

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE JOSÉ MUNARO MACHADO

**ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO CONTRA
QUEDA PARA TRABALHOS EM ALTURA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

PONTAL DO PARANÁ

2023

FELIPE JOSÉ MUNARO MACHADO

**ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO CONTRA
QUEDA PARA TRABALHOS EM ALTURA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão da disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil do Campus Pontal do Paraná – Centro de Estudos do Mar, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Machado Kroetz

PONTAL DO PARANÁ

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DO CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

Machado, Felipe José Munaro
M149e Estudo sobre a utilização de equipamentos de proteção contra queda para trabalhos em altura na construção civil / Felipe José Munaro Machado. – Pontal do Paraná, 2023.
1 arquivo [76 f.] : PDF.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Machado Kroetz

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Curso de Engenharia Civil.

1. Construção civil – Medidas de segurança. I. Kroetz, Henrique Machado. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD – 690.22



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

Felipe José Munaro Machado

**“ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO CONTRA QUEDA
PARA TRABALHOS EM ALTURA NA CONSTRUÇÃO CIVIL”**

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Prof. Dr. Henrique Machado Kroetz

Prof. Orientador - CPP-CEM/UFPR

Profa. Dra. Juliana Almansa Malagoli

CPP-CEM/UFPR

Profa. Dra. Roberta Brondani Minussi

CPP-CEM/UFPR

Pontal do Paraná, 24 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **HENRIQUE MACHADO KROETZ, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/02/2023, às 18:01, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA ALMANSA MALAGOLI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/02/2023, às 18:10, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ROBERTA BRONDANI MINUSSI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/02/2023, às 18:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5294560** e o código CRC **E8A1D392**.

Referência: Processo nº 23075.007829/2023-60

SEI nº 5294560

RESUMO

O número de acidentes de trabalho no Brasil teve uma ascensão a partir da industrialização no país. Por este motivo, o Ministério do Trabalho criou, em 1978, as primeiras Normas Regulamentadoras (NR's) através da Portaria 3214 do Ministério do Trabalho. Entretanto somente em 2012, foi publicada uma norma específica para a atividade que mais causa acidentes fatais no ambiente laboral, o trabalho em altura. Esta norma veio padronizar procedimentos, utilização de equipamentos de proteção coletivos e individuais e sistemas de ancoragem para a proteção contra quedas em altura. Dentre os diversos sistemas de ancoragem se destaca o dispositivo de ancoragem Tipo C – composto por uma linha de vida horizontal flexível. Neste contexto, este trabalho apresenta uma avaliação de aspectos relacionados à segurança e viabilidade da utilização deste tipo de equipamento a partir de um estudo de caso. Considera-se uma edificação cujo telhado possui altura aproximada de 10 metros e regularmente passa por manutenção, abordando-se dimensionamento, especificação, orçamento e uma análise de segurança simplificada.

Palavras-chave: Linha de vida horizontal. Dimensionamento. NR 35. Dispositivo de ancoragem Tipo C.

ABSTRACT

The number of accidents at work in Brazil has risen since industrialization in the country. For this reason, the Ministry of Labor created, in 1978, the first Regulatory Norms (NR's) through Decree 3214 of the Ministry of Labor. However, only in 2012 was a specific rule published for the activity that causes the most fatal accidents in the workplace, working at height. This norm came to standardize procedures, use of collective and individual protection equipment and anchorage systems for protection against falls from heights. Among the various anchoring systems, the Type C anchoring device stands out – consisting of a flexible horizontal lifeline. In this context, this work presents an evaluation of aspects related to the safety and feasibility of using this type of equipment based on a case study. It is considered a building whose roof has a height of approximately 10 meters and regularly undergoes maintenance, addressing sizing, specification, budget and a simplified safety analysis.

Keywords: Horizontal lifeline. Sizing. NR 35. Type C anchoring device.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MANEIRA DE SE EVITAR TRABALHO EM ALTURA	16
FIGURA 2 - CINTO TIPO PARAQUEDISTA	19
FIGURA 3 - PONTOS DE FIXAÇÃO NO CINTO	19
FIGURA 4 - TALABARTE SIMPLES	21
FIGURA 5 - TALABARTE DUPLO	21
FIGURA 6 - TRAVA QUEDAS RETRÁTIL	22
FIGURA 7 - TRAVA QUEDAS DE CABO DE AÇO	22
FIGURA 8 - SISTEMA COM TALABARTES	23
FIGURA 9 - SISTEMA COM TRAVA QUEDAS RETRÁTIL	24
FIGURA 10 - SISTEMA COM TRAVA QUEDAS EM LINHA RÍGIDA	25
FIGURA 11 - SISTEMA DE ANCORAGEM HORIZONTAL.....	25
FIGURA 12 - ANCORAGEM DIRETA NA ESTRUTURA	26
FIGURA 13 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM EM ESTRUTURA METÁLICA	27
FIGURA 14 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM EM ESTRUTURA DE CONCRETO	27
FIGURA 15 - ANCORAGEM ESTRUTURAL EM ESTRUTURA DE CONCRETO	27
FIGURA 16 - ANCORAGEM ESTRUTURAL EM ESTRUTURA METÁLICA	28
FIGURA 17 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM TIPO A1	29
FIGURA 18 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM TIPO A2.....	29
FIGURA 19 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM TIPO B.....	29
FIGURA 20 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM TIPO C.....	30
FIGURA 21 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM TIPO D.....	30
FIGURA 22 - FATOR DE QUEDA.....	33
FIGURA 23 - ZLQ PARA UMA LINHA DE VIDA	34
FIGURA 24 - DISSIPACÃO DE ENERGIA NO ABSORVEDOR	36
FIGURA 25 - VISTA FRONTAL DA EDIFICAÇÃO.....	38
FIGURA 26 - VISTA POSTERIOR DA EDIFICAÇÃO	38
FIGURA 27 - PLANTA DE IMPLANTAÇÃO DO LOCAL	39
FIGURA 28 - ÁREA DO ESTACIONAMENTO DE VIATURAS	39
FIGURA 29 - VARA DE MANOBRA.....	41
FIGURA 30 - LINHA DE VIDA TEMPORÁRIA	42
FIGURA 31 - LINHA DE VIDA PERMANENTE	42

FIGURA 32 - FATOR DE CONVERSÃO DE (c) EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DE QUEDA	46
FIGURA 33 - RELAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE CORDA (k) E O FATOR DE QUEDA (f)	47
FIGURA 34 - APLICAÇÃO DE CARGA DISTRIBUÍDA COM A FORMA DE CATENÁRIA EM UM CABO.....	48
FIGURA 35 - FLECHA TEÓRICA TRIANGULAR DO CABO	49
FIGURA 36 - FLECHA DINÂMICA CAUSADA PELA FORÇA (P).....	50
FIGURA 37 - CALCULO DA FORÇA (T_1) POR SEMELHANÇA DE TRIÂNGULOS	53
FIGURA 38 - LINHA DE VIDA DE VÁRIOS VÃOS	54
FIGURA 39 - FLECHA CONSIDERANDO O VÃO TOTAL.....	54
FIGURA 40 - FLECHA CONSIDERADA PARA CADA VÃO	55
FIGURA 41 - LAYOUT DA LINHA DE VIDA.....	57
FIGURA 42 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE	61
FIGURA 43 – REAÇÕES NOS APOIOS EM UMA QUEDA ENTRE AS ANCORAGENS INTERMEDIÁRIAS	61
FIGURA 44 - REAÇÕES NOS APOIOS EM UMA QUEDA APÓS A ANCORAGEM FINAL.....	61
FIGURA 45 - DINAMÔMETRO PARA TESTE DE ARRANCAMENTO DE ANCORAGEM.....	62
FIGURA 46 - MANÔMETRO EM TESTE DE ARRANCAMENTO.....	63
FIGURA 47 - COMPONENTES DE UMA LINHA DE VIDA HORIZONTAL.....	64
FIGURA 48 - GRAMPO PESADO.....	65
FIGURA 49 - POSICIONAMENTO DOS GRAMPOS.....	66
FIGURA 50 - ESTICADOR TIPO M X M	66
FIGURA 51 - SAPATILHO PESADO.....	67
FIGURA 52 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM A1 E ANCORAGEM ESTRUTURAL	69
FIGURA 53 - POSTE DE ANCORAGEM	70

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - FORÇA NO CABO DE AÇO	59
GRÁFICO 2 - FATOR DE SERVIÇO DO CABO DE AÇO	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - FATOR DE REDUÇÃO DO TRAVA-QUEDAS (a).....	44
TABELA 2 - FATOR DE REDUÇÃO DO CINTO (b).....	44
TABELA 3 - FATOR DE REDUÇÃO DO ABSORVEDOR DE QUEDA (s)	45
TABELA 4 - FATOR DE MULTIPLICAÇÃO (F)	51
TABELA 5 - MÓDULOS DE ELASTICIDADE APROXIMADOS DE CABOS DE AÇOS NOVOS E CORDOALHAS NOVAS.	52
TABELA 6 - FATOR DE SEGURANÇA RECOMENDADO PARA DIVERSAS APLICAÇÕES	56
TABELA 7 - CÁLCULO DA LINHA DE VIDA.....	58
TABELA 8 - CÁLCULO DA FLECHA DINÂMICA E ZLQ.....	60
TABELA 9 - CARGA DE RUPTURA DOS CABOS DE AÇO.....	64
TABELA 10 - TAMANHO DO GRAMPO E COMPRIMENTO DO CABO PARA CONFECCIONAR O OLHAL.....	65
TABELA 11 - DIMENSÕES DOS ESTICADORES E SUA CARGA DE TRABALHO	67
TABELA 12 - DIMENSÕES DOS SAPATILHOS.....	68
TABELA 13 - MANILHA GREEN PIN STANDARD / VAN BEEST	68
TABELA 14 - QUANTITATIVO DE MATERIAIS.....	70
TABELA 15 - ORÇAMENTO DO PROJETO DA LINHA DE VIDA	71

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CID - Classificação Internacional de Doenças

