



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MAIZE CIBELE DE LIMA MELO

LINHA DE VIDA: PROJETO ESTRUTURAL COM OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS

CARAÚBAS-RN

2021

MAIZE CIBELE DE LIMA MELO

LINHA DE VIDA: PROJETO ESTRUTURAL COM OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Diego David Silva Diniz.

CARAÚBAS-RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M5281 MELO, Maize Cibebe de Lima.
LINHA DE VIDA: PROJETO ESTRUTURAL COM
OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS / Maize Cibebe de Lima
Melo. - 2021.
69 f. : il.

Orientador: Diego David Silva Diniz.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2021.

1. Linha de vida. 2. Otimização de projeto. 3.
Estruturas metálicas. I. DINIZ, Diego David Silva
, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MAIZE CIBELE DE LIMA MELO

LINHA DE VIDA: PROJETO ESTRUTURAL COM OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Defendida em: 27 / 05 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

DIEGO DAVID SILVA
DINIZ:07397414460

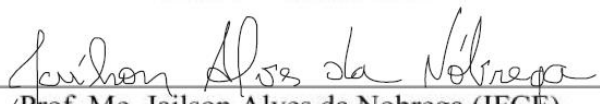
Assinado de forma digital por
DIEGO DAVID SILVA
DINIZ:07397414460
Dados: 2021.06.02 21:54:44 -03'00'

Prof. Dr. Diego David Silva Diniz. (UFERSA)

JACKSON DE BRITO
SIMOES:03617148409

Assinado de forma digital por
JACKSON DE BRITO
SIMOES:03617148409
Dados: 2021.06.02 07:29:36 -03'00'

Prof. Dr. Jackson de Brito Simões (UFERSA)
Membro Examinador


Prof. Me. Jailson Alves da Nobrega (IFCE)
Membro Examinador

*Dedico este trabalho ao meu pai Francisco
Erismar Melo (In Memoriam)*

E a minha mãe Maurícia Martins de Lima Melo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus, por ter me guiado, concedido discernimento e persistência durante todo o tempo da graduação.

Agradeço a minha base, minha família, pelo incentivo e empenho na formação da minha educação. Aos meus pais Maurícia e Erismar (in memoriam), minhas irmãs Marília, Marize e Mariane, eu amo muito vocês.

Agradeço em especial ao meu pai Erismar (in memoriam), meu eterno herói, que me motivou e motiva a não desistir dos meus sonhos, junto com minha mãe nunca mediram esforços para me ver bem.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Diego David Silva Diniz, por todo apoio, dedicação, incentivo e sugestões. Sou grata por todo conhecimento que me foi repassado e pelo acompanhamento deste excelente profissional.

Agradeço a banca examinadora, Dr. Jackson de Brito Simões e Me. Jailson Alves da Nobrega, pela disponibilidade em avaliar meu trabalho e contribuírem, acrescentando valor ao trabalho.

Agradeço a todos os amigos, que ganhei ao longo dos cinco anos na UFERSA, com quem compartilhei momentos, felicidades e frustrações.

A todos, deixo meu muito obrigada.

“Faça o teu melhor, na condição que você tem,
enquanto você não tem condições melhores,
para fazer melhor ainda.”

Mário Sergio Cortella

RESUMO

Cada vez mais os engenheiros estão buscando otimizar seus projetos, de modo a reduzir os custos agregados e atender da melhor maneira possível as necessidades dos clientes, porém, sem comprometer a integridade estrutural do projeto. Essa busca por otimização também é vista em projetos cujo o objetivo está focado na segurança do trabalho, como, por exemplo, estruturas de linhas de vida, que são empregados em trabalhos em altura, os quais devem garantir a segurança dos trabalhadores quando estão em serviços. Assim, o presente trabalho apresenta a temática sobre a otimização de um projeto de linha de vida para acesso a carrocerias de caminhões, baseado em baixo custo. O objetivo da otimização é a redução dos custos sem comprometer a empregabilidade e a integridade estrutural, para isto, foram analisados os requisitos dos clientes, as possíveis otimizações, a realização de modelagem 3D, a análise de simulações numéricas, o detalhamento do projeto em desenhos 2D, a proposta da sequência de montagem e fabricação, a descrição do orçamento da estrutura e, por fim, o comparativo do orçamento com relação ao projeto preliminar. A metodologia empregada é constituída por etapas para concepção da otimização, adotando três fases de desenvolvimento do projeto: projeto preliminar, projeto conceitual e projeto detalhado. Os resultados foram satisfatórios, uma vez que a implementação da otimização do projeto, teve uma redução de 40,8% dos custos agregados aos materiais empregados na estrutura.

Palavras-chave: Linha de vida. Otimização de projeto. Estruturas metálicas.

ABSTRACT

More and more the engineers are looking to optimize their projects, so as to reduce aggregate costs and meet customers' needs in the best possible way, however, without compromising the structural integrity of the project. This search for optimization is also seen in projects whose objective is focused on work safety, such as, for example, lifeline projects are used in work at height, which must guarantee the safety of workers. The present work presents the thematic about the optimization of a lifeline project for access to truck bodies, based on low cost. The objective of optimization is the reduction of the costs without compromising employability and structural integrity. For this purpose, it was analyzed customers' requirements, the possible optimizations, the achievement of 3D modeling, the analysis of numerical simulations, the detailing of the project in drawings 2D, the proposal of the assembly and manufacturing sequence, the description of the budget of the structure and, finally, the comparative of the budget with relation to the preliminary project. The methodology employed is constituted for stages for the optimization conception, adopting three phases of project development: preliminary design, conceptual design and detailed design. The results were satisfactory, since the implementation of the optimization of the project, had a reduction of 40.8% of the aggregate costs to the materials used in the structure.

Keywords: Lifeline. Project optimization. Metallic structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de linha de vida para acesso a caminhões.	19
Figura 2: Principais atividades realizadas em altura	22
Figura 3: Estatísticas de acidentes no Brasil em 2010	23
Figura 4: Hierarquia de controle proposta para trabalho em altura	24
Figura 5: Exemplos de equipamento de proteção coletiva	25
Figura 6: Fatores de queda aplicado à linha de vida	26
Figura 7: Exemplo de sistema de linha de vida	27
Figura 8: Exemplos de linhas de vida flexível e rígida.....	28
Figura 9: Kit de linha de vida provisória	29
Figura 10: Aplicação de linha de vida vertical	30
Figura 11: Aplicação de linha de vida horizontal	30
Figura 12: Gaiola de proteção.....	31
Figura 13: Escada tipo marinheiro	31
Figura 14: Dimensionamento de escada tipo marinheiro.....	32
Figura 15: Critérios para seleção do EPI	33
Figura 16: Elementos do cinturão paraquedista.....	33
Figura 17: Adaptações a serem feitas no cinturão paraquedista	34
Figura 18: Exemplos de talabartes para retenção de queda	34
Figura 19: Modelos de trava-quedas retrátil	35
Figura 20: Trabalho em altura em área de carga.....	37
Figura 21: Fases de projeto com interações e repetições	38
Figura 22: Metodologia empregada	40
Figura 23: Modelo 3D do projeto inicial de linha de vida	41
Figura 24: Exemplos de modelos de linhas de vida para acesso a carroceria de caminhões	42
Figura 25: Detalhamento 2D do projeto inicial (comprimento).....	43
Figura 26: Análise de tensão na linha de vida	44

Figura 27: Locais de engastes e carga na simulação da estrutura da linha de vida.....	45
Figura 28: Locais de engastes e carga na simulação da passarela	46
Figura 29: Indicação dos locais que compõem a estrutura	47
Figura 30: Comprimento total da linha de vida	49
Figura 31: Análise de tensão utilizando pórticos com perfis W 310 x 32,7	50
Figura 32: Análise de tensão utilizando pórticos com perfis W 200 x 22,5	50
Figura 33: Análise de tensão utilizando pórticos com perfis W 150 x 13 e W 200 x 22,5.....	51
Figura 34: Análise de tensão para travamento horizontal simples.....	53
Figura 35: Análise de momento para travamento horizontal simples.....	53
Figura 36: Análise de tensão para travamento horizontal duplo.....	54
Figura 37: Análise de momento para travamento horizontal duplo.....	54
Figura 38: Análise de tensão para travamento cruzado	55
Figura 39: Análise de momento para travamento cruzado.....	55
Figura 40: Comprimento da passarela	56
Figura 41: Possibilidades de localização da passarela	57
Figura 42: Análise de tensão para passarela sem fixação traseira no solo.....	58
Figura 43: Análise de momento para passarela sem fixação traseira no solo	58
Figura 44: Análise de tensão para passarela com fixação traseira no solo	59
Figura 45: Análise de momento para passarela com fixação traseira no solo.....	59
Figura 46: Leiaute da modelagem 3D.....	61
Figura 47: Folha 1/8 do detalhamento 2D	61
Figura 48: Folhas do detalhamento 2D.....	62
Figura 49: Sequência de montagem e fabricação da estrutura completa	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Seleção de EPI conforme atividade	35
Quadro 2: Necessidades da empresa.....	43
Quadro 3: Lista de materiais e orçamento da estrutura do projeto base	64
Quadro 4: Lista de materiais e orçamento da estrutura do projeto otimizado	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores que influenciam em projetos de linha de vida	27
Tabela 2: Atributos gerais para requisitos do projeto	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curvas de tensão da viga da linha de vida	52
Gráfico 2: Curvas de momento da viga central dianteira	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM *American Society for Testing and Materials*

CAD *Computer Aided Design*

EPC Equipamento de Proteção Coletiva

EPI Equipamento de Proteção Individual

FEA *Finite Element Analysis*

NBR Norma Brasileira Regulamentadora

NR Norma Regulamentadora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. JUSTIFICATIVA	20
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. Objetivo geral	20
1.2.2. Objetivos específicos	20
1.3. ESCOPO DO TRABALHO	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1. TRABALHO EM ALTURA	22
2.2. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO COLETIVA PARA TRABALHO EM ALTURA	25
2.2.1. Linhas de vida	25
2.2.1.1. Linha de vida provisória	29
2.2.1.2. Linha de vida vertical	29
2.2.1.3. Linha de vida horizontal	30
2.2.2. Escada tipo marinheiro	30
2.3. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL PARA TRABALHO EM ALTURA	32
2.4. MOVIMENTAÇÃO DE CARGA MANUAL EM CAMINHÕES	36
2.5. ELABORAÇÃO DE PROJETOS MECÂNICOS	37
3. METODOLOGIA	40
3.1. PROJETO INFORMACIONAL	41
3.2. PROJETO CONCEITUAL	44
3.3. PROJETO DETALHADO	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1. PROJETO INFORMACIONAL	48
4.2. PROJETO CONCEITUAL	48
4.2.1. Comprimento da linha de vida	49
4.2.2. Mudança dos perfis utilizados nos pórticos	49
4.2.3. Modo de travamento entre os pórticos	52
4.2.4. Comprimento da passarela	56

4.2.5. Localização da passarela	57
4.2.6. Estrutura da passarela	57
4.2.7. Leiaute definitivo do projeto	60
4.3. PROJETO DETALHADO	61
4.3.1. Desenhos 2D	61
4.3.2. Sequência de montagem e fabricação	63
4.3.3. Orçamento de materiais da estrutura	64
5. CONCLUSÃO	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1. INTRODUÇÃO

Na engenharia, há uma incessante busca por soluções técnicas para melhoria da vida em sociedade e para resolução de problemas do cotidiano e isso, em geral, é formalizado por meio de projetos. Um bom projeto de engenharia leva em conta não só a funcionalidade, mas também o custo para desenvolvimento e manutenção de sistemas.

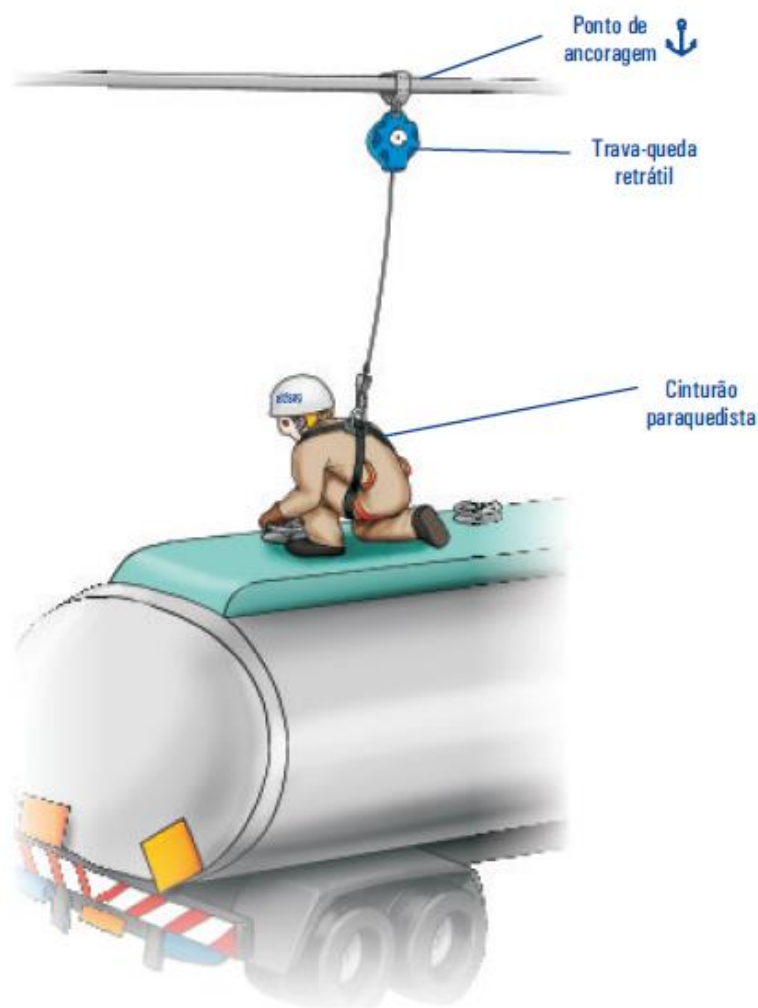
Dentro deste contexto, pode-se destacar a formulação e execução de projetos de estruturas metálicas para o ramo da construção civil. Essa aplicação vem crescendo cada vez mais no Brasil, devido a fácil adaptação em diversas situações, melhor relação de custo e desempenho estrutural. Silva (2015) completa afirmando que o uso de sistemas estruturais metálicos vem crescendo de forma consistente nas construções por ser considerado eficiente e arrojado, podendo ser voltado para obras de todos os portes.

Entretanto, os metais utilizados em estruturas são um dos grupos mais importantes de materiais de construção, pois exibem propriedades que se adequam para uma ampla funcionalidade e, por isso, esses metais acabam por muitas vezes elevando os custos de projeto. Numa análise comparativa realizado por Martins e Brasil (2019), foi possível observar que construções de estruturas metálicas possuem custos mais elevados quando comparado com a utilização de outros materiais, isso devido a indisponibilidade de perfis estruturais em alguns lugares e pela mão de obra especializada para montagem. Os projetos estruturais são bastante empregados em sistemas que requerem trabalho em altura, os quais, de acordo com a NR 35, devem ter a capacidade de suportar os esforços solicitados em situações de acidentes, visto que os trabalhadores ficam ancorados a esse tipo de estrutura.

Um dos empregos de estrutura metálica para trabalho em altura é nos sistemas de linhas de vida, também chamadas de linhas de ancoragem, no qual trata-se de um EPC (Equipamento de Proteção Coletiva) que deve garantir a segurança dos trabalhadores, fazendo-se necessário, na fase de projeto, um dimensionamento detalhado deste sistema de modo que atenda a todos os requisitos das normas envolvidas.

Estruturas de linhas de vida tem uma de suas aplicações para trabalho em acesso a carrocerias de caminhões, no qual a não utilização pode causar desgastes por parte dos operadores, além de dispêndio de tempo e riscos de acidentes. Forbeck (2017) complementa, que o uso de uma linha de vida horizontal é bastante comum para o processo de manuseio de cargas, carregamento, descarregamento e enlonamento de caminhões. Na Figura 1 é mostrado um exemplo para essa aplicação.

Figura 1: Exemplo de linha de vida para acesso a caminhões.



Fonte – Altiseg (2011).

Para elaboração de projetos estruturais metálicos contendo linhas de vida é crucial que o projetista tenha conhecimento sobre a NR 35 que trata sobre o trabalho em altura, a NBR 8800 que se atem ao projeto e execução da estrutura metálica, a NBR 15834 sobre a utilização do talabarte de segurança, a NBR 16325-1 e/ou NBR 16325-2 sobre os dispositivos de ancoragem e NR 18 sobre as condições de segurança principalmente para linhas de vida com utilização de cabo de aço. Além disso a utilização de ferramentas e metodologias tornam-se importantes para auxiliar no desenvolvimento do projeto, como, por exemplo, uso de softwares para modelagem e simulação.

O intuito deste presente trabalho é otimizar o projeto estrutural de uma linha de vida a ser implementado numa indústria localizada no estado do Rio Grande do Norte, propondo melhorias que viabilizem a redução de custos. Tendo a ciência que, para entender a possibilidade dessa otimização, é necessário filtrar as principais necessidades do cliente, bem

como tomar conhecimento de todas as normas que regem o projeto e garantir uma otimização que não comprometa a integridade estrutural.

1.1. JUSTIFICATIVA

A otimização de uma linha de vida é importante para que haja uma análise de redução de custos, de modo que não comprometa o desempenho estrutural. Portanto, assim como quaisquer projetos da engenharia, projeto de otimização de linha de vida deve levar em conta a sua funcionalidade, garantindo a segurança no trabalho em altura e os custos agregados a esse projeto, onde o projetista deve compreender e alinhar as ideias com a necessidade do cliente.

A oportunidade de melhoria de um projeto com aplicação na indústria proporciona ao discente a explanação do assunto de forma mais explícita, permitindo aprofundamento na temática e fazendo relação com o que foi visto no decorrer da graduação. Dessa forma é possível compreender a empregabilidade do projeto, desenvolver soluções aplicáveis para o caso e absorver melhores estratégias para trabalhos futuros.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Otimizar o projeto estrutural de uma linha de vida horizontal para trabalhos de acesso a carrocerias de caminhões, de modo a reduzir custos da estrutura sem comprometer a funcionalidade e a integralidade estrutural.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analisar os requisitos do cliente;
- Buscar possíveis otimizações no projeto de linha de vida;
- Realizar modelagem 3D da estrutura;
- Realizar análise de elementos finitos (CAE) em locais otimizados da estrutura;
- Detalhar a estrutura em desenhos 2D;
- Desenvolver sequência de montagem e fabricação do projeto;
- Realizar orçamento de materiais necessários para estrutura;
- Fazer comparativo de custos com relação ao projeto preliminar.

1.3. ESCOPO DO TRABALHO

Para uma melhor compreensão, o presente trabalho foi estruturado em cinco etapas. A primeira, apresentada até aqui, consiste na parte introdutória do trabalho, explanando brevemente o assunto abordado, juntamente com a justificativa para seu desenvolvimento e os objetivos a serem alcançados. Em seguida, a segunda etapa, apresenta uma revisão de trabalhos e normas que explanam sobre projetos estruturais, especificamente com adoção de linhas de vida e sua concepção de projeto. A terceira etapa trata-se da metodologia empregada no estudo. A quarta etapa expõe os resultados obtidos e discussão destes. Por fim, a quinta etapa é conclusiva, apresentando argumentos de acordo com o que se pôde obter com o estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. TRABALHO EM ALTURA

Segundo Anjos (2017), no Brasil, a execução de trabalhos em altura vem crescendo desde a década de 90. A partir de então a segurança começou a ser implementada nestes trabalhos, avançando de modo que a integridade dos trabalhadores se tornasse prioridade. O autor ressalta que, na construção civil, os maiores riscos de acidentes apresentam-se nos trabalhos em altura, precisamente 40% dos acidentes computados.

