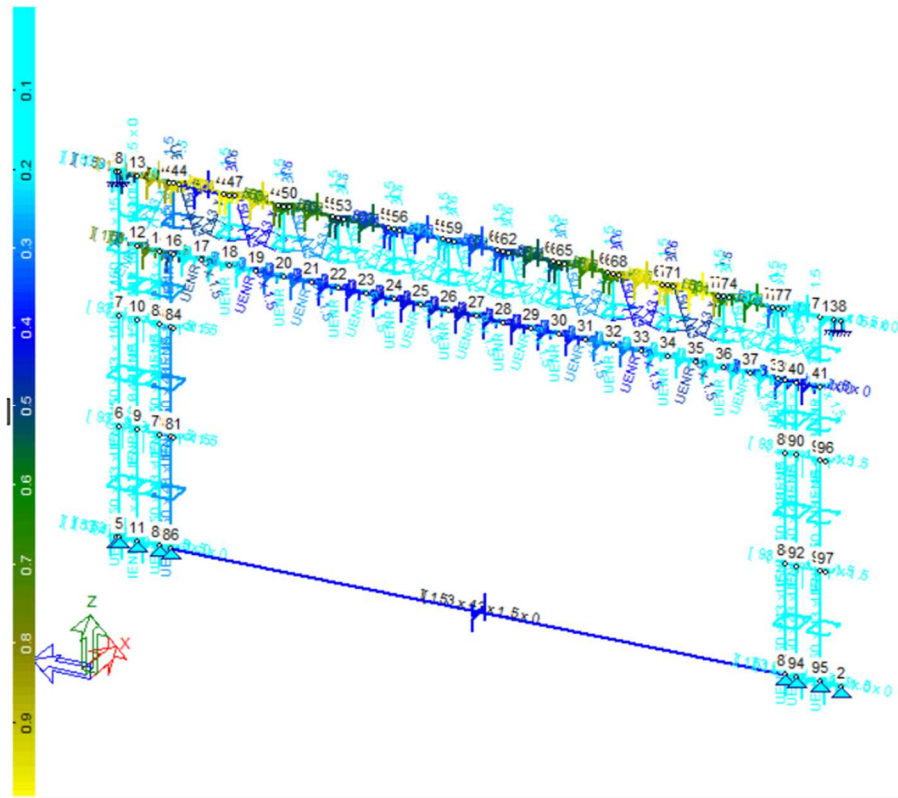


Figura 4.2 Análise estrutural Treliça
(mCalcLSF, 2021)

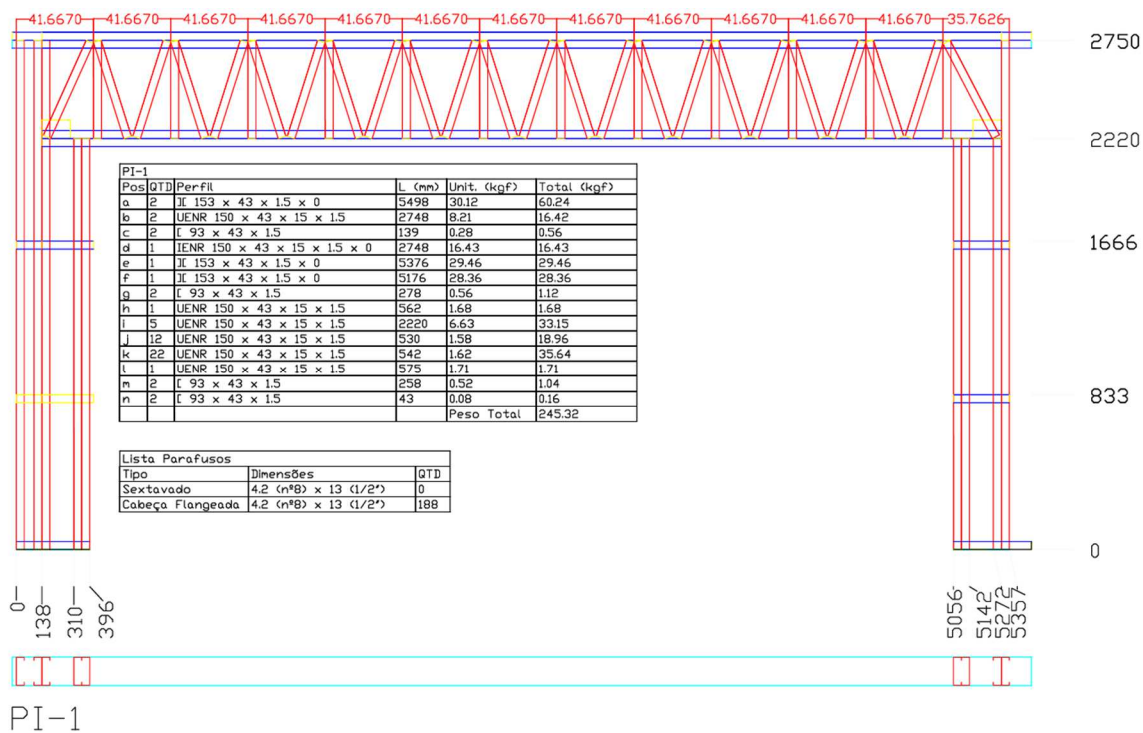


Figura 4.3 Detalhamento construtivo
mCalcLSF, 2021

A consola da varanda foi projetada com os mesmos perfis duplos da laje interior, ou seja, os perfis foram prolongados 2,7m para o interior da consola. Segundo o Método Prescritivo o comprimento maximo para consolas é 60 cm com 1,2 m de comprimento para o interior da consola. Para comprimentos maiores deve-se utilizar um reforço em viga de duplo C alinhados pela alma (“back-to-back”). Considerando as necessidades do projeto para uma consola de 1,5x1,4m apoiada em 2 faces sobre viga de betão, as vigas compostas por perfil duplo C150x43x15x1.5 S280GD alinhados pela alma conforme análise no mCalc/LSF cumprem os estados limite de Serviço (SD) e de Resistência (RD) conforme (Figura 4.4, 4.5 e 4.6).

