

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
WILLYANDRO COELHO ROSA BORGES

PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE UMA LINHA DE VIDA HORIZONTAL

Varginha 2021

WILLYANDRO COELHO ROSA BORGES

PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE UMA LINHA DE VIDA HORIZONTAL

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Matheus Henrique Pereira.

Varginha 2021

WILLYANDRO COELHO ROSA BORGES

PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE UMA LINHA DE VIDA HORIZONTAL

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Mecânica do centro Universitário do Sul de Minas Gerais – UNIS, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que me deu forças para superar cada obstáculo para chegar até aqui. Dedico também a minha família, que em nenhum momento deixou de me incentivar e acreditar em minha capacidade.

“A vida encolhe ou se expande na proporção da coragem que uma pessoa tem”.

Anaïs Nin.

RESUMO

O trabalho em altura torna-se cada vez mais, um desafio constante a profissionais que vivenciam esta necessidade. Considerando o alto índice de atividades acima de 2 metros de altura, cumpre-se a obrigação de segurança no trabalho, identificada através da NR35. A necessidade em oferecer ambientes de trabalho que garantam a saúde e a integridade dos trabalhadores, estimulou empresas a investirem em adequações para as suas máquinas e equipamentos. Nesse contexto, o trabalho tem por objetivo a identificação dos riscos de segurança, bem como possíveis melhorias, existentes no trabalho em altura. Por meio de uma pesquisa diária e exploratória, foram extraídas informações básicas, de procedimentos e tarefas designadas para a realização das atividades em altura, também avaliou-se o local, estrutura e possibilidades de adequações em função do projeto atual. Através das informações e dados obtidos, criou-se uma proposta baseada no cálculo estrutural, ideal para adequação do ambiente, aplicando uma linha de vida em um dos espaços utilizados para a atividade em altura.

Palavras-chave: Trabalho em altura. Linha de vida. Segurança do Trabalho. NR35. Cálculo Estrutural.

ABSTRACT

Working at heights becomes more and more a constant challenge for professionals who experience this need. Considering the high rate of activities above 2 meters in height, the work safety obligation, identified through NR35, is fulfilled. The need to offer work environments that guarantee the health and integrity of workers, encouraged companies to invest in adaptations for their machines and equipment. In this context, the work aims to identify safety risks, as well as possible improvements, existing at work at heights. By means of a daily and exploratory research, basic information, procedures and tasks designed for carrying out activities at height were extracted, the location, structure and possibilities of adaptations according to the current project were also evaluated. Through the information and data obtained, a proposal was created based on structural calculation, ideal for adapting the environment, applying a lifeline in one of the spaces used for activity at height.

Keywords: *Work at height. Life line. Workplace safety. NR35. Structural Calculation.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Modelo de sistema de segurança guarda corpo	14
Figura 2: Plataforma secundária de proteção	14
Figura 3: Hierarquia se processos a serem tomados para trabalhos em altura	15
Figura 4: Linha de vida horizontal temporária	18
Figura 5: Linha de vida horizontal móvel	18
Figura 6: Linha de vida horizontal fixa.....	19
Figura 7: Componentes para linha de vida horizontal fixa	20
Figura 8: Linha de vida vertical com corda.....	22
Figura 9: Linha de vida vertical fixa.....	22
Figura 10: Coeficientes de queda.....	23
Figura 11: Reações de acordo com o tipo de suporte: rolete (A), pino (B), articulação (C) e engastamento (D).....	25
Figura 12: Reações de acordo com o tipo de carregamento: forças concentradas (A), carga uniformemente distribuída (B), carga uniformemente variável (C) e momento concentrado (D)	25
Figura 13: Classificação das vigas: apoiada (A), bi-engastada (B), engastada apoiada (C), em balanço (D), em balanço nas extremidades (E)	26
Figura 14: Carga axial.....	26
Figura 15: Cisalhamento simples (A), tração no rebite do cisalhamento simples (B), cisalhamento duplo (C), tração no rebite do cisalhamento duplo (D)	27
Figura 16: Corpo de prova para ensaio de tensão	27
Figura 17: Exemplo de diagrama tensão-deformação	28
Figura 18: Modelo da linha de vida e seus componentes.....	31
Figura 19: Diagrama da linha de vida.....	32
Figura 20: Linha de vida seccionada e suas reações.....	33
Figura 21: Ancoragem tipo C	34
Figura 22: Cabos de aço para uso geral – Tabela I.P.S. / E.I.P.S.....	35
Figura 23: Fixação correta dos grampos	36
Figura 24: Quantidade de grampos pesados, espaçamentos e torques de aperto	36
Figura 25: Sapatilho Pesado	37
Figura 26: Esticador de cabo de aço	37

Figura 27: Porca olhal - DIN 582.....	38
Figura 28: Representação do esquema de absorvedor de energia	41
Figura 29: Zona livre de queda	41
Figura 30: Talabarte com absorvedor de energia	42
Figura 31: Cinturão de segurança do tipo paraquedista/abdominal	43
Figura 32: Capacete com jugular.....	44

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a	Aceleração da gravidade
A	Área
A ₀	Área inicial
A _{MB}	Área metal base
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
AA	Alma de Aço
d	Distância
EPI	Equipamento de Proteção Individual
F _f	Força de frenagem
F _w	Força resistente de cálculo
F _{TP}	Força de tração no parafuso
f _y	Menor resistência ao escoamento
H	Altura
kN	Quilonewton
kgf	Quilograma-força
m	Metro
mm	Milímetro
M	Momento, momento fletor
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
σ	Tensão
Σ	Somatório
\varnothing	Diâmetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 TRABALHO EM ALTURA	12
2.1 Norma Regulamentadora 35	13
3 LINHA DE VIDA	16
3.1 Classificação das linhas de vida	17
3.1.1 Linha de horizontal temporária, móvel e fixa.....	17
3.1.1.1 Componentes mandatórios para linha de vida horizontal fixa	19
3.1.2 Linha de vida vertical temporária e fixa.....	21
3.2 Coeficiente de queda	23
4 RESISTÊNCIA ESTRUTURAL DOS MATERIAIS	23
4.1 Cálculos e dimensionamento	24
5 METODOLOGIA	28
5.1 Métodos e Técnicas Utilizados	28
5.2 Local de Estudo	29
5.3 Materiais e Equipamentos	29
5.4 Fatores Indispensáveis e Considerações importantes	29
6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	30
6.1 Levantamento dos Dados	30
6.2 Modelo da Linha de Vida a Ser Dimensionada	31
6.2.1 Modelo da linha de vida	31
6.3 Cálculos necessários	32
6.3.1 Etapa de cálculos da linha de vida horizontal.....	32
6.4 Pontos de Ancoragem	34
6.4.1 Cabo de aço.....	34
6.4.1.1 Terminais do cabo de aço.....	35
6.4.2 Esticador	37
6.4.3 Olhal de fixação	38
6.4.4 Barra roscada para fixação do olhal	38
6.4.5 Cálculo da força de frenagem	39
6.4.6 Absorvedor de energia.....	40
6.5 Relação dos materiais	42
6.6 Equipamentos de segurança	43
6.7 Custos dos materiais para aplicação	44
6.8 Treinamento	45
7 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

A segurança tornou-se um dos mais importantes indicadores de desenvolvimento para grandes e pequenas empresas, sendo a regra básica para garantir o desenvolvimento seguro do trabalho interno de uma organização. Para tornar seus resultados satisfatórios, a empresa investe em diversos treinamentos para atingir seus objetivos, bem como em sistemas de manutenção preventiva e corretiva para garantir a funcionalidade do sistema de segurança.

Tendo em vista o alto índice de acidentes de trabalho causados por atividades em altura, equipamentos são fornecidos aos profissionais que apresentam tais riscos em muitos casos. Nestes dispositivos, destaca-se o suporte para atividades de altitude, apoiado por um cinto de segurança, ligado a uma estrutura que resiste ao seu devido carregamento, em salão de exposições ou em ambiente semiaberto, este sistema de segurança denomina-se linha de vida.

Desta forma, o estudo será sustentado pela norma regulamentadora NR35 (2012), analisando as características necessárias de uma linha de vida. São determinados os riscos nas atividades em altura e são apresentadas sugestões de ajustes necessários com base no cálculo estrutural da linha de vida, priorizando a segurança e o bem-estar, e disponibilizando equipamentos ambientais adequados para os profissionais que necessitam desse suporte durante a manutenção e utilização.

Neste trabalho serão identificados os riscos presentes nas atividades em altura, bem como sugeridas as adequações necessárias, de acordo com os cálculos estruturais de uma linha de vida, priorizando a segurança e o bem-estar, através da adequação do ambiente para os profissionais que necessitam deste suporte durante a manutenção/utilização dos equipamentos.

Enquanto problemática deste estudo verifica-se que considerando a relevância ímpar da instalação de uma linha de vida, tanto para as obras de engenharia quanto para quaisquer outros tipos de trabalhos manuais que precisem ser realizados em alturas elevadas, levanta-se um questionamento: quais fatores são relevantes na construção do sistema para que ele seja considerado eficaz quanto à segurança?

Desta forma, o presente trabalho pretende-se verificar cada elemento do sistema de linha de vida e sua capacidade de suportar a carga a ele aplicada. Desde o cinto de segurança utilizado pelo operador, passando pelos absorvedores de energia, conectores, cabos de aço, até o sistema de ancoragem.

Assim, busca-se concluir quais são fatores relevantes em um projeto de instalação de linha de vida, tendo como base a norma regulamentadora NR35.

O objetivo principal deste estudo é identificar e detalhar, através de cálculos estruturais, quais são os parâmetros relevantes para dimensionamento de uma linha de vida segura, com base nas exigências da norma regulamentadora NR35.

Dentre os objetivos específicos,

- Analisar os parâmetros da norma regulamentadora NR35;
- Verificar os equipamentos de segurança específicos para o trabalho em altura;
- Determinar a força exercida em cada elemento do sistema;
- Dimensionar os elementos do sistema;
- Levantamento de custo dos equipamentos.

A importância no tema proposto consiste no fato de que atividades realizadas em alturas oferecem um grande risco para quem o executa. Em consequência, faz-se necessária a realização de um estudo para avaliar as extensões desses perigos e propor soluções para sua redução ou eliminação.

A linha de vida é um sistema que possui cordas, cabos ou fitas, instalados e conectados a um cinto de segurança e ancoragem. Com base nas especificações da norma regulamentadora NR35, que estabelece requisitos mínimos para trabalho em altura, a linha de vida se mostra um equipamento que proporciona segurança, prevenindo possíveis acidentes.

Contudo, para tanto, é imperioso que sua instalação seja feita de maneira precisa e atenta a todos os fatores de risco.

Dessa forma, um estudo detalhado sobre quais são esses fatores e como eles devem ser calculados tendo por base as normas regulamentadoras vigentes é de grande relevância para a melhor compreensão do assunto.

2 TRABALHO EM ALTURA

De acordo com Araújo (2011), diferentes linhas de trabalho expõem os trabalhadores a inúmeros riscos todos os dias, como tem acontecido há séculos. Segundo o autor, as causas mais comuns de acidentes de trabalho são a falta de experiência, o cansaço extremo (devido à longa jornada de trabalho) e a falta de experiência nos serviços prestados.

Com o surgimento da automação de diversas operações, muitos riscos foram eliminados e agora são executados por máquinas. Por um lado, se muitos empregos perigosos deixarem de existir gradualmente, a revolução trará uma série de novos perigos e riscos para os trabalhadores.

Segundo Araújo (2011), a 10ª Conferência Internacional de Estatísticas do Trabalho, realizada em 1962, mencionou a queda de pessoas e a queda de objetos como os dois acidentes de trabalho mais comuns. A ocorrência de acidentes de trabalho tem atraído cada vez mais a atenção do governo, dos empregadores e dos trabalhadores em risco, que são os mais afetados. Por conta disso, ocorreram grandes avanços na legislação trabalhista nas últimas décadas para reduzir os acidentes de trabalho.