EPI - Equipamento de Proteção Individual

MTE - Ministério do Trabalho e Emprego

NBR - Norma Brasileira de Referência

NR - Norma Regulamentadora

SCQ - Sistema de Captura de Queda

SPQ - Sistema de Proteção Contra Quedas

SPCQ - Sistema de Proteção Coletiva Contra Quedas

SPIQ - Sistema de Proteção Individual Contra Quedas

ZLQ - Zona Livre de Queda

LISTA DE SIMBOLOS

v	- Velocidade final
v_0	- Velocidade inicial
a	- Aceleração
ΔS	- Deslocamento
F	- Força
m	- Massa
E_p	- Energia potencial gravitacional
E_c	- Energia cinética
g	- Aceleração da gravidade
h	- Altura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos específicos.....	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1	HISTÓRICO DAS NORMAS REGULAMENTADORAS.....	13
2.2	SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA QUEDAS.....	15
2.2.1	Sistema de Proteção Individual Contra Quedas (SPQI)	17
2.3	FORÇA DE IMPACTO NO TRABALHADOR.....	31
2.4	FATOR DE QUEDA.....	32
2.5	ZONA LIVRE DE QUEDA.....	33
2.6	DESACELERAÇÃO.....	34
2.7	RESISTÊNCIA DOS COMPONENTES	37
3	ESTUDO DE CASO	38
3.1	CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO	38
3.2	SEGURANÇA DO TRABALHO	40
3.3	ANÁLISE ESTRUTURAL.....	43
3.3.1	Esforços devidos à queda do trabalhador	43
3.3.2	Esforços e deslocamentos na linha de vida	47
3.3.3	Linhas de vida de vários vãos	54
3.3.4	Fator de Segurança no cabo	55
3.3.5	Aplicação da análise no estudo de caso	56
3.4	ESPECIFICAÇÃO E ORÇAMENTO	63
3.4.1	Componentes acessórios	63
3.4.2	Quantitativo.....	70
3.4.3	Orçamento.....	70
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

As atividades de construção e manutenção que são de responsabilidade de um engenheiro civil envolvem diversos riscos à vida, dentre os mais graves e mais incidentes são os riscos de quedas de trabalhadores sendo que a Norma Regulamentadora nº 35 (BRASIL, 2019) do Ministério do Trabalho (MTE) aborda as medidas que devem ser previstas para garantir a segurança dos envolvidos direta e indiretamente no trabalho em altura.

Dentre as medidas que garantem a segurança dos trabalhadores envolvidos no trabalho em altura, uma que merece destaque, é a adoção de um sistema proteção individual contra quedas (SPIQ) que envolve a amarração do corpo do trabalhador (cinto de segurança tipo paraquedista), um elemento de ligação (trava quedas ou talabarte de segurança) e um sistema de ancoragem. Neste sentido, uma das possibilidades de sistema de ancoragem está o sistema de linha de vida horizontal flexível (tipo C) que consiste em um cabo de aço ancorado em partes estruturais da edificação. Este sistema deve ser dimensionado por profissional legalmente habilitado e envolve a indicação dos materiais que serão utilizados pelo trabalhador a partir de uma análise de risco do local e o dimensionamento do sistema de ancoragem do trabalhador. Assim, neste trabalho se faz um estudo sobre o risco de quedas na construção civil, as medidas de controle aplicáveis e por fim o dimensionamento de uma linha de vida horizontal em um telhado de uma estrutura pré-fabricada.

1.1 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho se faz necessário pois, apesar da grande quantidade de informação disponibilizada durante o curso de graduação em Engenharia Civil, aborda-se somente noções de segurança no trabalho, não tendo aprofundamento no assunto, nem mesmo nas possibilidades de mercado de trabalho para o engenheiro civil, desde a elaboração de projetos de sistemas de segurança contra quedas, com pontos de ancoragem em estruturas e linhas de vida permanentes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Compreender os riscos envolvidos no trabalho em altura, os meios para o controle destes, projetar e orçar um sistema de proteção contra quedas do trabalhador baseado em um dispositivo de ancoragem tipo C.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os riscos presentes no trabalho em altura;
- Reconhecer as medidas de controle para eliminar ou controlar estes riscos;
- Determinar, para um estudo de caso, os dispositivos empregados na proteção contra quedas de um trabalhador;
- Determinar o fator de queda e a zona livre de queda no local;
- Determinar as forças e tensões provocadas no sistema de ancoragem;
- Dimensionar a linha de vida horizontal e os equipamentos necessários para a atividade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DAS NORMAS REGULAMENTADORAS

No Brasil as normas regulamentadoras (NR's) em relação a segurança do trabalho se desenvolveram historicamente a partir de 1978, onde foram criadas 28 normas, aprovadas pela portaria n.º 3.214 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), de 08 de junho de 1978. Estas normas foram criadas com a demanda de trabalhadores na indústria brasileira e conseqüentemente, a atenção dos dirigentes do País, dos empresários e trabalhadores para a questão da segurança laboral (ROJAS, 2015).

Dentre estas primeiras NR's estão, a NR 6 – Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e NR18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Estas normas abordam de maneira sucinta as exigências para uma atividade em altura, entretanto não definem critérios claros para a aplicação da

segurança em altura para as diversas atividades laborais nas quais o trabalhador pode estar associado.

O acidente de trabalho é classificado em acidente de trajeto, típico e doença laboral. As quedas com diferença de nível proveniente do trabalho em altura, principalmente, na indústria da construção, é uma das principais causas de morte por acidentes de trabalho no Brasil (BRASIL, 2011).

Em estatística apresentada na edição brasileira da CID-10, aponta que dos 37.171 registros de óbitos de indivíduos com informação de acidente de trabalho como circunstância da causa da morte, tem-se as seguintes percentagens: “Acidentes de transporte” (48%), “Quedas” (15%) e Outros 37%. (BRASIL, 2011). Podemos assim perceber que o segundo lugar em acidentes de trabalho causando morte estão as quedas.

Como apontado por Coelho (2015), utilizando dados do Estado do Rio Grande do Sul:

[...] as maiores taxas na Indústria da Construção, sendo a atividade de maior risco. Portanto, as pessoas atuantes nessas atividades têm uma chance muito maior de morte por acidente do trabalho [...] é possível ver que o maior índice de ocorrência são as quedas, seguidos de exposição a forças mecânicas inanimadas, exposição à corrente elétrica e a agentes físicos e riscos acidentais à respiração.

Devido ao grande número de acidentes e ao fato de que a legislação brasileira, inicialmente não abordava especificamente o trabalho em altura, em 2012 é aprovada a NR 35 - Trabalho em Altura, onde define “trabalho em altura toda atividade executada acima de 2,00 m (dois metros) do nível inferior, onde haja risco de queda” (BRASIL, 2019). Segundo Brasil (2018) “[...] adotou-se esta altura como referência por ser diferença de nível consagrada em várias normas, inclusive internacionais”. Esta definição pode ser entendida assim, de forma simples, como trabalho em altura, qualquer atividade em que o trabalhador, possa vir a ter uma queda com altura superior a 2,00 metros.

Concomitantemente a esta normativa, a NR-18 que trata sobre as condições de segurança e saúde no trabalho na indústria da construção, datada inicialmente em 1978, com sua última atualização em 2020 (BRASIL, 2020), afirma que:

Nas edificações com altura igual ou superior a 12 m (doze metros), a partir do nível do térreo, devem ser instalados dispositivos destinados à ancoragem de equipamentos e de cabos de segurança para o uso de SPIQ, a serem utilizados nos serviços de limpeza, manutenção e restauração de fachadas.

Em relação aos dispositivos de ancoragem esta mesma normativa traz alguns requisitos como:

- a) estar dispostos de modo a atender todo o perímetro da edificação;
- b) suportar uma carga de trabalho de, no mínimo, 1.500 kgf (mil e quinhentos quilogramas-força);
- c) constar do projeto estrutural da edificação;
- d) ser constituídos de material resistente às intempéries, como aço inoxidável ou material de características equivalentes. (BRASIL, 2020)

Desta forma, pode-se entender que no trabalho de dimensionamento de uma estrutura com altura superior a 12 metros, devem ser previstas, além do peso próprio da edificação, a ação dos ventos, os choques eventuais de veículos, e as ações causadas pela queda do trabalhador preso a um dos pontos de ancoragem na edificação. Estes pontos de ancoragem devem ser instalados com o objetivo de facilitar serviços de manutenção, como troca de telhas e reparos nos sistemas elétricos e hidráulicos.

Como citado, para atender todo o perímetro da edificação, normalmente são utilizadas linhas de vida flexíveis, compostas de um conjunto de peças na qual a principal é um cabo de aço ligando os pontos de ancoragem fixados na edificação.

2.2 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA QUEDAS

Quando há necessidade de se realizar um trabalho que está fora do alcance das mãos do trabalhador, ou seja, o mesmo deve se deslocar fora do nível que se encontra para realizar a atividade, a NR 35, prevê que estas atividades merecem ser planejadas de acordo com uma hierarquia, onde se segue a nível de execução as seguintes medidas:

- a) medidas para evitar o trabalho em altura, sempre que existir meio alternativo de execução;
- b) medidas que eliminem o risco de queda dos trabalhadores, na impossibilidade de execução do trabalho de outra forma;

c) medidas que minimizem as consequências da queda, quando o risco de queda não puder ser eliminado (BRASIL, 2019).

Desta forma, primeiramente há de se evitar o trabalho em altura, procurando meios para que o trabalhador não saia do nível que se encontre. Esta possibilidade existe para algumas atividades, como por exemplo no enlonamento de caminhões, onde dispositivos são utilizados para realizar a manobra, tirando a necessidade do trabalhador subir no caminhão, evitando assim uma possível queda (FIGURA 1).

FIGURA 1 – MANEIRA DE SE EVITAR TRABALHO EM ALTURA



Fonte: LONARÁPIDA. (2023).

Quando na impossibilidade de realização do trabalho em solo, devendo o trabalhador se locomover verticalmente, deve-se adotar algum tipo de Sistema de Proteção Contra Quedas (SPQ), como citado por Brasil (2019), “[...] é obrigatória a utilização de sistema de proteção contra quedas sempre que não for possível evitar o trabalho em altura.”

Desta maneira, deve ser prevista prioritariamente a utilização de um Sistema de Proteção Coletiva Contra Quedas (SPCQ), e quando na impossibilidade deste, um Sistema de Proteção Individual Contra Quedas (SPQI), conforme Brasil (2019):

A seleção do sistema de proteção contra quedas deve considerar a utilização:

- a) de sistema de proteção coletiva contra quedas - SPCQ;
- b) de sistema de proteção individual contra quedas - SPIQ, nas seguintes situações:
 - b.1) na impossibilidade de adoção do SPCQ;

- b.2) sempre que o SPCQ não ofereça completa proteção contra os riscos de queda;
- b.3) para atender situações de emergência.

São exemplos de SPCQ: os guarda-corpos; as telas de proteção; as bandejas de proteção, entre outros.