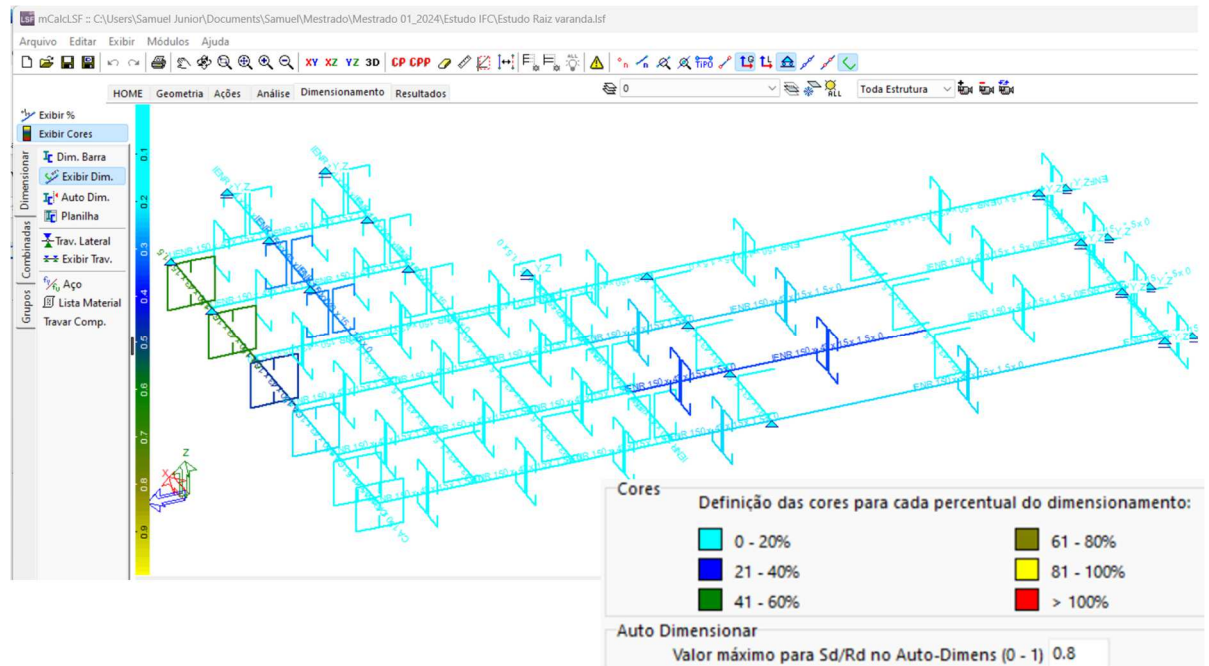


Figura 4.4 Limite de Serviço (SD) e de Resistência (RD) (mCalcLSF, 2021)

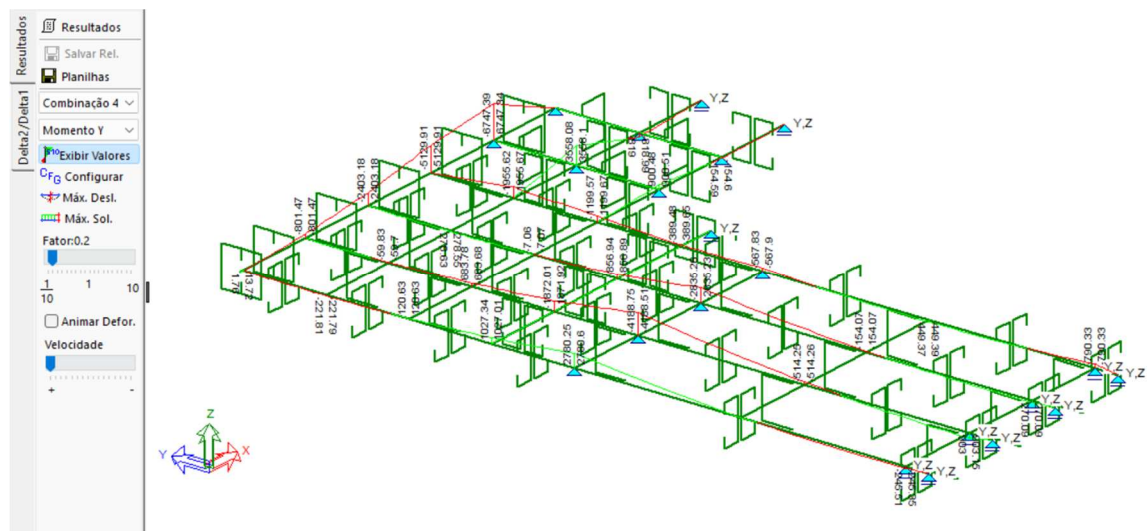


Figura 4.5 Momento em Y da consola mCalcLSF, 2021

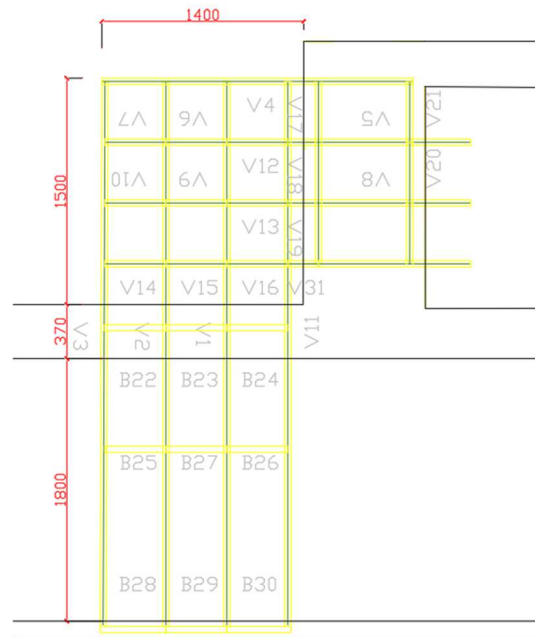


Figura 4.6 Planta do piso 1 da consola
mCalcLSF, 2021

A estrutura da cobertura foi projetada utilizando perfis duplos C200x2mm, alinhados pela alma, figura 4.7 e 4.8. De acordo com a Tabela 7.12 do Manual de (Nuno Silvestre, 2013), que especifica os vãos máximos para vigas de cobertura com reforço de apoio, considerando uma carga de neve de $1,0 \text{ kN/m}^2$, sem contraventamento lateral da aba superior e com espaçamento máximo entre suportes de 60 cm, será exigido o uso de um perfil C200/1,7 mm para suportar até 6,32 m. O caso de estudo apresenta um vão de 6,2 m, que está dentro dos limites definidos pela tabela. Contudo, após a realização da análise estrutural, a solução aprovada pelo software mCalc/LSF consiste na utilização de uma viga composta por dois perfis C200/2mm, garantindo a resistência necessária. Vale ressaltar que as tabelas do método prescritivo consideram apenas coberturas de duas águas, enquanto o projeto em questão possui três águas. Após alteração dos perfis os limites foram respeitados.