Segundo o Ministério do Trabalho e Emprego (2018), no Brasil, cerca de 10% dos acidentes de trabalho, relatados pelas empresas ao INSS no ano de 2017, são acidentes em atividades realizadas em altura. Com relação aos acidentes fatais, os acidentes com quedas correspondem a 14,49%, o que faz com que esse tipo de acidente chame bastante atenção na questão de segurança.

Por causa desses dados, normas regulatórias e leis trabalhistas surgiram para garantir a segurança dos trabalhadores afetados por atividades em altura. No Brasil, as normas que regem essas atividades são as Normas Regulamentadoras NR 18 e a NR 35. A NR 18 (1978) aborda especificamente as diretrizes e recomendações para garantir a saúde e a segurança dos trabalhadores da construção civil na indústria - não apenas no trabalho em altura.

Já a NR35 (2012) surgiu com o intuito de estabelecer diretrizes voltadas a todos os ramos da economia (não somente do setor de construção civil), desde que estes abranjam trabalhos em altura, acima de dois metros do nível do solo. A seguir, será feita uma análise da NR35, com seus preceitos básicos.

2.1 Norma Regulamentadora 35

Segundo Lima (2013), a NR 35 estipula que trabalho em altura se refere a qualquer atividade realizada a mais de 2 metros do plano de referência, com risco de queda. Além disso, as atividades realizadas em alturas inferiores a 2 metros e o risco de queda também são regulamentadas, mas aplicam-se regras diferentes. A NR 35 especifica os requisitos mínimos de proteção para operações em grandes altitudes, envolvendo o planejamento, organização e execução das atividades em altura.

Conforme a Norma Regulamentadora NR 35 (2012), alguns padrões precisam ser seguidos e os requisitos mínimos de proteção para os funcionários que trabalham em altura precisam ser estabelecidos. Ainda de acordo com a norma, esses requisitos podem ser aumentados de acordo com a complexidade e dificuldade de execução das atividades relacionadas.

Para Ronchi (2014), os regulamentos de trabalho em altura determinam o nível de seleção das formas de execução do trabalho sob a ótica da segurança do trabalhador na fase de planejamento.

Lima (2013) sugeriu que esta norma traz algumas mudanças importantes com base em países com baixa taxa de queda ao trabalhar em altura. Segundo o autor, a norma requer planejamento antes que o evento realmente ocorra, a fim de prever possíveis acidentes e soluções para esses possíveis acidentes.

Visto que as quedas de trabalhos em altura resultam em grande número de mortes de trabalhadores, principalmente no setor de construção civil, é importante seguir as recomendações da NR35. Dentre essas sugestões, destacam-se as sugestões inerentes ao empregador, devendo os funcionários receber: treinamentos e capacitações adequados; equipamentos de proteção individual, incluindo acessórios e sistemas de ancoragem; equipes de emergência em caso de acidente; planejamento da execução de trabalhos em altura, para evitar acidentes o máximo possível.

Segundo Ronchi (2014) e seguindo as recomendações da NR35 (2012), é necessário primeiro avaliar se não há uma maneira segura de fazer isso em relação à situação e às atividades realizadas. Caso exista, deve ser colocado em prática (como exemplo de eliminação do risco, utilizar sistema de guarda-corpo, conforme a Figura 1).

Figura 1: Modelo de sistema de segurança guarda corpo



Fonte: Radar Engenharia (2018).

Caso não haja como realizar as atividades com segurança, o ideal é expor os trabalhadores a situações de risco no menor tempo possível. Por fim, é necessário tomar medidas que possam eliminar o risco de queda do operador. Quando esses riscos não podem ser totalmente eliminados, medidas de proteção devem ser tomadas, como uma plataforma de proteção secundária (projetada em um edifício com mais de quatro andares para suportar e amortecer o risco de eventual queda de trabalhadores), conforme a Figura 2.

Figura 2: Plataforma secundária de proteção



Fonte: Jota Equipamentos (2018).

A proposta de hierarquia de controle das operações de alta altitude pode ser melhor observada na Figura 3, que foi gerada por meio das recomendações do NR35 (2012).

Figura 3: Hierarquia se processos a serem tomados para trabalhos em altura



Fonte: CBIC; SECONCI BRASIL; SESI (2017).

Além disso, segundo Lima (2013), o plano anterior para este evento pode ser classificado de três maneiras: análise de risco (obrigatório em todos os casos de Atividades em altura); autorização de trabalho (necessária apenas para atividades não rotineiras e que requerem trabalho em altura); e procedimentos operacional (o qual deve ser preparado para atividades em altura que são de rotina no local).

É preciso enfatizar que, se o empregador não cumprir todas as medidas de proteção para evitar o risco de queda, o trabalhador pode se recusar a realizar o serviço, a menos que sejam tomadas medidas de segurança adequadas (LIMA, 2013; RONCHI, 2014).

O subitem 35.4.5.1 da NR35 (2012), sugere que deve-se levar em conta alguns fatores ao analisar o risco de determinada atividade:

- Ambiente e o entorno no qual a atividade será realizada;
- Correto isolamento e sinalização da área;
- Organização dos pontos de ancoragem;
- Possíveis adversidades meteorológicas;
- Todos os quesitos pertinentes ao uso dos sistemas de proteção individual e coletiva (desde seleção, inspeção, utilização e possíveis limitações de uso);
- Risco de queda de equipamentos e ferramentas;
- Análise de trabalhos simultâneos que possam criar novos riscos;
- Riscos condicionais e condições impeditivas;
- Organização para casos de emergência e acidentes;
- Sistema de comunicação eficiente; e supervisão adequada.

De acordo com o Guia Prático para Cálculo de Linha de Vida e Restrição para a Indústria da Construção (CBIC; SECONCI BRASIL; SESI, 2017, p. 12), trabalhar em altura no Brasil é um desafio contínuo por si só, pois acidentes causados por quedas de diferentes níveis ainda são um dos principais motivos de ausência laboral, morte e lesões incapacitantes.

3 LINHA DE VIDA

A linha de vida nada mais é do que um cabo de aço, corda ou fita, que pode ser colocada na vertical ou na horizontal, e pode ser conectado um cinto de segurança do trabalhador para protegê-lo de possíveis quedas ao trabalhar em altura. É importante lembrar que as linhas de vida não devem ser usadas como um sistema que pode colocar os trabalhadores em um estado suspenso durante as atividades; a linha de vida é apenas um dispositivo que pode reduzir as consequências de uma possível queda do operador, limitar a força de impacto e reduzir o fator de queda (CBIC; SECONCI BRASIL; SESI, 2017).

A definição do melhor tipo de linha de vida para uma determinada atividade deve obedecer a determinados critérios, sendo: o tipo de trabalho e o local a ser protegido; a adequação da proteção contra riscos; o acesso à linha de vida; os pontos de acesso; o número de operadores que irão usar o cabo de segurança ao mesmo tempo; a relação da linha de vida e a conexão do cinto; a maneira de realizar as atividades; conforto do operador; projeto da linha de vida; pêndulo produzido na queda; resistência estrutural; fator de segurança; as tensões do cabo de segurança; distância de queda; ambiente de instalação da linha de vida; conveniência para socorristas; comprimento do vão; altura e direção da linha; contato de uma linha com outros objetos ou estruturas (CBIC; SECONCI BRASIL; SESI, 2017).

Para o dimensionamento da linha de vida, devem ser consideradas as normas atuais como a NR35 e a NR18, esta que tem por objetivo estabelecer regulamentações de planejamento e organização para implementar medidas de controle e sistemas de segurança preventivos no processo, condições e ambiente de trabalho na Indústria da Construção.

Além disso, existem algumas normas internacionais que estabelecem parâmetros para a construção de linhas de vida. Uma das mais famosas é, sem dúvida, a norma americana OSHA (Occupational Safety and Health Administration) 1926, que menciona especificamente os cuidados com os sistemas de proteção individual contra quedas, que são compostos por pontos fixos, conectores e cintos de segurança, podendo também incluir equipamentos que possam desacelerar a queda. (OSHA, 2016).

3.1 Classificação das linhas de vida

As linhas de vida podem ser classificadas em fixas ou móvel, e também podem ser horizontais ou verticais. Segundo Oliveira (2018), tanto a linha de vida fixa quanto a móvel fornece mobilidade ao operador, até mesmo em posições inclinadas ou verticais, desde que estejam equipados com o dispositivo de travamento correto.

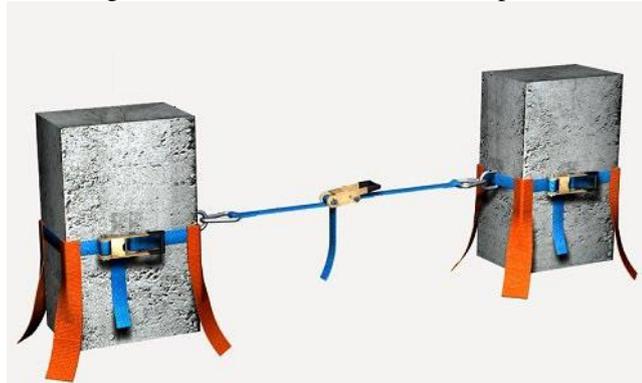
A linha de vida fixa é instalada e mantida na estrutura durante todo tempo, por isso seus componentes são mais resistentes, geralmente se escolhe aço inoxidável para a instalação. A linha de vida móvel pode ser rapidamente montada e desmontada de pontos de ancoragem previamente instalados. Por se tratar de um sistema temporário que muda de acordo com as necessidades do trabalho, o modelo é denominado "móvel".

3.1.1 Linha de horizontal temporária, móvel e fixa

Segundo Branchtein (2018), as linhas horizontais podem ser utilizadas para proteção contra quedas e restrição de movimentos. É importante ressaltar que, quando projetada para restringir o movimento, a corda de segurança geralmente não é forte o suficiente para evitar possíveis quedas.

Vários autores acreditam que a preparação do cálculo e o dimensionamento da linha de vida horizontal costumam ser mais complicados e podem ocorrer erros durante a implementação (CBIC; SECONCI BRASIL; SESI, 2017). A linha de vida horizontal temporária é uma corda portátil, em geral, composta de fita ou cabo com um sistema de travamento leve e fácil de transportar (CLIMBING SERVICE, 2018). Esse tipo de linha é muito utilizado nas atividades de construção civil e naval e pode atender até dois operadores ao mesmo tempo. A Figura 4 mostra um exemplo de corda de segurança horizontal temporária.

Figura 4: Linha de vida horizontal temporária



Fonte: CYPE Ingenieros, S.A. (2019).

As linhas horizontais móveis podem ser montadas, desmontadas ou movimentadas de seu ponto de utilização, são usadas principalmente para manutenção e instalação de sistemas tubulares e máquinas. É composta por perfis tubulares de aço, cantoneiras e peças metálicas (CLIMBING SERVICE, 2018).

Figura 5: Linha de vida horizontal móvel



Fonte: Master Safe Brasil (2016).

Existem também linhas de vida horizontais fixas, que são usadas principalmente em locais como telhados, galpões e silos. A linha horizontal fixa é geralmente composta por cabos de aço, trilhos de metal e pontos de ancoragem (apenas nas extremidades ou no meio). Este tipo de linha pode suportar vários operadores ao mesmo tempo, como o próprio nome indica, é permanente e não móvel.

Figura 6: Linha de vida horizontal fixa



Fonte: Equipa Inox (2017).

3.1.1.1 Componentes mandatórios para linha de vida horizontal fixa

Conforme especificado na NR 35 (2012), certos componentes da linha de vida horizontal são obrigatórios. Cada componente tem uma função diferente, e sua resistência mecânica atende à carga exigida pelas normas citadas. Nos tópicos a seguir, os componentes serão apresentados um a um, e cada dispositivo pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7: Componentes para linha de vida horizontal fixa



Fonte: Adaptado de catálogo de Produtos Berwanger (2018).