2.2.1 Sistema de Proteção Individual Contra Quedas (SPQI)

De acordo com Brasil (2019), o SPIQ é composto por 3 partes, sendo elas:

- a) sistema de ancoragem;
- b) elemento de ligação;
- c) equipamento de proteção individual.

Este sistema garante ao trabalhador, no caso de queda, que o mesmo não venha colidir com uma estrutura imediatamente abaixo, e que as lesões decorrentes dos impactos devido a uma desaceleração do corpo do trabalhador sejam minimizadas.

2.2.1.1 Equipamento de Proteção Individual (EPI)

Os equipamentos de proteção individual, conforme definido pela norma regulamentadora N°6 são:

[...] o dispositivo ou produto de uso individual utilizado pelo trabalhador, concebido e fabricado para oferecer proteção contra os riscos ocupacionais existentes no ambiente de trabalho. (BRASIL, 2022)

Em se tratando dos riscos ocupacionais voltados para o trabalho em altura, devem ser realizadas análises de risco no local onde irá ser feita a atividade, elencando os riscos e as medidas de controle pertinentes. Assim, uma das medidas de controle para o risco de quedas é o uso de um cinturão de segurança tipo paraquedista juntamente com um elemento de ligação, conforme Brasil (2022):

EPI para proteção contra quedas com diferença de nível

I.1 - Cinturão de segurança com dispositivo trava-queda para proteção do usuário contra quedas em operações com movimentação vertical ou horizontal.

I.2 - Cinturão de segurança com talabarte:

- a) cinturão de segurança com talabarte para proteção do usuário contra riscos de queda em trabalhos em altura; e
- b) cinturão de segurança com talabarte para proteção do usuário contra riscos de queda no posicionamento em trabalhos em altura.

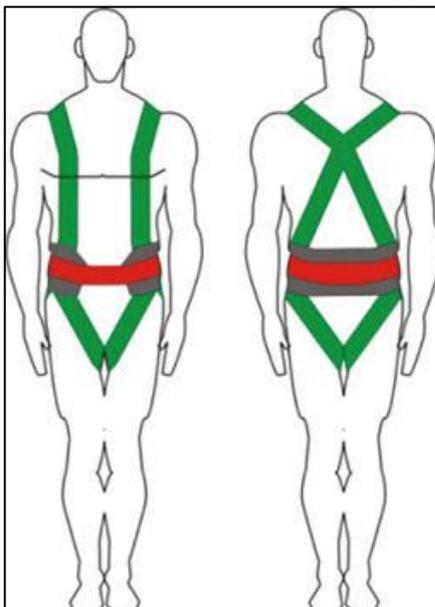
Assim, apesar de citar o cinturão de segurança com talabarte no posicionamento em trabalhos em altura, a ABNT NBR 16489 (2017) traz o entendimento de que este sistema, utilizado de maneira em conjunto com o talabarte de retenção contra quedas.

Não convém que seja utilizado o talabarte de segurança para posicionamento no trabalho como um sistema de retenção de queda porque sua capacidade de absorção de energia não é suficiente para diminuir as forças de impacto no usuário no caso de uma queda.

A ABNT NBR 15836 (2010), que trata sobre o cinturão de segurança tipo paraquedista, define os pontos de ancoragem do cinto (FIGURA 2 e FIGURA 3) em:

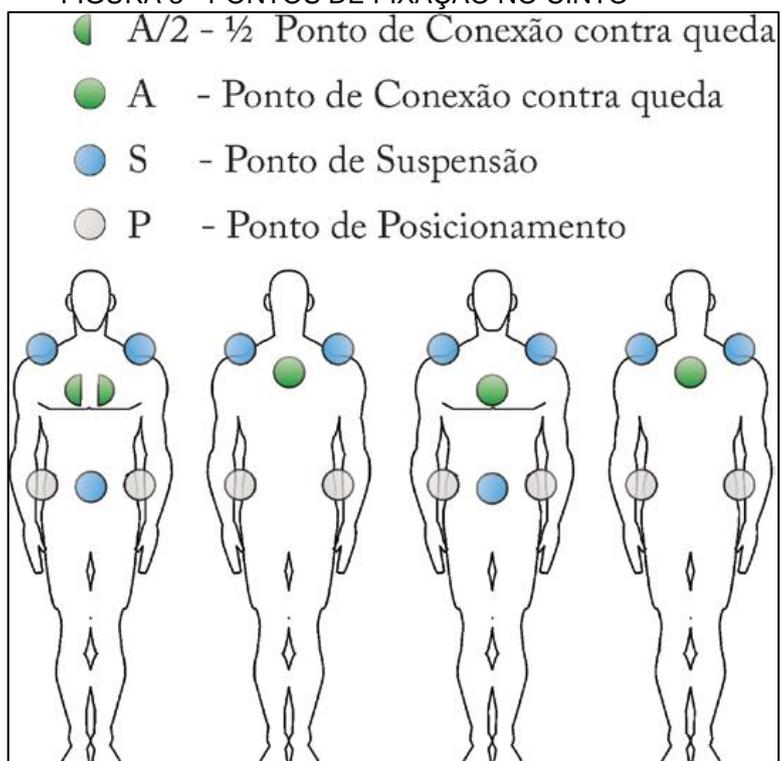
- elemento de engate para proteção contra queda ponto de conexão do cinturão, localizado na região peitoral ou dorsal, destinado a conectar o cinturão a um sistema ou componente de segurança para reter uma possível queda.
- elemento de engate para posicionamento ponto de conexão do cinturão, localizado na linha abdominal, destinado a conectar o cinturão a um sistema ou componente de segurança para posicionar e restringir a distância ao ponto de trabalho.
- elemento de engate para sustentação e movimentação ponto de conexão localizado na região do ventre e/ou dos ombros, destinado à suspensão, sustentação e movimentação do usuário.

FIGURA 2 - CINTO TIPO PARAQUEDISTA



Fonte: Manual de auxílio de interpretação da NR35 (BRASIL, 2018).

FIGURA 3 - PONTOS DE FIXAÇÃO NO CINTO



Fonte: Manual de auxílio de interpretação da NR35 (BRASIL, 2018).

O cinturão de segurança tipo paraquedista pode ser ativo ou passivo conforme ABNT NBR 16489 (2017):

Os cinturões de segurança podem ser divididos em duas categorias, ativos e passivos. Cinturões ativos são aqueles em que o usuário usa o

cinturão de segurança como suporte enquanto trabalha, como também sendo parte do sistema de proteção individual de queda. Exemplos de cinturões ativos são aqueles usados para o posicionamento no trabalho, incluindo o acesso por corda. Cinturões passivos são aqueles que somente sustentam o usuário depois de uma queda. Um exemplo de cinturão passivo é aquele usado em um sistema de retenção de queda.

Entretanto, o cinto de segurança tipo paraquedista não é o único EPI que deve ser utilizado nos trabalhos em altura, assim a escolha de cada um destes deve se levar em conta o tipo de atividade e os riscos inerentes a esta. Para cada tipo de risco constatado na análise de riscos, deve ser previsto no mínimo uma medida de controle com o intuito de eliminar ou minimizar o risco. Desta forma, a NR 35 estabelece que:

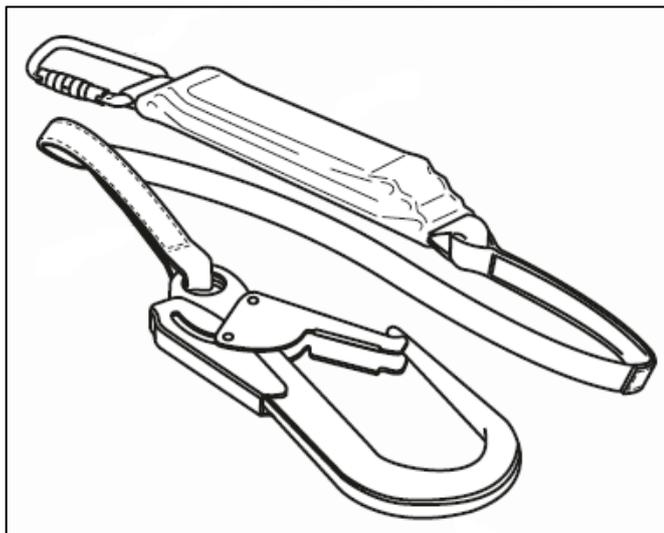
A Análise de Risco deve, além dos riscos inerentes ao trabalho em altura, considerar:

- a) o local em que os serviços serão executados e seu entorno;
- b) o isolamento e a sinalização no entorno da área de trabalho;
- c) o estabelecimento dos sistemas e pontos de ancoragem;
- d) as condições meteorológicas adversas;
- e) a seleção, inspeção, forma de utilização e limitação de uso dos sistemas de proteção coletiva e individual, atendendo às normas técnicas vigentes, às orientações dos fabricantes e aos princípios da redução do impacto e dos fatores de queda; (BRASIL, 2019)

2.2.1.2 Elemento de Ligação

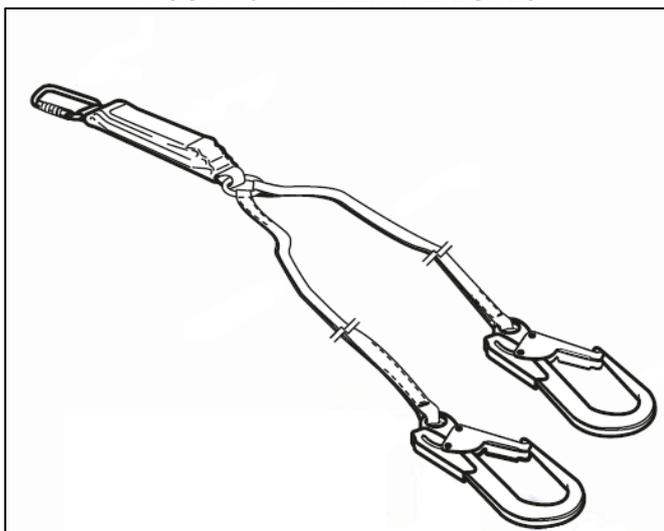
Afim de compor o equipamento de proteção individual contra quedas, um elemento de ligação deve ser utilizado juntamente ao cinto de segurança. Podendo ser, o talabarte simples (FIGURA 4), o talabarte duplo (FIGURA 5), o trava quedas retrátil (FIGURA 6), e o trava quedas de linha de cabo de aço (FIGURA 7) e o de cordas. Este elemento deve ser selecionado de forma a manter o trabalhador sempre conectado, evitando o mesmo estar exposto ao risco iminente de queda sem proteção adequada.