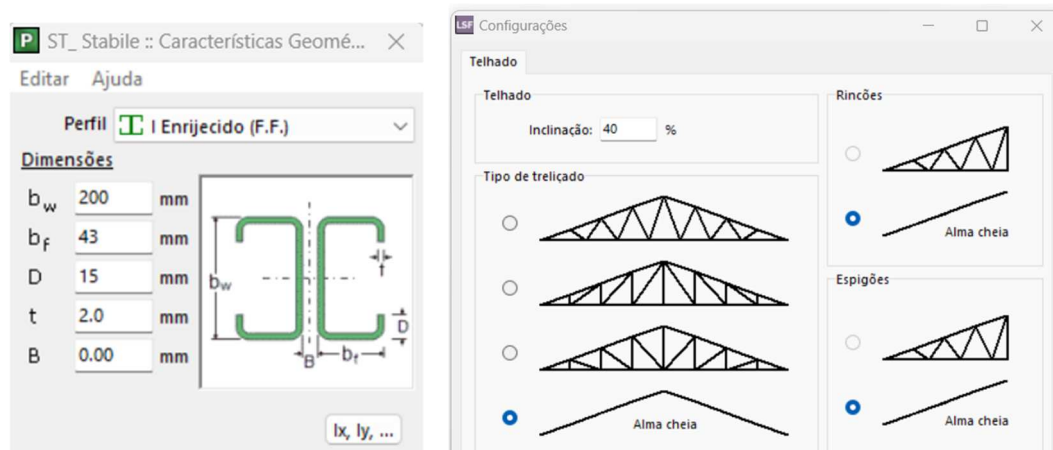


Figura 4.7 Viga Composta telhado “Alma Cheia”
mCalcLSF, 2021

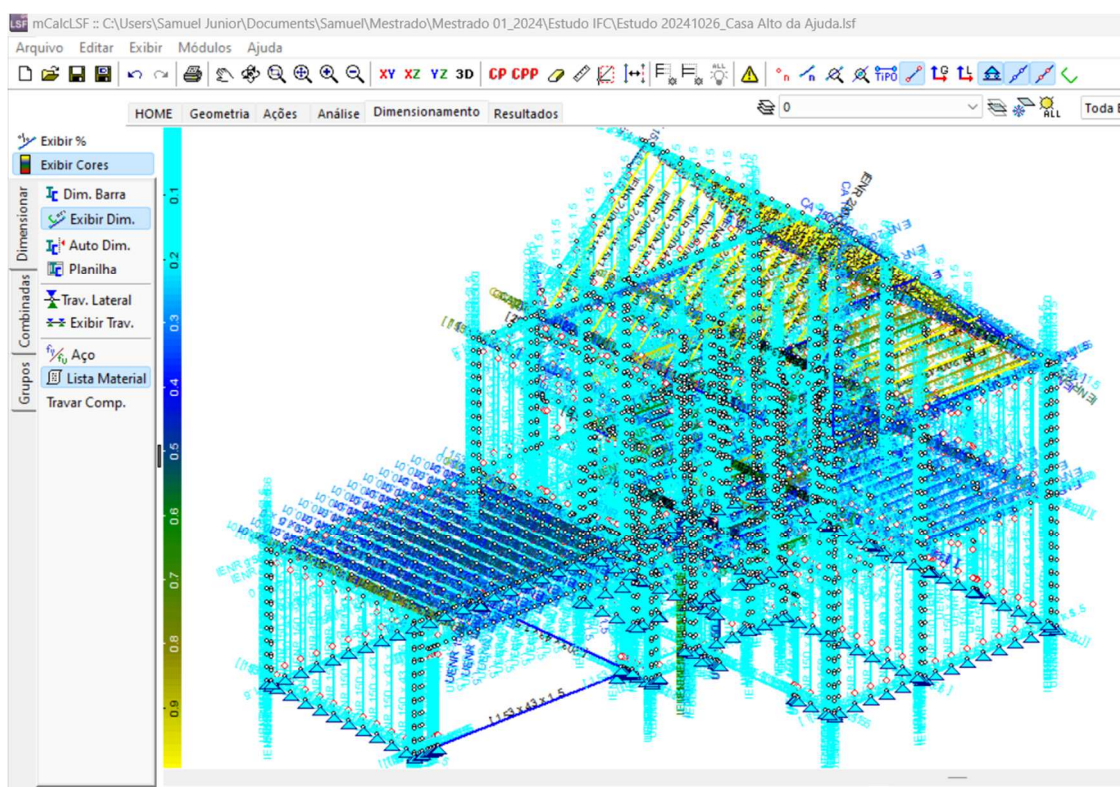


Figura 4.8 Estrutura Completa
mCalcLSF, 2021

Para a laje do 1º piso com vão de 5,32m bi-apoiada com apoio intermédio aos 3,12m foram utilizados perfis duplos C150x43x1,5mm, o reforço surge da necessidade de carga de paredes desalinhadas com as paredes do térreo, em princípio não seria necessário perfis duplos para toda a laje, mas de forma a garantir certo conforto vibracional optou-se pela uniformização em toda estrutura. O mCalc/LSF permite a geração automática de todas as folhas de projeto, já cotadas e acompanhadas dos respetivos quantitativos de materiais referentes a cada detalhe construtivo. Esta funcionalidade agiliza significativamente a

produção de projetos em escala industrial ou para aplicação direta em estaleiro, otimizando o controlo de materiais e contribuindo para a redução de desperdícios. Além disso, os processos automatizados garantem a criação de conteúdos de elevada precisão, favorecendo a assertividade nas medições e na previsão de custos, o que facilita o planeamento e a gestão de obra.