A Figura 7-A mostra o olhal soldável. Os olhais estão localizados no final da linha de vida, soldados à viga principal. Certificado pelo fabricante, cada olho tem capacidade para 2 toneladas. A Figura 7-B mostra um cabo de aço. A Figura 7-C refere-se a um conjunto composto por dois sapatilhos e seis grampos de aço inoxidável reforçados.

Na Figura 7-D, há um absorvedor de energia que limita a força aplicada no ponto de ancoragem a um valor abaixo de 700 kgf para evitar que até 3 trabalhadores caiam ao mesmo tempo. É um dispositivo feito de aço inoxidável e certificado pelo fabricante. Na Figura 7-E, há um indicador de tensão certificado pelo fabricante, feito de aço inoxidável, com uma janela de inspeção retangular para indicar a liberação ou obstrução do cabo de segurança. A Figura 7-F mostra um esticador de cabo de aço do tipo manilha x manilha, feito de aço carbono galvanizado a quente ou aço inoxidável, com trava anti-rotação para evitar o desalinhamento acidental da tensão do fio.

A Figura 7-G mostra uma manilha reta, que é usada para conectar componentes padrão em uma linha de vida. É feito de aço galvanizado e travado com porca e pino de divisão. A Figura 7-H mostra um carrinho que deve ser movido com facilidade e segurança na parte reta do dispositivo antiqueda retrátil. Feito de aço galvanizado, a linha horizontal pode ser colocada e removida imediatamente com o apertar de um botão. Possui sistema que impede a abertura acidental através de dupla trava de segurança. Por fim, na Figura 7-I, encontra-se um dispositivo retrátil de proteção contra quedas com cabo de aço galvanizado com revestimento sintético, adequado para locais com atmosfera potencialmente explosiva. Possui mosquetão giratório com indicador de queda para garantir a durabilidade do cabo. Conforme a NBR 14.628 (ABNT, 2000), a carga máxima de trabalho (peso do trabalhador) do dispositivo antiqueda retrátil é de 100 kg.

3.1.2 Linha de vida vertical temporária e fixa

A linha de vida vertical é usada conectando-se à conexão frontal do cinto de segurança do paraquedista por meio de um dispositivo antiqueda específico, de modo que possa fornecer proteção adequada contra quedas ao trabalhar em altura. O cabo de segurança vertical permite mover para cima ou para baixo em todo o comprimento da corda, o que elimina a necessidade de desconectar e encontrar um novo ponto de ancoragem. Por meio do dispositivo de proteção contra quedas conectado à corda de segurança vertical, quando a tensão da corda é liberada, o operador pode se mover. Em caso de eventual queda, a fechadura cumpre o seu papel e bloqueia, evitando a queda.

Segundo Pires (2014), as linhas de vida temporárias são amplamente utilizadas por sua praticidade, baixo custo e agilidade, facilidade de instalação e operação. Uma linha de vida vertical com corda é um exemplo de linha móvel que pode ser conectada a um ponto de ancoragem localizado acima do trabalhador.

Figura 8: Linha de vida vertical com corda



Fonte: ESTVEC Manutenções (2018).

Por outro lado, as linhas verticais fixas enfrentam atividades que não requerem muita mobilidade porque, como o nome sugere, estão fixas em algum lugar. Geralmente esse tipo de linha de vida é usada para tarefas que requerem a presença de escadas. A Figura 9 mostra um exemplo de uma linha de vida vertical fixa.

Figura 9: Linha de vida vertical fixa



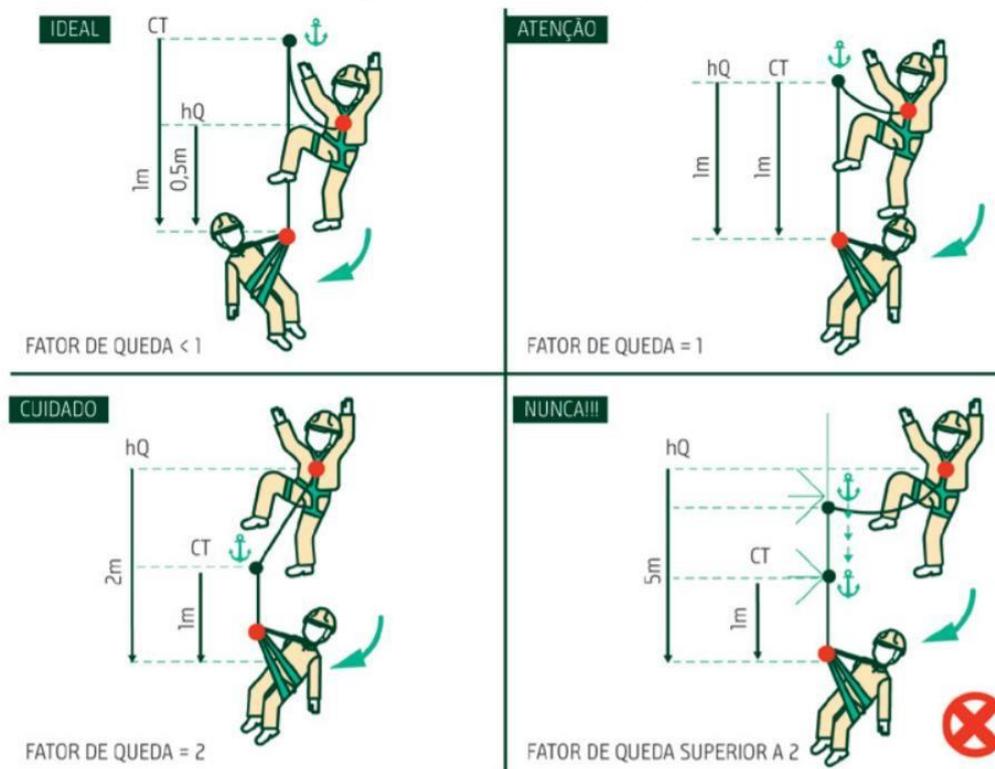
Fonte: Conect (2020).

3.2 Coeficiente de queda

Existe um cálculo denominado coeficiente de queda, que representa a relação entre a distância que um operador percorre quando está propenso a cair e o comprimento da corda que o impede (CBIC; SECONCI BRASIL; SESI, 2017).

Quanto maior o valor do Fator de queda, mais perigosa é a atividade, e um valor menor que 1 é o ideal. Se os cuidados adequados forem tomados, um Fator de queda igual a 1 pode-se realizar a atividade. Entre 1 e 2, existe um perigo maior e deve-se ter mais cuidado. Para valores maiores que 2, tais atividades não são recomendadas, devendo o sistema ser reajustado para reduzir o Fator de queda para garantir mais segurança aos trabalhadores (CBIC; SECONCI BRASIL; SESI, 2017). Na Figura 10, podemos observar os esquemas com diferentes valores de fator de queda.

Figura 10: Coeficientes de queda



Fonte: CBIC; SECONCI BRASIL; SESI (2017).

4 RESISTÊNCIA ESTRUTURAL DOS MATERIAIS

Segundo Bento (2003, p. 2), as pesquisas sobre resistência de materiais remontam à antiguidade. Os cientistas da Grécia antiga já conheciam os fundamentos da estática, mas poucas pessoas sabiam sobre a deformação. O desenvolvimento da resistência do material segue

o desenvolvimento das leis estáticas. Galileu (1564-1642) foi o primeiro a tentar explicar o comportamento e as características de alguns membros submetidos a carregamentos, e aplicou essa pesquisa aos materiais usados nas vigas do casco dos navios.

Além disso, segundo o autor, a pesquisa sobre a resistência do material inclui a compreensão do comportamento de materiais sólidos sob diferentes forças, levando em consideração a influência dessas forças externas no material (BENTO, 2003). É preciso enfatizar que o comportamento de um sólido sob uma força externa depende não apenas da força externa, mas também das propriedades intrínsecas do próprio material ou de seus componentes.

Segundo Bernardi (2007), o material de pesquisa deve satisfazer dois aspectos da resistência do material: dimensionamento (ou seja, determinar o esforço que atuará sobre o material, e definir o tamanho mínimo necessário da peça para resistir ao esforço de ser submetido); e verificação (verificar o conteúdo exposto no item anterior, se as peças ou materiais que foram fabricados podem suportar o esforço proposto).

Além disso, segundo o autor, três fatores devem ser considerados para garantir esses aspectos: segurança para evitar ruptura (manter a integridade física do material); deformabilidade (com o tempo, pequenas deformações do material são inevitáveis, mas é possível controlá-las); e economia (se o tamanho das peças for para evitar trincas e deformações, seu custo será maior) (BERNARDI, 2007).

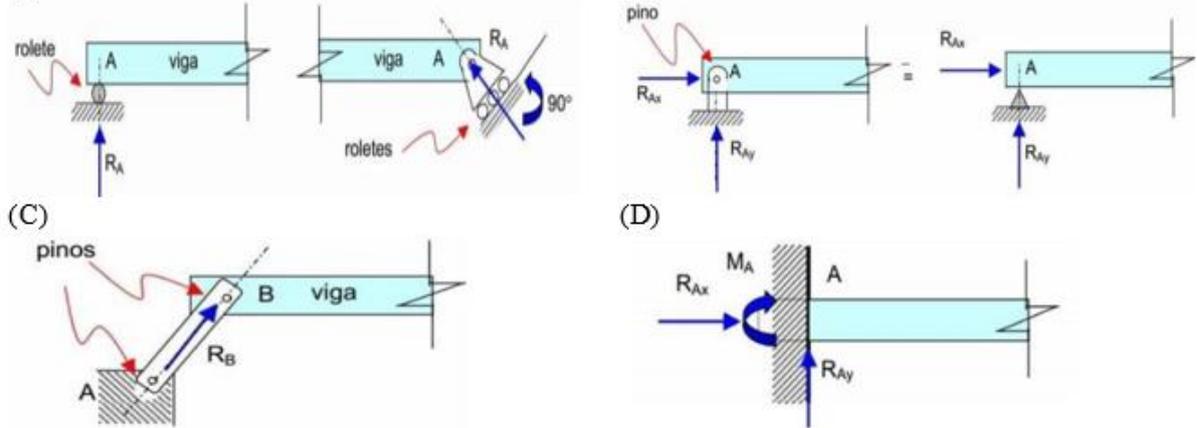
4.1 Cálculos e dimensionamento

Para dimensionar a estrutura como linha de vida, é necessário compreender o comportamento dos elementos estruturais na aplicação de forças, que podem ser: tração, compressão, cisalhamento, torção, flexão e flambagem.

Através da compreensão desses elementos (principalmente forças de tração e cisalhamento), podem ser feitos os cálculos necessários sobre o tamanho da estrutura, de modo a determinar os valores necessários para a formulação do projeto de linha de vida (UFPR, 2006).

Por exemplo, o cálculo da força de reação varia de acordo com o tipo de suporte, que pode ser rolete (força de resistência em uma direção apenas), pino (força de resistência atuando em qualquer direção), articulação (Força de resistência em uma direção apenas) e engastamento (força de resistência atuando em qualquer direção e em um determinado momento), conforme mostrado na Figura 11.

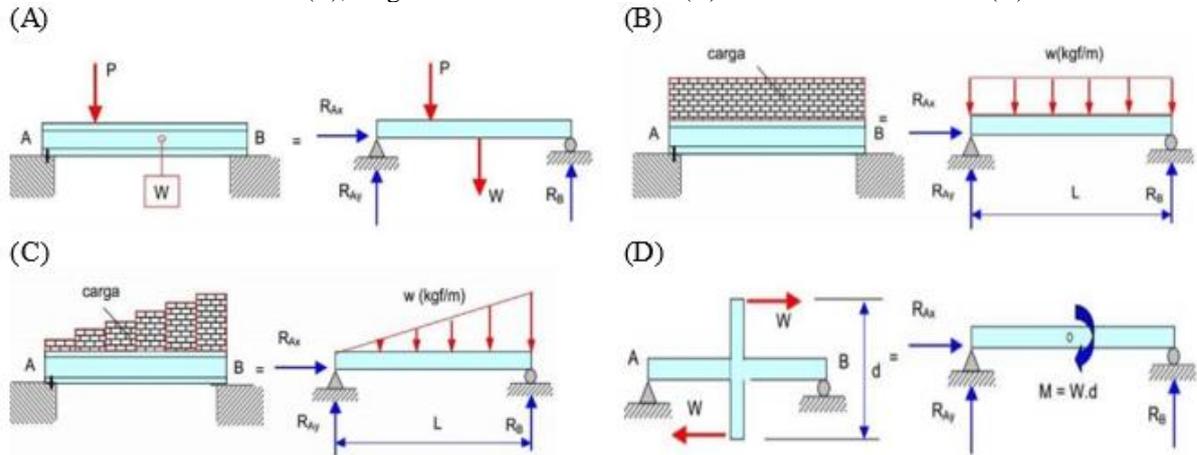
Figura 11: Reações de acordo com o tipo de suporte: rolete (A), pino (B), articulação (C) e engastamento (D)



Fonte: Adaptado de UFPR (2006).