FIGURA 4 - TALABARTE SIMPLES



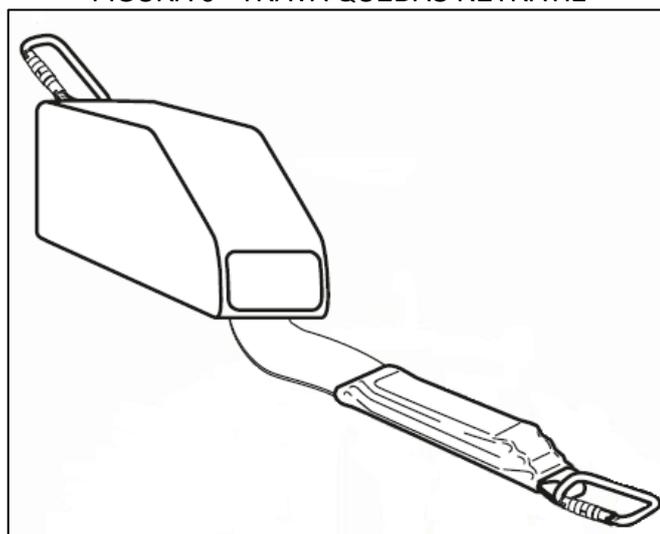
Fonte: ABNT NBR 16489 (2017).

FIGURA 5 - TALABARTE DUPLO



Fonte: ABNT NBR 16489 (2017).

FIGURA 6 - TRAVA QUEDAS RETRÁTIL



Fonte: ABNT NBR 16489 (2017).

FIGURA 7 - TRAVA QUEDAS DE CABO DE AÇO



Fonte: Manual de auxílio de interpretação da NR35 (BRASIL, 2018).

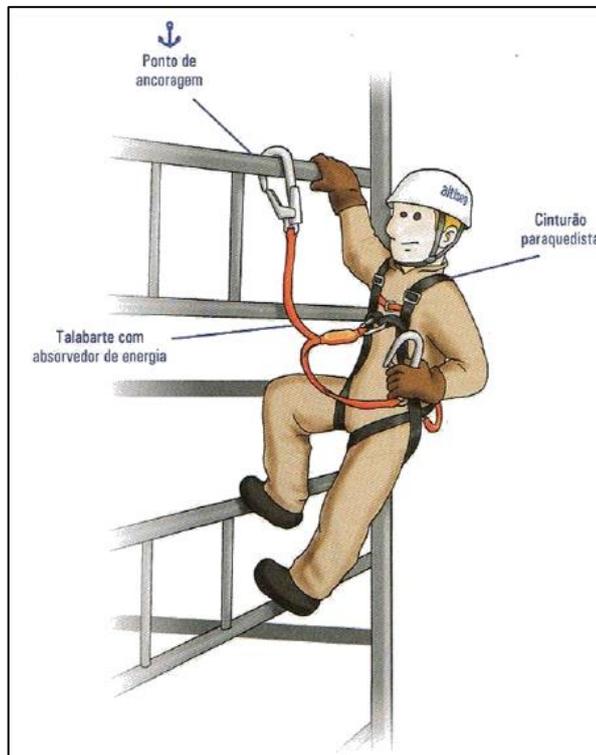
Desta forma, a depender do elemento de ligação, existem 4 tipos de principais de sistemas de retenção de queda:

- a) sistemas baseados em um ou mais talabartes de segurança com absorvedor de energia;
- b) sistemas baseados em um tipo de trava-queda retrátil;
- c) sistemas baseados em uma linha de ancoragem vertical e um trava-queda guiado, que inclui sistemas com uma linha de ancoragem rígida e sistemas com uma linha de ancoragem flexível;
- d) sistemas baseados em uma linha de ancoragem horizontal com um ou mais pontos móveis de ancoragem (ABNT NBR 16489, 2017).

Os sistemas baseados em um ou mais talabartes de segurança com absorvedor de energia, baseiam-se no deslocamento vertical ou horizontal do trabalhador através de uma estrutura utilizando como pontos de ancoragens a própria

estrutura. A utilização do talabarte duplo garante sempre ao menos 1 ponto de conexão, conforme ilustrado na FIGURA 8.

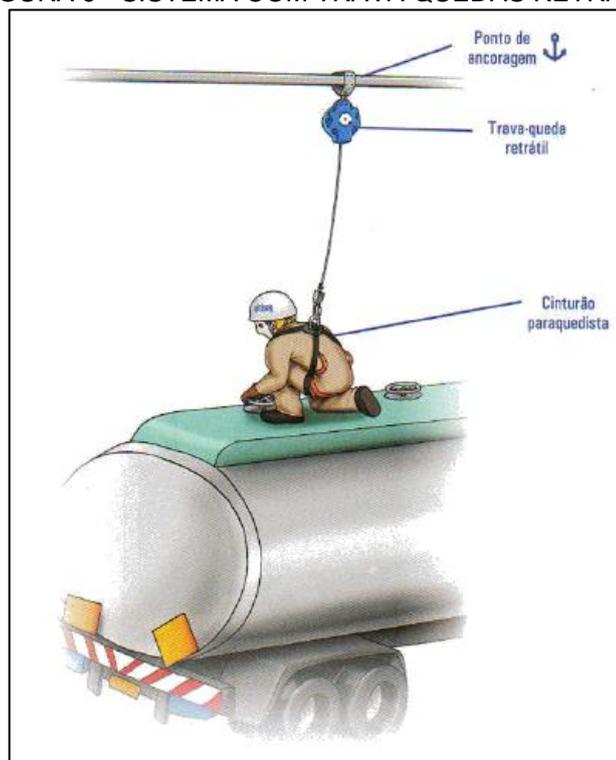
FIGURA 8 - SISTEMA COM TALABARTES



Fonte: ALTISEG (2011).

Os sistemas baseados em um tipo de trava-quedas retrátil, são utilizados normalmente quando o trabalho a ser realizado em altura é rotineiro, assim estes trava quedas podem ser deixados no local, de forma a atender os trabalhadores quando forem estar expostos ao risco de quedas (FIGURA 9). Segundo a ABNT NBR 16489 (2017), o equipamento consiste em “[...] dispositivo antiquedas que dispõe de uma função de travamento automático e de um mecanismo automático de retrocesso que mantém a linha retrátil em tensão”.

FIGURA 9 - SISTEMA COM TRAVA QUEDAS RETRÁTIL

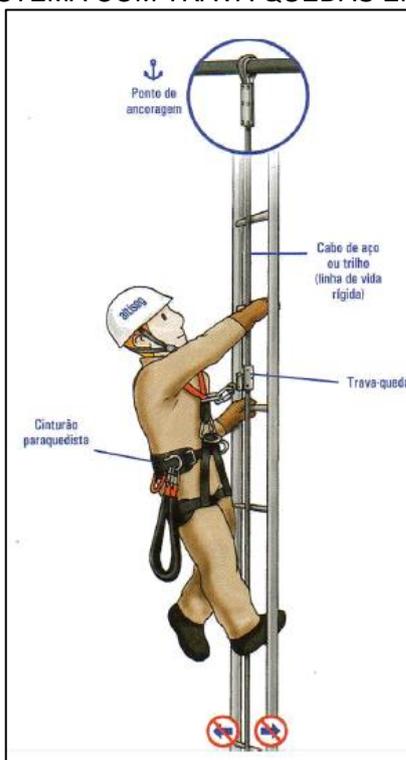


Fonte: ALTISEG (2011).

Para a utilização deste tipo de elemento de ligação os pontos de ancoragem devem estar sempre acima do corpo do trabalhador conforme preconiza a NBR 16489 (2017), citando que “[...] seu uso geralmente é limitado às situações em que o ponto de ancoragem está acima da cabeça”.

Os sistemas de linhas de ancoragem vertical e trava-quedas guiado, podendo ser linha flexível ou rígida, envolvem uma gama de linhas de vida, como as temporárias feitas de cordas, as feitas de cabos de aço e os trilhos, conforme exemplo da FIGURA 10. Conforme ABNT NBR 16489 (2017) “[...] é sistema de retenção de queda baseado em uma linha de ancoragem vertical rígida é um meio de proteção de queda permanente, este é normalmente fixado em uma escada de acesso.

FIGURA 10 - SISTEMA COM TRAVA QUEDAS EM LINHA RÍGIDA

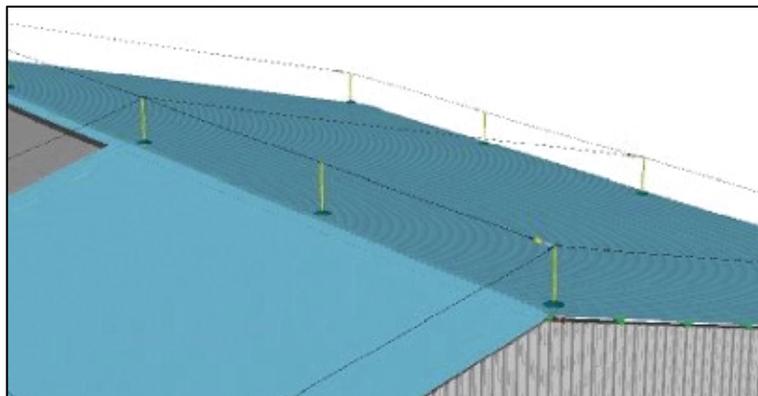


Fonte: ALTISEG (2011).

Estes sistemas, devido a pequena extensão do elemento de ligação, favorece a diminuição das forças no caso de impacto, sobre o corpo do trabalhador e sobre os elementos do sistema.

Por fim, os sistemas baseados em uma linha de vida de ancoragem horizontal (FIGURA 11) com um ou mais pontos moveis de ancoragem, são normalmente utilizados em grandes extensões, como em telhados, onde os elementos de ligação com a linha de vida são realizados com o uso de talabartes de segurança.

FIGURA 11 - SISTEMA DE ANCORAGEM HORIZONTAL

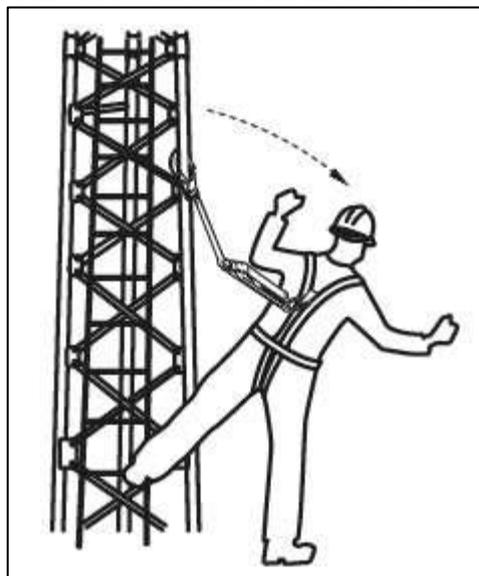


Fonte: VICSA (2022).