4.3 Síntese de resultados

Por meio da análise comparativa das ferramentas disponíveis no Revit e Robot em relação ao mCalc/LSF, torna-se fundamental identificar os principais pontos que diferenciam os métodos de abordagem adotados para cada software. Essa distinção considera as características específicas de cada ferramenta e sua aplicabilidade no contexto estrutural, o objetivo de otimizar o fluxo de trabalho e garantir maior eficiência no desenvolvimento de projetos. Com base no trabalho realizado consideraram-se os seguintes parâmetros de análise:

- Interface do utilizador, deve ser intuitiva que facilite uso e eficiência, reduzir a curva de aprendizagem e tempo de modelação do projetista;
- Ferramentas automatizadas, deve ter a capacidade de criar elementos parametrizados ajustáveis conforme requisitos do projeto. Deve ser capaz de produzir tarefas repetitivas, como criação de reforços, geração de quantitativos ou detecção de colisões;
- Modelo analítico, deve garantir a precisão da análise estrutural com o físico.
- Alinhamentos, o software BIM deve priorizar funcionalidades para alinhamento automático;
- Ligações, é importante que o software possa identificar as ligações corretas com precisão as condições reais da estrutura;
- Alterações e correções automáticas, é essencial que o software seja capaz de analisar e corrigir elementos individualmente ou grupos e manter as ligações existentes e alinhamentos;

- Projeto de detalhe construtivo, deve fornecer ferramentas eficazes para a produção de plantas e detalhamento tanto em 2D quanto em 3D, facilitando a comunicação;
- Quantificação de elementos, deve ter a capacidade de levantamento de materiais, incluso quantidade de parafusos, quantidades de placas como contraplacados, gesso cartonado e isolamento térmico;
- Exportação de arquivos, é fundamental ter a capacidade de levantamento de materiais, incluso quantidade de parafusos, quantidades de placas como contraplacados, gesso cartonado e isolamento térmico,al que os software se comuniquem de maneira que as perdas de dados seja o mínimo possível;
- Tempo de modelação. Reduzir o esforço para produção de projetos é reduzir custos, o tempo deve ser bem aproveitado em coisas importantes como verificações das reações e estados de limite, não em modelação de detalhamento. O software de ter uma modelagem fluida sem muita interferência do projetista para reduzir ao máximo o tempo de modelação;

Tabela 4.3 Vantagens e desvantagens entre softwares quanto ao interface do utilizador

Elementos construtivos	Software	Vantagens	Desvantagem
Parede Laje Cobertura Treliça	Revit	Organizada de forma segmentada, composta por uma faixa de opções superior (Ribbon), que agrupa os comandos por categorias como Arquitetura, Estrutura, Sistemas e Analisar	Apesar de intuitiva a quantidade de parâmetros disponíveis pode ser uma barreira para iniciantes
	Robot	Apresenta uma organização funcional por abas e painéis laterais, agrupando os comandos de modelação, análise e resultados de forma segmentada e acessível.	Interface desatualizada e pouco intuitiva, falta de automatismos e assistentes de modelação, fluxo de trabalho pouco fluido em projetos complexos, falta de integração gráfica para ligações metálicas detalhadas
	Mcalc/LSF	Organizada de forma intuitiva e segmentada, poucos comandos	Limitação em criar formas complexas ou elementos não ortodoxos principalmente em coberturas

Tabela 4.4 Vantagens e desvantagens entre softwares quanto a Ferramentas automatizadas

	Software	Vantagens	Desvantagens
Parede Laje Cobertura treliça	Revit	Para projetos de arquitetura e estudo preliminar as ferramentas automatizadas são suficientes e atendem a necessidade	Para projeto estrutural as ferramentas não atendem a necessidades do modelo analítico
	Robot	Ferramentas paramétricas básicas para gerar grelhas, malhas de laje, cargas distribuídas e estruturas regulares	Não possui assistentes de modelação automática predefinidos para edifícios, coberturas ou ligações complexas
	Mcalc/LSF	Praticamente toda a interface é parametrizada e automatizada, requerendo pouca intervenção do projetista	Limitação em criar formas complexas ou elementos não ortodoxos

Tabela 4.5 Vantagens e desvantagens do Modelo Analítico para estruturas em LSF

	Software	Vantagens	Desvantagens
Parede Laje Cobertura treliça	Revit	A partir do Revit 2023, a Autodesk reformulou o conceito do Structural Analytical Model (SAM), tornando-o independente do modelo físico	O programa tem limitação em reconhecer as ligações devido a complexidade das estruturas em LS e ferramentas automatizadas.
	Robot		Desalinhamento entre o modelo físico e o modelo analítico no Revit, Perda de propriedades de perfil e materiais, Incompatibilidades com famílias paramétricas personalizadas
	Mcalc/LSF	Pouca ou quase nenhuma intervenção do projetista. Criação de ligações parafusos, reconhecimento de vigas compostas, é possível considerar o travamento externo e interno pelos painéis como (OSB, placas cimentícia e gesso cartonado)	O programa não permite a modelagem diretamente a partir do modelo 3D.