Em um levantamento do Ministério do Trabalho (2017) é visto que as quedas em trabalho em altura representam boa parte do percentual dos acidentes que causam invalidez temporária ou permanentes dos operários. Os dados do Ministério mostram que de 2013 a 2017 ocorreram 208.350 acidentes com quedas, sem contar casos (diversos) não registrados, totalizando 1.033 mortes e milhares de incapacitações.

Define-se trabalho em altura como toda e qualquer atividade que exponha o trabalhador ao risco de queda, isso devido um desnível entre o local de operação e o solo (ANJOS, 2017). Na Figura 2 estão representadas as principais atividades caracterizadas como trabalho em altura.

Figura 2: Principais atividades realizadas em altura

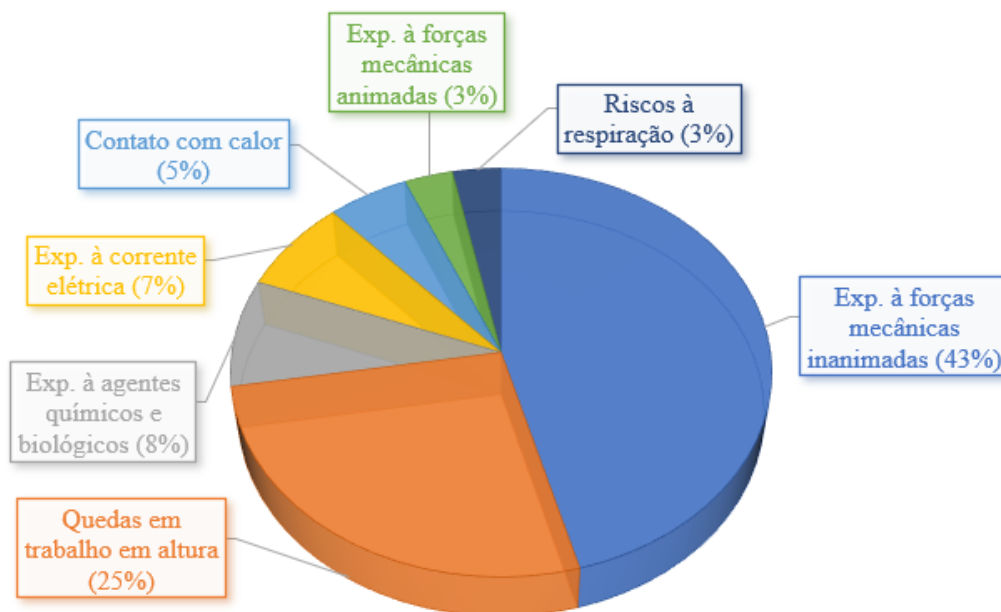


Fonte – Adaptado de Floriano (2014).

Floriano (2014) relata que os trabalhos em altura sem proteção contra quedas é o fator casual que mais aparece entre os acidentes fatais. O autor ressalta dados que mostram o percentual de acidentes causados em ambiente de trabalho (Figura 3), em 2010. Dos acidentes

ocasionados por queda 43,6% resultaram em morte, corroborando que a frequência desse tipo de acidente e a sua gravidade acontece a anos.

Figura 3: Estatísticas de acidentes no Brasil em 2010



Fonte – Adaptado de Floriano (2014).

Acidentes com quedas são comuns em vários segmentos, mas ocorre com mais frequência nas construções civis, na maioria das vezes estão associados com: serviços em sacadas, telhados, lajes etc, montagem de estruturas metálicas ou pré-moldadas, aberturas nos pisos, tarefas executadas em vãos (de elevadores, escadarias ou rampas) e confecção de formas e ferragens, montagem e desmontagem de andaimes. Além da construção civil, estes acidentes, são frequentes no transporte de cargas e no comércio varejista (FIRETTI, 2013).

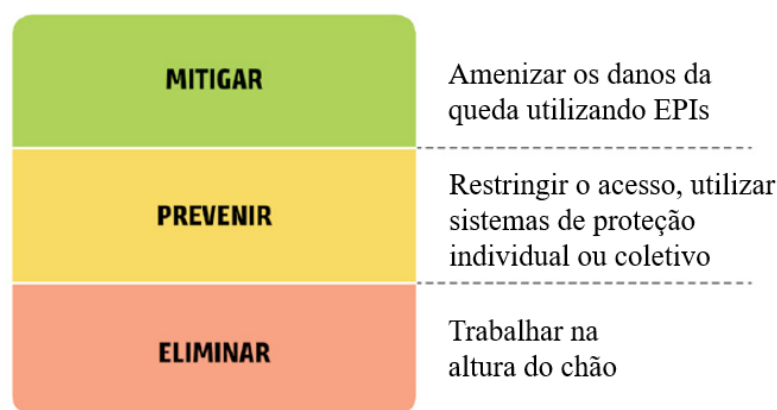
Em razão do alto risco de acidentes em trabalhos em altura, as autoridades viram a necessidade de tomar medidas energéticas, criando normas e leis com foco em segurança. Assim, foram formuladas a NR 35 e as NBRs, que tratam diretamente sobre o trabalho em altura. A NR 35 (2019) estabelece alguns requisitos mínimos para esse tipo de trabalho, onde define que deve ser considerado trabalho em altura toda atividade executada acima de 2,00 metros de nível inferior, onde haja risco de queda.

Os requisitos estabelecidos pela NR 35 (2019) envolvem desde o planejamento, a organização e até a execução de atividade que exijam trabalho em altura. A norma regulamentadora estabelece os requisitos mínimos de proteção aos operários e suas responsabilidades, bem como as responsabilidades por parte do empregador. Além disso, se

atem a importância da análise de risco das atividades em altura, listando os fatores a serem analisados, sempre enfatizando o intuito de eliminar riscos e prevenir acidentes.

O guia prático para cálculo de linha de vida do SESI (2017) propõe uma hierarquia de soluções contra queda em altura, baseada na NR35. Essa hierarquia deve compor a etapa de planejamento do trabalho e é dividida em três partes: eliminar, prevenir e mitigar os riscos de queda, podendo ser melhor observado na Figura 4.

Figura 4: Hierarquia de controle proposta para trabalho em altura



Fonte – Adaptado de SESI (2017).

Para que um trabalho em altura seja executado de maneira eficaz é necessário que haja ação conjunta por parte dos operários e da empresa. Assim, por apresentar vários riscos a vida do trabalhador, a prevenção é a melhor forma de garantir sua integridade. Já para a empresa que apresenta condições adequadas, a prevenção de acidentes representa cumprimento de leis, produtividade, economia e principalmente vida dos seus empregados (ALTISEG, 2011).

Araújo (2011) ressalta a importância da prevenção de acidentes em trabalho em altura, sugerindo uma avaliação de riscos minuciosa, o que permitirá definir e propor equipamentos de proteção individuais e coletivos mais adequados. A proteção coletiva é sempre prioritária, mas deve-se optar pelo uso da proteção individual quando é impossível de assegurar uma proteção total com a proteção coletiva.

Uma maneira de prevenir acidentes, é a estratégia de comparação das situações de trabalho com e sem acidente para identificar mudanças e buscar a causa do seu surgimento, isso pode promover que haja trabalhos em altura com segurança. Portanto é importante o cumprimento das normas e o uso correto de equipamentos de proteção, mas, quando houver acidentes, é, também, essencial explorar as razões que explicam as origens e persistência de fatores que causam acidentes em altura, para que assim sejam melhor evitados (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2003).

2.2. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO COLETIVA PARA TRABALHO EM ALTURA

O trabalho em altura exige medidas para afastar riscos de queda ou reduzir efeitos de uma eventual queda, segundo o Ministério do Trabalho (2017) fazem parte dessas medidas adotar procedimentos e investimentos em sistemas de proteção contra queda, estabelecendo o uso de equipamentos de proteção coletiva e instituindo uma sistemática inspeção periódica.

Conforme o Beltrami e Stumm (2013), equipamentos de proteção coletiva, ou simplesmente os chamados EPC's, são medidas de proteção utilizadas no ambiente de trabalho em forma de dispositivos, sistemas, ou meio, fixo ou móvel, sempre com a finalidade de preservar a integridade física e a saúde de um grupo de trabalhadores que executam serviço em um determinado local. O mesmo autor ressalta que a proteção coletiva é prioritária em relação as proteções individuais. Alguns exemplos desses equipamentos são ilustrados na Figura 5.

Figura 5: Exemplos de equipamento de proteção coletiva



Fonte – Cosme (2013).

Dentre os EPC's empregados em trabalhos em altura destaca-se os sistemas de ancoragem, conhecido como linha de vida, que fornece uma proteção de forma coletiva, permitindo que vários trabalhadores executem suas atividades, de forma simultânea, através da acoplagem de talabartes a ela (CUNHA E CARVALHO, 2019).

2.2.1. Linhas de vida

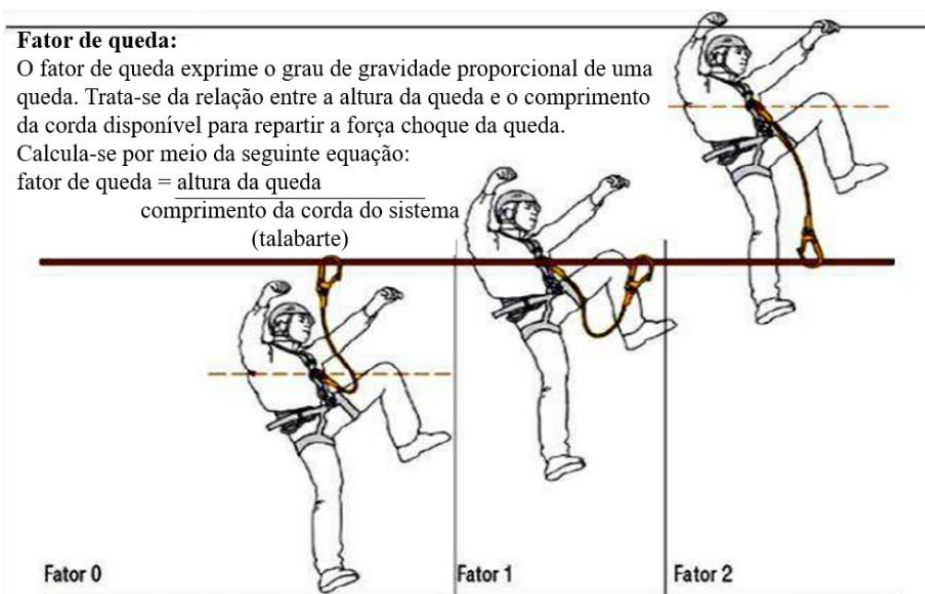
Linha de vida é o nome dado a um equipamento de proteção coletiva, que se trata de um sistema de retenção de quedas ou suporte, com intuito de proteger o trabalhador exposto ao risco do trabalho em altura (SESI, 2017).

Segundo Balestrin (2018) a esquematização de linhas de vida, também conhecido como sistemas de ancoragem, permite a conexão do cinturão de segurança do trabalhador com uma estrutura devidamente projetada, de modo a protegê-lo contra possíveis quedas nos trabalhos realizados em altura. Para dimensionamento de projeto de linhas de vida deve-se levar em conta normas vigentes, como a NR35, que trata sobre trabalho em altura e a NBR 8800 sobre projeto de execução de estruturas de aço.

A NR35 (2012) estabelece que o trabalhador deve permanecer conectado ao sistema de ancoragem durante todo o período de exposição ao risco de queda, que esse sistema deve ser dimensionado para resistir às forças que possam vir a ser aplicada, inclusive a suportar força máxima prevista em caso de queda. O ponto de ancoragem deve estar fixado acima do nível da cintura do trabalhador, ajustado de modo a restringir a altura em que ele vai ficar suspenso após a queda, garantindo um bom fator de queda, de modo a minimizar as chances de o trabalhador colidir com a estrutura inferior.

Conforme Cunha e Carvalho (2012), o fator de queda relacionado a esse tipo de sistema dependerá do estilo da linha de vida e da altura onde os talabartes são acoplados, esse fator é a razão que o trabalhador percorreria na queda e o comprimento do equipamento que irá detê-lo. Quanto mais alta a ancoragem menor será o fator de queda, dependendo da aplicação varia entre menor que um (<1), igual a um ($=1$), ou igual a dois ($=2$), conforme Figura 6.

Figura 6: Fatores de queda aplicado à linha de vida



Fonte – Adaptado de Ministério do Trabalho e Emprego (2012).

De acordo com SESI (2017), além do fator de queda, ao projetar e instalar uma linha de vida deve ser considerado vários outros fatores, lembrando sempre que qualquer operação

necessita ser precedida de uma análise de risco. Assim, num dimensionamento, tais fatores estão relacionados com a metodologia de trabalho e os fatores técnicos, expostos na Tabela 1.

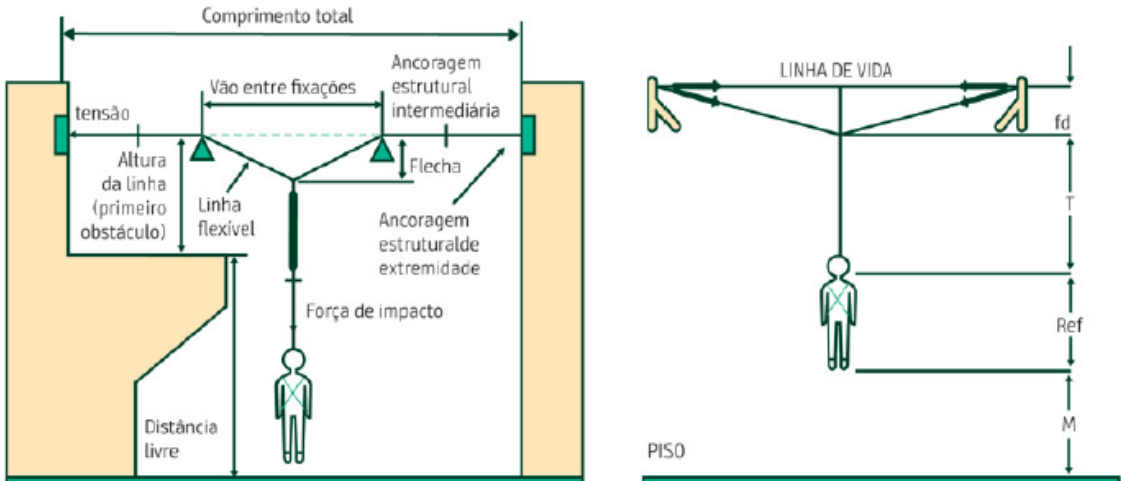
Tabela 1: Fatores que influenciam em projetos de linha de vida

FATORES RELACIONADOS COM A METODOLOGIA DO TRABALHO	FATORES TÉCNICOS
Tipo de trabalho e o local que se quer proteger	Resistência da estrutura à linha
Adequação da proteção ao risco	Fator de segurança
Acesso à linha de vida	Tensões na linha de vida
Pontos de acesso	Distância de queda livre
Número de pessoas usando simultaneamente	Atmosfera ao redor de onde se instala
Conexão do cinturão de segurança com a linha	Resgate de pessoas
Caminho seguido pelo trabalhador	Comprimento dos vãos
Conforto na utilização	Altura da linha de vida
Evitar a queda ou diminua a altura de queda livre	Direção da linha de vida
Evitar o pêndulo na queda	Contato da linha com outros elementos

Fonte – Adaptado de SESI (2017).

Em SESI (2017), ressalta que os trabalhadores e empregadores assumem responsabilidades quando se trata de trabalhos em altura, por isso é preciso treinamentos especiais e um gerenciamento de todo o processo para que o sistema atenda aos requisitos. Além disso, como mencionado anteriormente, projetos de linhas de vida são complexos e necessita atender a vários fatores. A Figura 7 exemplifica um sistema de linha de vida com descrição de alguns parâmetros.

Figura 7: Exemplo de sistema de linha de vida



Fonte – SESI (2017).

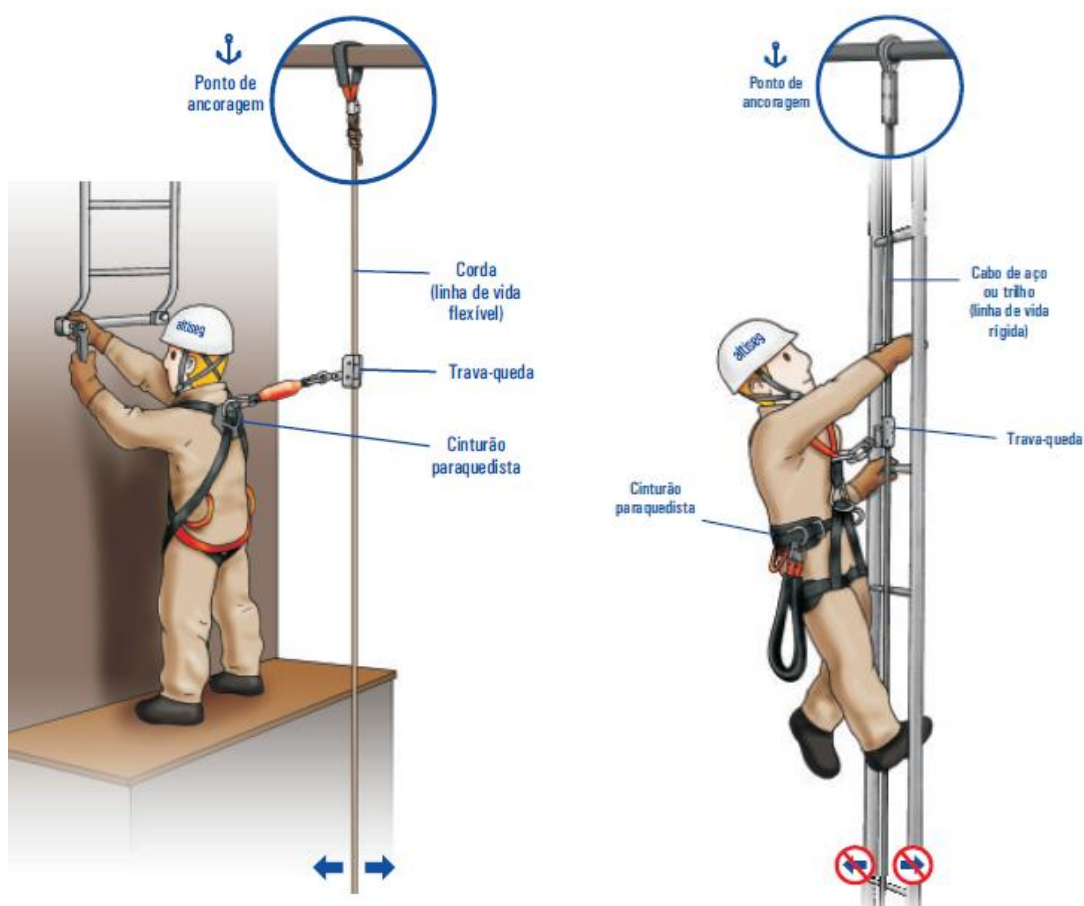
Sabendo que, f_d é a flecha dinâmica máxima (proporcionada pela linha de vida); T é o comprimento total do talabarte + absorvedor de energia totalmente aberto; Ref. caracteriza a distância de referência entre o anel D do cinturão paraquedista e o pé do trabalhador (geralmente utiliza-se 1,5 m) e M refere-se a distância entre o pé do trabalhador e o piso após a queda (por norma, esse valor deve ser previsto em 1 m). Desta forma, SESI (2017) menciona que para desenvolver e implementar uma linha de vida é necessário considerar todos estes parâmetros.