Além de variar de acordo com o tipo de apoio, a força de reação também muda de acordo com o tipo de carga, podendo ser carga concentrada, carga uniformemente distribuída, carga uniformemente variável e momento concentrado.

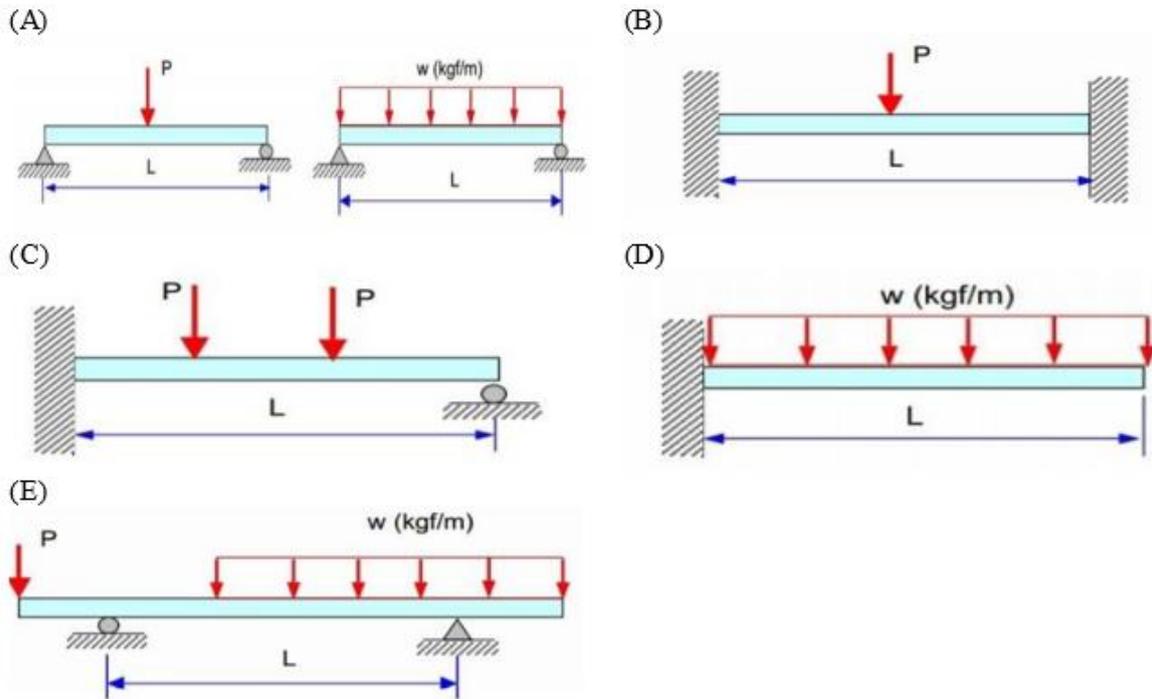
Figura 12: Reações de acordo com o tipo de carregamento: forças concentradas (A), carga uniformemente distribuída (B), carga uniformemente variável (C) e momento concentrado (D)



Fonte: Adaptado de UFPR (2006).

A classificação das vigas utilizadas na estrutura pode ser melhor visualizada na Figura 13.

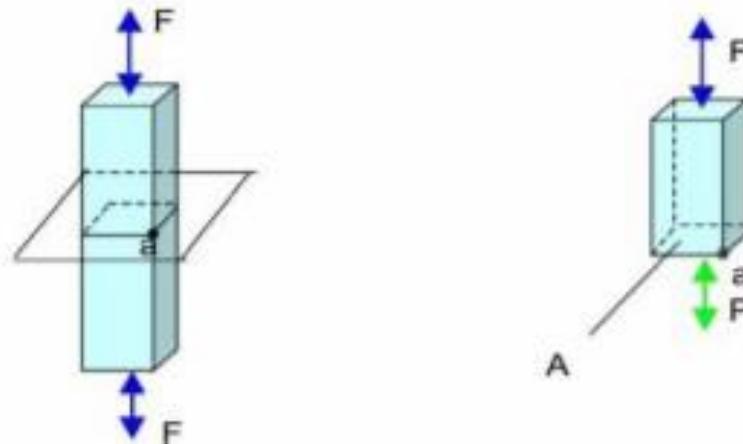
Figura 13: Classificação das vigas: apoiada (A), bi-engastada (B), engastada apoiada (C), em balanço (D), em balanço nas extremidades (E)



Fonte: Adaptado de UFPR (2006).

Em relação à carga axial, a Figura 14 mostra o comportamento de uma haste que não tem peso e está em equilíbrio ao ser esticada e comprimida em suas extremidades.

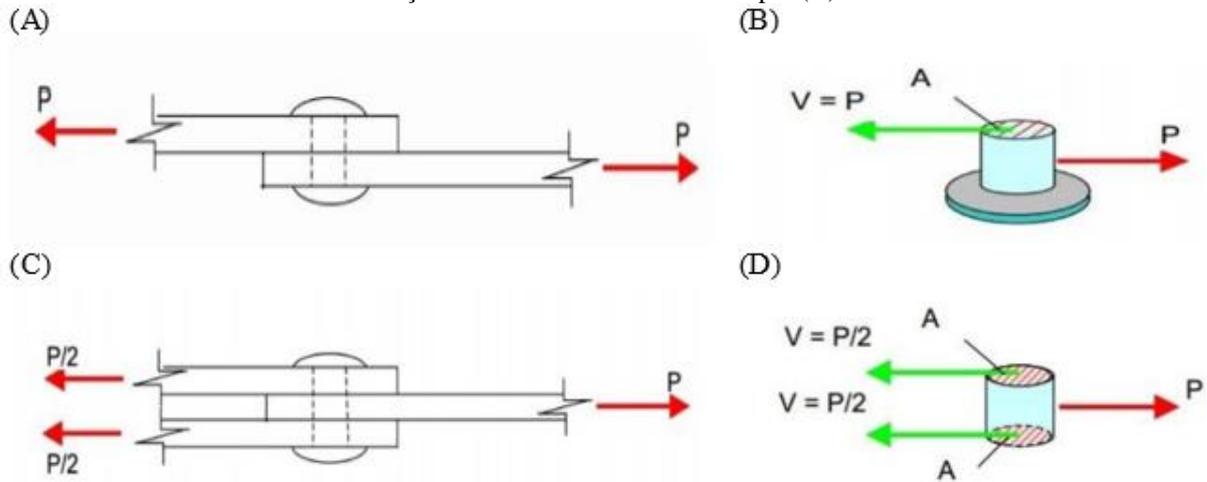
Figura 14: Carga axial



Fonte: Adaptado de UFPR (2006).

Por outro lado, a Figura 15 mostra o comportamento de um objeto ao ser arrastado por outro pela força de cisalhamento. Segundo UFPR (2006), os objetos podem sofrer cisalhamento de duas formas: simples ou dupla.

Figura 15: Cisalhamento simples (A), tração no rebite do cisalhamento simples (B), cisalhamento duplo (C), tração no rebite do cisalhamento duplo (D)



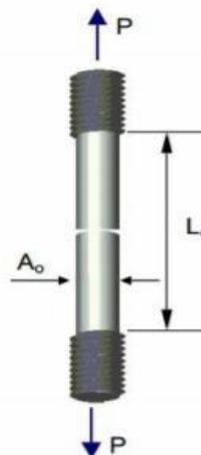
Fonte: Adaptado de UFPR (2006).

A tensão de cisalhamento média no caso A é dada pela divisão P/A . No caso C, existe cisalhamento duplo, e a tensão de cisalhamento média corresponde a $P/2A$.

A fim de garantir a segurança de uma dada estrutura, um esforço admissível com um fator de segurança é usado para limitar a carga aplicada a uma carga inferior à carga que a estrutura pode suportar. Isso se deve à dificuldade de cálculos com precisão e possíveis defeitos em materiais ou processos de fabricação (UFPR, 2006).

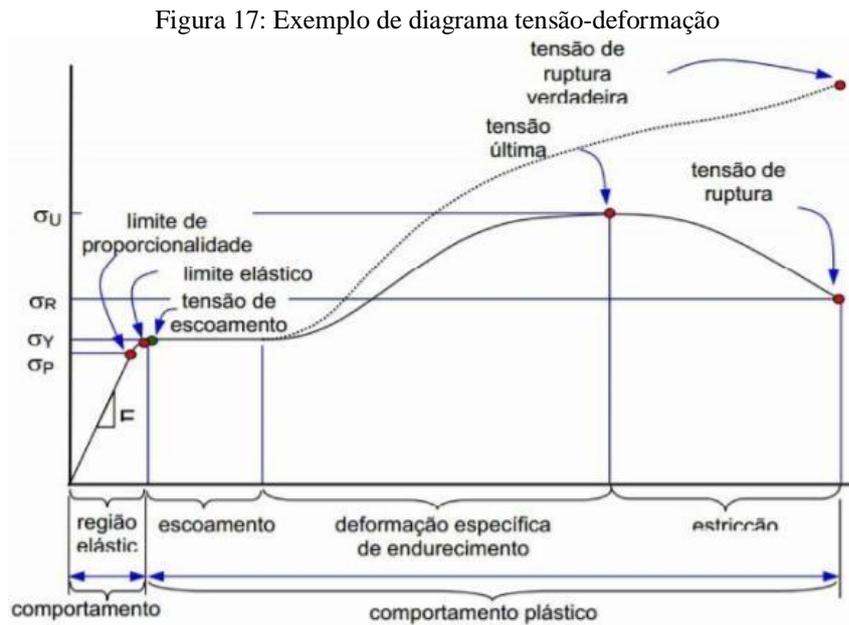
Existe uma ferramenta chamada diagrama de tensão e deformação, que vem de uma amostra de um material específico. A tensão-deformação é realizada na amostra como é mostrado na Figura 16. Ao desenhar a tensão do gráfico, a força aplicada (P) na seção transversal original (A_0) e a deformação é medida com um extensômetro ou pela variação do comprimento (ΔL) dividido pelo comprimento original (L_0) (UFPR, 2006).

Figura 16: Corpo de prova para ensaio de tensão



Fonte: UFPR (2006).

Por outro lado, um exemplo de um diagrama tensão-deformação é mostrado na Figura 17, onde o eixo de coordenadas se refere à tensão σ e o eixo de abscissa corresponde à deformação ϵ . Ressalta-se que dois gráficos de materiais semelhantes podem mostrar diferença entre si, pois os resultados advêm de diversas variáveis, como composição do material, defeitos, temperatura, etc. (UFPR, 2006).



Fonte: UFPR (2006).

5 METODOLOGIA

5.1 Métodos e Técnicas Utilizados

Este estudo tem por objetivo a busca por soluções dos problemas levantados em relação à segurança de determinados reparos e manutenções, realizados com diferença de nível, em uma determinada igreja. O estudo busca sua adequação às normas técnicas atuais que tratam do assunto. Foi feito um levantamento dos dados e características da linha de vida, bem como uma projeção do custo para realização da adequação do projeto.