Tabela 4.6 Vantagens e desvantagens para Alinhamentos

	Software	Vantagens	Desvantagens
Parede Laje Cobertura treliça	Revit	Possibilidade de criar eixos ou planos de trabalho como referência para alinhamentos.	Erros na criação do modelo analítico, é necessária verificação manual dos alinhamentos. Muitas das ligações não são corretamente reconhecidas pelo software, originando erros na análise estrutural e exigindo um tempo considerável em verificações e ajustes manuais
	Robot		Erros de reconhecimento em modelos vindo do Revit,
	Mcalc/LSF	O programa cria automaticamente uma malha de alinhamento e todos os perfis são criados automaticamente alinhados os pontos de intersecção garantindo um alinhamento perfeito em toda estrutura	

Tabela 4.7 Vantagens e desvantagens Alterações e correções automáticas

	Software	Vantagens	Desvantagens
--	----------	-----------	--------------

Parede Laje Cobertura treliça	Revit	Boa capacidade de filtrar elementos Alterações dos perfis em conjunto ou individual	Com as alterações dos perfis é necessário ajustes dos alinhamentos e modelo analítico
	Robot	Possibilidade de alterações entre elementos semelhantes, Flexibilidade na alteração de propriedades de elementos	Falta de atualização bidirecional automática com o Revit, Risco de perda de alterações na troca de modelos com o Revit.
	Mcalc/LSF	Excelente capacidade de alterar perfis em conjunto ou individual, o programa ajusta em conjunto toda a estrutura	

Tabela 4.8 Vantagens e desvantagens para Projeto de detalhe construtivo

	Software	Vantagens	Desvantagens
Parede Laje Cobertura treliça	Revit	Boa capacidade de detalhamento em planta, alçado e 3D através de templates com folhas e tabelas pré configuradas.	
	Robot	Geração automática de relatórios técnicos e mapas de esforços, Representação gráfica parametrizável de esforços e deslocamentos,	Não existe ambiente gráfico dedicado ao detalhamento físico, depende da exportação para CAD para desenho final,
	Mcalc/LSF	Todas as folhas são criadas automaticamente (paredes, pavimentos, vigas, treliças e conectores). Além dos desenhos todas as tabelas de quantificação, classificação numérica para montagem são criados junto com cada detalhamento.	Apesar de fornecer um visualizador 3D não é possível inserir detalhes como cotas, texto ou chamada de detalhe. Para editar as folhas é necessário um programa no formato DXF, amplamente utilizado em aplicações de CAD

Tabela 4.9 Vantagens e desvantagens para Quantificação de elementos

	Software	Vantagens	Desvantagens
Parede Laje Cobertura treliça	Revit	Boa capacidade de configuração de tabelas com possibilidade de inserção de dado, fornecedores, fichas técnicas e outros.	Classificação e criação de tabelas depende do projetista
	Robot	Criação de tabelas de resultados por elemento, criação de tabelas para orçamentação,	Resultados pouco personalizável, Quantitativos limitados ao modelo analítico, sem consideração de pormenores construtivos,
	Mcalc/LSF	Excelente capacidade de levantamento de materiais, incluso quantidade de parafusos cabeça flangeada e sextavada, quantidades de placas OSB, gesso cartonado, manta (barreira de umidade e isolamento térmico). A lista de materiais é criada sem a interferência do projetista, os erros de configuração ou classificação das famílias são nulas.	Não é possível vincular dados como fornecedores, preço, fichas técnicas. É um programa exclusivo para produção,

Tabela 4.10 Vantagens e desvantagens para Exportação de arquivos

	Software	Vantagens	Desvantagens
Parede Laje Cobertura treliça	Revit	Excelente capacidade de comunicar com formato CAD. (DWG, DXF, DGN, OBJ, SAT OU STL), PDF, IFC, DWF, DWFx e gbXML.	
	Robot	Compatibilidade com diversos formatos padrão da indústria (DXF, DWG, IFC, TXT, XML e CSV).	Incompatibilidade na exportação de elementos físicos e ligações detalhadas, Exportação parcial e suscetível a erros para o Revit.
	Mcalc/LSF	Classificação média de comunicação com outras plataformas. Se comunica com os principais software mais utilizados pelo mercado DXF, IFC, XML e arquivo nativo LFS (mCalc/LSF)	Variedade limitada de formatos de arquivos disponíveis para exportação e com configurações limitadas em IFC,

Tabela 4.11 Vantagens e Desvantagens para Tempo de modelação

	Software	Vantagens	Desvantagens
Parede Laje Cobertura treliça	Revit	Dependendo da experiência do projetista com o Revit a modelagem de estruturas em LSF para arquitetura é rápida, mas servindo como um estudo preliminar	A ausência de automatizações ou bibliotecas específicas exige que o projetista dedique um esforço adicional para configurar manualmente elementos estruturais, corrigir desalinhamentos, e ajustar propriedades técnicas, o que impacta a eficiência do fluxo de trabalho e aumenta o risco de inconsistência
	Robot	Para projetos vindo do Revit já revisados o tempo de análise é rápido e fluido indicando os problemas encontrados durante a análise.	Devido a uma interface pouco intuitiva e à ausência de ferramentas automatizadas, quaisquer ajustes ou alterações no Robot implica um tempo considerável na modelação e revisão do modelo estrutural.
	Mcalc/LSF	A modelagem é quase que toda automatizadas com ferramentas parametrizadas que permitem um fluxo de trabalho muito superior a software não especializados. Levaria menos tempo que um estudo de viabilidade no Revit, mas com um grau de execução pronto para execução.	

5 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo analisar e modelar estruturas em LSF aplicadas em projetos de reabilitação, recorrendo à metodologia BIM. Para tal, foram utilizadas as ferramentas Autodesk Revit e Robot, complementadas pela aplicação mCalcLSF para verificação e comparação de modelação e dimensionamento. A investigação permitiu compreender não só os procedimentos de modelação BIM adaptados a estruturas metálicas leves, mas também avaliar a fiabilidade e a coerência dos resultados estruturais obtidos através de diferentes softwares.

O principal contributo desta dissertação prende-se com a criação de famílias para modelação de estruturas em LSF que poderão ser disponibilizadas futuramente permitindo facilitar a execução de projetos em LSF pelos projetistas. Além disso, este trabalho permitiu a criação de alguns tutoriais que poderão ser partilhados digitalmente a fim de facilitar a utilização destes softwares.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, foi possível verificar que a modelação BIM aplicada ao sistema LSF oferece vantagens significativas na compatibilização de projetos e na geração de documentação técnica precisa e atualizável. Destacou-se a importância da correta definição do modelo analítico, cuja configuração criteriosa tem impacto direto sobre a fiabilidade das análises estruturais realizadas.