Existem, basicamente dois tipos de sistema de proteção contra queda que são linha de vida flexível e linha de vida rígida, conforme é mostrado na Figura 8. Para linhas de vida flexíveis são comumente usados cabos de aço ou cordas, já para linhas de vida rígidas são usados perfis estruturais (ALTISEG, 2011).

Figura 8: Exemplos de linhas de vida flexível e rígida

(a) Linha de vida flexível;

(b) Linha de vida rígida.



Fonte – Altiseg (2011).

Já para Pires (2014, p. 47), as linhas de vida possuem classificações diferentes “as linhas de vida são classificadas em provisórias, verticais e horizontais. As provisórias são instaladas

para executar serviços rápidos e também antes da instalação das linhas horizontais e verticais fixas”, de modo que em cada classificação são encontradas linhas de vida flexíveis e/ou rígidas.

2.2.1.1. Linha de vida provisória

As linhas de vida do tipo provisória, são sistemas móveis fundamentais para situações que necessita de agilidade, praticidade e diversidade de uso, pois são de fácil instalação e fácil remoção. Para esse tipo, em específico, são habitualmente utilizadas fitas de alta resistência ou cordas, que podem ser instaladas de modo vertical ou horizontal. Encontram-se disponíveis no mercado em forma de *kits*, contendo todos os acessórios e equipamentos necessários para instalação (Figura 9) (PIRES, 2014).

Figura 9: Kit de linha de vida provisória



Fonte – Alpimonte (2018).

2.2.1.2. Linha de vida vertical

As linhas de vida do tipo vertical são utilizadas para casos onde o trabalhador precisa frequentemente se mover no sentido vertical em uma determinada área. Para esse tipo devem ser fixados dois pontos principais, um acima da posição de trabalho e outro a baixo. Um exemplo para essa aplicação é em escadas de acesso à telhados (Figura 10), as quais devem ser equipadas com linhas verticais para uso de trava-quedas, geralmente instalado em um cabo de aço tensionado de forma permanente distanciando cerca de 10 centímetros dos degraus (SEIBEL, 2014).

Figura 10: Aplicação de linha de vida vertical



Fonte – WMC Engenharia (2019).

2.2.1.3. Linha de vida horizontal

As linhas de vida do tipo horizontal são compostas por um sistema de fixação e uma ancoragem que variam muito a depender da aplicação, no entanto sempre apresentam linha de ancoragem no plano horizontal. Esse tipo de linha é comumente utilizado em grandes construções, além disso podem ser aplicadas nos mais variados tipos de serviço em altura (PIRES, 2014). A Figura 11 exemplifica um sistema de linha de vida horizontal aplicada a trabalho em telhados.

Figura 11: Aplicação de linha de vida horizontal



Fonte – Thommen (2017).

2.2.2. Escada tipo marinheiro

Escada do tipo marinheiro é um EPC, baseado em Fundacentro (2002), faz parte do grupo de escadas do tipo fixas, em geral é constituída por estruturas metálicas, dimensionadas de acordo com NR 12 e possuem gaiola de proteção que as caracterizam (Figura 12). O autor

também ressalta que escadas tipo marinheiro são utilizadas para acessos a lugares elevados com até 6 metros contínuos, se exceder isto deve conter plataforma intermediária a cada 6 metros (no máximo), conforme mostrado na Figura 13.

Figura 12: Gaiola de proteção

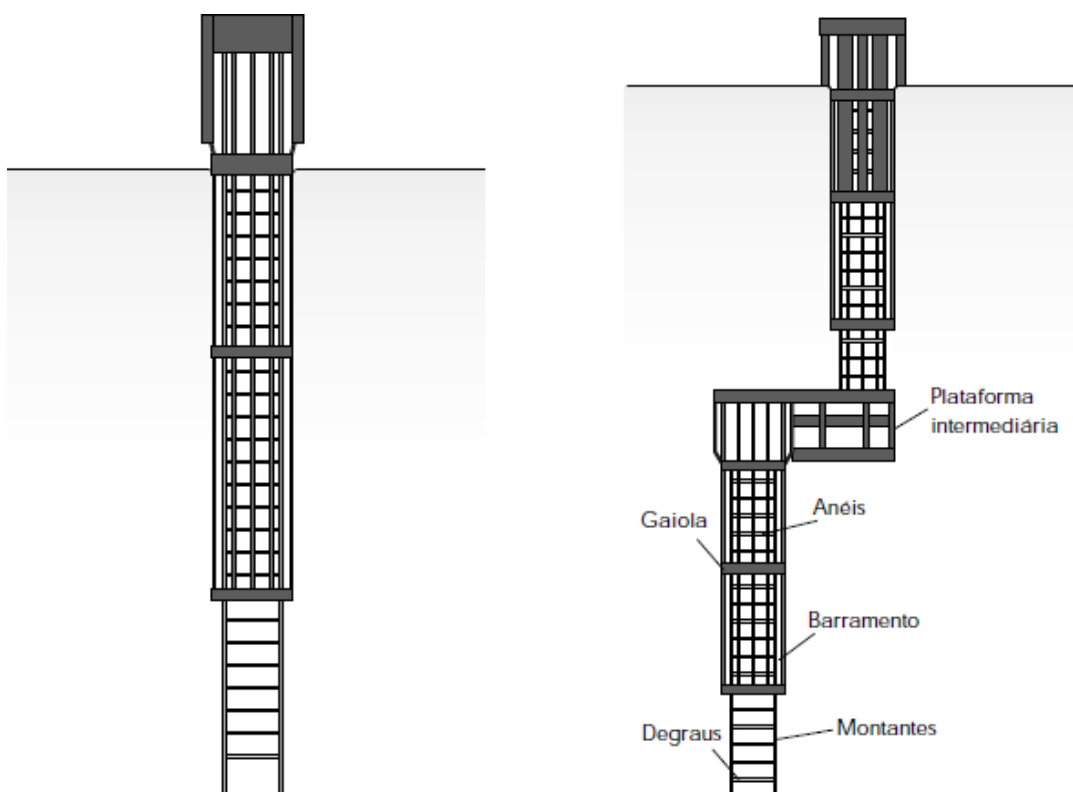


Fonte – Zillmer (2018).

Figura 13: Escada tipo marinheiro

(a) Contínua;

(b) Com plataforma intermediária.

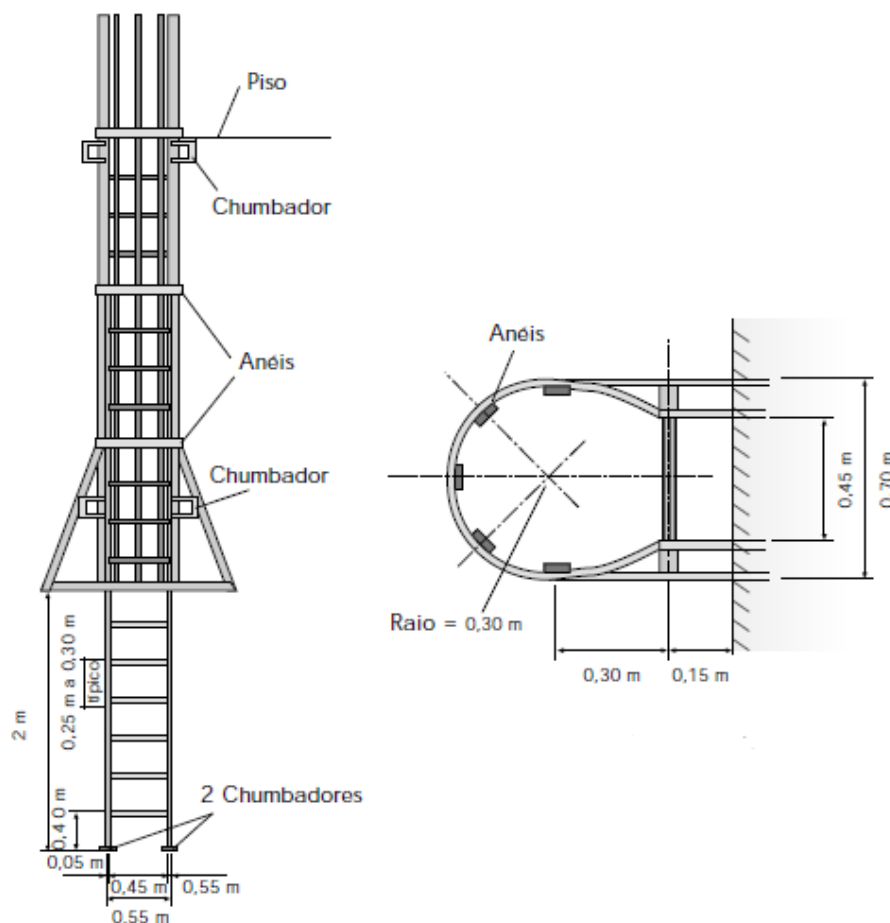


Fonte – Fundacentro (2002).

Segundo a NR 12 (2019), as escadas são meios de acessos a equipamentos e devem obedecer a especificações técnicas para sua implementação, escadas com a inclinação de 90°

em relação ao solo, de acesso permanente, devem ser do tipo marinheiro. Estas necessitam ser dimensionadas, construídas e fixadas de modo resistente, de forma que proporcione condições seguras de trabalho. O item 15.15 da norma especifica distâncias, espaçamentos, formas e modos de fixação que devem ser obedecidos. O subitem 15.15.1 trata das especificações direcionadas a gaiola de proteção. Algumas destas especificações são mostradas na Figura 14.

Figura 14: Dimensionamento de escada tipo marinheiro



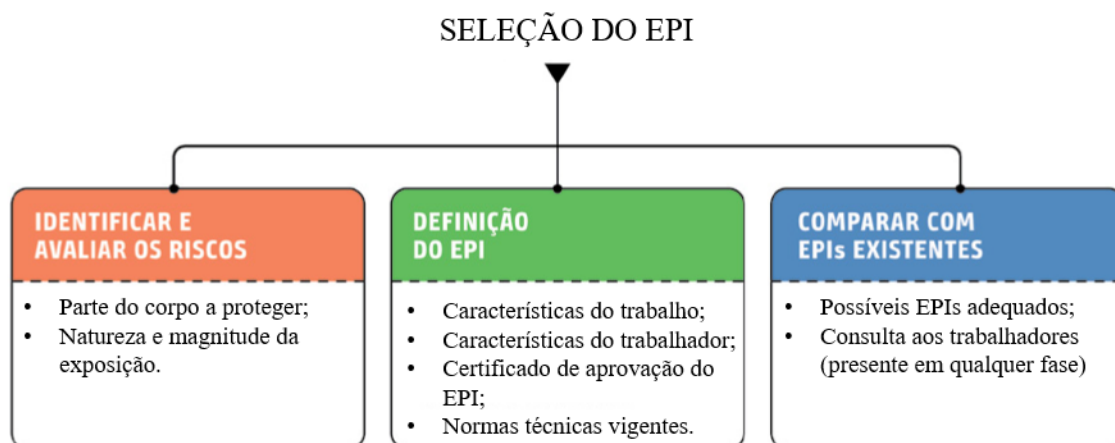
Fonte – Fundacentro (2002).

2.3. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL PARA TRABALHO EM ALTURA

Os equipamentos de proteção individual (EPI's), exibem a função de proteção do trabalhador de forma individualizado. Quando empregados em trabalhos em altura devem ser certificados e especificamente selecionados considerando a sua eficiência, limites de uso, conforto, carga a ser aplicada e respectivo fator de segurança. Dessa forma, o uso desses equipamentos torna-se cruciais para trabalhos em altura, em que devem ser ajustados ao peso e à altura do trabalhador, além de necessitar serem inspecionados periodicamente para garantir

que vão desempenhar o seu papel em uma eventual queda. É importante considerar as ações expostas na Figura 15 para seleção do EPI (SESI, 2017).

Figura 15: Critérios para seleção do EPI



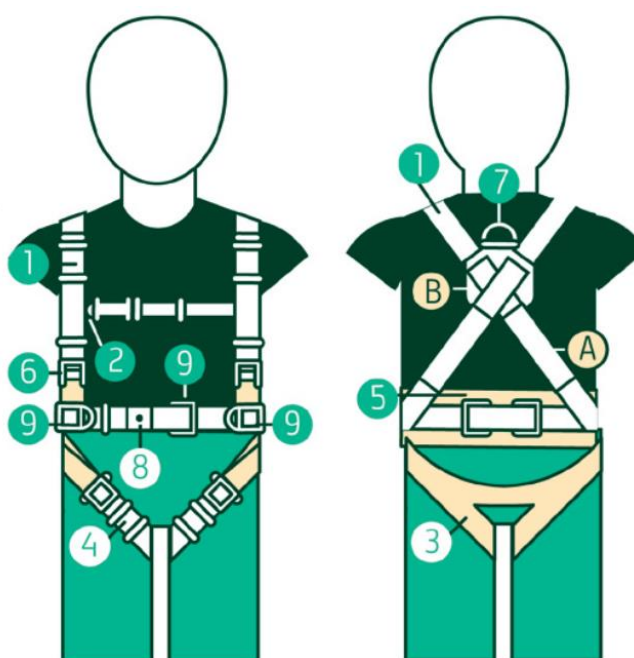
Fonte – (SESI, 2017).

A NBR 15836 (2010), que trata sobre equipamento de proteção individual contra queda de altura menciona especificamente a utilização do cinturão de segurança do tipo paraquedista. Este EPI é o principal a ser utilizado pelo trabalhador, em serviços com linhas de vida, constituído por dispositivo preso ao corpo destinado a deter quedas. A Figura 16 identifica os elementos do cinturão de segurança do tipo paraquedista, já na Figura 17 é visto um exemplo real deste cinturão, especificando as adaptações que devem ser feitas ao trabalhador.

Figura 16: Elementos do cinturão paraquedista

LEGENDA:

1. Fitas primárias superiores
 2. Fita secundária
 3. Fita primária subpélvica
 4. Fita primária da coxa
 5. Apoio dorsal para posicionamento
 6. Fivela de ajuste
 7. Elemento de engate para posicionamento
 8. Fivela de engate
 9. Elemento de engate para posicionamento
- A. Etiqueta de identificação
 B. Etiqueta de indicação de engate para proteção contra queda, com letra “A” maiúscula para ponto único ou letras “A/2”, quando existirem dois pontos simultâneos de engate



Fonte – Adaptado de SESI (2017).

Figura 17: Adaptações a serem feitas no cinturão paraquedista



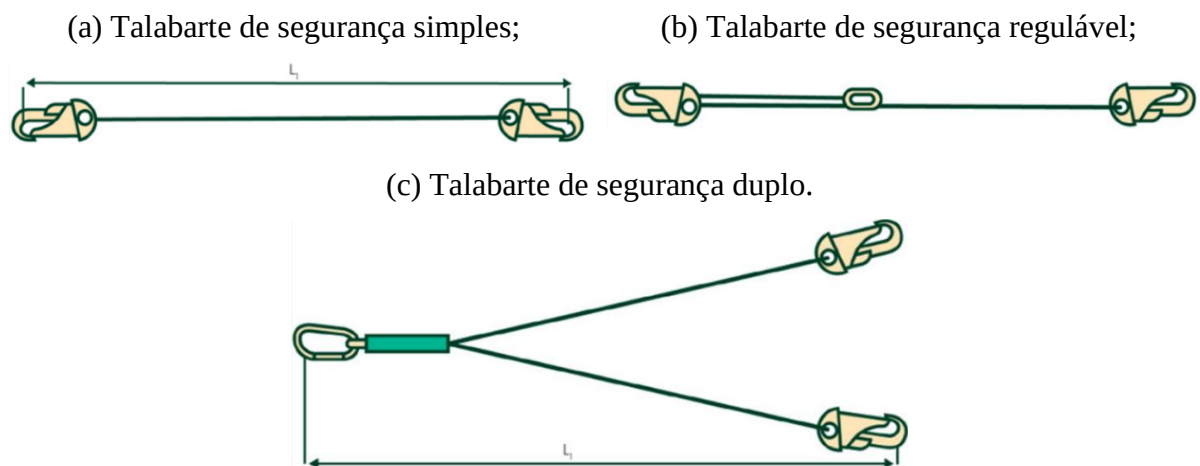
CINTURÃO TIPO PARAQUEDISTA

Possui uma argola dorsal regulável, ajuste na cintura, ajuste nas pernas, dois pontos na cintura, ponto frontal, regulagem no suspensório e acolchoamento.

Fonte – Adaptado de Pires (2014).

Para que o trabalhador seja conectado ao sistema de ancoragem é necessário o uso de talabarte de segurança para retenção de queda (Figura 18), este é estabelecido pela NBR 15834 (2010), a qual especifica os requisitos, métodos de ensaios, marcação, manual de instrução e embalagem para talabartes de comprimento fixo e regulável.

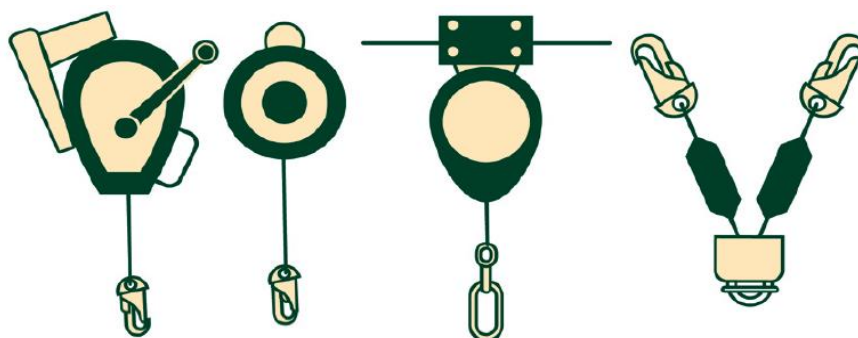
Figura 18: Exemplos de talabartes para retenção de queda



Fonte – Adaptado de SESI (2017).

Além do uso de talabarte de segurança a NBR 14628 (2010) estabelece o uso de trava-queda retrátil, que também é um dispositivo de segurança que tem a função de reter a queda de um trabalhador, cujo travamento é automático. Diferente do talabarte, o trava-queda oferece mobilidade ao trabalhador dentro de um limite de comprimento e mantém a linha sempre esticada, que é liberada ou recolhida conforme o movimento do trabalhador. Existem vários modelos e tipos diferenciados de trava-quedas (Figura 19), as condições para sua utilização devem obedecer a norma.

Figura 19: Modelos de trava-quedas retrátil



Fonte – SESI (2017).

A utilização de EPI em trabalho em altura é essencial para garantia da segurança do trabalhador, além dos EPI's mencionados até aqui, existem vários outros, pode afirmar que:

Todos os outros EPIs que forem necessários para a realização do trabalho determinados pela análise de risco devem ser utilizados, tais como: capacete, calçado e óculos de segurança, luvas, etc., além das cordas, cintas, fitas, cabos, dispositivos descensores (freio oito, air traffic controller – ATC, rack, dispositivos autoblocantes – dresler e grigri), dispositivos bloqueadores (bloqueantes e trava-quedas), dispositivos conectores (mosquetões), malhas rápidas ou maillons, etc. (SESI, 2017, p. 30).

Pires (2014) elaborou uma seleção dos EPI's a serem utilizados a depender da operação específica desempenhada em trabalhos em altura, essa seleção é exposta no Quadro 1.