O presente trabalho utiliza como segunda parte a pesquisa-ação como método. Segundo O'Brien (1988), esse método permite ao autor aprender por meio da própria atividade, diagnosticando um determinado problema e encontrando hipóteses que podem resolvê-lo. Esta metodologia enfatiza a ação e otimização do processo, e requer que os investigadores participem ativamente do local de implementação.

Para além das características da investigação-ação, esta investigação apresenta também as características dos estudos de caso. Segundo Gil (2008), realizar pesquisas aprofundadas e detalhadas sobre um ou vários objetos para permitir extensos e detalhados conhecimento, é uma tarefa quase impossível devido aos outros tipos de design considerados.

5.2 Local de Estudo

O local onde o estudo foi realizado é uma igreja da Congregação Cristã no Brasil. Presente em cerca de 73 países, implantando-se em solo brasileiro aproximadamente em 1910 e possuindo cerca de 20 mil templos em todo o Brasil. O presente estudo foi desenvolvido no templo localizado no município de Três Corações, em Minas Gerais.

O direcionamento da pesquisa é a possibilidade de aplicação do projeto nas instalações do templo, onde as atividades em altura são realizadas com frequência. Algumas tarefas que apresentam riscos de quedas são: em trabalhos de pintura, troca de lâmpadas, reparação de forros e telhados, instalações elétricas, entre outros.

5.3 Materiais e Equipamentos

Para a realização deste estudo, foram utilizados livros didáticos, artigos, normas técnicas, legislação, dissertações e livros. Esses materiais foram utilizados para pesquisa e fundamentação teórica, sendo que a bibliografia correspondente pode ser encontrada ao final do trabalho.

Além disso, foram utilizados, para rascunho e esboços dos resultando e cálculos, materiais básicos. O software Microsoft Excel também é usado para facilitação dos cálculos de dimensionamento.

5.4 Fatores Indispensáveis e Considerações importantes

- Quantidade de operadores simultaneamente;
- Comprimento total da instalação do sistema;
- Dimensionamento do cabo;
- Cálculo das forças nos pontos de ancoragem;
- Verificação da resistência dos pontos de ancoragem;

- Altura do sistema em relação ao chão;
- Estudo do espaço abaixo, evitando riscos de choques com equipamentos e estruturas.
- O projeto só pode ser executado por pessoa qualificada;
- Plano de inspeções periódicas e extraordinárias, quando houver queda;
- Realização de treinamentos;
- Levantamento dos equipamentos de segurança específicos e necessários;
- Levantamento do custo dos equipamentos dimensionados.

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para determinar todos os parâmetros necessários para o projeto, é necessário seguir as etapas: coleta de dados, requisitos normativos, cálculo de carga de trabalho, dimensionamento de cabos e acessórios, projeto de peças e levantamento dos EPIs a serem utilizados.

6.1 Levantamento dos Dados

O local de instalação do cabo de segurança é um salão com pé direito de 7 metros e dimensões de 18x18 metros, feito de alvenaria. A linha de vida terá 5 pontos de ancoragem nas paredes.

Tabela 1: Dados do projeto

DADOS DO PROJETO		
Parâmetros	Valor	Origem
Quantidade de operadores simultâneos	2	Autor
Peso máximo de cada operador	100 kgf	NBR 16325-2 (Item 4.2.2)
Força máxima de impacto em caso de queda	600 kgf	NBR 16325-2 (Item 4.3.16)
Carga mínima que os pontos de ancoragem devem suportar	1500 kgf	NR 18 (Item 18.12.12.2)
Zona livre de queda ZLQ	6,70 m	Autor
Distância da linha de vida até o teto	30 cm	Autor
Comprimento de cada linha de vida	17,6 m	Autor
Distância de cada vão entre os pontos de ancoragem	4,4 m	Autor
Resistencia mínima a tração do cabo de aço	160 kgf/mm ²	NR 18 (Anexo II – Item 3)

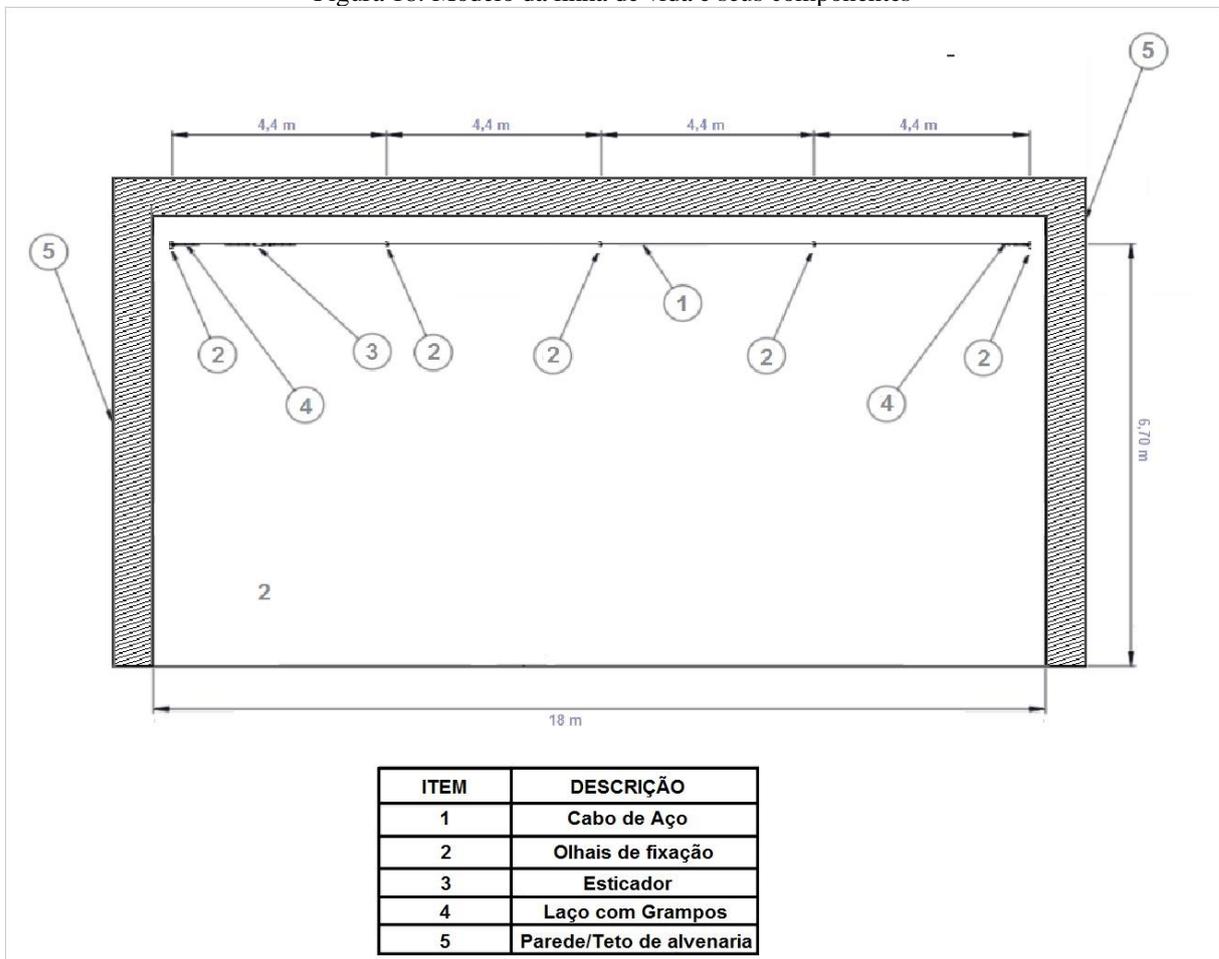
Fonte: O autor (2021).

6.2 Modelo da Linha de Vida a Ser Dimensionada

6.2.1 Modelo da linha de vida

A sistema de segurança a ser dimensionado será uma linha de vida horizontal, na qual será verificado a necessidade de um absorvedor de energia. Seguindo a NBR 16325-2 (ABNT, 2014), é adotado uma distância de 30 cm entre da linha de vida e o teto. A mesma distância é adotada entre as paredes e o ponto de ancoragem. A Figura 18 representa as dimensões básicas para construção do equipamento.

Figura 18: Modelo da linha de vida e seus componentes



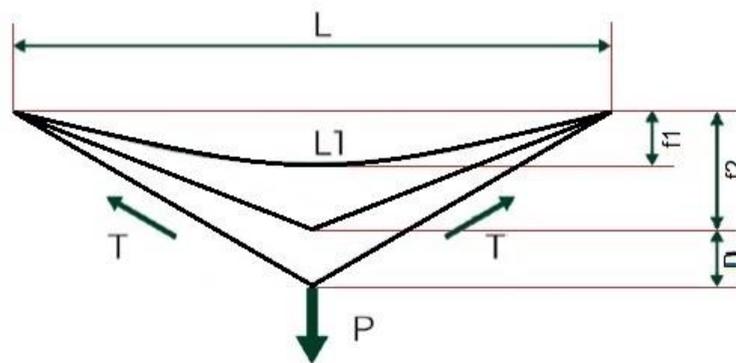
Fonte: O autor (2021).

6.3 Cálculos necessários

Com base nos dados disponíveis, nesta etapa se realiza os cálculos dos parâmetros relevantes para selecionar os componentes necessário para a confecção da linha de vida horizontal no local determinado.

6.3.1 Etapa de cálculos da linha de vida horizontal

Figura 19: Diagrama da linha de vida



Fonte: Adaptado de Sampaio (2017).

Onde:

- L = distâncias entre as ancoragens da linha de vida (4,4 m);
- $L1$ = comprimento parabólico do cabo com a flecha de montagem determinada;
- $f1$ = flecha de montagem.
- $f2$ = flecha considerando o comprimento do cabo esticado no mínimo esforço de tração no cabo;
- D = distância de frenagem do corpo;
- P = a NBR 16325-2, item 5.3.4, estabelece uma carga de 200 kgf para os dois primeiros usuários do sistema;
- T = força de tração no cabo.

Segundo Sampaio (2017), o cabo deve ser instalado com uma deflexão de modo a reduzir os impactos de frenagem e nas ancoragens. É necessária uma flecha mínima do cabo de 3% do comprimento do vão, respeitando a norma americana ANSI Z 359.

Para projeto foi determinado uma flecha de 4% do comprimento do vão. Para calcular o comprimento do cabo parabólico (L1) com a flecha de 4% do comprimento do vão, de acordo com Sampaio (2017), usa-se equação a equação reduzida a seguir:

$$L1 = L \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{f1}{L/2} \right)^2 \right] = 4,4 \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{0,18 \text{ m}}{4,4 \text{ m}/2} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$L1 = 4,42 \text{ m}$$

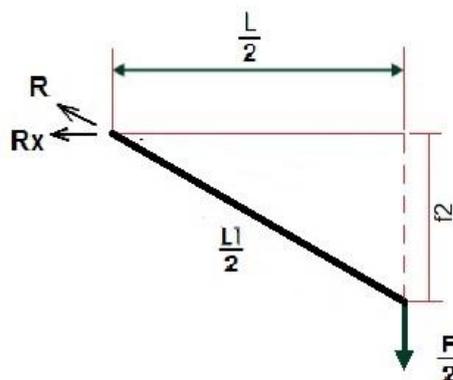
Utilizando o Teorema de Pitágoras é possível encontrar o valor da flecha f2 que forma um triângulo retângulo referente ao comprimento L1:

$$f2 = \sqrt{\left(\frac{L1}{2}\right)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{4,42}{2}\right)^2 - \left(\frac{4,4}{2}\right)^2} \quad (2)$$

$$f2 = 0,21 \text{ m}$$

Para determinar as reações e esforços, a linha é seccionada ao meio, já que as reações e esforços serão iguais em ambos os lados:

Figura 20: Linha de vida seccionada e suas reações



Fonte: O autor (2021).