Assim como observado no estudo de (Caeiro, 2021), a integração entre o Revit e o Robot, apesar de ambos serem desenvolvidos pela Autodesk, ainda carece de melhorias. Contudo, foram detetados problemas na transferência de determinados elementos e ligações típicas, exigindo adaptações e validações manuais para assegurar a consistência do modelo estrutural. Adicionalmente, as comparações realizadas com os resultados obtidos pelo mCalcLSF permitiram validar as análises efetuadas no Robot e os critérios adotados para o dimensionamento dos elementos compostos.

Outro contributo relevante da investigação foi a análise do comportamento estrutural de seções compostas, permitindo confirmar que o aumento da inércia de elementos duplicados ou combinados, supera proporcionalmente o simples acréscimo linear da seção,

fato evidenciado nas simulações e verificado em conformidade com a literatura técnica consultada. Esta constatação reforça a pertinência do dimensionamento otimizado de elementos estruturais em LSF, especialmente em projetos de reabilitação onde as condicionantes construtivas impõem limitações de espaço e sobrecarga.

Segundo (Andrade, 2016) a aplicação do sistemas construtivos em LSF na reabilitação habitacional apresenta vantagens significativas face às soluções construtivas tradicionais, nomeadamente ao nível da redução dos prazos de execução de obra. Os resultados do presente estudo confirmam essa tendência, evidenciando que o LSF constitui uma técnica viável e competitiva para intervenções de reabilitação urbana.

Apesar das evidentes vantagens do sistema LSF no contexto da construção sustentável e da reabilitação urbana, a implementação prática de projetos estruturais nesse sistema enfrenta obstáculos significativos, especialmente no que diz respeito à produção de modelos digitais consistentes e de elevado nível de detalhe construtivo para análise estrutural. A modelação BIM de estruturas em LSF exige um rigor significativo na definição dos elementos estruturais, ligações, restrições e propriedades dos perfis, dado que pequenas omissões ou simplificações podem comprometer a integridade dos resultados obtidos nas simulações.

Durante o desenvolvimento deste estudo, constatou-se que a elaboração de um modelo BIM com nível de desenvolvimento (LOD) compatível com análises estruturais de precisão, exige um tempo significativo do projetista com parametrizações específicas para os perfis leves, detalhe construtivo de consolas, ligações parafusadas, reforços locais e modelação de soluções compostas. Essa elevada carga de trabalho, associada à carência de bibliotecas nativas otimizadas para LSF nos principais softwares BIM, configura um fator limitador para a popularização do sistema, especialmente em mercados onde o custo de projeto tem um peso determinante nas decisões construtivas.

Adicionalmente, a dificuldade de compatibilizar o modelo geométrico e o modelo analítico dentro do ambiente BIM, em especial no Revit impõe restrições operacionais que exigem validações manuais frequentes, revisão e ajustes nas ligações, para garantir coerência entre o comportamento estrutural simulado e a realidade física da estrutura. Essas limitações reduzem a eficiência do processo, consequentemente aumenta o custo e o tempo de projeto,

dificultando a viabilidade económica do uso de LSF em pequena e média escala, onde a margem de investimento em consultoria técnica é, por norma, mais restrita.

Embora os resultados obtidos tenham sido satisfatórios e alinhados com os objetivos propostos, detetaram-se limitações, nomeadamente a dificuldades na modelação automatizada de ligações específicas do sistema LSF em ambiente BIM, a inexistência de bibliotecas normalizadas nacionais portuguesas para perfis metálicos leves e as restrições inerentes à interoperabilidade entre os softwares utilizados constituíram os principais constrangimentos identificados. Tais aspetos sugerem a necessidade de desenvolvimento futuro de bibliotecas customizadas em arquivos IFC e plugins específicos para o contexto LSF, bem como a ampliação de estudos experimentais que validem as análises numéricas realizadas em ambiente virtual.

Por fim, o uso de softwares BIM para LSF deve priorizar a flexibilidade e a automatização. A simplificação do fluxo de trabalho, aliada à precisão na modelação e análise, estes pontos não apenas aumentam a eficiência, mas também melhoram a colaboração entre as equipas de projeto. A integração de ferramentas que automatizam etapas críticas, como a geração de modelos analíticos a partir de modelos físicos e a identificação automática de ligações, é essencial para garantir que o modelo represente com precisão as condições reais da estrutura. Isso não apenas reduz a probabilidade de inconsistências e erros durante uma análise estrutural, mas também facilita uma tomada de decisão baseada em dados confiáveis. Além disso, a redução do tempo de modelação, aliada à melhoria na comunicação entre softwares por meio de interoperabilidade melhorada, contribui para uma abordagem mais integrada e dinâmica.

Ressalta-se, por fim, a utilidade da partilha de famílias LSF em bases de dados específicas, pois facilita a reutilização em novos projetos, reduz o tempo de modelação e apoia a difusão prática desta solução construtiva no setor da reabilitação. Entre os repositórios internacionais destacam-se plataformas como BIMobject (BIMobject, 2025), MEPcontent (MEPcontent, 2025) e Bimstore (Bimstore, 2025), que disponibilizam famílias paramétricas compatíveis com múltiplos softwares BIM. Adicionalmente, algumas destas plataformas oferecem conteúdo adaptado ao contexto português, como as bibliotecas do Autodesk Revit 2024 (Autodesk, 2025), permitindo que os projetistas apliquem diretamente

os componentes normalizados de LSF em projetos locais, mantendo a coerência informacional e a interoperabilidade.

Portanto, a adoção de soluções BIM com interfaces mais intuitivas e especializadas representa uma evolução necessária no setor de construção em LSF. O aparecimento de ferramentas que combinam automação, flexibilidade e integração são uma base para atender à crescente complexidade dos projetos e as expectativas de um mercado que exige maior eficiência e precisão em todas as etapas do processo de engenharia. Embora diversas metodologias tenham sido propostas para a otimização de modelação de estruturas em LSF, a integração de algoritmos de inteligência artificial (IA) no processo de conceção e dimensionamento permanece inexplorada, representando uma oportunidade relevante para futuras investigações.