Quadro 1: Seleção de EPI conforme atividade

(continua)

EPI	OPERAÇÕES DE TRABALHO EM ALTURA					
	Torres/ Postes	Telhados	Andaime/ Plataforma	Espaço confinado	Arboricultura/ Acesso por corda	Resgate
Cinturão tipo paraquedista	X	X	X	X	X	X
Talabarte regulável	X		X		X	X
Talabarte duplo	X		X	X	X	X

Quadro 2: Seleção de EPI conforme atividade (conclusão)*(conclusão)*

EPI	OPERAÇÕES DE TRABALHO EM ALTURA					
	Torres/ Postes	Telhados	Andaime/ Plataforma	Espaço confinado	Arboricultura/ Acesso por corda	Resgate
Talabarte simples	X	X				
Cinturão abdominal					X	
Fitas de ancoragem	X	X	X	X	X	X
Trava quedas	X	X	X		X	X
Conectores	X	X	X	X	X	X
Capacete	X	X	X	X	X	X
Luvras	X	X	X	X	X	X
Corda	X	X	X	X	X	X
Descensor autoblocante				X	X	X
Suspensor				X		
Ascensor					X	
Banqueta				X		
Bloco de polias				X		
Cinto				X		X
Lanterna				X		
Tripé				X		X
Maca envelope						X
Botas	X	X	X	X	X	X
Óculos	X	X	X	X	X	X

Fonte – Adaptado de Pires (2014).

2.4. MOVIMENTAÇÃO DE CARGA MANUAL EM CAMINHÕES

O transporte em caminhões é o principal meio de conduzir mercadorias aos estabelecimentos comerciais e percorrem um longo processo para recolher os produtos nas fabricas e fazer a distribuição. Apesar dos constantes avanços tecnológicos, o processo de carga, descarga e enlonamento de caminhões, na grande maioria das vezes, é realizado de forma manual. Para isso os trabalhadores realizam o trabalho na parte superior das carrocerias dos caminhões, estando exposto a uma altura em média de 3 metros em relação ao solo (FORBECK, 2017).

Para Azevedo (2010), a movimentação manual de cargas expõe o trabalhador a risco de lesões ergonômicas e acidentes que podem ser causados por escorregamento ou queda, visto que o trabalhador desempenha sua função em locais exíguos e com posturas fisicamente exigentes.

De acordo com Floriano (2014), os principais acidentes em trabalhos de carga, descarga e enlonamento de caminhões, são causados por: movimentação sobre cargas e pisos irregulares, movimentação sobre superfícies impregnadas de óleos e graxas, calçados e luvas inadequados e/ou impregnados, acesso difícil e perigoso ao topo da carga, movimentação súbita do caminhão e mal súbito do trabalhador. Para esses cenários, o autor sugere o uso de proteção contra queda dos trabalhadores, utilizando linha de vida para ancoragem de trava quedas retráteis, como ilustrado na Figura 20.

Figura 20: Trabalho em altura em área de carga



Fonte – Dois Dez (2021).

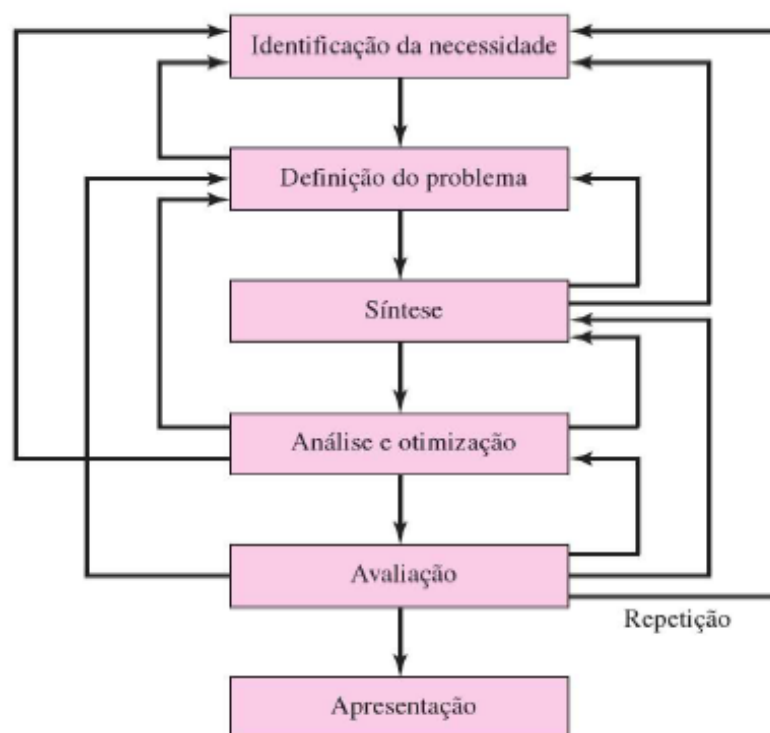
CBIC (2019) também cita a aplicação de sistemas de linha de vida para acesso a caminhões com o emprego do sistema de ancoragem tipo D, ou seja, com a utilização de trava-quedas retrátil, pois permite melhor translação dos trabalhadores auxiliando na logística de carga e descarga dos caminhões.

2.5. ELABORAÇÃO DE PROJETOS MECÂNICOS

Projetos que envolvem engenharia é definido por Norton (2013) como “o processo de aplicação das várias técnicas e princípios científicos com o intuito de definir um dispositivo, um método ou um sistema suficientemente pormenorizado para permitir sua realização”. Desse modo, o autor sugere que o engenheiro projetista seja capaz de dimensionar, prever as condições de falha e tomar decisões que sejam coerentes com o problema proposto.

De acordo com Budynas e Nisbett (2011), a elaboração de projetos consiste em formular planos para atender uma determinada necessidade e/ou resolver um problema. Mas para que isso seja possível é preciso subdividir a elaboração em uma série de tarefas que facilitem o desenvolvimento. O mesmo autor relata que, o processo de elaboração de projetos geralmente inicia com a identificação do problema e finaliza com a apresentação da resolução. A Figura 21 apresenta um modelo das fases de projeto, muitas vezes empregado, repetitivo e com fases interativas.

Figura 21: Fases de projeto com interações e repetições



Fonte – Budynas e Nisbett (2011).

As fases de execução de um projeto, apresentadas por Budynas e Nisbett (2011) (Figura 21), inicia com a identificação de suas necessidades, posteriormente é definido o problema com especificações do objeto a ser projetado, em seguida é elaborada a síntese, também chamada de projeto conceitual, estabelecendo esquemas e propostas. A partir da síntese são realizadas análises e otimizações, para assim ser avaliado o resultado final, sendo perceptível que estas etapas estão intimamente e repetidamente ligadas. Por fim, é contemplada a etapa de apresentação, uma fase importante do projeto global, que por sua vez trata-se da documentação final do projeto.

Já de acordo com Reis (2003), o desenvolvimento de projeto é subdividido em três fases: projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado. De modo geral decorre na mesma

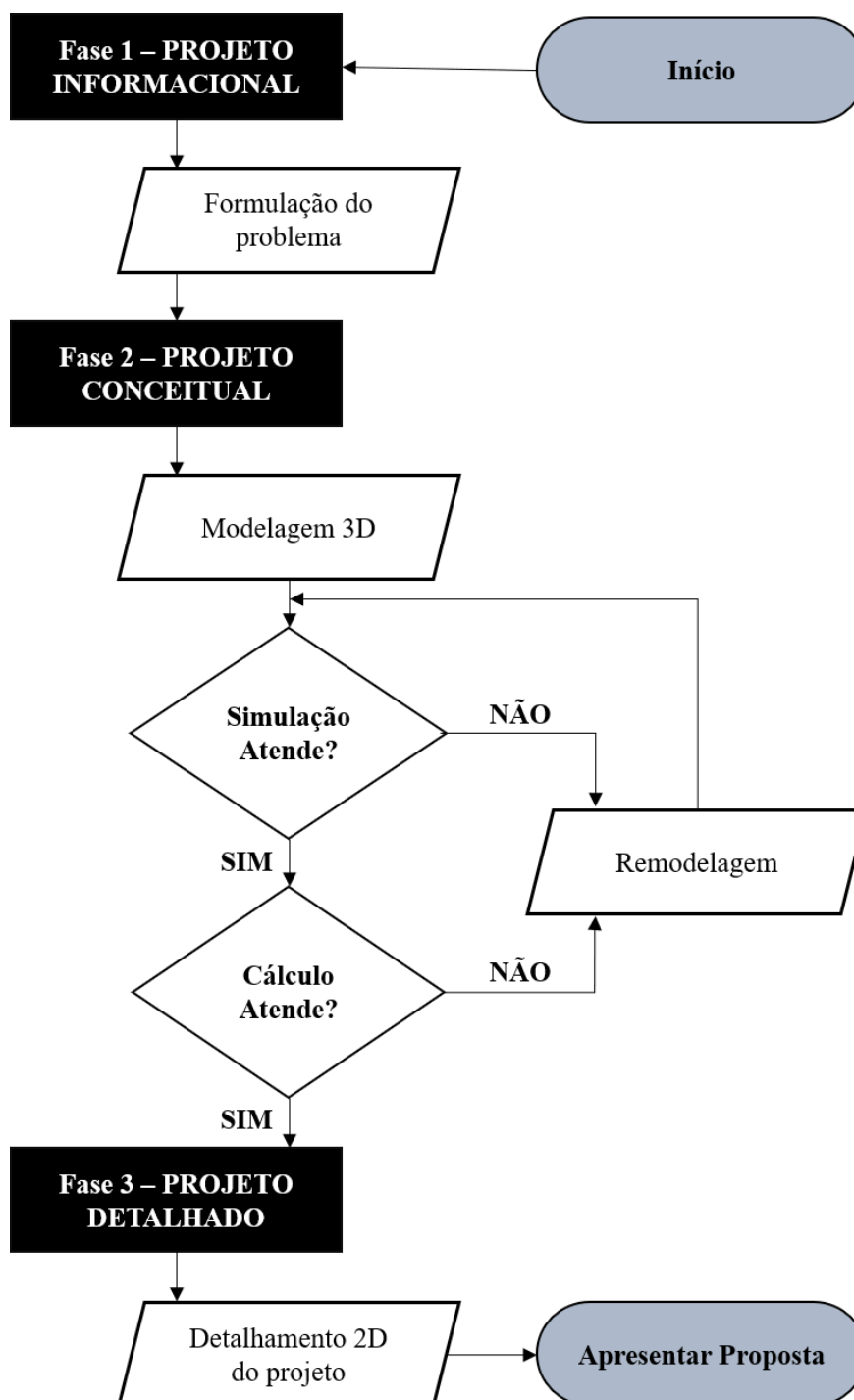
ordem empregada por Budynas e Nisbett. O projeto informacional é a etapa inicial, que o autor julga ser o entendimento e análise detalhada do problema, com objetivo de formular e estabelecer o que será desenvolvido. Na fase de projeto conceitual, é elaborada a concepção que melhor atenda às necessidades do problema. O projeto detalhado deve dispor a definição completa do leiaute definitivo do projeto.

Norton (2013) afirma, que para o desenvolvimento de projeto é necessário conhecer as informações técnicas do problema e utilizar recursos disponíveis que auxiliem na solução. Neste contexto, o autor cita a importância de aplicativos de projetos auxiliados por computador CAD, que permitem a criação de desenhos em vistas 3D com tamanho real, os quais possibilitam uma posterior geração de vistas 2D e análises de elementos finitos (FEA).

3. METODOLOGIA

Nesta etapa será apresentada a metodologia para desenvolvimento do trabalho, baseada num problema de uma empresa A, como forma de otimização de um projeto existente. Para isto, foi empregada uma metodologia composta por algumas etapas, exibidas sucintamente no fluxograma da Figura 22. Para cada etapa será apresentado dados e a evolução do projeto.

Figura 22: Metodologia empregada



Fonte – Autoria própria.

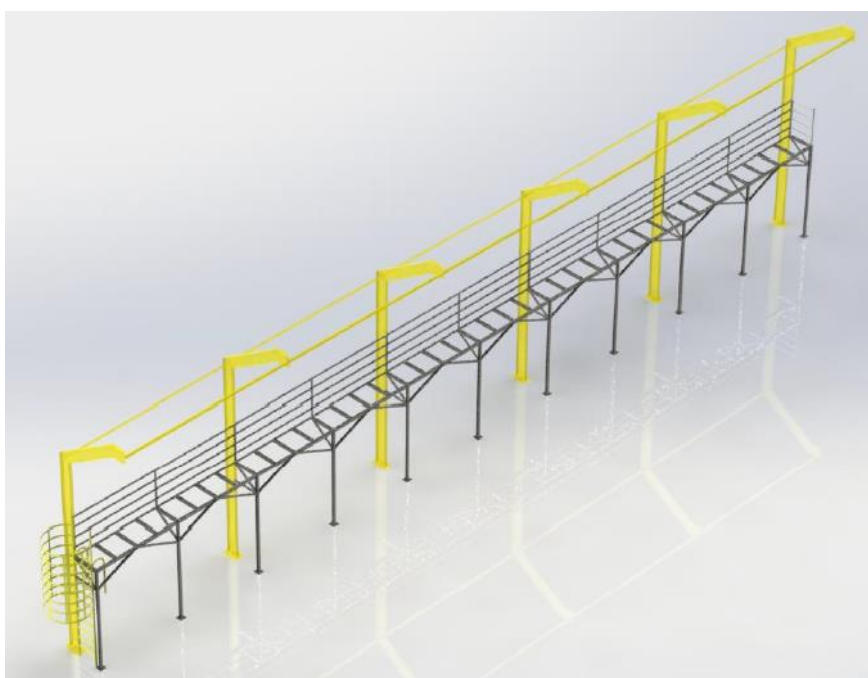
Assim, o desenvolvimento metodológico foi constituído por três principais fases de projeto, o informacional, o conceitual e o detalhado. Dessa forma, iniciou-se com o levantamento de todos os dados necessários, estudo das especificações do projeto e formulação do problema, isso corresponde a etapa do projeto informacional que servirá para guiar o desenvolvimento das demais fases de projeto. A fase de projeto conceitual é tida como a mais importante, pois é propriamente a elaboração do projeto, em que parte de uma necessidade detectada em busca de supri-lo da melhor maneira possível. A última fase, projeto detalhado é discriminado o leiaute do projetado na etapa anterior, a fim de formalizar e permitir a compreensão do cliente.

3.1. PROJETO INFORMACIONAL

Inicialmente, para formulação do problema, foi preciso compreender a necessidade da otimização do projeto em questão. Para isso, foram captadas bibliografias e informações técnicas para análise de problemas similares, posteriormente, buscou-se identificar os desejos do cliente, a fim de levantar possibilidades de melhorias no projeto inicial.

Dentro desta etapa, foi realizado uma entrevista com a empresa A e foi visto o projeto inicial, no qual se trata de um projeto de linha da vida horizontal rígida, solicitado por empresa B, com a finalidade de assegurar um trabalho em altura realizado em carrocerias de caminhões. O modelo elaborado no projeto inicial é visto na Figura 23.

Figura 23: Modelo 3D do projeto inicial de linha de vida



Fonte – Silva (2019).

Para melhor fundamentação desse estudo foi empregado o método analógico direto de classificação intuitiva que consiste em realizar uma comparação direta do projeto inicial com projetos similares já aplicados no mercado, os quais foram explorados através da busca em sites de outras empresas que também trabalharam com elaboração desse tipo de projeto. Nesse contexto, foram selecionados modelos de linhas de vida para trabalhos de acesso a carroceria de caminhões, ilustrados na Figura 24.

Figura 24: Exemplos de modelos de linhas de vida para acesso a carroceria de caminhões

(a) Linha flexível;



(b) Linha com estrutura móvel;



(c) Linha rígida dupla;



(d) Linha fixada em coluna de prédio.



Fonte – (a) DWA (2019); (b) Mais EPI (2013); (c) Alpinpro (2021); (d) Mil EPI (2021).

Com a análise do método estudado foi possível entender os modelos de linha de vida a acesso a carroceria de caminhões, assim foi compreendido e formulado o modelo mais coerente, de acordo com a finalidade, o local onde será aplicado e as necessidades do cliente. Com isso, além da análise do método, buscou-se identificar as necessidades da empresa B, listadas no Quadro 3.

Quadro 2: Necessidades da empresa

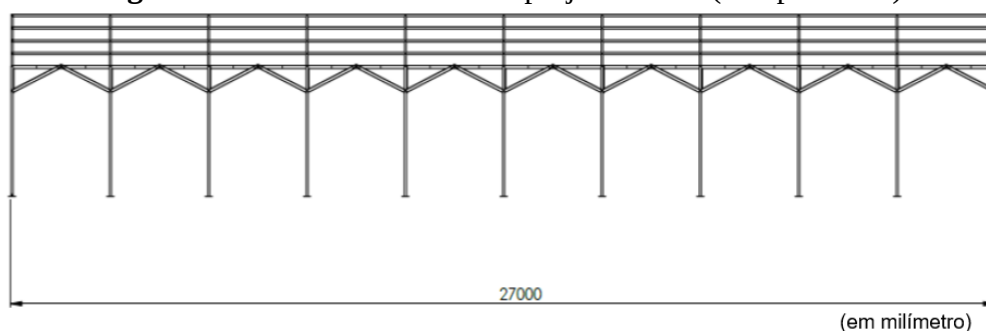
NECESSIDADES DA EMPRESA B	
01	Projeto simples
02	Baixo custo
03	Não desmontável
04	Fixado ao chão
05	Comprimento máximo de 18 metros
06	Inserção de passarela de acesso às carrocerias

Fonte – Autoria própria.

Tomando conhecimento das necessidades do cliente, foi realizada uma análise simultânea com o projeto inicial (elaborado pela empresa A), baseando-se nas bibliografias estudadas, em que foi possível formular problemas e observar oportunidades de melhoria a serem contempladas na otimização.

A primeira oportunidade de melhoria vista foi relacionada a redução do comprimento total da estrutura, observando que o projeto inicial possui 27 metros (Figura 25) e de acordo com a necessidade do cliente seriam necessários apenas 18 metros, baseado no comprimento das carrocerias dos caminhões empregados na Empresa B. A mesma análise se aplica a passarela, sendo possível também reduzir o seu comprimento total, uma vez que esta deve ser inserida apenas para facilitar o acesso as carrocerias de caminhões, dessa forma não é necessário seguir o comprimento total da linha de vida.

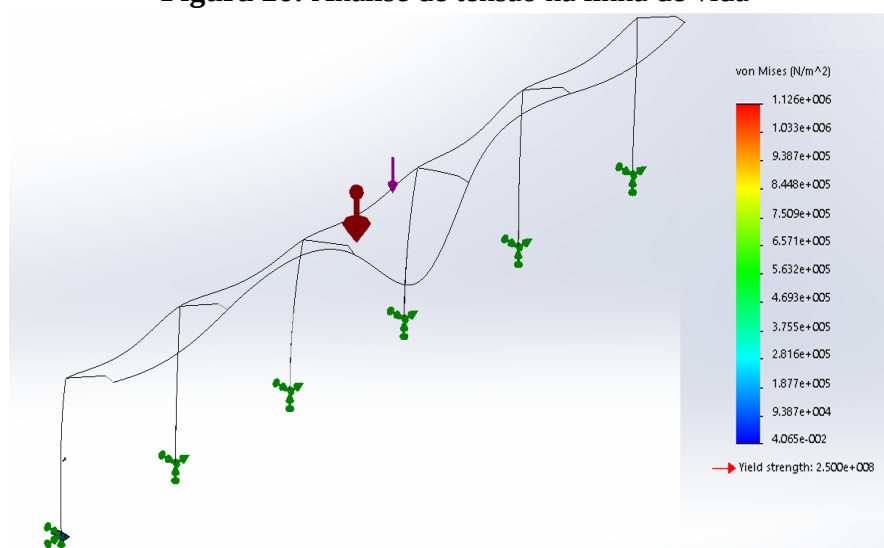
Figura 25: Detalhamento 2D do projeto inicial (comprimento)



Fonte – Silva (2019).