Assim teremos:

$$\sum Fy \rightarrow Ry - \frac{P}{2} = 0 \rightarrow Ry = 100 \text{ kgf} \quad (3)$$

$$\sum M \rightarrow -Ry \cdot \frac{L}{2} + Rx \cdot f2 = 0 \rightarrow Rx = 1.047,6 \text{ kgf} \quad (4)$$

A força resultante R, que se decompõem nas reações Rx e Ry, é equivalente a força de tração atuante no cabo de aço. Então teremos:

$$R = T = \sqrt{Rx^2 + Ry^2} = \sqrt{1047^2 + 100^2} \quad (5)$$

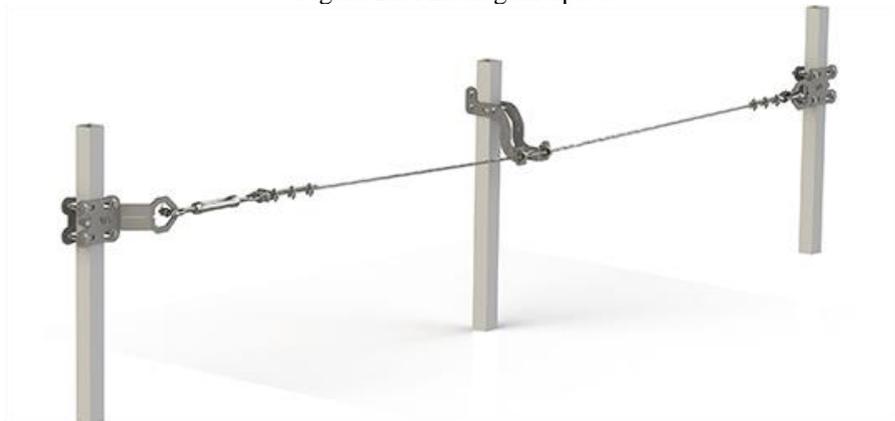
$$T = 1.051,8 \text{ kgf}$$

6.4 Pontos de Ancoragem

Os pontos de ancoragem são o elemento básico de segurança para operações em grandes altitudes. Eles são projetados para suportar pessoas ou cargas geradas durante uma queda. De acordo com a norma NBR 16325, existem 5 tipos de dispositivos de ancoragem – A1, A2, B, C e D – que podem auxiliar na conexão de equipamentos de proteção individual.

O dispositivo a ser adotado é o tipo C (Figura 21), que é um dispositivo de ancoragem usados para linha de vida flexível horizontal.

Figura 21: Ancoragem tipo C



Fonte: S2 Treinamentos (2018).

6.4.1 Cabo de aço

A NR 18, item 18.16.2.1, estipula que a carga de ruptura do cabo de aço deve ser pelo menos igual a 5 vezes a carga máxima de trabalho a que estiverem sujeitos e a resistência à tração de seus fios é de pelo menos 160 kgf / mm². Portanto, a força de tração do cabo de aço com fator de segurança F_{adm} é:

$$F_{adm} = 1051,8 \times 5 = 5.259 \text{ kgf} \quad (6)$$

Para o cabo de aço, foi utilizada a especificação usual para este tipo de aplicação. Atendendo as condições de cálculo, o cabo de aço selecionado foi um Seale 6x19 AF, com diâmetro nominal de 9,53 mm, conforme imagem do catálogo de cabos de aço SIVA. A carga de ruptura do cabo escolhido é de 5.409 kgf, que é superior a força de tração atuante no cabo.

Figura 22: Cabos de aço para uso geral – Tabela I.P.S. / E.I.P.S.

BITOLA		TABELA DE PESO				TABELA I.P.S.				TABELA E.I.P.S.			
DIÂMETRO		PESO POR METRO LINEAR (kg)				CARGAS DE RUPTURA RESISTÊNCIA 1.770 N/mm ² (IPS) em kgf				CARGAS DE RUPTURA RESISTÊNCIA 1.960 N/mm ² (EIPS) em kgf			
pol.	mm	6x7		6x19 / 6x36		6x7		6x19 / 6x36		6x7		6x19 / 6x36	
		AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI	AF / AFA	AA / AACI
1/16"	1,59	0,012	0,013			151	163			167	181		
5/64"	1,99	0,014	0,015			236	255			261	283		
3/32"	2,38	0,019	0,021			340	367			376	407		
1/8"	3,18	0,024	0,027			464	500			519	557		
		0,061				944				1.045	1.130		
		0,086	0,09	0,10		1.359				1.505	1.627	1.496	1.613
		0,111	0,116	0,12		1.813				2.000	2.147	2.099	2.259
		0,136	0,142	0,15		2.416				2.676	2.893	2.659	2.869
5/16"	7,94	0,221	0,244	0,24	0,27	3.778	4.085	3.755	4.051	4.183	4.523	4.158	4.486
3/8"	9,53	0,310	0,341	0,35	0,39	5.442	5.885	5.409	5.836	6.026	6.517	5.990	6.462
7/16"	11,10	0,430	0,473	0,48	0,52	7.383	7.983	7.339	7.917	8.176	8.840	8.126	8.767
1/2"	12,70	0,570	0,627	0,63	0,68	9.665	10.451	9.607	10.364	10.702	11.573	10.638	11.476
9/16"	14,30	0,710	0,781	0,79	0,88	12.254	13.250	12.180	13.139	13.569	14.672	13.487	14.550
5/8"	15,90	0,880	0,968	0,98	1,07	15.149	16.381	15.058	16.244	16.775	18.139	16.674	17.988
3/4"	19,10			1,41	1,55			21.729	23.441			24.061	25.957
7/8"	22,20			1,92	2,11			29.354	31.667			32.505	35.066
1"	25,40			2,50	2,75			38.427	41.454			42.552	45.904
1.1/8"	28,60			3,17	3,48			48.719	52.557			53.949	58.199
1.1/4"	31,75			3,91	4,30			60.042	64.772			66.487	71.725
1.3/8"	34,90			4,73	5,21			72.547	78.262			80.334	86.664
1.1/2"	38,10			5,63	6,19			86.460	93.272			95.741	103.285
1.3/4"	44,45												140.582
2"	50,80												183.617
2.1/4"	57,15												232.390
2.1/2"	63,50												286.902
2.3/4"	69,85												347.151
3"	76,20												413.138
3.1/2"	88,90												562.327

Fonte: Adaptado de Manual técnico de cabos SIVA (2018).

Conforme o catálogo SIVA, o valor da área metálica pode se obter pelo produto entre o quadrado do diâmetro nominal do cabo de aço e um fator de multiplicação F. O Fator F para cabos Seale 6x19 é igual a 0,416 e d refere-se ao diâmetro nominal do cabo (9,53 mm).

$$A = F \times d^2 = 0,416 \times 9,53^2 \quad (7)$$

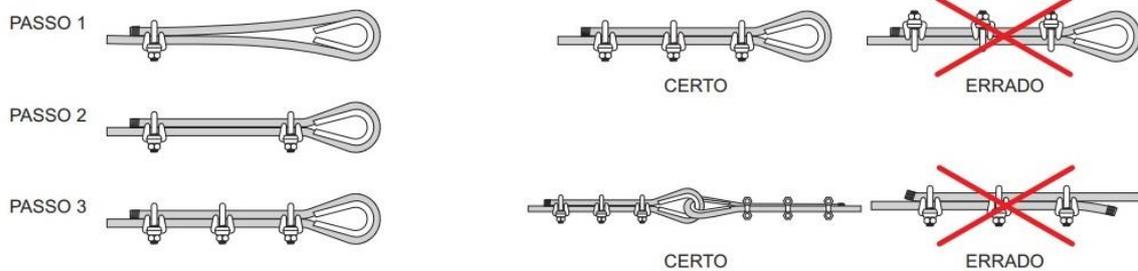
$$A = 37,78 \text{ mm}^2$$

6.4.1.1 Terminais do cabo de aço

Nos terminais do cabo é feita a confecção de um laço, com a utilização de grampos, como forma de prendê-los no olhal de ancoragem ou no esticador. Em uma linha de vida é recomendado o uso do grampo tipo U pesado.

A braçadeira deve ser montada corretamente e reapertada após a conclusão da montagem. A instalação dos grampos deve ser feita de acordo com a Figura 23.

Figura 23: Fixação correta dos grampos



Fonte: Adaptado de catálogo de produtos SIVA (2018).

A quantidade de grampos recomendadas, bem como o comprimento do cabo para a confecção do laço, é determinada pela NBR 11900-4 (ABNT, 2016) usando como referência do diâmetro do grampo. Sendo o diâmetro do cabo 9,5mm, utilizaram um grampo com diâmetro nominal de 9 – 10 mm. Com referência a tabela da norma – Figura 24 - será necessário utilizar um comprimento de 165 mm do cabo e de no mínimo 3 grampos para confecção do laço.

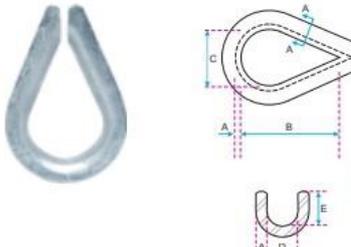
Figura 24: Quantidade de grampos pesados, espaçamentos e torques de aperto

Tamanho nominal do grampo pol.	Diâmetro nominal do grampo mm	Torque de aperto ^a Nm	Comprimento do cabo para confecção do olhal mm	Número de grampos Mínimo
1/8	3 – 4	6,1	85	2
3/16	5	10,2	95	2
1/4	6 – 7	20,3	120	2
5/16	8	40,7	133	3
3/8	9 – 10	61,0	165	3
7/16	11 – 12	88	178	3
1/2	13	88	292	3

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 11900-4 (2016).

Como proteção contra o desgaste e abrasão do cabo, é necessário o uso de sapatilhos pesados (Figura 25), que são galvanizados a fogo. Consultando no catálogo SIVA tomando como referência o diâmetro de 9,53 mm do cabo de aço, o sapatilho que se enquadra no projeto é o SP-P-09, que possui uma carga de prova de 18,1 KN equivalente a aproximadamente 1845 kgf, sendo superior à carga de tração atuante de 1.051,8 kgf.

Figura 25: Sapatilho Pesado



REF.	Ø (pol.)	A (mm)		B (mm)		C (mm)		D (mm)		E (mm)		CARGA DE PROVA (kN)	PESO UNIT. (kg)
		Min.	Máx.										
SP-P-06	1/4"	1,6	23,9	44,4	15,9	22,2	7,0	3,5	6,0	8,15	0,03		
SP-P-08	5/16"	2,0	30,0	56,0	20,0	28,0	8,8	4,4	8,0	12,7	0,04		
SP-P-09	3/8"	2,5	37,5	70,0	25,0	35,0	11,0	5,5	10,0	18,1	0,06		
SP-P-12	1/2"	3,3	48,8	91,0	32,5	44,5	14,2	7,1	13,0	21,9	0,13		
SP-P-09	3/8"	4,0	60,0	112,0	40,0	56,0	11,0	5,5	10,0	18,1	0,22		

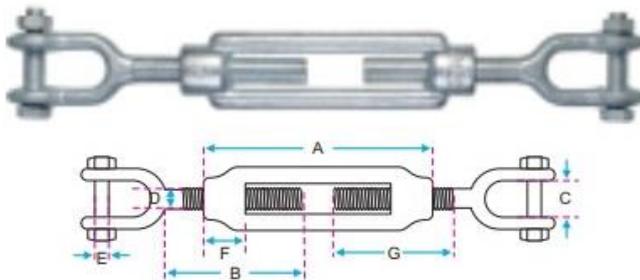
Fonte: Adaptado de catálogo de produtos SIVA (2018).

6.4.2 Esticador

De modo a tensionar e deixando as folgas corretas nos cabos utilizados nestes processos, o esticador de cabo de aço mais adequado para a situação sugerida é o esticador do tipo manilha x manilha, feito de aço carbono galvanizado a quente ou aço inoxidável, com trava anti-rotação (para evitar desregulagem acidental da tensão do fio), e com grande curso de regulagem.

Com referência na tabela do Catálogo de produtos SIVA (Figura 26) e tendo uma carga de tração atuante no cabo de 1.051,8 kgf, é escolhido o esticador ESD-MM-19 que possui uma carga de trabalho de 1.200 kgf.