2.2.1.3 Sistema de Ancoragem

O anexo II da NR 35 (BRASIL, 2019) aborda os sistemas de ancoragens destinados a retenção de queda, à restrição de movimentação, ao posicionamento no trabalho e o acesso por corda. Esta norma regulamentadora informa que o sistema de ancoragem pode apresentar seu ponto de ancoragem diretamente na estrutura, na ancoragem estrutural ou através de um dispositivo de ancoragem. A ancoragem diretamente na estrutura (FIGURA 12), é aquela onde se utiliza vigas e pilares da estrutura como pontos de apoio, conectando o elemento de ligação de forma direta.

FIGURA 12 - ANCORAGEM DIRETA NA ESTRUTURA



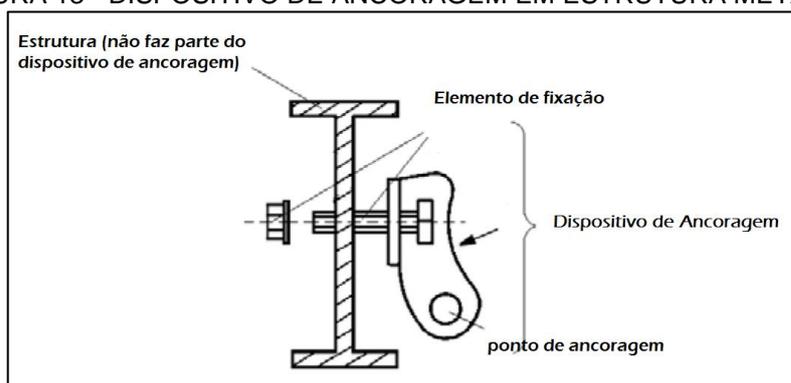
Fonte: Manual de auxílio de interpretação da NR35 (BRASIL, 2018).

O dispositivo de ancoragem, segundo a ABNT NBR 16489 (2017), se dá:

[...] montagem de elementos que incorporam um ou mais pontos de ancoragem ou pontos de ancoragem móveis, que podem incluir um elemento de fixação. É projetado para utilização como parte de um sistema pessoal de proteção de queda e também de forma que possa ser removido da estrutura e ser parte do sistema de ancoragem.

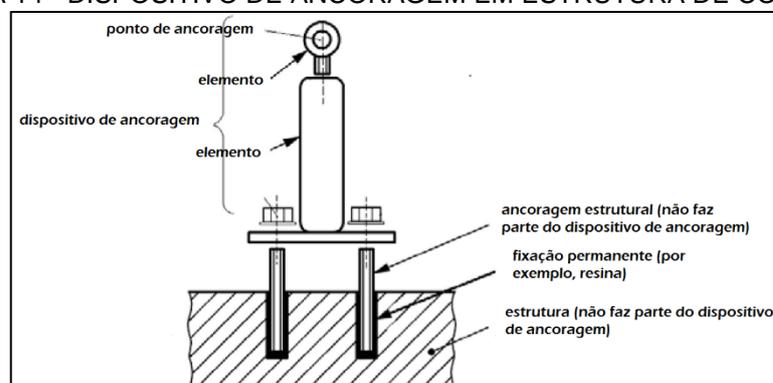
Desta forma, os dispositivos de ancoragem são elementos que podem ser removidos da estrutura, ou desacoplados de uma ancoragem estrutural, conforme FIGURA 13 e FIGURA 14.

FIGURA 13 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM EM ESTRUTURA METÁLICA



Fonte: ABNT NBR 16325-1 (2014).

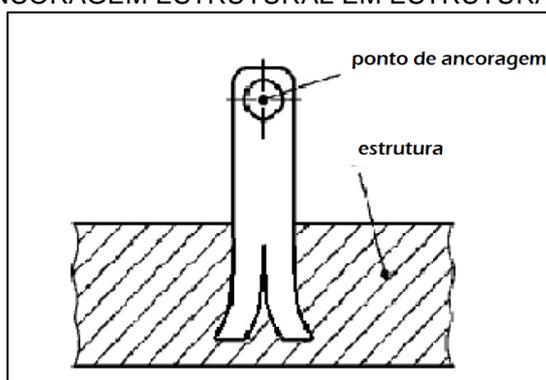
FIGURA 14 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM EM ESTRUTURA DE CONCRETO



Fonte: ABNT NBR 16325-1 (2014).

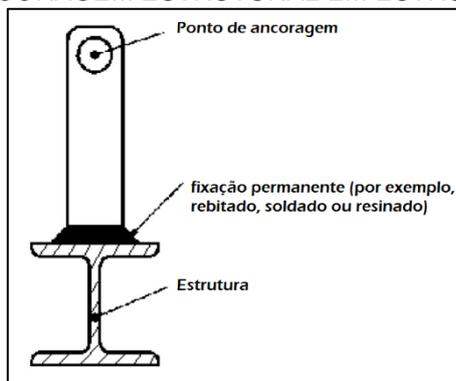
Por fim, a ancoragem estrutural é definida conforme ABNT NBR 16489 (2017), como “elementos fixados de forma permanente na estrutura, nos quais um dispositivo de ancoragem ou um EPI pode ser conectado”. Um dispositivo de ancoragem fixo de forma permanente à estrutura, por exemplo, soldado, concretado ou colado com resina, torna-se uma ancoragem estrutural, conforme FIGURA 15 e FIGURA 16.

FIGURA 15 - ANCORAGEM ESTRUTURAL EM ESTRUTURA DE CONCRETO



Fonte: ABNT NBR 16325-1 (2014)

FIGURA 16 - ANCORAGEM ESTRUTURAL EM ESTRUTURA METÁLICA



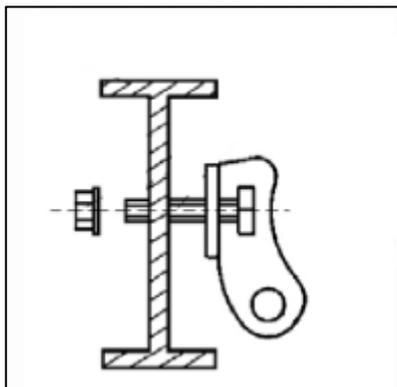
Fonte: ABNT NBR 16325-1 (2014)

Quanto aos dispositivos de ancoragem, pode-se separá-los de acordo com o tipo. As ABNT NBR 16325-1 (2014) e ABNT NBR 16325-2 (2014) especificam tipos de dispositivos de ancoragem como a seguir:

- a) tipo A1: dispositivo de ancoragem projetado para ser fixado em uma estrutura por meio de uma ancoragem estrutural ou de um elemento de fixação;
- b) tipo A2: dispositivo de ancoragem projetado para ser fixado em telhados inclinados;
- c) tipo B: dispositivo de ancoragem temporária transportável, por exemplo, um tripé acima de um espaço confinado, ou uma fita de ancoragem;
- d) tipo C: dispositivo de ancoragem para ser utilizado como uma linha de ancoragem horizontal flexível;
- e) tipo D: dispositivo de ancoragem para ser utilizado como uma linha de ancoragem horizontal rígida, por exemplo, perfis rígidos.

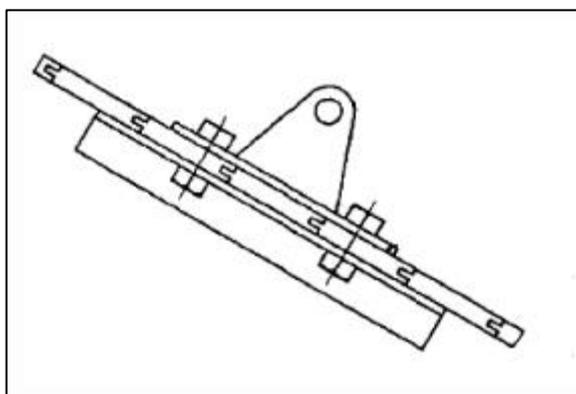
Os dispositivos de ancoragem tipo A são apresentados na FIGURA 17 e na FIGURA 18.

FIGURA 17 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM TIPO A1



Fonte: ABNT NBR 16325-1 (2014).

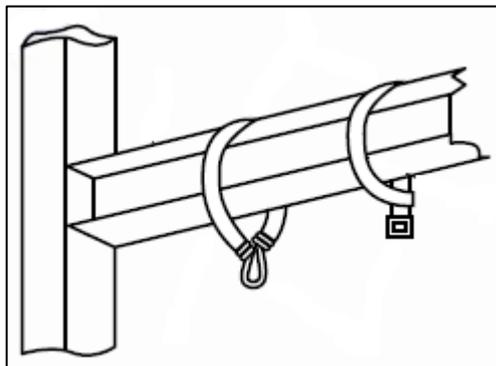
FIGURA 18 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM TIPO A2



Fonte: ABNT NBR 16325-1 (2014).

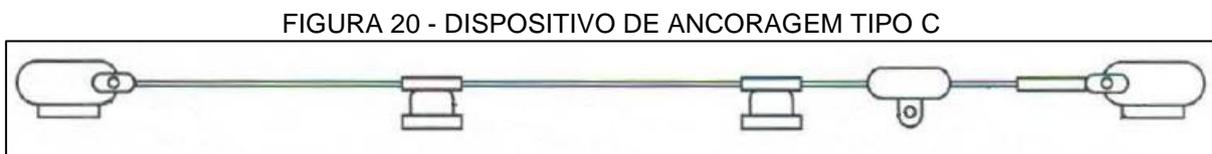
Os dispositivos de ancoragem Tipo B são ancoragens móveis, como o tripé, barras móveis e cintas de ancoragem, conforme FIGURA 19.

FIGURA 19 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM TIPO B



Fonte: ABNT NBR 16325-1 (2014).

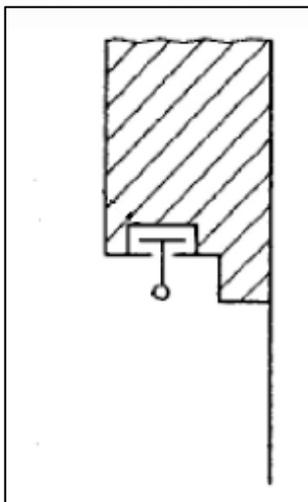
Os dispositivos de ancoragem do Tipo C, são dispositivos que formam uma linha de vida flexível, podendo ser feitas de material textil ou de aço, conforme FIGURA 20.