Buscando outras oportunidades de melhoria, foi analisado o memorial de cálculo do projeto inicial em que revela, em uma das simulações de elementos finitos da estrutura, uma região de tensão máxima com valor relativamente baixo, como pode ser visto na Figura 26, para um caso considerado com carregamento de 3000 N no centro da linha de vida. Com isso, tem-se a expectativa de substituir alguns perfis aplicados neste projeto, pois a tensão máxima obtida na simulação encontra-se distante do “limite” quando comparada a tensão admissível.

Figura 26: Análise de tensão na linha de vida



Fonte – Silva (2019).

A estrutura foi projetada de modo a garantir a segurança de 3 (três) profissionais ancorados, trabalhando simultaneamente, levando em conta esse fator para otimização.

Com a formulação do problema, entendendo os requisitos do cliente, é preciso alinhá-los com requisitos de projeto, para isso é necessário se ater a tomada de decisões sobre o que será projetado. Assim, a busca do entendimento de todas as informações presentes nesta fase de projeto, guiará o desenvolvimento do projeto conceitual.

3.2. PROJETO CONCEITUAL

Para atingir o objetivo de otimização da linha de vida foram estabelecidas tomadas de decisões para elaboração do projeto conceitual, partindo das necessidades detectadas e esclarecidas com as empresas. Então, procurou-se desenvolver uma estrutura funcional, prezando a redução de custos solicitada pelo cliente, atendendo as normas que regem o projeto e garantindo uma otimização que não compromete a integridade estrutural.

As especificações para o projeto foram instituídas do projeto inicial, em que a empresa A forneceu desenhos 2D e o memorial de cálculo para embasamento. Com isso foram

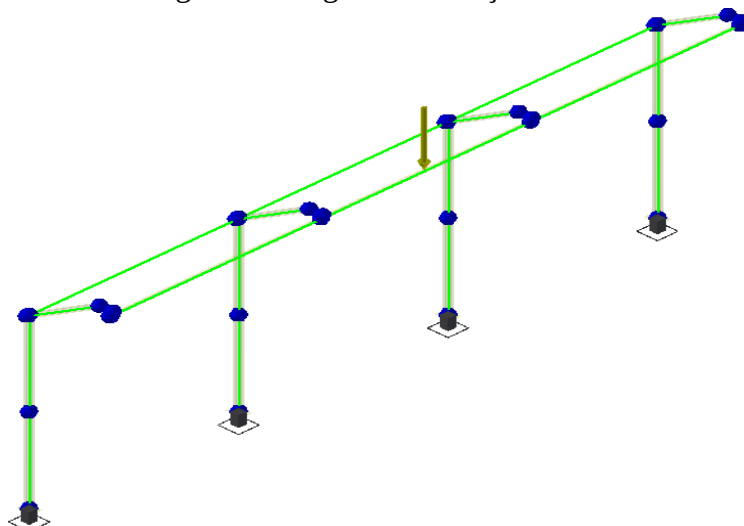
analisadas alternativas para concepção do projeto, fazendo-se necessário o uso de softwares da engenharia para realização de modelagem 3D que possibilitará uma nova análise de elementos finitos e cálculos, obedecendo as normas e critérios de engenharia.

A modelagem 3D foi realizada no software Autodesk Inventor Profissional, inserindo elementos de projeto em escala real. Esta modelagem foi dividida em três partes que compõe o projeto: a estrutura dos pórticos de sustentação da linha de vida, a passarela de acesso às carrocerias e a escada marinheiro de acesso à passarela. Assim, com a modelagem e montagem de cada um desses sistemas foi realizada a montagem geral do projeto.

Para toda a estrutura foram adotados perfis em aço carbono ASTM A36, o qual apresenta um limite de escoamento de 250 MPa (25 kgf/mm²), que devido as suas especificações atende aos requisitos fundamentais para aços, estruturais estabelecidos por Chiaverini (2008). Além disto, foram consideradas todas as juntas soldadas dentro das condições de projeto determinadas pela NBR 8800 (2008).

Para análise de elementos finitos, em relação a estrutura dos pórticos, foram realizadas simulações considerando a condição de engaste das bases de contato com o solo e aplicação de força central no perfil da linha de vida, conforme as desmarcações expostas na Figura 27. O valor da força central na linha de vida para simulações foi de 6 kN (600 kgf), com base na mesma carga máxima que os EPIs suportam, as NBR 14628 (2010) e NBR 14629 (2010) limitam a força de impacto máxima gerada em 600 kgf para todos os modelos de trava-quedas e absorvedores de energia dentro da pior situação possível, desse modo essa também pode ser considerada uma situação crítica para estrutura. Garantindo o suporte com segurança de três profissionais trabalhando ao mesmo tempo.

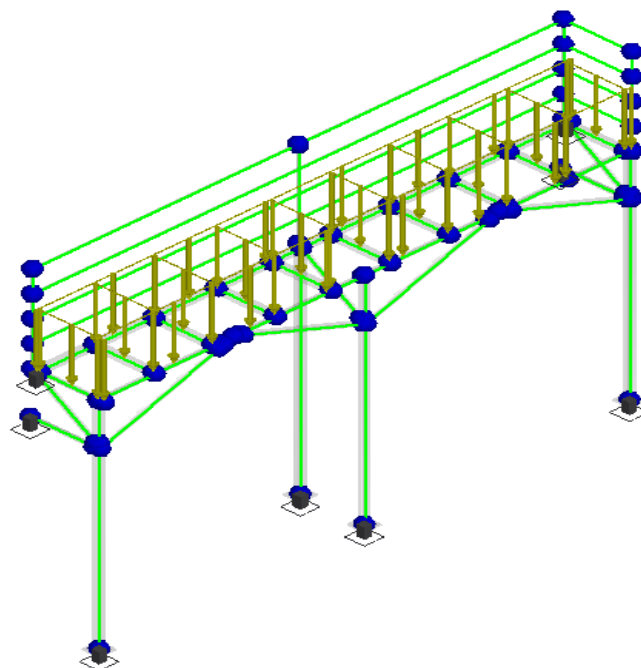
Figura 27: Locais de engastes e carga na simulação da estrutura da linha de vida



Fonte – Autoria própria.

Para análise da passarela foi considerado o engaste das bases de contato com o solo e das superfícies de contato com os pórticos, para condição de carga distribuída de 5 kN/m^2 , conforme as demarcações expostas na Figura 28. Levando em consideração que pessoas irão trafegar nela, pois de acordo com a NBR 7188 (2013) para situações de cargas móveis em passarelas, a carga adotada deve ser 5 kN/m^2 uniformemente distribuída.

Figura 28: Locais de engastes e carga na simulação da passarela



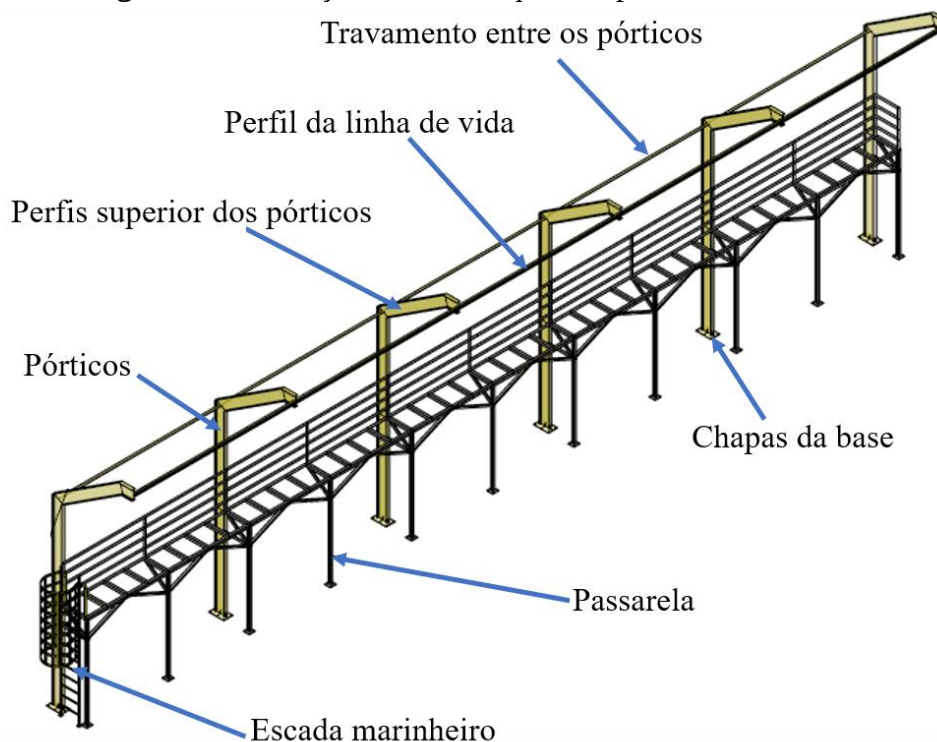
Fonte – Autoria própria.

É importante salientar que a fase de projeto conceitual determina a concepção do produto final que mais se adequam às necessidades da empresa B, e para que isto seja possível, a partir da modelagem 3D, foi analisado diferentes possibilidades de melhorias:

- Comprimento da linha de vida;
- Mudança dos perfis utilizados nos pórticos;
- Modo de travamento entre os pórticos;
- Comprimento da passarela;
- Localização da passarela;
- Estrutura da passarela.

Para melhor compreensão dos locais que compõem a estrutura, a indicação destes é apresentada na Figura 29.

Figura 29: Indicação dos locais que compõem a estrutura



Fonte – Adaptado de Silva (2019).

3.3. PROJETO DETALHADO

A fase referente ao projeto detalhado descreve o leiaute definitivo projetado anteriormente, especificando as dimensões de todos os componentes, modo de fixação, quantidade de cada material, sequência de montagem e fabricação, orçamento do material e observações válidas a serem acrescentadas.

A elaboração deste detalhamento do projeto também foi desenvolvida no software Autodesk Inventor Profissional, no ambiente de desenho 2D, onde foi detalhado cada um dos três sistemas que compõe o projeto, bem como toda a montagem por completo. Buscou-se um arranjo simples que contenha todas as informações técnicas necessárias. Por fim, o detalhamento foi revisado, para que seja apresentada a proposta com êxito ao cliente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na metodologia empregada para desenvolvimento do trabalho, a presente etapa decorrerá apresentando o processo de evolução do projeto.

4.1. PROJETO INFORMACIONAL

Dentro do projeto informacional, foi possível estabelecer um conjunto de atributos (requisitos) do projeto a ser desenvolvido, baseado em alguns fatores importantes para o desenvolvido deste conceito, tais como: a formulação do problema, levantamento bibliográfico sobre normas que regem o projeto, conhecimento do projeto base, comparação direta com projetos similares encontrados no mercado, entendimento das necessidades do cliente e a busca por oportunidades de melhorias. Esses requisitos do projeto são expostos na Tabela 2.

Tabela 2: Atributos gerais para requisitos do projeto

ATRIBUTOS GERAIS PARA REQUISITOS DO PROJETO
Atender as normas aplicáveis
Atender as necessidades do cliente
Resistir as solicitações
Ser seguro
Possuir componentes comerciais
Fácil fabricação
Fácil operação
Empregar linha de vida horizontal rígida

Fonte – Autoria própria.

Os requisitos atribuídos buscam atender as necessidades do cliente e das normas vigentes do país, de modo a viabilizar a otimização requerida para o projeto.

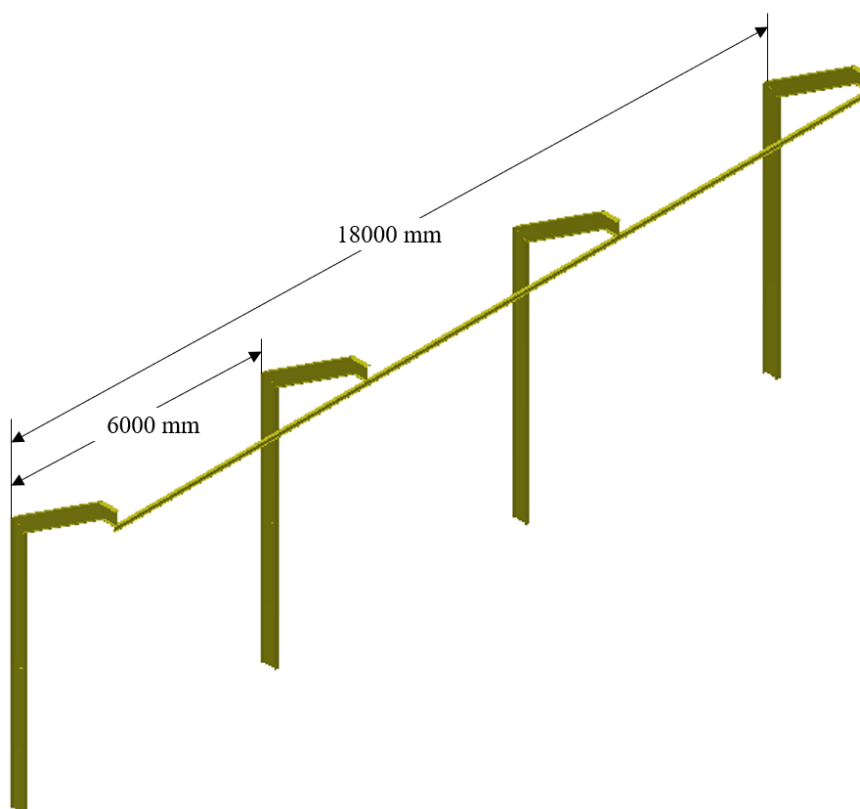
4.2. PROJETO CONCEITUAL

Seguindo as condições consideradas para elaboração do projeto conceitual, baseando-se no projeto base e levando em conta a formulação do problema, foi possível identificar e construir algumas melhorias que são formuladas e apresentadas a seguir.

4.2.1. Comprimento da linha de vida

O comprimento total da linha de vida foi otimizado de modo a atender a necessidade do cliente, com 18 metros total da linha de vida, conforme o Quadro 2, desse modo foram posicionados quatros pórticos distanciados à 6 metros, como mostra a Figura 30.

Figura 30: Comprimento total da linha de vida



Fonte – Autoria própria.

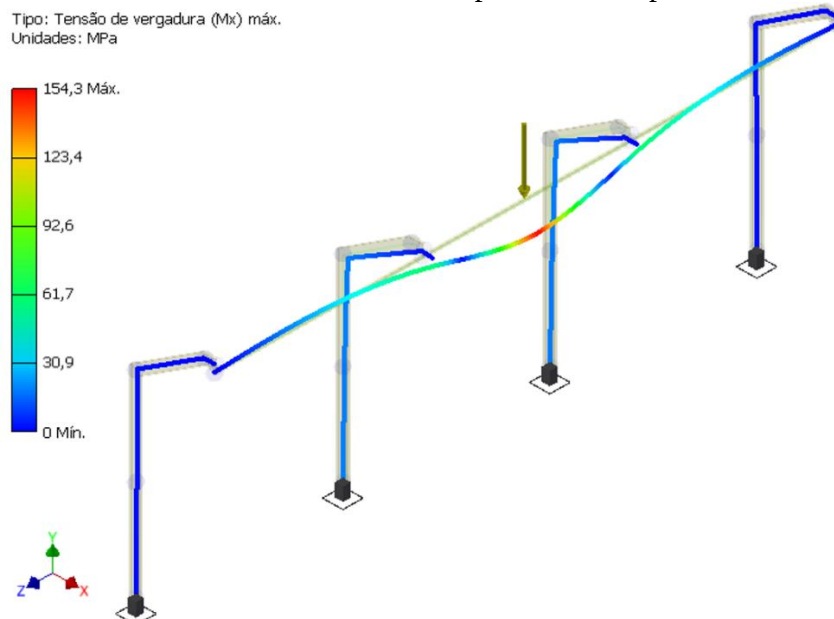
O projeto base, possuindo 27 metros de comprimento, havia sido projetado com seis pórticos distanciados à 5,4 metros. A otimização do comprimento resulta na diminuição da quantidade de pórticos, quantidade de material da linha de vida e consequentemente redução de custos.

4.2.2. Mudança dos perfis utilizados nos pórticos

Buscando otimizar os perfis utilizados na estrutura, foram realizadas três simulações, com as mesmas condições de contorno, alterando apenas os perfis empregados nos pórticos de sustentação da linha de vida.

Para primeira simulação foi considerada a utilização do perfil W 310 x 32,7 em todo comprimento dos pórticos, em conformidade com os a concepção dos pórticos do projeto base. A simulação desta situação apresentou uma tensão máxima de 154,3 MPa no ponto mais crítico, como é exibida na Figura 31 em que os resultados de deformações estão ajustados em X1.

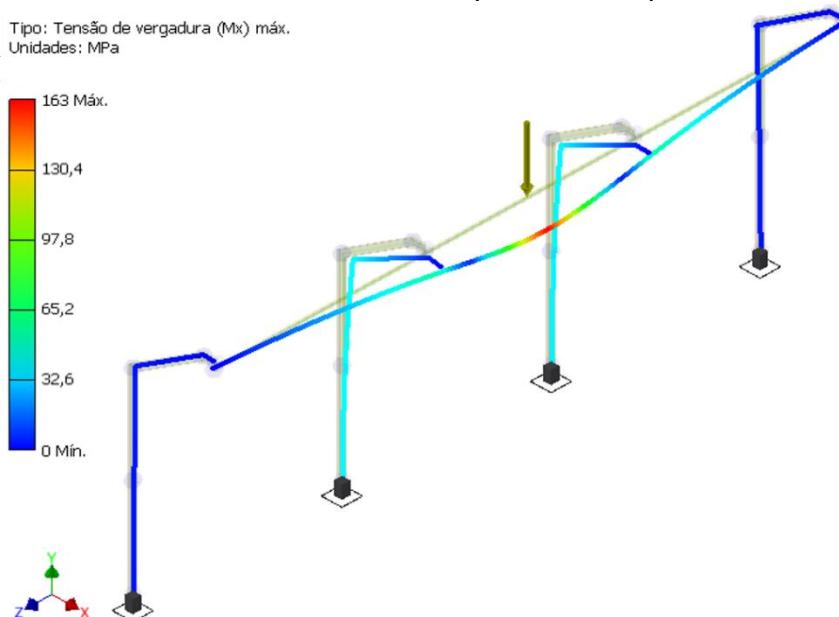
Figura 31: Análise de tensão utilizando pórticos com perfis W 310 x 32,7



Fonte – Autoria própria.

Visto que todos os pórticos sofreram tensões mínimas, foi realizada uma segunda simulação, considerando o perfil W 200 x 22,5, obtendo uma tensão de 163 MPa no ponto mais crítico. Esta simulação é vista na Figura 32.

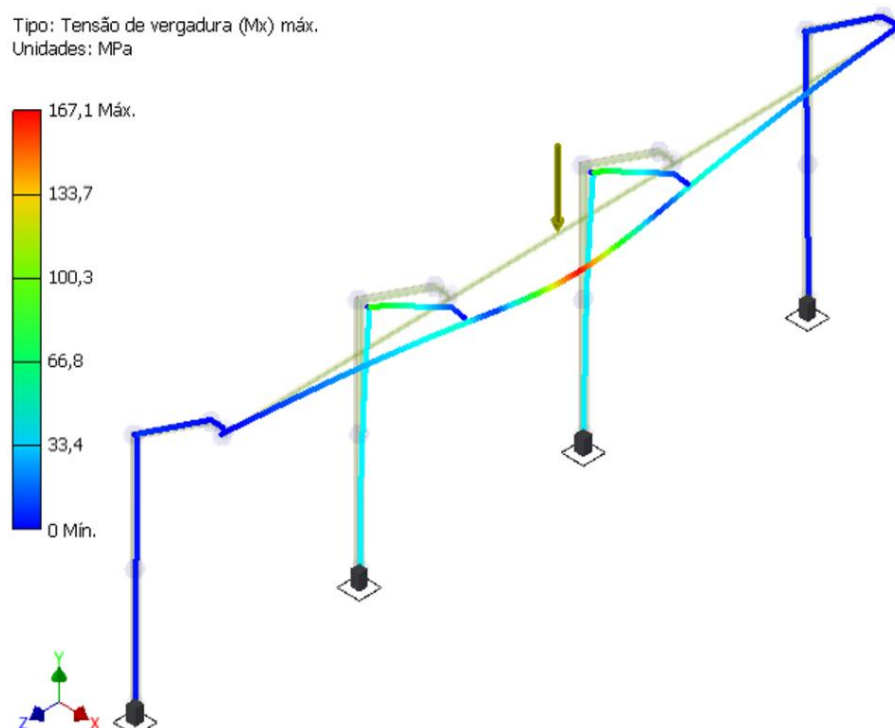
Figura 32: Análise de tensão utilizando pórticos com perfis W 200 x 22,5



Fonte – Autoria própria.