Figura 26: Esticador de cabo de aço



REF.	Ø (pol.)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	CARGA DE TRABALHO (kg)	PESO UNIT. (kg)
ESD-MM-09	3/8"	125	65	13	M10	8	20	60	360	0,38
ESD-MM-19	3/8"	25	75	16	M12	10	21	90	1.200	0,51
ESD-MM-16	5/8"	170	100	19	M16	12	27	90	800	1,11
ESD-MM-19	3/4"	200	115	22	M20	16	34	100	1.200	2,21
ESD-MM-26	1"	255	140	27	M24	22	39	130	2.200	3,84

Fonte: Adaptado de catálogo de produtos SIVA (2018).

6.4.3 Olhal de fixação

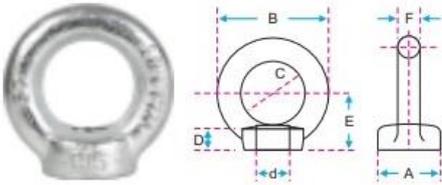
A norma regulamentadora NR 18, item 18.12.12.2, define que os pontos de ancoragem devem suportar uma carga pontual de, no mínimo, 1.500 kgf. Como a carga de tração atuante no sistema é de 1.051,8 kgf, utilizará a carga mínima definida pela norma.

Como ponto de ancoragem será usado tanto no lado interno quanto o lado externo do salão, serão usados porca olhal que serão fixadas por uma barra roscada que atravessara a parede, tendo uma porca olhal em cada extremidade da barra.

Depois da instalação dos pontos de ancoragem, é necessário um teste de resistência nos olhais, sendo executado com o auxílio de um dinamômetro. Os olhais testados devem receber um lacre de identificação e os testes registrados em documentos.

Pelo catalogo técnico da SIVA (Figura 27) é possível determinar olhal PO-M-M22, que possui uma carga de trabalho de 1.500 kgf.

Figura 27: Porca olhal - DIN 582



Ø d REF.	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	CARGA DE TRABALHO (kgf)	PESO 100 pç (kg)
PO-M-M6	17	28	16	5	17	6	70	0,04
PO-M-M8	20	36	20	8,5	18	8	140	0,05
PO-M-M10	25	45	25	10	22	10	230	0,06
PO-M-M12	30	54	30	11	26	12	340	0,15
PO-M-M14	36	63	35	12	29	14	490	0,25
PO-M-M22	46	80	44	18	40	21	1500	0,67
PO-M-M24	50	90	50	20	45	21	1800	0,70

Fonte: Adaptado de catálogo de produtos SIVA (2018).

6.4.4 Barra roscada para fixação do olhal

Apenas uma barra vai ser utilizada para sustentar dois olhais, o da parte interna e o da externa. O comprimento da barra será de 30 cm, para vencer a espessura da parede mais a distância para prender os olhais. Como o olhal a ser usado será de rosca M22, a barra deverá acompanhar a mesma dimensão do diâmetro da rosca do olhal. Assim, será utilizada uma barra roscada de M22 feita com o aço carbono com revestimento zincado branco, que possui uma resistência à tração de 1000N/mm² que equivale a 101,94 kgf/mm², aproximadamente.

É necessário fazer o cálculo de esforço na barra para saber se a mesma suportara o esforço atuante, então:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{1500 \text{ kgf}}{\left(\frac{\pi \cdot (22 \text{ mm})^2}{4}\right)}$$

$$\sigma = 3,95 \text{ kgf/mm}^2$$

Verifica-se que a tensão 3,95 kgf/mm² é inferior a tensão limite de tração do material da barra. Portanto, a barra escolhida atende ao projeto.

6.4.5 Cálculo da força de frenagem

Para cálculo da frenagem é necessário conhecer a distância de frenagem. Essa distância é obtida pela flecha dinâmica formada pelo alongamento máximo em caso de queda, essa força gerada é a mesma que a obtida pelo esforço de tração de 1.051 kgf.

Com a área metálica conhecida, é possível calcular o alongamento do cabo quando submetido a força de tração. Sendo C é o comprimento total do cabo de aço da linha no valor de 17,62 m (já considerando as folgas adotadas no projeto), e E o módulo de elasticidade igual a 10.000 kgf/mm², disponibilizado no catalogo do fabricante do cabo. Então, teremos:

$$\Delta L = \frac{T \times C}{E \times A} = \frac{1051,8 \times 17620}{10000 \times 37,78} \quad (9)$$

$$\Delta L = 49 \text{ mm} = 0,049 \text{ m}$$

Denominando a distância da posição de origem do cabo até a flecha máxima como f3, temos que a distância de frenagem D é a diferença entre f3 e f2. Pode-se descobrir o valor de f3 pelo Teorema de Pitágoras, sendo:

$$f3 = \sqrt{\left(\frac{L1 + \Delta L}{2}\right)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{4,42 + 0,049}{2}\right)^2 - \left(\frac{4,4}{2}\right)^2} \quad (10)$$

$$f3 = 0,39 \text{ m}$$

$$D = f_3 - f_2 = 0,39 - 0,21 \quad (11)$$

$$D = 0,18 \text{ m}$$

Força de frenagem é a força que o corpo sofre quando finaliza a queda livre. Conforme Barbosa (2016), cálculo da força de frenagem é dado pela equação da força de impacto, onde m é a carga máxima em queda livre, a é a aceleração da gravidade, D é o alongamento causado no cabo de aço e H é a altura de deslocamento na queda (contando o comprimento de 1m do talabarte mais o valor da flecha de 4% do vão). Então, teremos:

$$F_f = \frac{m \times a \times H}{D} = \frac{100 \times 9,81 \times (1 + 0,04 \times 4,4)}{0,18} \quad (12)$$

$$F_f = 6409,2 \text{ N} = 653,3 \text{ kgf}$$

Como a força de frenagem encontrada é 653,3 kgf, a norma recomenda o uso de um absorvedor de energia para diminuir o impacto da queda. Além disso, como esta força de 600 kgf se refere a uma pessoa (e considerando que duas pessoas trabalham ao mesmo tempo), se dois operadores caírem ao mesmo tempo, a força máxima de frenagem é considerada 1200 kgf, e o dispositivo com um absorvedor já está em uso, causando a desaceleração da queda.

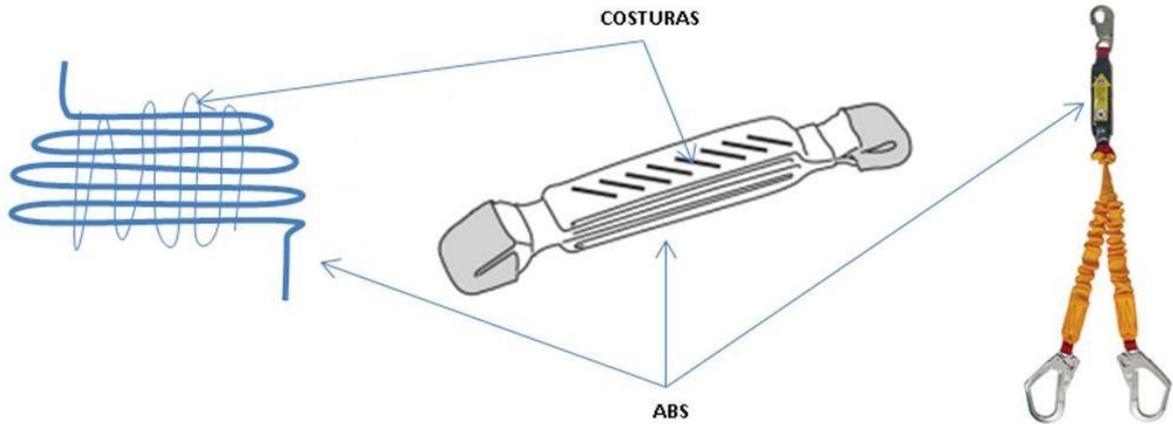
6.4.6 Absorvedor de energia

Os absorvedores de energia possuem a função de garantir tanto que a força gerada durante uma queda não afete a saúde dos funcionários bem como de que a energia cinética não exceda a resistência máxima especificada pelo ponto de ancoragem.

O funcionamento de um absorvedor de energia atua na desaceleração de uma queda livre, ou seja, as leis da física dizem que a energia não pode ser eliminada, mas substituída. Neste caso, a energia gerada em queda livre, que tem um valor de 653,3 kgf, é substituída pela ação do absorvedor de energia, que converte a energia cinética em energia térmica e a reduz a um valor inferior a 600 Kgf permitido pela norma.

Para utilização neste projeto, será utilizado o talabarte com absorvedor de energia. O absorvedor de energia consiste numa fita resistente dobrada e costuradas uma dobra sobre a outra, como mostra na Figura 28. No momento em que a queda ocorre, a costura vai se desfazendo aos poucos e amortecendo o impacto gerado pela queda.

Figura 28: Representação do esquema de absorvedor de energia

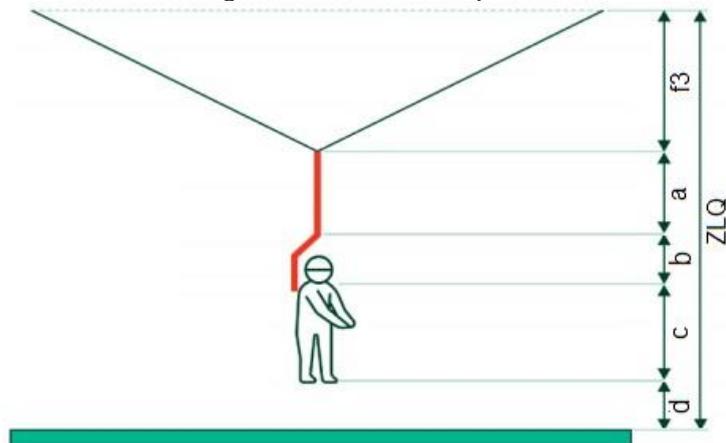


Fonte: Borba (2015).

Um outro fator a ser considerado é que na ruptura do absorvedor durante a queda, sua extensão vai aumentando. Esse aumento deve ser considerado no momento do cálculo da zona livre de queda (ZLQ).

De acordo com Sampaio (2017), a zona livre de queda é a distância compreendida entre o ponto de ancoragem e o obstáculo inferior mais próximo contra o qual o trabalhador possa colidir em caso de queda, tal como o nível do chão ou o piso inferior.

Figura 29: Zona livre de queda



Fonte: Adaptado de Sampaio (2017).

A Figura 29 exemplifica a zona livre de quedas, onde: “a” representa o comprimento do talabarte; “b” representa o comprimento do absorvedor de energia totalmente aberto; “c” equivale a distância do elemento de engaste até o pé do operador (adota-se uma distância padrão de 1,5 m); e “d” é uma distância de segurança de 1,0 m (determinada pelas NBR’s 14626, 14627, 14628, 14629, 15834).

Como mencionado na Tabela 1 (p.30), o projeto possui uma queda livre de 6,70 m. Com base nessa informação e junto aos parâmetros padrão, pode-se estabelecer um comprimento máximo do talabarte com absorvedor de energia. Sendo assim, teremos:

$$ZLQ = f3 + a + b + c + d \quad (13)$$

$$6,70 = 0,39 + a + b + 1,5 + 1,0$$

$$(a + b) = 3,81 \text{ m}$$

Tomando como referência esse valor encontrado, foi escolhido o talabarte duplo em Y com absorvedor de energia, da marca Vicsa. Este possui um comprimento total de 1,50 m, conforme a Figura 30, atendendo a exigência do projeto.

Figura 30: Talabarte com absorvedor de energia



Fonte: Adaptado de catálogo VICSA (2019).

6.5 Relação dos materiais

A Tabela 2 mostra a relação dos materiais já dimensionados e a quantidade necessária para poder instalar a linha de vida na igreja, tanto na parte interna quanto externa do salão.

Tabela 2: Materiais necessários.