Fonte: ABNT NBR 16325-2 (2014)

E os dispositivos de ancoragem do Tipo D, são dispositivos de uma linha de vida horizontal rígida, formada de perfis metálicos, normalmente trilhos em vigas I, conforme FIGURA 21.

FIGURA 21 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM TIPO D



Fonte: ABNT NBR 16325-1 (2014).

Os dispositivos de ancoragem são projetados por pessoal qualificado e devem possuir marcação indicando os limites de uso e carga.

Os sistemas de retenção de queda baseados em uma linha de ancoragem horizontal são projetados com configurações exclusivas para cada local de trabalho em conjunto com o equipamento de proteção contra queda (normalmente um talabarte de segurança com absorvedor de energia) destinado para fixação no mesmo. Os cálculos de desempenho do sistema são baseados nas características da linha

de ancoragem em conjunto com os do equipamento de proteção contra queda. (NBR 16489, 2017)

2.2.1.4 Conectores

Conforme a ABNT NBR 16489 (2017) os conectores podem ser definidos como:

[...] são componentes que podem ser abertos e usados para conectar em conjunto com outros componentes em um sistema de proteção individual de queda, por exemplo, ligar um talabarte de segurança com uma ancoragem. Alguns conectores são projetados para uso geral e alguns para aplicações específicas.

Existem cinco classes de conectores descritos na ABNT NBR 15837 (2010), que são apropriados para uso em sistemas de proteção individual de queda, como a seguir:

- a) classe B: conector básico, de fechamento automático destinado a ser utilizado como componente;
- b) classe M: conector multiuso, básico ou conector de elo rápido destinado a ser utilizado como componente e que pode ser aplicado conforme o seu maior ou menor eixo;
- c) classe T: conector terminal, de fechamento automático, concebido como elemento terminal de um subsistema, que permite a fixação em uma única direção;
- d) classe A: conector de ancoragem, de fechamento automático, destinado a ser utilizado como componente e concebido para ser unido diretamente a um tipo específico de ancoragem;
- e) classe Q: conector de elo rápido, destinado a ser utilizado em aplicações a longo prazo ou permanentes, cujo fechamento é obtido por um fecho de rosca, sendo este, parte estrutural da sustentação do conector, quando completamente atarraxado.

2.3 FORÇA DE IMPACTO NO TRABALHADOR

De acordo com Spinelli (2016), o qual realizou uma revisão bibliográfica sobre pesquisas realizadas com animais, cadáveres a até mesmo com militares da força aérea americana que visavam determinar o limite de força de impacto no corpo de um paraquedista no momento da abertura do paraquedas. O resultado foi determinado que corpo humano suporta, num intervalo pequeno de tempo, no máximo 12kN,

porém, pessoas em condições físicas e de saúde abaixo do ideal, e o próprio envelhecimento do corpo, as tornam menos resistentes.

Com base na tolerância de 12 kN para condições muito favoráveis, e considerando também que vários fatores como condicionamento físico, estado de saúde e idade podem tornar uma pessoa menos resistente a essas forças, a União Europeia determinou um valor máximo 6 kN de força de frenagem (força gerada na retenção da queda) para fins de projeto, fabricação, ensaio e certificação de equipamentos de retenção de queda de trabalhadores (SPINELLI, 2016)

Desta forma, as normas brasileiras que tratam de retenção de queda apontam pela obrigatoriedade de se ensaiar os equipamentos a limitar a força de impacto no corpo dos trabalhadores a 6 KN.

Convém que o uso de um sistema de retenção de queda seja limitado de forma que o impacto gerado no usuário seja inferior a 6 kN. A massa utilizada para ensaio compulsório é 100 kg. Convém observar durante o uso de um sistema de retenção de queda que o limite indicado pelo fabricante para a massa total do usuário, que inclui vestuário e equipamento, é geralmente de 100 kg para um usuário. (NBR 16489, 2017)

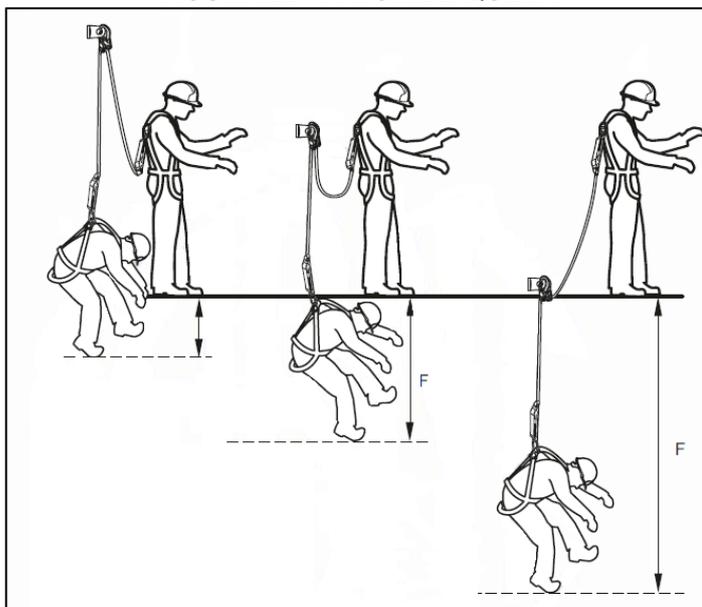
2.4 FATOR DE QUEDA

De acordo com a ABNT NBR 16489/2017, o fator de queda pode ser definido como “[...] a distância de queda livre e dividindo pelo comprimento do talabarte de segurança disponível para detê-la.”

Assim, ao posicionar o talabarte ou trava-quadras a uma altura acima da cabeça, o trabalhador está diminuindo a distância de queda livre que está suscetível, diminuindo o fator de queda, no qual o mesmo irá tender a zero. Outra possibilidade é o ponto de ancoragem do elemento de ligação estar posicionado na mesma altura da ancoragem do cinto tipo paraquedista. Desta forma a distância livre de queda será a mesma do tamanho do elemento de ligação e o fator de queda neste caso é igual a 1. Por fim, ao conectar o elemento de ligação em um ponto de ancoragem abaixo da ancoragem do cinto, o fator de queda irá aumentar, tendendo a 2, conforme FIGURA 22.

[...] um ponto de ancoragem acima do usuário fornece o menor fator de queda, então é o mais seguro, e é a opção preferida; um ponto de ancoragem em nível de ombro fornece um fator de queda maior e convém que seja usado somente como uma segunda escolha; um ponto de ancoragem ao nível do pé, fornece o fator de queda máximo e convém que seja evitado, se possível (ABNT NBR 16489/2017).

FIGURA 22 - FATOR DE QUEDA



Fonte: ABNT NBR 16489 (2017).

2.5 ZONA LIVRE DE QUEDA

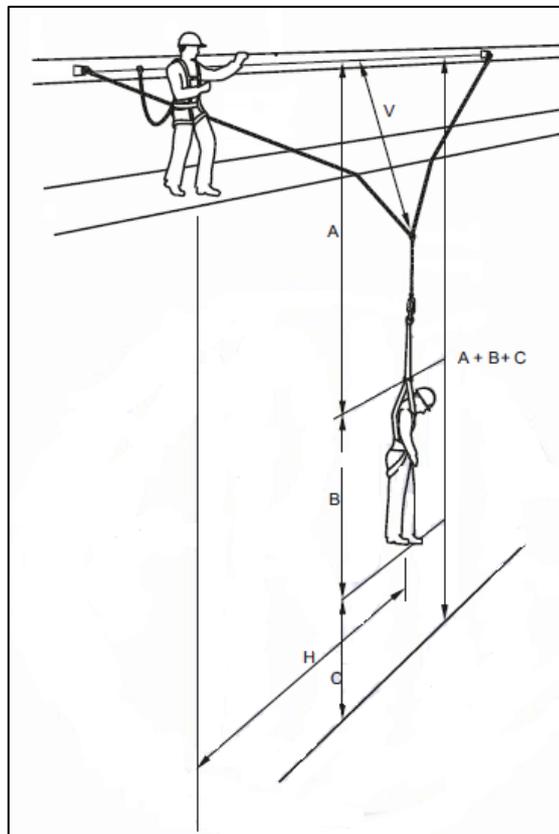
A zona livre de queda é definida como “a região compreendida entre o ponto de ancoragem e o obstáculo inferior mais próximo contra o qual o trabalhador possa colidir em caso de queda, tal como o nível do chão ou o piso inferior” (BRASIL, 2018).

Assim, para o cálculo da zona livre de queda (ZLQ), deve se levar em conta todas as distâncias envolvidas na queda do trabalhado, como o comprimento do talabarte de segurança, mais o comprimento do absorvedor de energia estendido, mais a deflexão em V da linha de ancoragem (se uma linha de ancoragem flexível for usada), a distância entre o elemento de engate de retenção de queda do cinturão e os pés do usuário e uma distância de segurança de 1 m, conforme FIGURA 23 (ABNT NBR 16489, 2017).

Quando um sistema de retenção de queda for usado, convém que seja assegurado que exista uma ZLQ adequada para evitar que o usuário

venha a colidir com o solo ou qualquer obstáculo (ABNT NBR 16489, 2017).

FIGURA 23 - ZLQ PARA UMA LINHA DE VIDA



Fonte: ABNT NBR 16489 (2017).

2.6 DESACELERAÇÃO

A força de impacto de uma queda é dependente da distância de parada do corpo, e pode ser deduzida a partir das equações de torricelli (equação 1), da força (equação 3), da energia potencial gravitacional (equação 6) e da energia cinética (equação 7).