Na segunda simulação, observando o comportamento dos pórticos, é visto que se mantiveram os níveis de tensões mínimas. Uma terceira simulação foi realizada, considerando perfis superiores dos pórticos com dimensões de W 150 x 13 e manteve-se os perfis verticais W 200 x 22,5. Esta simulação é vista na Figura 33.

Figura 33: Análise de tensão utilizando pórticos com perfis W 150 x 13 e W 200 x 22,5



Fonte – Autoria própria.

Para a terceira simulação observa-se que a tensão máxima obtida é de 167,1 MPa, no ponto mais crítico. Desta forma, buscando não comprometer a integridade da estrutura, optou-se por utilizar os perfis dos pórticos analisados nesta simulação, havendo satisfação na otimização do perfil, redução de custos e emprego de perfis de maior facilidade de obtenção no mercado.

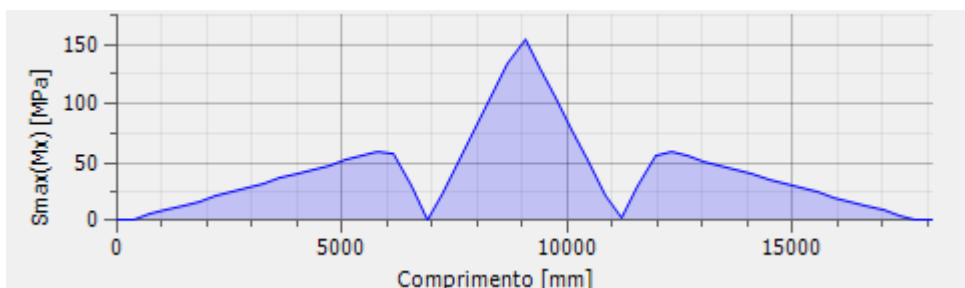
A escolha da otimização de mudança dos perfis dos pórticos foi empregada por ser o local onde apresenta menores tensões, como visto nas simulações, e isso permite alterar o perfil sem que tenha risco de deterioração da integridade estrutural da linha de vida como todo.

Para avaliar que não houve perda da integridade estrutural, foi possível gerar curvas de tensões da viga da linha de vida, onde se localiza o ponto mais crítico, para as simulações realizadas. Essas curvas de tensões máximas podem ser vistas no Gráfico 1: (a) Com a utilização

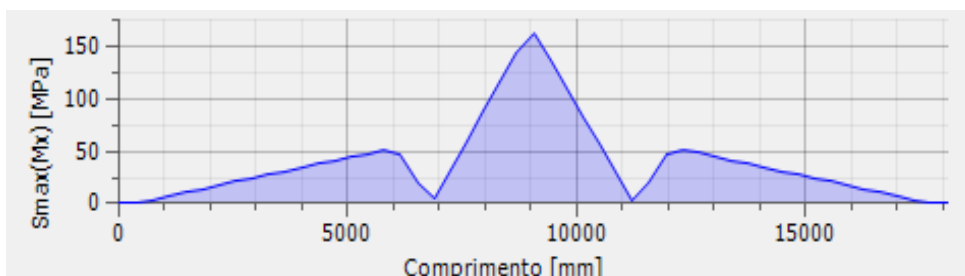
dos pórticos de perfis W 310 x 32,7; (b) Com a utilização dos pórticos de perfis W 200 x 22,5 e (c) Com a utilização dos pórticos de perfis W 150 x 13 e W 200 x 22,5;

Gráfico 1: Curvas de tensão da viga da linha de vida

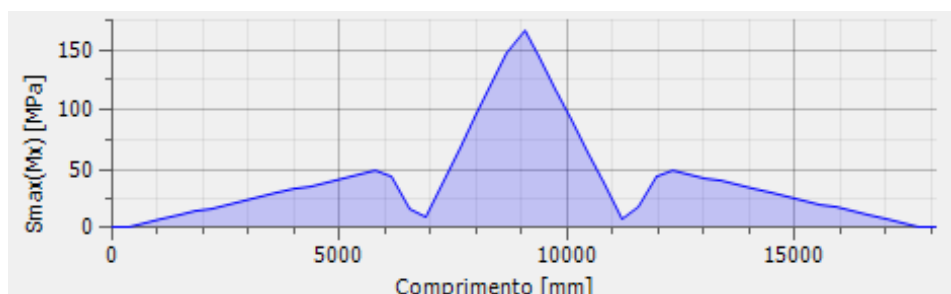
(a) Com a utilização dos pórticos de perfis W 310 x 32,7;



(b) Com a utilização dos pórticos de perfis W 200 x 22,5;



(c) Com a utilização dos pórticos de perfis W 150 x 13 e W 200 x 22,5;



Fonte – Autoria própria.

Analisando de modo comparativo as curvas dos gráficos, é possível perceber a pouca diferença existente entre os pontos de tensão máxima. Mesmo o ponto que apresenta maior valor, para a condição de utilização dos pórticos de perfis W 150 x 13 e W 200 x 22,5, não ultrapassa a tensão admissível do material (250 Mpa).

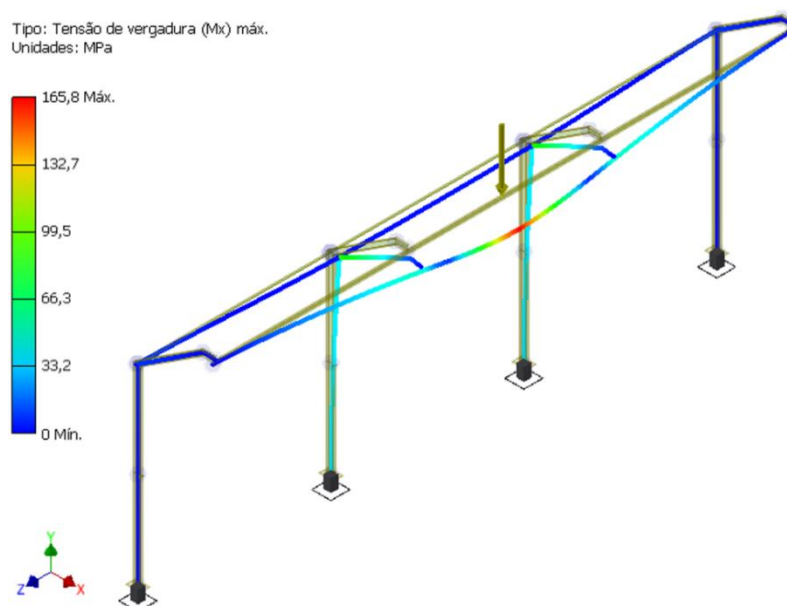
4.2.3. Modo de travamento entre os pórticos

Uma outra melhoria está vinculada no travamento entre os pórticos, de modo que possa auxiliar na integridade estrutural, diminuindo o risco de descolamentos horizontais indesejados e fornecendo uma maior estabilidade na linha de vida. Assim, foram realizadas simulações para

três diferentes situações de travamentos, levando em consideração os perfis dos pórticos anteriormente estabelecidos.

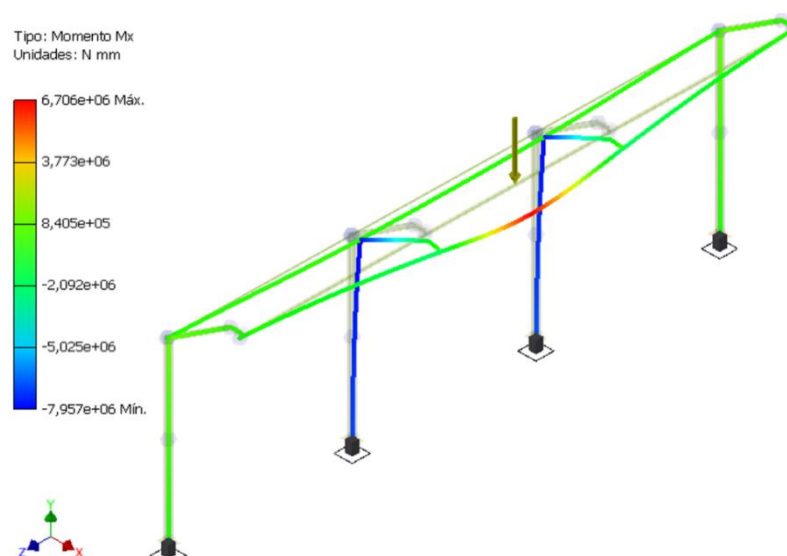
A primeira situação analisada baseou-se no que foi utilizado no projeto base, que tem nas extremidades superiores e entre os pórticos, perfis tipo L com abas iguais (3 x 3 x 1/4") fixados na posição horizontal. A simulação de tensão, para esta situação, apresenta uma tensão máxima de 165,8 Mpa no ponto mais crítico, conforme a Figura 34. A simulação de momento exibe uma magnitude de $6,706 \times 10^6$ N.mm de momento máximo no local do ponto mais crítico (Figura 35).

Figura 34: Análise de tensão para travamento horizontal simples



Fonte – Autoria própria.

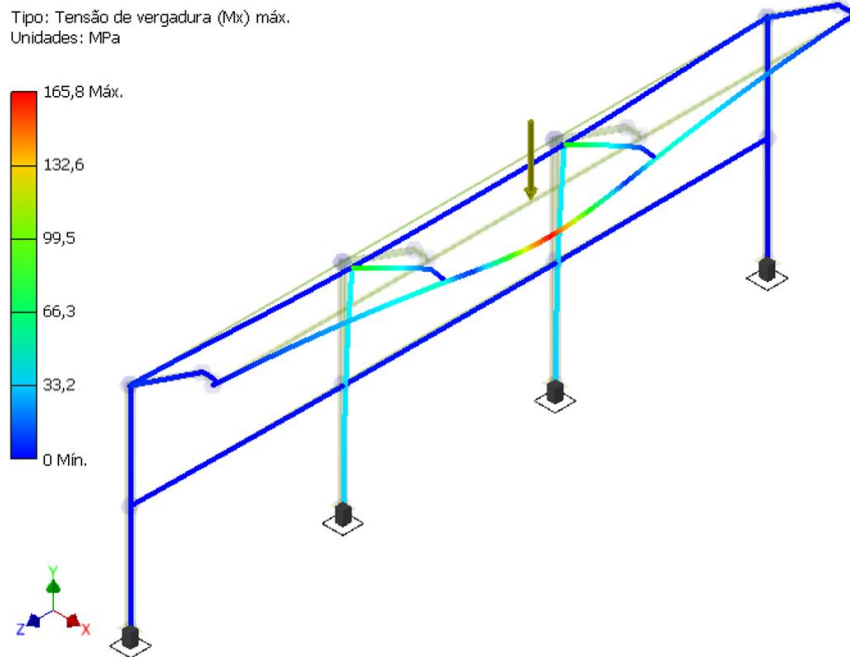
Figura 35: Análise de momento para travamento horizontal simples



Fonte – Autoria própria.

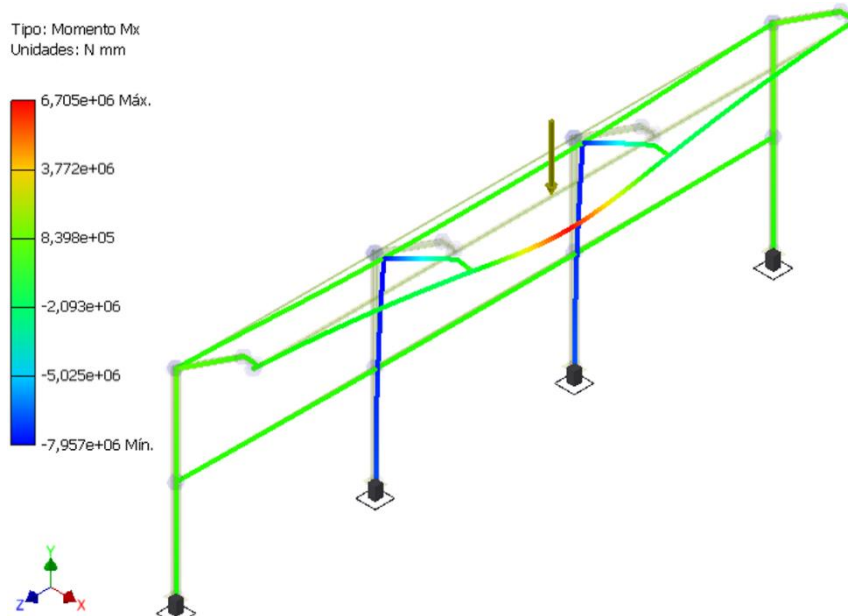
Para segunda situação analisada, os perfis tipo L com abas iguais utilizados da primeira situação foram duplicados, sendo adicionados nas extremidades superiores e no centro dos pórticos. A simulação de tensão para estas condições, computa uma tensão máxima de 165,8 Mpa no ponto mais crítico (Figura 36). A simulação de momento exibe $6,705 \times 10^6$ N.mm de momento máximo no ponto mais crítico (Figura 37).

Figura 36: Análise de tensão para travamento horizontal duplo



Fonte – Autoria própria.

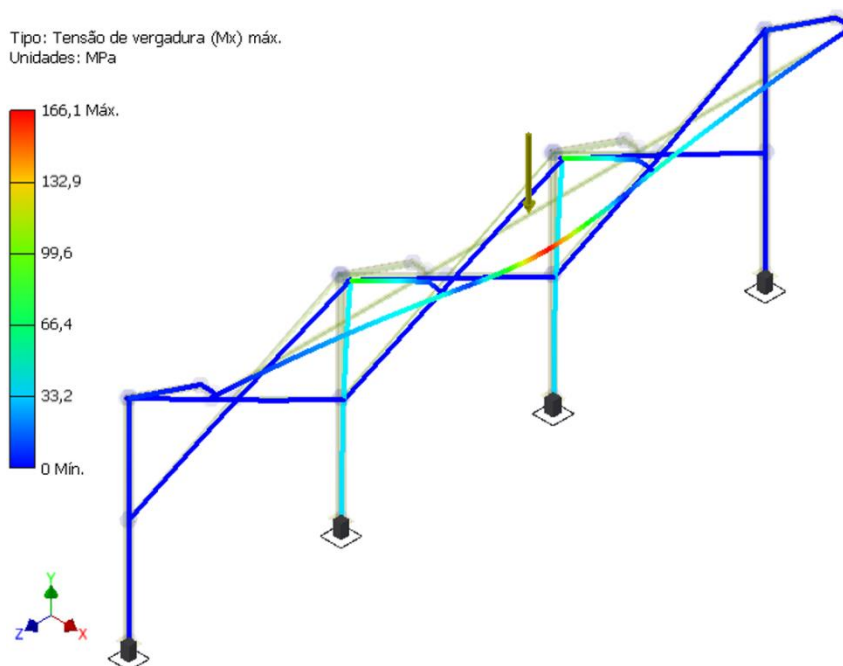
Figura 37: Análise de momento para travamento horizontal duplo



Fonte – Autoria própria.

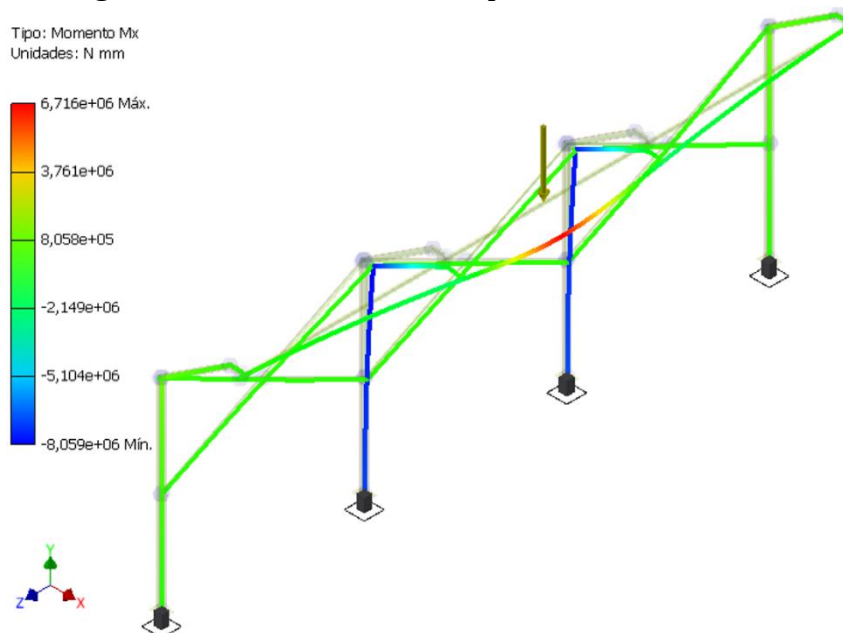
Na terceira situação analisada, foi utilizado os mesmos perfis tipo L com abas iguais, entretanto foram dispostos de forma cruzada. A simulação de tensão para esta situação, apresentou uma tensão máxima de 166,1 Mpa no ponto mais crítico (Figura 38). A simulação de momento exibe $6,716 \times 10^6$ N.mm de momento máximo no ponto mais crítico (Figura 39).

Figura 38: Análise de tensão para travamento cruzado



Fonte – Autoria própria.

Figura 39: Análise de momento para travamento cruzado



Fonte – Autoria própria.

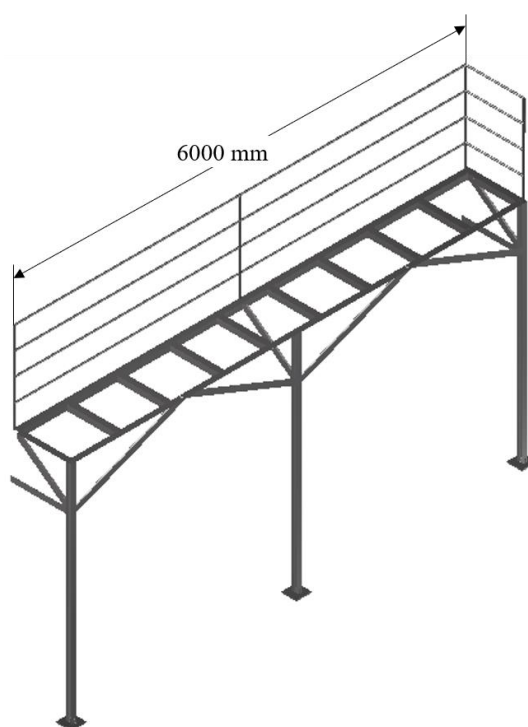
Analisando os modos de travamentos é perceptível que, a segunda e terceira situação não apresentam melhoria significativa em relação a primeira, além de exigirem mais materiais para confecção. Deste modo, optou-se por adotar a primeira situação de travamento para o projeto, visto que é mais eficaz. Com a adoção deste travamento, além das vantagens já mencionadas, é possível perceber a redução de 1,3 MPa de tensão máxima, comparada a simulação da estrutura sem o travamento (apresentada anteriormente na Figura 33), não excedendo a tensão de escoamento do material (250 MPa).