MATERIAIS PARA APLICAÇÃO DO PROJETO	
Descrição	Quantidade
Cabo de aço Seale 6x19 AA – 3/8”	110 m
Porca olhal - rosca métrica – DIN 582 – PO-M-M22	28 un.
Barra Roscada M22 - aço SAE 1045	15 m
Esticador DIN 1480 – manilha x manilha – ESD-MM-19	6 un.
Sapatilho Pesado – SP-P-09	12 un.
Grampo pesado – 3/8”	36 un.
Talabarte Y com absorvedor de energia – 1,50 m	2 un.

Fonte: O autor (2021).

6.6 Equipamentos de segurança

Para garantir a segurança e a saúde do pessoal que trabalha em altura, é importante atender aos requisitos e medidas de proteção especificados na NR 35, que estipula requisitos para trabalho em altura, os equipamentos de segurança individual e treinamento para se poder usar o sistema de uma linha de vida.

De forma a garantir a eficácia da linha de vida, cumprir os critérios da norma regulamentara e proteger a saúde dos trabalhadores no projeto proposto, devem ser utilizados, além do talabarte dimensionado, cinturão de segurança do tipo paraquedista/abdominal (Figura 31) e capacete com jugular (figura 32); e outros equipamentos auxiliares necessários para risco adicionais provenientes dos tipos de atividades a serem realizadas.

Figura 31: Cinturão de segurança do tipo paraquedista/abdominal



Fonte: Catalogo de produtos VICSA (2020).

Figura 32: Capacete com jugular



Fonte: Catálogo de produtos SuperEPI (2021).

6.7 Custos dos materiais para aplicação

Com o propósito de fazer uma estimativa de custo dos materiais para aplicação da linha de vida dimensionada, foi possível solicitar um orçamento junto a fornecedora SIVA, que é a mesma de onde foi retirada as referências para dimensionamento.

Quanto ao talabarte e a barra roscada, foi realizada uma pesquisa pelo mercado virtual, tendo uma estimativa de preço de R\$ 330,00 para os dois talabartes com absorvedor de energia e R\$1446,00 para os 15 metros de barra roscada zincada M22.

Na Tabela 3 encontrasse uma cotação dos materiais necessário com base na data atual.

Tabela 3: Tabela de orçamento do fornecedor SIVA

TABELA DE CUSTO DOS MATERIAIS E EQUIPAMENTOS			
Descrição	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
C.A.SIVA 9,5MM 6X19+AF GALV	110,0 m	13,78	1515,80
ESTICADOR SV GALV. FOGO 3/4"	6,0 un.	173,43	1040,58
SAPATILHO SV PES 3/8" - 9,5MM NBR11900-1	12 un.	5,49	65,88
GRAMPO SV PESADO FORJADO 3/8"	36 un.	8,69	312,98
PORCA OLHAL SUSP. ROSC. SV M22 DIN 582	28 un.	19,13	535,64
BARRA ROSCADA M22 – AÇO SAE 1045	15 m	96,40	1446,00
TALABARTE Y C/ ABS. DE ENERGIA – 1,50 m	2 un.	165,00	330,00
TOTAL			5246,88

Fonte: O autor (2021).

O valor total estimado para a compra dos materiais e equipamentos necessários para a linha de vida proposta para a edificação é de R\$5246,88. O valor encontrado pode variar de

acordo com o fornecedor e data de compra e não inclui mão de obra para instalação e nem os outros EPIs necessários para utilização da linha de vida.

6.8 Treinamento

A NR 35 rege que um dos fatores básicos na prevenção de quedas de altura é que todo operário da construção que atue em altura seja treinado e autorizado a desempenhar as funções que lhe são atribuídas relacionadas ao risco de queda de altura.

Porém, no que se refere à prevenção de riscos, a capacitação dos trabalhadores não é o único objetivo da norma. Treinamento e conscientização ou sensibilização também são metas, pois conscientização e crença são os pilares básicos do sistema de prevenção de acidentes.

Portanto, para realizar atividades em altura, os trabalhadores devem passar por treinamento e serem autorizados a executar o serviço. Os trabalhadores devem ser informados sobre os riscos que enfrentam, suas funções e responsabilidades, a importância de suas ações e as consequências de não violar as políticas e procedimentos preventivos de segurança do trabalho no local. Por meio dessas ações, os trabalhadores são sensibilizados e treinados no conceito de segurança do trabalho, prevenindo e executando as atividades de forma correta e segura.

7 CONCLUSÃO

Por meio desse estudo, foi possível observar que uma análise prévia dos riscos que os trabalhadores enfrentarão ao executar atividades em altura é essencial para o desenvolvimento de um método capaz de manter a integridade do trabalhador. São inúmeros os trabalhadores que realizam suas atividades em altura. Sem as medidas de segurança apropriadas, as chances de acidentes com queda são bastante altas.

A presente pesquisa buscou o desenvolvimento de uma melhoria na segurança em relação aos riscos existentes nos serviços de manutenção executados em altura, bem como propor ações alinhadas com a norma e devidos cálculos necessários, para reduzir ou eliminar os riscos de acidentes de trabalho.

Portanto, foi possível identificar os riscos existentes durante as atividades de manutenção realizadas em altura, bem como os parâmetros necessários para realizar a instalação de uma linha de vida no salão da igreja, indicando que o projeto deve ser executado com cuidado, incluindo todos os aspectos envolvidos no evento de queda.

Pode-se afirmar que os objetivos propostos puderam ser alcançados, visto que a elaboração dos cálculos permitiu o dimensionamento adequado de uma linha de vida para dois operadores simultâneos, identificando todos os elementos necessários (desde os pontos de ancoragem até o talabarte correto), seguindo os padrões exigidos pelas normas vigentes, de modo a garantir a segurança e integridade dos funcionários.

Os custos dos materiais e equipamentos necessários para implementação de uma linha de vida podem variar e dependem de cada tipo de projeto. De acordo com as especificações e os cálculos de dimensionamento deste projeto, o custo para instalação da linha de vida no salão do templo foi de R\$5.246,88.

Tendo em vista os aspectos apresentados, é necessário que os engenheiros, na realização de um projeto, sigam as normas que estabelecem condições mínimas de saúde e segurança no trabalho, elevando assim o nível de qualidade e segurança, e obtendo produtos melhores e procedimentos necessários para garantir a segurança dos usuários do produto final. É imprescindível ressaltar a importância da engenharia na segurança do trabalho, sendo ela responsável por garantir que as normas técnicas sejam respeitadas, de modo a assegurar a saúde e integridade dos trabalhadores nas suas atividades.

Este estudo teve um objetivo inicial e específico para uma linha de vida horizontal, porem projetos posteriores poderão explorar as mesmas regras e precauções, para que sejam dimensionadas linhas de vida seguras e que garantam a integridade física do utilizador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11900: Extremidade de laços de cabos de aço**. Rio de Janeiro, 1991.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11900-4: Terminal para cabo de aço – Parte 4: Grampos leve e pesado**. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14628: Equipamento de proteção individual – trava-quedas retrátil: especificação e método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2000.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14629: Equipamento de proteção individual contra queda de altura – Absorvedor de energia**. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16325-2: Proteção contra quedas de altura – Parte 2: Dispositivos de ancoragem tipo C**. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8800: Projeto de Estruturas de aço e de Estruturas Mistas de aço e de Concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14629: Equipamento de proteção individual contra queda de altura – absorvedor de energia**. Rio de Janeiro, 2010.
- ALPIMONTE. **Linha de vida para trabalho em altura 20 metros**. Disponível em: <<https://www.alpimonte.net/trabalho/linhas-de-vida/LVM-20M>>. Acesso em: 03 de novembro de 2020.
- ARAÚJO, J. A. F. **Análise dos acidentes de trabalho do tipo quedas em altura na indústria da construção**. Tese (Mestrado), Universidade do Minho, 2011.
- BARBOSA, Juarez. Dinâmica de queda. **Consultoria e Engenharia**, 2016. Disponível em: <<https://consultoriaengenharia.com.br/seguranca-ocupacional/dinamica-da-queda-trabalho-em-altura/#more-71405>>. Acesso em: 02 de julho de 2021.
- BENTO, D. A. **Fundamentos de resistência dos materiais**. Curso Técnico de Mecânica, GEMM, CEFETSC, Florianópolis, 2003.
- BERNARDI, R. **Investigação numérica de flambagem em elementos esbeltos de perfis metálicos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007.
- BORBA, Heitor. Dimensionamento da Zona Livre de Queda – ZLQ para obras de construção civil. **Heitor Borba Soluções: Consultoria em segurança ocupacional**, 2015. Disponível em: <<https://heitorborbasolucoes.com.br/dimensionamento-da-zona-livre-de-queda-zlq-para-obras-de-construcao-civil/>>. Acesso em: 02 de julho de 2021.

BRANCHTEIN, M. C. Análise de riscos do uso de um sistema de proteção contra quedas com linha de vida horizontal como proteção de periferia na construção civil brasileira. **Laborare**, ano 1, n. 1, p. 151-179, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18–Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 35 – Trabalho em altura**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2012.

CBIC; SECONCIBRASIL; SESI. Guia Prático para Cálculo de Linha de Vida e Restrição para a Indústria da Construção. **Serviço Social da Indústria**, Brasília, 2017.

CLIMBING SERVICE. **Linha de vida: conheça os diferentes tipos**. Disponível em: <<https://climbingservice.com.br/linha-de-vida-tipos/>>. Acesso em: 28 de outubro de 2020.

DALLAMUTA, J; HOLZMANN, H. A. **Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

GIL, A. C. **Método e técnicas de pesquisa social**. 6ª. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008.

EJOTA EQUIPAMENTOS. **Bandeja Secundária com Abas**. Disponível em: <http://www.ejota.com.br/produtos/bandejas_de_protecao/bandeja_secundaria_com_abas_250x080m_pu25x50x3mm.html>. Acesso em: 27 de outubro de 2020.

LIMA, J. L. **Avaliação em trabalho com andaime suspenso da conformidade com a NR35 em obra de construção civil vertical**. Monografia (Pós-Graduação), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

O'BRIEN, R. **An Overview of the Methodological Approach ActionResearch**. 1988.

OSHA.OccupationalSafety& Health Administration. **FallProtection 1926.502. fallProtection Systems Criteria and Pratices**.Updated in 2016.Disponível em: <https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=10758>. Acesso em: 27 de outubro de 2020.

PIRES, M. **Técnicas para projetar uma linha de vida horizontal para ponte rolante**. Monografia (Especialização), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

RADAR ENGENHARIA. **Engenharia de segurança do trabalho: nossa missão é sua segurança**. Disponível em: <<https://www.radarengenharia.com.br/engenharia-deseguran%C3%A7a/>>. Acesso em: 02 de outubro de 2020.

RONCHI, P. G. **Diagnóstico de aplicação das normas regulamentadoras de segurança referentes aos trabalhos em altura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SAMPAIO, Simone. **Quedas com diferença de nível são a segunda principal causa de acidentes fatais no trabalho.** Ministério do Trabalho e Emprego. 2018. Disponível em: <<https://mte.jusbrasil.com.br/noticias/569694869/quedas-com-diferenca-de-nivel-sao-a-segunda-principal-caoa-de-acidentes-fatais-no-trabalho>>. Acesso em: 10 de maio de 2021.

SAMPAIO, J. C. A.; SIMON, W. R. **Guia Prático para Cálculo de Linha de Vida e Restrição para a Indústria da Construção.** Brasília: SESI – Departamento Nacional, 2017.

SIVA, CABO DE AÇOS. **Cabo de aço e acessórios.** Catálogo de produtos. Itaquaquecetuba, 2018. Disponível em: <<https://www.siva.com.br/pdf/catalogo-siva-2018.pdf>>. Acesso em: 02 de julho de 2021.

UFPR. **Resistência dos Materiais – Apostila I.** 2006. Disponível em: <<http://www.estruturas.ufpr.br/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2020.

VICSA. **Linha de alturas.** Catálogo de produtos. Guarulhos, 2019. Disponível em: <<https://www.vicsa.com.br/wp-content/uploads/Catalogo-VICSA-altura-2019.pdf>>. Acesso em: 02 de julho de 2021.