A utilização de IA tem demonstrado um potencial significativo para superar desafios associados à complexidade e ao tempo de desenvolvimento de projetos. Recentemente, propuseram um framework inovador que combina modelação paramétrica em BIM com algoritmos de otimização baseados em recozimento simulado (em inglês *simulated annealing*), visando automatizar o dimensionamento estrutural de edifícios em LSF na China. Este sistema permitiu reduzir o tempo de projeto em até seis vezes, mantendo a precisão e eficiência estrutural, através da geração automática de modelos otimizados com menor consumo de material, conforme (Zhou, Sun, Chen, Yang, & Liu, 2023) o framework proposto é aplicável a estruturas de aço leve em áreas rurais, mas ainda requer intervenção de engenheiros para entrada de dados e transmissão de informações.

O estudo de (Gonçalves Jr & Correia, 2019) estabeleceu uma análise comparativa entre o processo de fabricação de elementos LSF de duas empresas incorporando um modelo BIM. Para tornar o processo mais eficiente, os autores destacam a importância de criar um modelo virtual BIM único e partilhado entre os diversos intervenientes no projeto para melhorar a eficiência do trabalho colaborativo. Do ponto de vista académico e técnico, é importante a continuidade de estudos que avaliem o impacto económico do tempo de

modelação detalhada na viabilidade global de projetos em LSF, contribuindo para o desenvolvimento de práticas e soluções mais acessíveis e produtivas.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, o aprofundamento da análise de ligações metálicas em ambiente BIM e a avaliação do desempenho estrutural de soluções mistas e híbridas, ampliando o contributo desta tecnologia para a construção sustentável e eficiente.

Conclui-se, assim, que a modelação BIM de estruturas em LSF aplicada a projetos de reabilitação apresenta-se como uma metodologia eficaz e tecnicamente viável, capaz de integrar a análise estrutural e a modelação geométrica num ambiente único, assegurar a interoperabilidade entre diferentes plataformas de cálculo e projeto, otimizar o processo de conceção através da rastreabilidade da informação, e consequentemente contribuir para maior precisão, eficiência e sustentabilidade nas intervenções de reabilitação.

Bibliografia

- 1, E. 1.-1.-1. (2002). *Ações em Estruturas. Parte 1-1: Ações Gerais – Densidades, Peso Próprio, Cargas Impostas para Edifícios*.
- Andrade, R. M. (12 de 2016). Estudo comparativo entre sistemas construtivos: “Light Steel Framing” vs “Construção Tradicional”. *Estudo comparativo entre sistemas construtivos: “Light Steel Framing” vs “Construção Tradicional”*, p. 119. doi:<http://hdl.handle.net/10400.1/10032>
- Autodesk. (03 de 2025). *Autodesk Revit 2024 Content – Libraries and families*. Obtido de <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/tsarticles/ts/2BQRb68xV4vUxhiNWf7k.html>
- Autodesk Ajuda. (01 de 01 de 2024). Obtido de Autodesk Revit 2024: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/PTB/?guid=GUID-43DA0959-A541-459F-8370-C5149433FFB4>
- BIMObject. (2025). *bimobject.com/pt*. Obtido de <https://www.bimobject.com/pt>
- Bimstore. (03 de 2025). Obtido de https://www.bimstore.co/?utm_source=chatgpt.com
- CA: Autodesk. (2023). *Robot Structural Analysis Professional 2023 User Guide*, p. <https://help.autodesk.com>.
- Caeiro, A. M. (07 de 2021). Implementação da metodologia BIM no desenvolvimento de projetos de estruturas. pp. 96, 97. doi:<http://hdl.handle.net/10400.21/13818>
- CEN, E. 1. (2015). EN 10346:2015. (CEN, Ed.) *Continuously hot-dip coated steel flat products for cold forming — Technical delivery conditions*.
- CEN, E. (2002). EN 1991-1-1 Eurocode 1. *Eurocode 1: Actions on structures — Part 1-1: General actions — Densities, self-weight, imposed loads for buildings*. Brussels, Brussels: CEN.
- CEN, E. 8. (2004). EN 1998-1:2004 Eurocode 8. (CEN, Ed.) *Design of structures for earthquake resistance — Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*, p. Parte 1.
- Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *Manual de BIM: Guia para a Modelagem da Informação da Construção para Proprietários, Gerentes, Projetistas, Engenheiros e*

Empreiteiros (2ª edição ed.). Hoboken, Hoboken, New Jersey, EUA: John Wiley & Sons.
doi:978-0-470-54137-1

Ferreira, M. (2014). O sistema construtivo com estrutura leve em aço. (U. d. Coimbra, Ed.) p. 80.
doi:<https://hdl.handle.net/10316/38536>

Geoportal energia e Geologia. (19 de 01 de 2024). Obtido de GEOPORTAL:
<https://geoportal.ineg.pt/mapa/#>

Gonçalves Jr, M. A., & Correia, F. R. (2019). Inovação no fluxo tradicional de produção de elementos pre-fabricados em Light Steel Framing com BIM. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO*.
doi:<https://doi.org/10.46421/sbtic.v2i00.154>

Graphisoft.com. (05 de 06 de 2024). <https://help.graphisoft.com>. Obtido de Ajuda Archicad 2024:
https://help.graphisoft.com/AC/24/bra/_AC24_Help/081_StructuralAnalyticalModelTools/081_StructuralAnalyticalModelTools-1.htm

ISO 16739. (2 de 03 de 2024). Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. p. 469. Obtido de
https://www.iso.org/standard/84123.html?utm_source=chatgpt.com

ISO 22014:2024, I. (s.d.). Library objects for architecture, engineering, construction and use. *edition 1*, p. 37. Geneva: ISBN. Obtido de <https://www.iso.org/standard/84473.html>

ISO 23386:2020. (s.d.). Building information modelling and other digital processes used in construction. *Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected data dictionaries* (p. 40). Genebra, Suíça: International Organization for Standardization (ISO), em cooperação com CEN/TC 442 (Building Information Modelling). Obtido de <https://www.iso.org/standard/75401.html?>

ISO 23387:2020. (s.d.). Building information modelling (BIM) — Data templates for construction objects used in the life cycle of any built asset — Concepts and principles. *International Organization for Standardization (ISO), em cooperação com CEN/TC 442 (Building Information Modelling)* (p. 30). Genebra, Suíça: ISO/TC 59/SC 13 (Organization of information about construction works). Obtido em 13 de 09 de 2025, de <https://www.iso.org/standard/75403.html?>

Liliana Oliveira, P. T. (2024). *Classificação de Comportamento Sísmico de Lisboa*. Lisboa: Urbanos, CERU - Centro Europeu de Riscos.