4.2.4. Comprimento da passarela

Baseado na necessidade de implementação de uma passarela e nas condições impostas no Quadro 2, viu-se, no projeto base, a possibilidade de reduzir o comprimento máximo da passarela, pois a sua utilização servirá exclusivamente para facilitar o acesso as carrocerias dos caminhões, não havendo a necessidade de possuir uma passarela de comprimento igual à da linha de vida, como proposto no projeto base.

Assim, optou-se pela redução do comprimento, anteriormente de 27 metros, passando a adotar 6 metros, possibilitando que o trabalhador transpasse para a carroceria na posição julgar mais adequada ao decorrer dos 6 metros, desta forma também permitirá a fixação entre pórticos da estrutura. Esta otimização é mostrada na Figura 40.

Figura 40: Comprimento da passarela

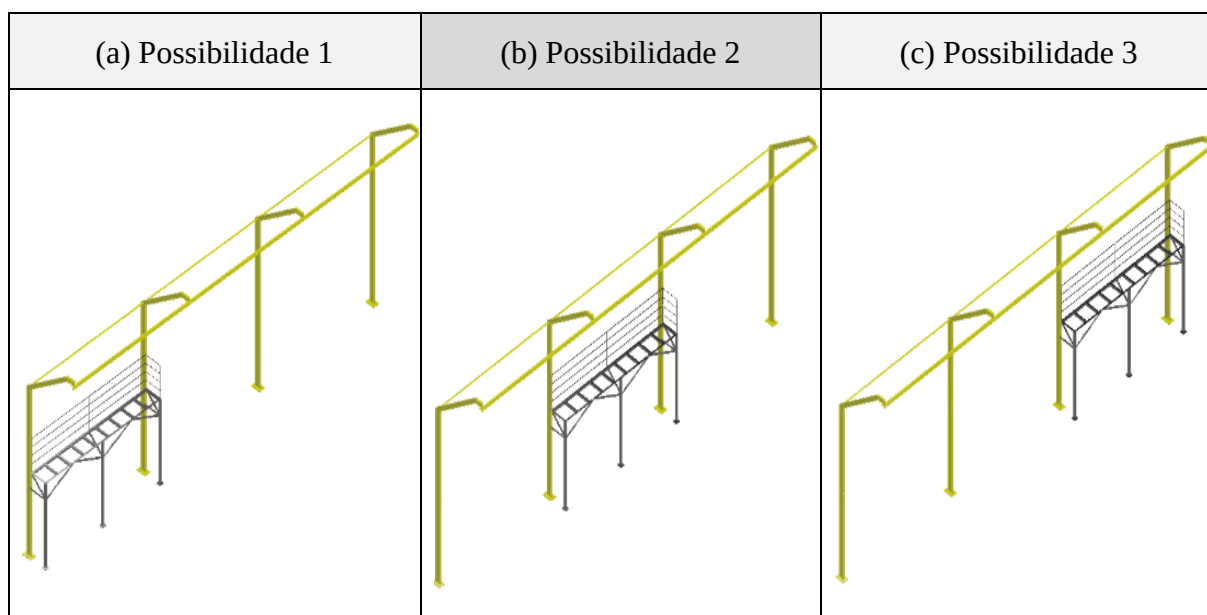


Fonte – Autoria própria.

4.2.5. Localização da passarela

Adotando a otimização da redução do comprimento da passarela, se faz necessário analisar sobre a localização desta em relação a linha de vida. Por possuir um comprimento de 6 metros pode ser localizada entre os pórticos, mas há três possibilidades diferentes desta localização, apresentadas na Figura 41.

Figura 41: Possibilidades de localização da passarela



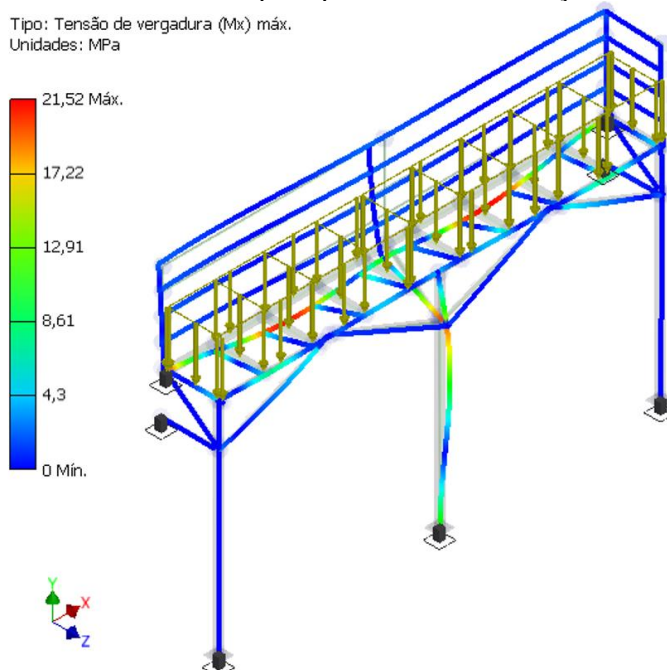
Fonte – Autoria própria.

Avaliando as três possibilidades de localização da passarela, foi possível definir baseado na consideração que o caminhão pode ser posicionado com a frente para ambos os lados, dependendo da forma como será estacionado, assim para garantir melhor acesso a carroceria, em qualquer que seja a posição do caminhão, optou-se pela possibilidade 2, localizando a passarela centralizada em relação a linha de vida.

4.2.6. Estrutura da passarela

A passarela empregada também foi baseada no modelo do projeto base, com utilização de perfil I de 3” de 1 alma fixados ao solo, perfil em L 3” x 1/4” na parte superior e tubos de 1” na chapa 14 para o corrimão, porém foi analisada através de simulação para duas condições diferentes. Para primeira análise a estrutura segue exclusivamente o modelo do projeto base. A simulação de tensão, para esta situação, exibe 21,52 Mpa de tensão máxima no ponto mais crítico (Figura 42).

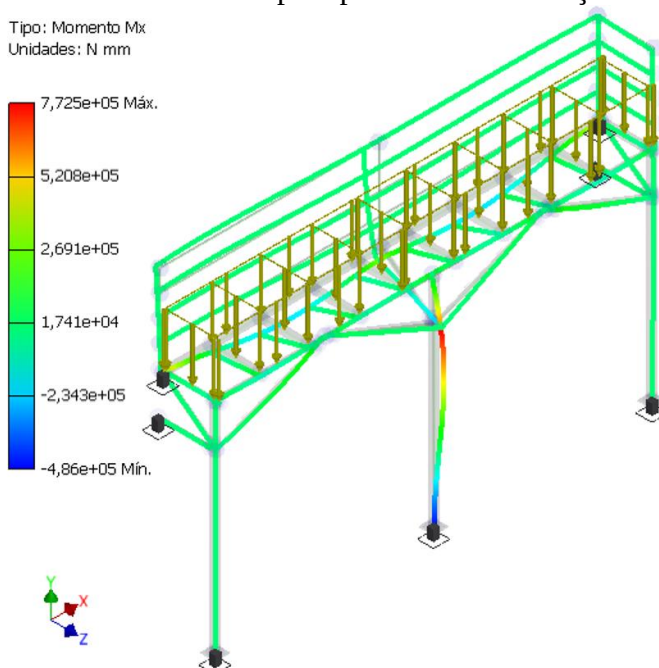
Figura 42: Análise de tensão para passarela sem fixação traseira no solo



Fonte – Autoria própria.

A simulação de momento, para a primeira situação, exibe 772,5 N.m de momento máximo no ponto mais crítico (Figura 43).

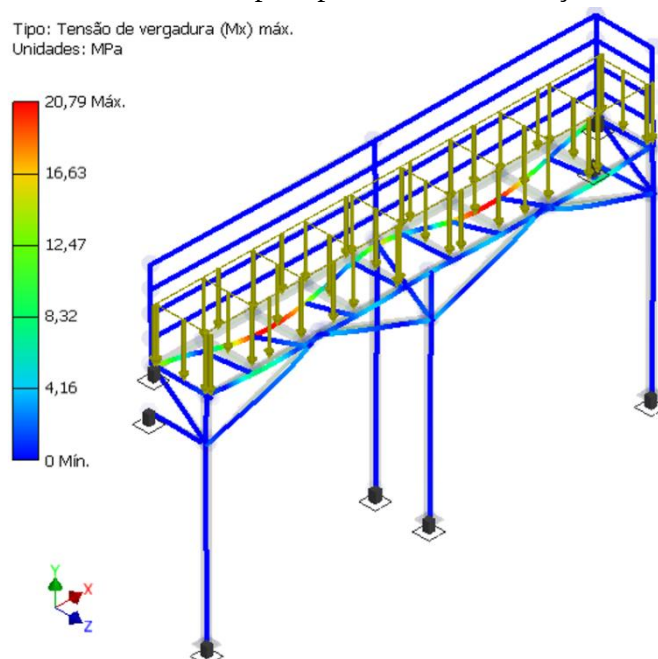
Figura 43: Análise de momento para passarela sem fixação traseira no solo



Fonte – Autoria própria.

Já para segunda análise foi inserido um perfil de apoio traseiro, fixado do centro da passarela ao solo. A simulação de tensão para esta situação, exibe 20,79 Mpa de tensão máxima no ponto mais crítico (Figura 44).

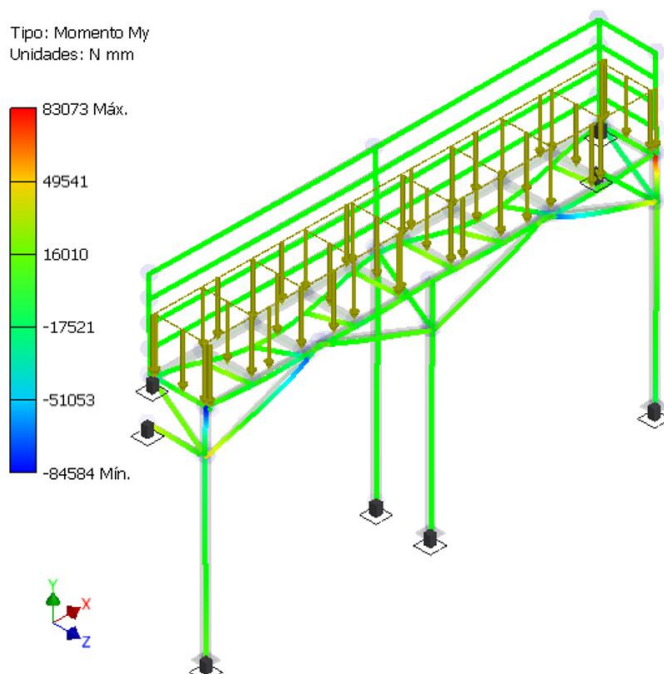
Figura 44: Análise de tensão para passarela com fixação traseira no solo



Fonte – Autoria própria.

A simulação de momento, para a segunda situação, exibe 83,07 N.m de momento máximo no ponto mais crítico (Figura 45).

Figura 45: Análise de momento para passarela com fixação traseira no solo



Fonte – Autoria própria.

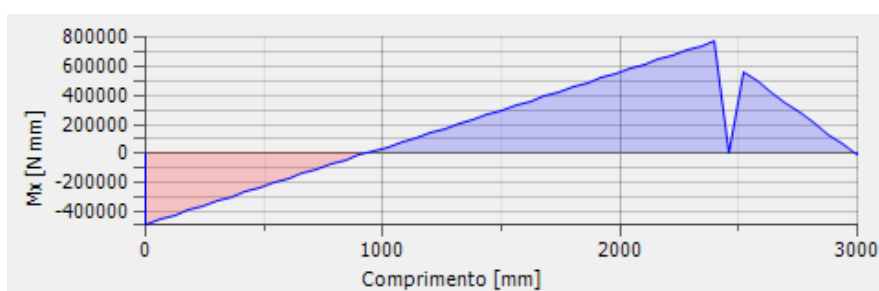
Analisando as situações, quanto a estrutura da passarela, é possível perceber a melhoria do comportamento da distribuição de cargas, principalmente nas análises de momento. A primeira análise apresenta um momento máximo na viga central dianteira, fixada da base. Por

esta razão optou-se pela inserção do perfil de apoio traseira, conforme segunda condição, prezando pela integridade e vida útil da estrutura.

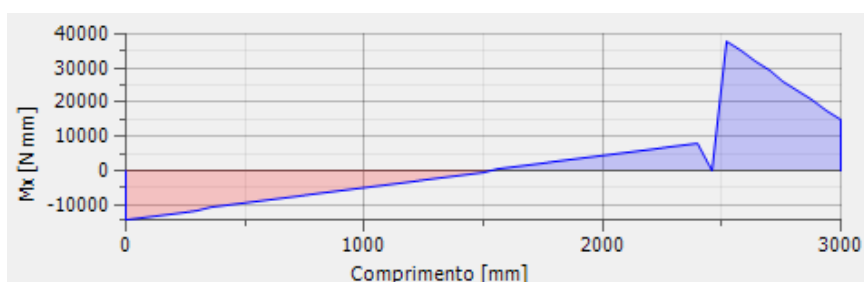
Para melhor análise de momento que a viga central dianteira da passarela está sujeita, as curvas de momento desta viga foram geradas para as duas situações, podem ser vistas no Gráfico 2: (a) Sem a utilização do perfil de apoio traseiro e (b) Com a utilização do perfil de apoio traseiro.

Gráfico 2: Curvas de momento da viga central dianteira

(a) Sem a utilização do perfil de apoio traseiro



(b) Com a utilização do perfil de apoio traseiro



Fonte – Autoria própria.

Os gráficos revelam a diferença considerável dos valores em que a viga está sujeita. Na condição onde não se utiliza o perfil de apoio traseiro, a viga atinge o valor de momento máximo (772,5 N.m). Já com a utilização do perfil de apoio, a viga atinge apenas 5% (38,63 N.m) do valor de momento máximo obtido na primeira situação.

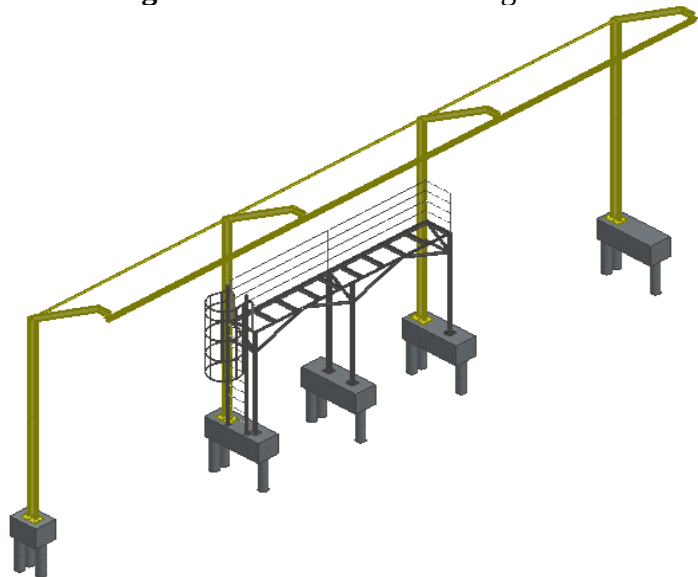
4.2.7. Leiaute definitivo do projeto

Após todas as tomadas de decisões mediante as otimizações, contemplando a modelagem da estrutura da linha de vida e da estrutura da passarela, ainda nesta etapa foi contemplada a modelagem da escada tipo marinheiro, seguindo todas as orientações da NR12.

Além do projeto estrutural modelado e dimensionado, foi incorporado a modelagem das sapatas de fundação da estrutura, salientando que foram dimensionadas e revisadas pelo departamento de engenharia civil da empresa A.

Desta forma, estabeleceu-se o leiaute definitivo do projeto em 3D, conforme mostrado na Figura 46, com a coloração amarela dos pórticos seguindo orientação da NBR 7195 (2018).

Figura 46: Leiaute da modelagem 3D



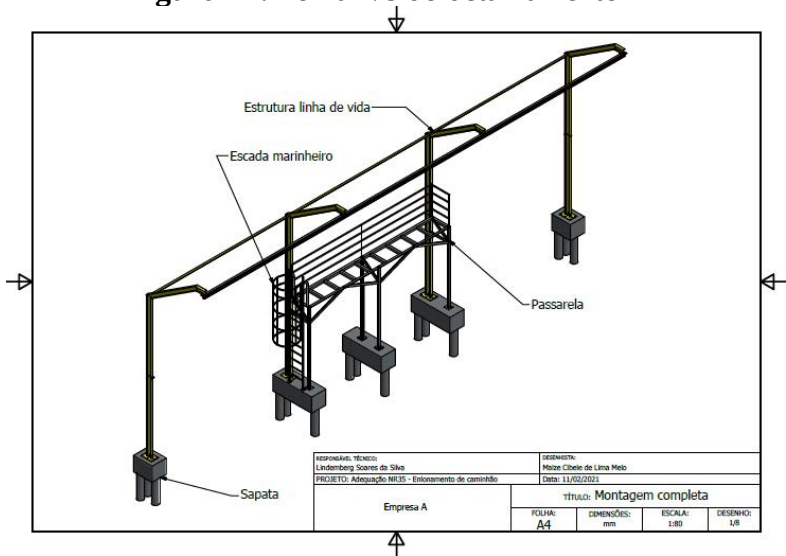
Fonte – Autoria própria.

4.3. PROJETO DETALHADO

4.3.1. Desenhos 2D

Os desenhos 2D foram organizados em oito pranchas de detalhamentos. A primeira folha apresenta o leiaute do projeto completo (Figura 47). As demais folhas são especificadas as dimensões, modos, fixação e observações válidas sobre os componentes que compõe a linha de vida projetado (Figura 48).

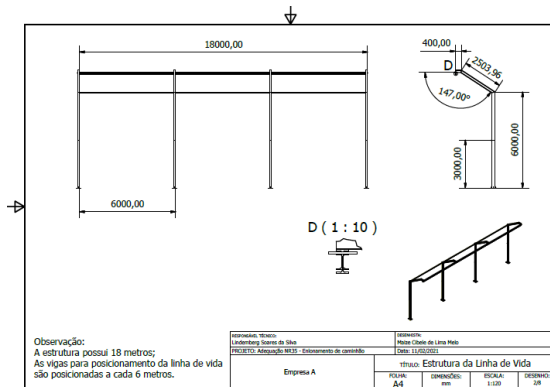
Figura 47: Folha 1/8 do detalhamento 2D



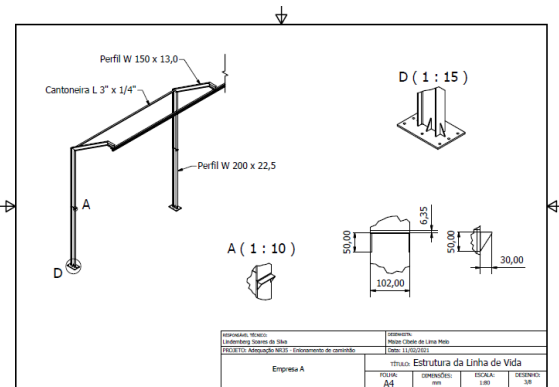
Fonte – Autoria própria.