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S \quad (1)$$

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot \Delta S} \quad (2)$$

$$F = m \cdot a \quad (3)$$

Portanto:

$$F = m \cdot \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot \Delta S} \right) \quad (4)$$

$$F = m. \left(\frac{v^2}{2.\Delta S} \right) \quad (5)$$

Em relação as equações de energia, temos:

$$E_p = m. g. h \quad (6)$$

$$E_c = \frac{1}{2} m. v^2 \quad (7)$$

Considerando a simplificação de que toda a energia potencial em uma queda se transforme em energia cinética, temos:

$$E_p = E_c \quad (6)$$

$$\frac{1}{2} m. v^2 = m. g. h \quad (7)$$

$$\frac{1}{2}. v^2 = g. h \quad (8)$$

$$v = \sqrt{2. g. h} \quad (9)$$

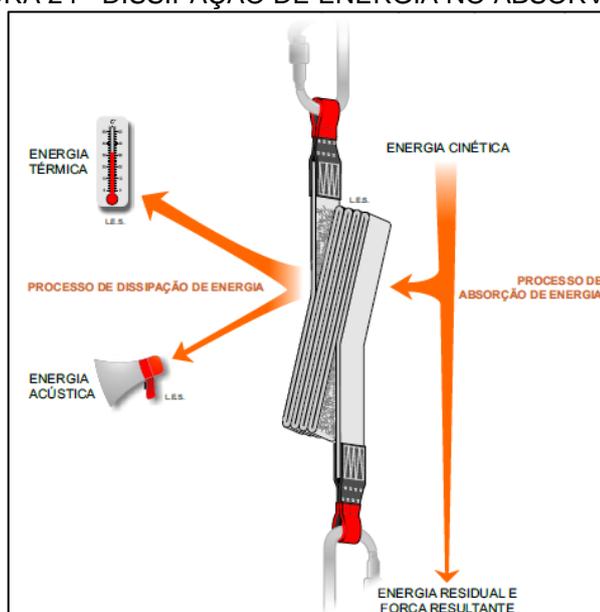
Unindo as equações (5) e (9), temos:

$$F = m. \left(\frac{2.g.h}{2.\Delta S} \right) \quad (10)$$

$$F = m. \left(\frac{g.h}{\Delta S} \right) \quad (11)$$

Pode-se observar na equação 11 que, dada a massa do trabalhador, a força de impacto é diretamente dependente da altura de queda (h) e da distância de parada (ΔS). Assim, equipamentos que fazem uma desaceleração progressiva aumentando a distância de parada diminuem a força de impacto no trabalhador. Entretanto, esta energia é dissipada em energia térmica e acústica, conforme FIGURA 24.

FIGURA 24 - DISSIPACÃO DE ENERGIA NO ABSORVEDOR



Fonte: Spinelli (2016).

Surge a questão de como estabelecer as forças que estarão atuando sobre um indivíduo no momento da frenagem da queda. Há duas maneiras de resolver esta questão fazendo testes práticos ou utilizando equações matemáticas.

Algumas limitações no sistema de retenção de quedas devem ser previstas e assim devidamente evitadas, como:

- a) uma distância de retenção excessiva, isto é, uma zona livre de queda insuficiente entre o usuário e o chão para permitir a proteção de queda, resultará que o usuário atinja o chão ou outra superfície sólida antes da retenção total;
- b) uma força de impacto excessiva, resultará em ferimentos internos no usuário ou na falha do sistema de retenção de queda, causando a separação do usuário do sistema e uma subsequente queda;
- c) uma sobretensão pontual localizada em componente do sistema de retenção de queda, causando falha mecânica; por exemplo, um conector incompatível pode falhar causando a separação do usuário do sistema (ABNT NBR 16489, 2017)

2.7 RESISTÊNCIA DOS COMPONENTES

Os equipamentos de proteção individual e os elementos de ligação destinados a retenção de queda devem ter suas resistências mínimas especificadas conforme ABNT NBR 16489 (2017):

[...] a mínima resistência estática especificada para a maioria dos componentes de equipamentos de proteção individual de queda é de 15 kN, porém, existem algumas variações acima ou abaixo deste valor, por exemplo, a ABNT NBR 14628 especifica uma mínima resistência estática especificada de 12 kN para trava-queda retrátil feito de cabos de aço e a ABNT NBR 15834 especifica uma mínima resistência estática especificada de 22 kN para talabartes de segurança feitos de material têxtil.

Quanto aos dispositivos de ancoragem, é exigida uma resistência mínima estática de 12 kN para dispositivos de ancoragem metálicos e 18 kN para dispositivos não metálicos. Para uso por uma única pessoa, esta deve ser acrescida de um fator de segurança mínimo de 2 (ABNT NBR 16489, 2017).

Para calcular a resistência exigida para uma ancoragem, o profissional legalmente habilitado pode utilizar métodos de cálculo estrutural dos estados-limite, tomando a força estática mínima adequada como a carga de projeto e calculando a resistência do projeto baseado em um valor de segurança escolhido conforme o material que a ancoragem for fabricada (ABNT NBR 16489, 2017).

Quanto a instalação dos dispositivos de ancoragem, a ABNT NBR 16489 (2017) traz a instalação dos dispositivos de ancoragem, por exemplo, em alvenaria e telhados, seja somente executada por pessoas competentes para esta ação.

Pelo fato de cada instalação ter uma configuração de projeto exclusivo, e devido às cargas de retenção de queda serem aplicadas perpendicularmente à linha horizontal, as cargas são transmitidas, aumentadas e compartilhadas ao longo dos sistemas de maneira complexa. Convém que estes fatores sejam levados em consideração por um instalador competente, que trabalha de acordo com as instruções do fabricante, na determinação dos requisitos de resistência para os pontos de ancoragem (ABNT NBR 16489, 2017).

Conforme ABNT NBR 16489 (2017), a recomendação geral é que qualquer ponto de ancoragem dentro do sistema tenha uma resistência mínima de ruptura de pelo menos duas vezes a carga que pode ser aplicada a ele na direção de carregamento em serviço.

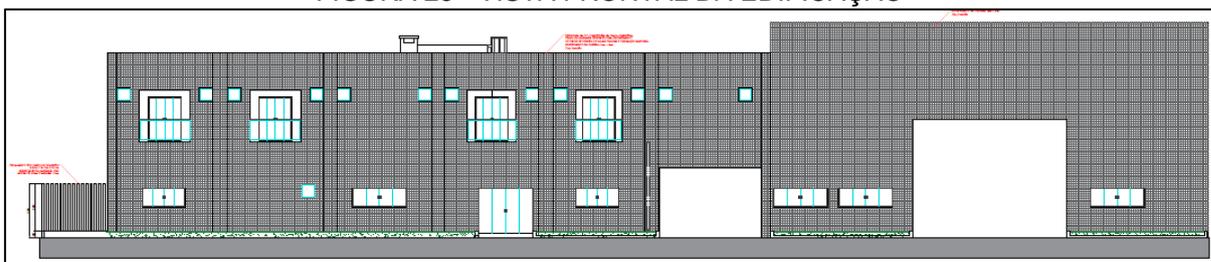
3 ESTUDO DE CASO

Para um estudo de caso se escolheu uma edificação de estrutura pré-moldada de concreto armado, que passou por intervenções de manutenção em seu telhado, constatando-se assim a necessidade de se prever um sistema de proteção contra quedas na realização desta atividade.

3.1 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

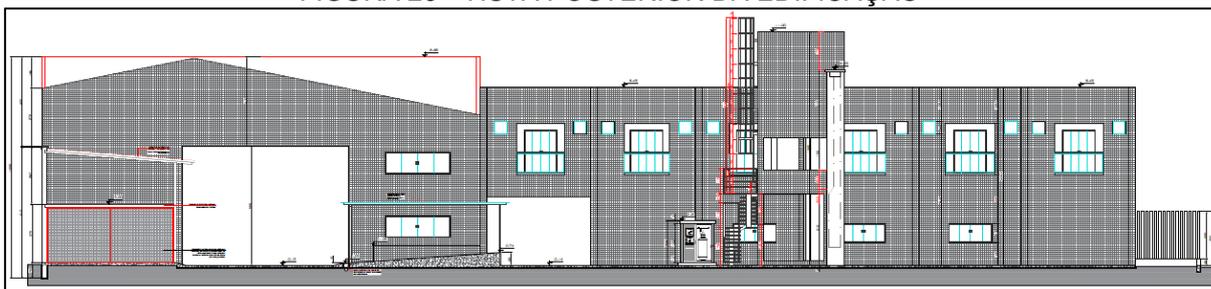
O local apresentado se trata de uma estrutura pré-moldada em concreto armado com vedação em alvenaria. O local apresenta altura total, no estacionamento, de 10,30 m na cumeeira do telhado e altura de 8,45 m no telhado da área administrativa, conforme as FIGURAS 25 a 28.

FIGURA 25 - VISTA FRONTAL DA EDIFICAÇÃO



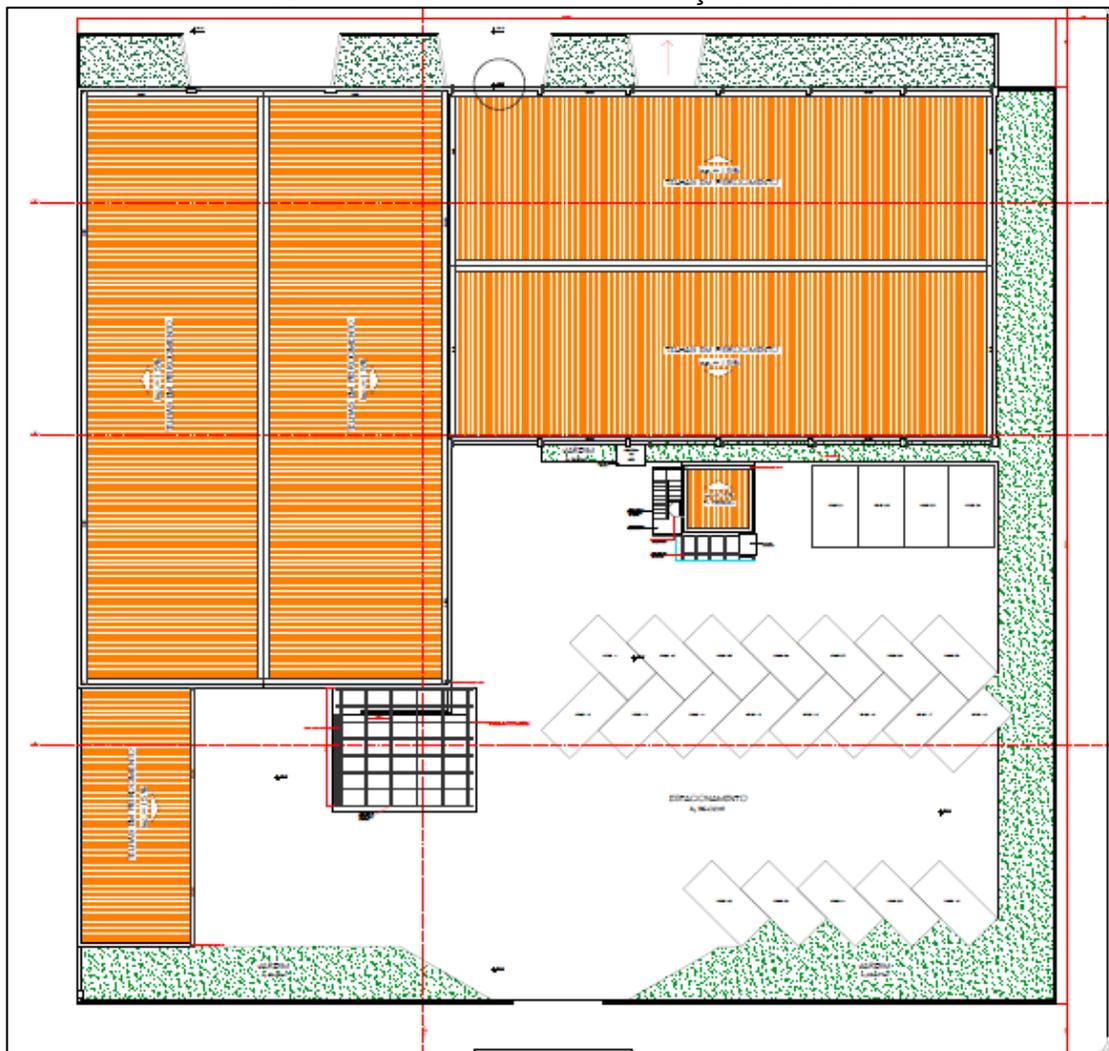
Fonte: O autor (2022).