Mateus, J. C. (2011). *A história da construção em Portugal*. Coimbra: Edições Almedina.

mCalcLSF. (23 de 09 de 2021). Obtido em 17 de 01 de 2024, de ST - Stabile:
<https://www.stabile.com.br/programasgeral/mcalcslsf/>

Mendonça, M. M. (17 de 03 de 2010). Sustentabilidade na construção civil: realidade ou utopia? (U. F. Gerais, Ed.) *Sustentabilidade na construção civil: realidade ou utopia?*, p. 30 a 32.
doi:<http://hdl.handle.net/1843/BUBD-9K9H7L>

MEPcontent. (03 de 2025). *MEPcontent*. Obtido de BIM files for MEP and construction:
<https://www.mepcontent.com/en/bim-files/>

Moreira, H. M. (2012). Utilização de Perfis Enformados a Frio em Obras de Reabilitação. p. 142.
doi:<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/mcr/dissertacao/2353642425853>

Pecol.pt. (20 de 01 de 2024). Obtido em 20 de 01 de 2024, de *Pecol.pt*:
<https://loja.pecol.pt/products/0102020103/bucha-metalica-seg-pcl-753>

Perfisa. (19 de 01 de 2024). *Biblioteca BIM*. Obtido de Perfisa.pt: <https://perfisa.pt/biblioteca-bim/>

Rego, D. (10 de 2012). Estruturas de Edifícios em Light Steel Framing. (I. S. Técnico, Ed.) p. 175.
doi:<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/mec/dissertacao/2353642422642>

Silvestre, N., Pires, J., & Santos, A. (2013). *Manual de Conceção de Estrutura e Edifícios em LSF*. (A. Lamas, Ed.) Portugal: CMM - Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista.

soudal.pt/diy/produtos/buchas-quimicas. (2024.01.19). Obtido de <https://www.soudal.pt/diy>:
<https://www.soudal.pt/diy>

Standardization, C. –E. (2025). EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN: EN 1993-1-1: Eurocode 3.

Tavares, V. M. (02 de 2025). LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PREFABRICATED BUILDINGS TOWARDS A BUILDING STOCK APPROACH. p. 10. doi:<https://hdl.handle.net/10316/100418>

weatherspark.com. (02 de 10 de 2024). *pt.weatherspark.com*. Obtido de weatherspark.com:
[https://pt.weatherspark.com/y/32022/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Lisboa-Portugal-
durante-o-ano#Figures-WindSpeed](https://pt.weatherspark.com/y/32022/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Lisboa-Portugal-durante-o-ano#Figures-WindSpeed)

Zhou, T., Sun, K., Chen, Z., Yang, Z., & Liu, H. (02 de Junho de 2023). Automated Optimum Design of Light Steel Frame Structures in Chinese Rural Areas Using Building Information Modeling and Simulated Annealing Algorithm. (P. Santos, Ed.) *Intelligent Optimization of Structural Design for Light Steel Frame Rural Buildings Based on Simulated Annealing and BIM. Sustainability*, 1, p. 45. doi:<https://doi.org/10.3390/su15119000>

6 ANEXOS

6.1 BEP – Plano de Execução BIM

1. Identificação do Projeto

Projeto: Reabilitação e ampliação de moradia unifamiliar em LSF

Localização: Alto da Ajuda

Tipologia: T3

Área de implantação: 83,3 m²

Área total: 193,6 m² (3 pisos)

Autor: Samuel João da Silva Júnior – OE nº 88678

Entidade Académica: [Inserir universidade/instituto]

Data de início: junho /2025

Duração estimada do estudo: 6 meses

Objetivos BIM

2. Desenvolver métodos de modelação e parametrização de estruturas em LSF aplicados a metodologia BIM, normas e referências

ISO 22014:2024 – Objetos de biblioteca em AEC.

ISO 23386:2020 – Propriedades em dicionários BIM.

ISO 23387:2020 – Templates de propriedades.

ISO 16739:2018 (IFC) – Interoperabilidade.

Manual de Concepção de Estruturas em LSF (Silvestre, 2013).

3. Metodologia e Fases do Processo BIM

3.1 Modelação Paramétrica (Revit)

Criação de famílias LSF parametrizadas (perfis, painéis, vigas, pilares, treliças).

Aplicação de atributos normalizados (materiais, classes de aço, dimensões).

Definição do modelo analítico.

4. Coordenação e Detalhe

Produção de cortes, vistas 3D e documentação gráfica.

Modelação de reforços de vãos, ancoragens e detalhes de ligações.

5. Análise Estrutural

Exportação para Robot Structural Analysis e mCalcLSF.

Verificação de coerência geométrica e propriedades exportadas.

Comparação de resultados: tensões, deformações, dimensionamento.

6. Avaliação

Análise crítica da interoperabilidade (Revit ↔ Robot ↔ mCalcLSF).

Identificação de vantagens/limitações.

7. LOD (Level of Development)

LOD 200 – conceção preliminar (geometria geral).

LOD 300 – modelo estrutural detalhado.

LOD 350 – integração de detalhes construtivos.

8. Software e Interoperabilidade

Autodesk Revit – modelação paramétrica.

Autodesk Robot Structural Analysis – análise estrutural.

mCalcLSF – cálculo específico LSF.

IFC – formato de troca de informação.

9. Conclusão

Este BEP assegura que a execução do projeto segue uma metodologia BIM consistente, baseado em normas internacionais e praticas adequadas para estruturas em LSF. O plano garante rastreabilidade, comparabilidade e validação científica dos resultados.