Figura 48: Folhas do detalhamento 2D

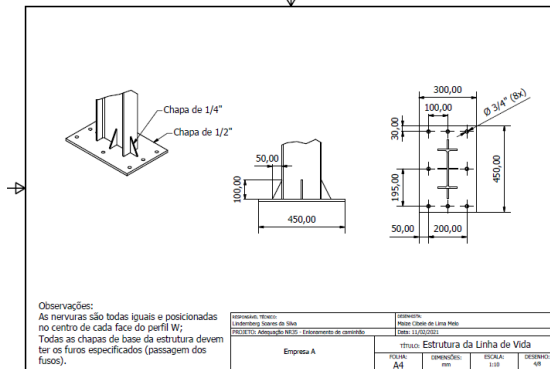
(a) Folha 2/8;



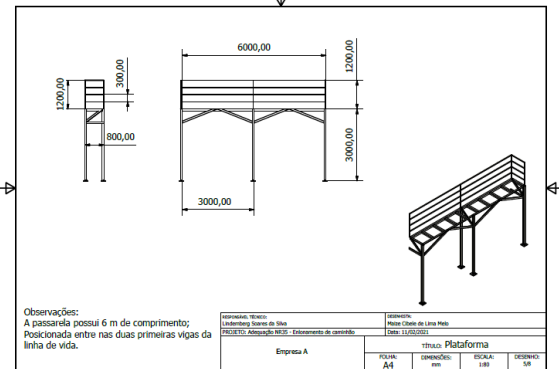
(b) Folha 3/8;



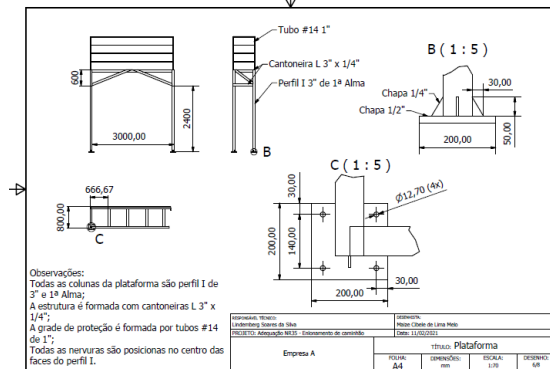
(c) Folha 4/8;



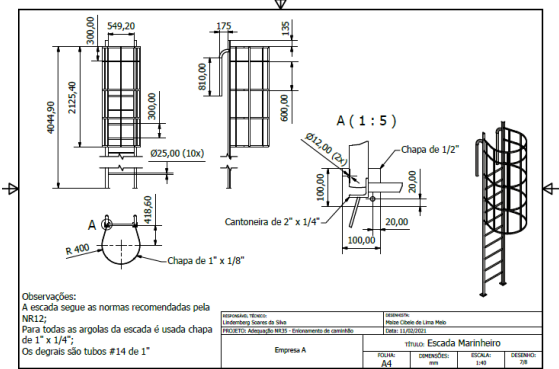
(d) Folha 5/8;



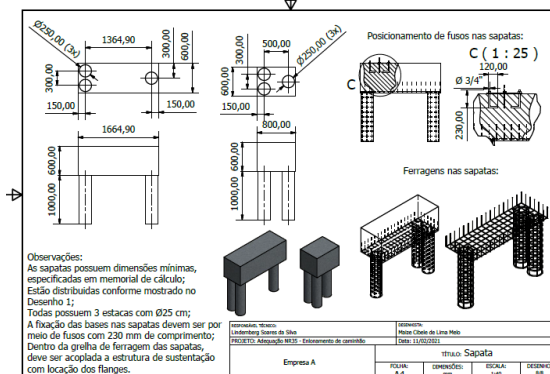
(e) Folha 6/8;



(f) Folha 7/8;



(g) Folha 8/8.

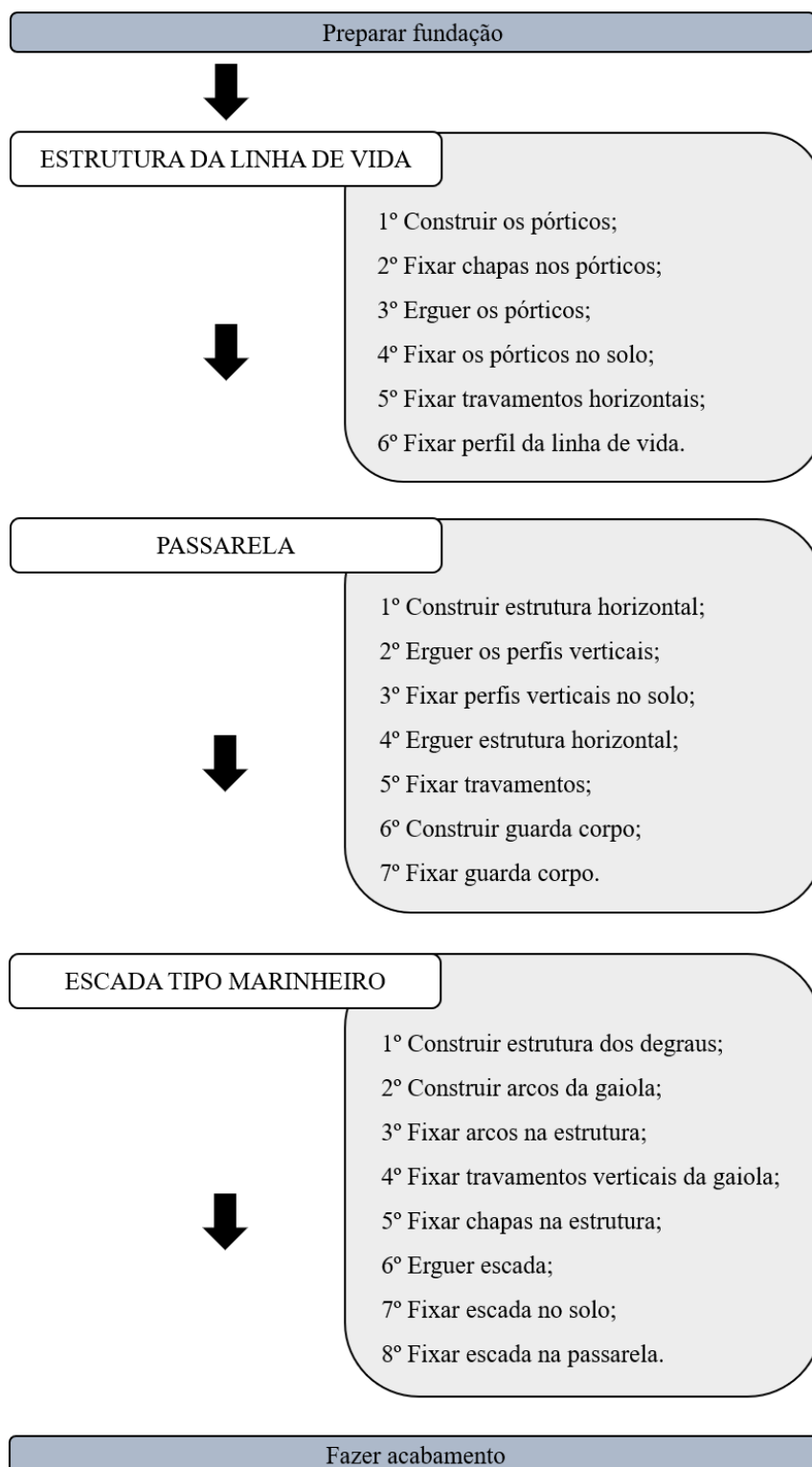


Fonte – Autoria própria.

4.3.2. Sequência de montagem e fabricação

A Figura 49 apresenta um fluxograma com a proposta de sequência de montagem e fabricação da estrutura completa.

Figura 49: Sequência de montagem e fabricação da estrutura completa



Fonte – Autoria própria.

A sequência proposta para instalação da linha de vida, trata-se de uma montagem, relativamente simples, baseada na viabilidade de mão de obra reduzida. Mas, a depender da capacidade da mão de obra empregada, como trata-se de operações constituídas por múltiplas seções, é possível que uma grande equipe trabalhe em conjunto, em seções diferentes simultaneamente. Entretanto, desempenhando a montagem geral na ordem proposta.

4.3.3. Orçamento de materiais da estrutura

Buscando comparar os gastos dos materiais entre o projeto base e o otimizado, foi realizado o levantamento das quantidades e orçamento para ambos. No Quadro 3 é exibida a lista de materiais para estrutura do projeto base, justamente com orçamento discriminado. Já no Quadro 4 está mostrada a lista de materiais para estrutura do projeto otimizado com orçamento detalhado.

Quadro 3: Lista de materiais e orçamento da estrutura do projeto base

ESTRUTURA DA LINHA DE VIDA			
MATERIAL	ESPECIFICAÇÕES	QUANTIDADE	PREÇO
Perfil I	W 310 x 32,7 (ASTM A 36)	54 m	R\$ 13.066,92
Perfil I	Laminado 4" x 2 5/8"	27 m	R\$ 2.182,38
Cantoneira de abas iguais	L 3" x 1/4"	27 m	R\$ 1.218,39
Chapa de aço	1/4" de espessura	3 m ²	R\$ 1.100,00
			R\$ 17.567,69
PASSARELA			
MATERIAL	ESPECIFICAÇÕES	QUANTIDADE	PREÇO
Perfil I	3" de 1 alma	33 m	R\$ 1.738,24
Cantoneira de abas iguais	L 3" x 1/4"	105 m	R\$ 4.738,16
Tubo de aço industrial	1" na chapa 14	227 m	R\$ 1.823,57
			R\$ 8.299,97
ESCADA MARINHEIRO			
MATERIAL	ESPECIFICAÇÕES	QUANTIDADE	PREÇO
Cantoneira de abas iguais	L 2" x 1/8"	9 m	R\$ 130,00
Tubo de aço industrial	1" na chapa 14	6 m	R\$ 48,20
Tubo de aço industrial	2" na chapa 14	3 m	R\$ 46,40
Barra chata	1" x 1/4"	30 m	R\$ 113,21
			R\$ 337,81
ORÇAMENTO TOTAL (MATERIAIS PARA ESTRUTURA) =			R\$ 26.205,47

Fonte – Autoria própria.

Quadro 4: Lista de materiais e orçamento da estrutura do projeto otimizado

ESTRUTURA DA LINHA DE VIDA			
MATERIAL	ESPECIFICAÇÕES	QUANTIDADE	PREÇO
Perfil I	W 200 x 22,5 (ASTM A 36)	24 m	R\$ 3.996,00
Perfil I	W 150 x 13 (ASTM A 36)	12 m	R\$ 1.152,84
Perfil I	Laminado 4" x 2 5/8"	18 m	R\$ 1.454,92
Cantoneira de abas iguais	L 3" x 1/4"	18 m	R\$ 812,26
Chapa de aço	1/4" de espessura	1,5 m ²	R\$ 550,00
			R\$ 7.966,02
PASSARELA			
MATERIAL	ESPECIFICAÇÕES	QUANTIDADE	PREÇO
Perfil I	3" de 1 alma	12 m	R\$ 651,84
Cantoneira de abas iguais	L 3" x 1/4"	30 m	R\$ 1.353,76
Tubo de aço industrial	1" na chapa 14	48 m	R\$ 385,60
			R\$ 2.391,20
ESCADA MARINHEIRO			
MATERIAL	ESPECIFICAÇÕES	QUANTIDADE	PREÇO
Cantoneira de abas iguais	L 2" x 1/8"	9 m	R\$ 130,00
Tubo de aço industrial	1" na chapa 14	6 m	R\$ 48,20
Tubo de aço industrial	2" na chapa 14	3 m	R\$ 46,40
Barra chata	1" x 1/4"	30 m	R\$ 113,21
			R\$ 337,81
ORÇAMENTO TOTAL (MATERIAIS PARA ESTRUTURA) =			R\$ 10.695,03

Fonte – Autoria própria.

Através desta análise comparativa, é possível perceber uma redução acentuada do orçamento total dos materiais da estrutura do projeto otimizado, decorrente principalmente da redução do comprimento da estrutura da linha de vida e do comprimento da passarela. Resultando em uma redução de 59,2% dos gastos agregados a estes materiais.

5. CONCLUSÃO

Por meio do desenvolvimento deste estudo, precedido da realização de otimização do projeto estrutural da linha de vida horizontal rígida, para acesso a carrocerias de caminhões, foi possível verificar e quantificar, através da redução de custos, a importância de adotar a otimização do projeto. Uma vez que os gastos do projeto otimizado foram reduzidos em 59,2%, com relação aos gastos do projeto base.

É importante ressaltar todas as tomadas de decisões que implicaram na redução de custos, sendo elas: a redução do comprimento total da estrutura da linha de vida, a mudança dos perfis utilizados e a redução do comprimento da passarela. Atendendo as normas: NR 35, NR 12, NBR 14628, NBR 14629, NBR 15834, NBR 15836, NBR 7188 e NBR 8800.

As etapas iniciais do presente trabalho foram cruciais para o desenvolvimento, por permitirem a constatação das necessidades do cliente, o entendimento do projeto base, bem como o aprofundamento no estudo voltado a implementação de linhas de vida.

Conclui-se então, que todos os objetivos propostos foram alcançados e o projeto foi otimizado de forma satisfatória. Destaca-se também a importância de projetos para formação profissional, e mais importante, a análise das oportunidades de melhorias destes projetos, através da aplicação de conceitos adquiridos ao decorrer da graduação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTISEG (Curitiba). **Seleção e utilização de EPI para trabalho em altura**. Curitiba, ano 2011, n. 2, p. 28. 2011.

ALPIMONTE. 2018. **Linha de vida para trabalho em altura 20 metros**. Disponível em: <https://www.alpimonte.net/trabalho/linhas-de-vida/LVM-20M>. Acesso em: 12 de abril de 2021.

ALPINPRO. 2021. **Linha de vida**. Disponível em: <http://alpinpro.com.br/linha-de-vida/>. Acesso em: 05 maio 2021.

ANJOS, Mauricio Silva dos. **Segurança do trabalho na construção civil** / Mauricio Silva dos Anjos, Fernando Stoco. - São Paulo: Érica, 2017. 152 p.

ARAÚJO, J. A. F. **Análise dos acidentes de trabalho do tipo quedas em altura na indústria da construção**. Tese (Doutorado), Universidade do Minho, 2011.

AZEVEDO, Rui Pedro Labrincha. **Acidentes em operações em movimentações manuais de cargas na construção civil**. 2010. 350 p. Tese (Doutorado em engenharia civil) - Universidade do Minho, Portugal, 2010.

BALESTRIN, Álvaro. **Proposta com base no cálculo estrutural para implantação de uma linha de vida em empresa de máquinas agrícolas**. 2018. 49 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Horizontina, Horizontina/RS, 2018.

BELTRAMI, Monica; STUMM, Silvana Bastos. **EPI e EPC**. Paraná, p. 136, 2013.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquina de Shigley: Projeto de engenharia mecânica**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 1084 p.

CBIC; SECONCIBRASIL; SESI. **Segurança e saúde na indústria da construção - Prevenção e inovação**. Serviço Social da Indústria, Brasília, 2019.

COSME, Alice Kalliane da Silva. **Acidentes do trabalho na perspectiva dos trabalhadores na construção civil na cidade de Assu/RN**. 2013. 67 p. Monografia (Bacharel em Ciências e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi Árido, Angicos/RN, 2013.

CUNHA, Douglas Gonçalves; CARVALHO, Laísa Cristina. **Linha de vida horizontal para trabalhos no chão: Utilização em manutenção de superestrutura ferroviária**. Unis, Três Pontas, 2019.

DOIS DEZ. 2021. **Linha de vida para caminhão – Suporte em estrutura existente**. Disponível em: <https://doisdez.com.br/produtos/linha-de-vida-para-caminhao-suporte-em-estrutura-existente/>. Acesso em: 17 abril 2021.

DWA. 2019. **Linha de vida**. Disponível em: <https://www.dwaequipamentos.com.br/opcao-linha-de-vida/>. Acesso em: 05 maio 2021.

FIRETTI, Vinicius Lange. **Trabalho em altura: Legislação, soluções e análise de risco para instalação de calhas em telhados**. 2013. 73 p. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

FLORIANO, Humberto Sônego. **Boas práticas de trabalho em altura: estudo de caso em uma indústria cimenteira**. 2014. 57 p. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2014.

FORBECK, Matheus Silva. **Proposta de um equipamento para descarga de mercadorias em caminhões baú**. 2017. 100 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

FUNDACENTRO. **Recomendação Técnica de Procedimentos: Escadas, Rampas e Passarelas**. 2002.

MAIS EPI. 2013. **Linha de vida móvel**. Disponível em: <https://www.maisepi.com.br/linhas-de-vida>. Acesso em: 05 maio 2021.

MARTINS, Matheus Felipe Meira; BRASIL, Victor Teixeira Paiva. **Análise comparativa entre estruturas metálicas x concreto pré-moldado em galpões**. 2019. 22 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Goiás, Goiânia, 2019.

Mil EPI. 2021. **Projetos - Linha de vida fixa em pórticos**. Disponível em: [https://www.milepi.com.br/projetos/projetos.php?categoria=projetos&id_i=117&produto=linha-de-vida-fixa-em-porticos-\(area-externa\)](https://www.milepi.com.br/projetos/projetos.php?categoria=projetos&id_i=117&produto=linha-de-vida-fixa-em-porticos-(area-externa)). Acesso em: 05 maio 2021.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Caminhos da Análise de Acidentes do Trabalho**. Brasília/DF, 2003. 102p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Cartilha Trabalho em Altura**. Brasília/DF, 2017. 28p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Manual de auxílio na interpretação e aplicação da norma regulamentadora n.º 35 – trabalhos em altura**. Brasília/DF, 2012. 24p.

NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA. **NBR14628** – Equipamento de proteção individual contra queda em altura – Trava-queda retrátil. 2010.

NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA. **NBR14629** – Equipamento de proteção individual contra queda em altura – Absorvedor de energia. 2010.

NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA. **NBR15834** – Equipamento de proteção individual contra queda em altura – Talabarte de segurança para retenção de queda. 2010.

NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA. **NBR15836** – Equipamento de proteção individual contra queda em altura – Cinturão de segurança do tipo paraquedista. 2010.

NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA. **NBR7195** – Cores para segurança. 2018.

NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA. **NBR7188** – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. 2013.

NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA. **NBR8800** – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2008.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR12** - Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. 2019.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR35** - Trabalho em Altura. 2019.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas** [recurso eletrônico]: uma abordagem integrada / Robert L. Norton; [tradução: Konstantinos Dimitriou Stavropoulos ... et al.]. – 4. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

REIS, A. V. **Desenvolvimento de concepção para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. Florianópolis. 2003. Tese – PPGEM – UFSC, 2003.

SEIBEL, Mauricio Tomazi. **Elaboração de roteiro para implantação de sistema de proteção contra quedas**. 2014. 78 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí/RS, 2014.

SESI - Serviço Social da Indústria. Departamento Nacional. **Guia prático para cálculo de linha de vida e restrição para a indústria da construção** / José Carlos de Arruda Sampaio, Wilson Roberto Simon, Serviço Social da Indústria. – Brasília: SESI, 2017.

SILVA, Douglas Evangelista da. **Estruturas metálicas em residenciais**. E-RAC, Uberlândia, 2015.

SILVA, Lindemberg Soares da. **Memorial de cálculo para linha de vida**. Natal, 2019. Memorial de Cálculo Descritivo.

PIRES, Maurício. **Técnicas para projetar uma linha de vida horizontal para ponte rolante**. 2014. 81 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Três Pontas, 2014.

WMC ENGENHARIA. 2019. **Linha de vida**. Disponível em: <https://wmcengenharia.ind.br/servicos/linha-de-vida/>. Acesso em: 17 maio 2021.

THOMMEN. 2017. **Linha de vida horizontal: a importância do cálculo**. Disponível em: <http://www.thcengenharia.com.br/calculo-linha-vida-horizontal/>. Acesso em: 17 abril 2021.

ZILLMER, Jonas. **Adequação de elevador de cereais as normas de segurança NR 12 e NPT 027**. 2018. 56 p. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí/RS, 2018.