FIGURA 26 - VISTA POSTERIOR DA EDIFICAÇÃO



Fonte: O autor (2022).

FIGURA 27 - PLANTA DE IMPLANTAÇÃO DO LOCAL



Fonte: O autor (2022).

FIGURA 28 - ÁREA DO ESTACIONAMENTO DE VIATURAS



Fonte: O autor (2022).

Apesar de não estar enquadrado na obrigatoriedade de prever pontos de ancoragem devido a sua altura estar inferior a 12 metros, existe a necessidade de se realizar manutenções no local, como troca de telhas e consertos de calhas. Estas atividades devem ser realizadas de forma segura e a responsabilidade em relação as medidas de segurança adotadas são de forma conjunta divididas pela empresa contratada e a contratante, conforme item 35.2.1 da NR 35, (BRASIL, 2019):

35.2.1 Cabe ao empregador:

- e) adotar as providências necessárias para acompanhar o cumprimento das medidas de proteção estabelecidas nesta Norma pelas empresas contratadas;
- g) garantir que qualquer trabalho em altura só se inicie depois de adotadas as medidas de proteção definidas nesta Norma;

Desta forma, afim de manter a integridade física dos trabalhadores envolvidos em obras de reparos e troca de telhas, e concomitantemente cumprir com a legislação vigente, foi dimensionado um sistema de proteção contra quedas de altura que atenda a edificação.

3.2 SEGURANÇA DO TRABALHO

Ao fazer o reconhecimento do local, é necessário levar em consideração os meios de acesso ao telhado e a forma de execução das atividades em altura, afim de prever o melhor meio de fixação das ancoragens e proteção dos trabalhadores envolvidos. Outro aspecto importante na avaliação é o cálculo do ZLQ do local, afim de prever quais tipos de proteções são viáveis e quais podem ser descartadas devido a inexequibilidade de se realizar a atividade sem a proteção adequada.

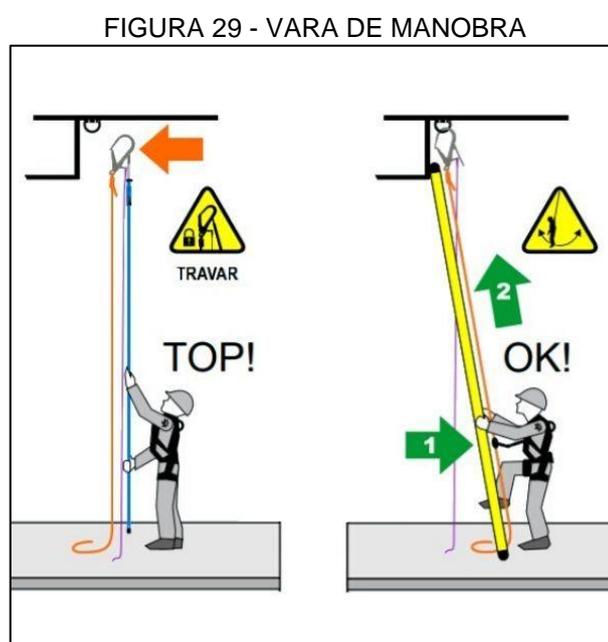
Assim, os meios de acesso ao local são limitados a colocação de uma escada móvel, de fibra ou de madeira. Entretanto, as mesmas não podem ser consideradas pontos de ancoragem por não possuir resistência mínima compatível com o que preconiza a NR 18 (BRASIL 2020):

Os dispositivos de ancoragem devem:

- a) estar dispostos de modo a atender todo o perímetro da edificação;

- b) suportar uma carga de trabalho de, no mínimo, 1.500 kgf (mil e quinhentos quilogramas-força);
- c) constar do projeto estrutural da edificação;
- d) ser constituídos de material resistente às intempéries, como aço inoxidável ou material de características equivalentes.

Os pontos de ancoragem estrutural devem ser fixados na estrutura da edificação afim de se ancorar uma linha de vida vertical com uso de uma vara de manobra (FIGURA 29).

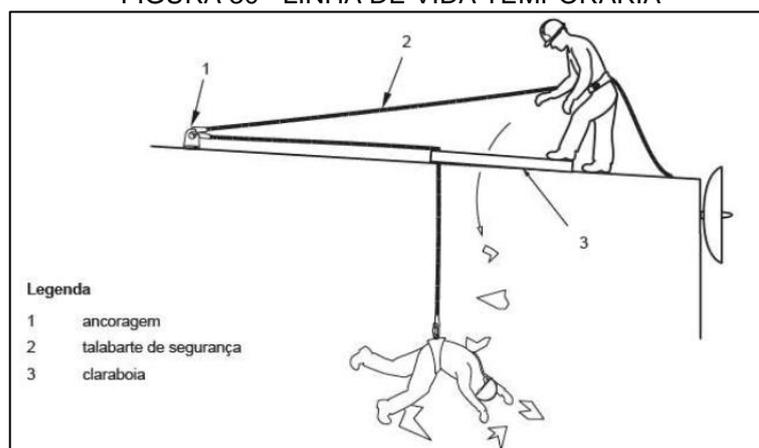


Fonte: GRUPO RANGER SMS (2022).

Resolvida a segurança quanto ao acesso ao telhado da edificação, deve-se atentar para a segurança na movimentação horizontal acima do telhado. Devido ao telhado possuir uma grande extensão, a realização de pontos de ancoragem no perímetro do telhado é inviável, pois para acessar a parte central do telhado os elementos de ligação disponíveis no mercado são incapazes de atender.

Desta forma, surgem duas opções plausíveis para assegurar a integridade física dos trabalhadores, a primeira é a utilização de uma linha de vida temporária de cabo sintético, onde na mesma será acoplada uma trava quedas compatível, como elemento de ligação com o cinto e a linha de vida acoplada a uma ancoragem estrutural na edificação de acordo com a FIGURA 30.

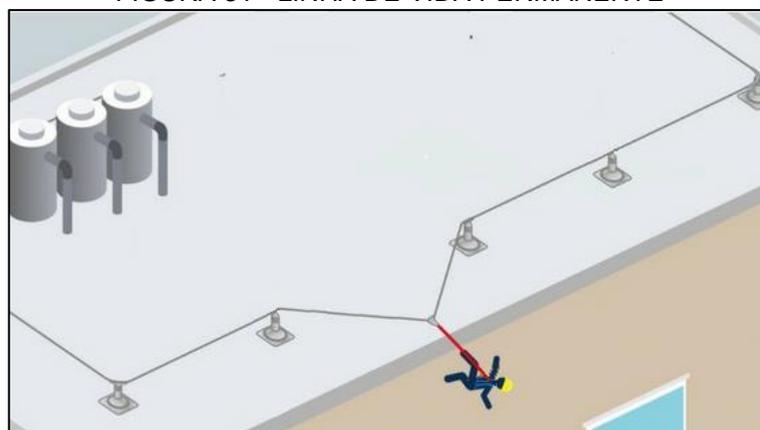
FIGURA 30 - LINHA DE VIDA TEMPORÁRIA



Fonte: Manual de Auxílio na Interpretação e Aplicação da NR35 (2018).

A segunda maneira de resolver se trabalhar com segurança é com a utilização de uma linha de vida permanente (FIGURA 31). Esta seria instalada em pontos de ancoragem no perímetro da edificação e em ancoragens intermediárias, localizadas em apoios fixados na estrutura pré-fabricada do telhado da edificação.

FIGURA 31 - LINHA DE VIDA PERMANENTE



Fonte: GRUPO RANGER SMS (2022).

Com o objetivo de atender a segurança nos trabalhos localizados no telhado da edificação, de forma permanente, ou seja, que os serviços de manutenção predial que ocorrerão com o passar do tempo possam vir utilizar de uma estrutura de segurança já dimensionada e definida, optou-se pela segunda solução proposta. Esta solução se dá na instalação de uma linha de vida flexível permanente, composta por um cabo de aço e demais acessórios.

3.3 ANÁLISE ESTRUTURAL

3.3.1 Esforços devidos à queda do trabalhador

Para o dimensionamento dos elementos de uma linha de vida horizontal flexível permanente, composta por um cabo de aço e demais acessórios para a instalação, devem ser calculadas as forças atuantes no sistema. Partindo do princípio de que a linha de vida irá ser acionada devido à queda do trabalhador, há de se dimensionar as forças atuantes a partir do instante de maior esforço no sistema de retenção de quedas, ou seja, utilizando a força de impacto do trabalhador na linha de vida. Para isso, foi utilizada a equação de proposta por Sulowski.

O modelo matemático apresentado por Sulowski¹ (1991 apud FREITAS, 2019), usa uma fórmula aproximada para o cálculo da força máxima de impacto, combinando trabalhos de pesquisa teóricos e dados experimentais.

A equação proposta por Sulowski é:

$$F = g m + 4,5 \sqrt{k f m} \frac{a b s}{c} \quad (12)$$

Onde:

F = Força de Impacto em Newtons (N)

m = massa do trabalhador e roupas + massa das ferramentas + massa dos EPIs (kg)

k = Modulo da corda (N)

f = Fator de queda H/L

H = Altura de queda livre (m)

L = Comprimento do Talabarte (m)

a = Fator de redução do trava quedas

b = Fator de redução do Cinto de Segurança (1)

s = Fator de redução do absorvedor de queda (80% a 70% redução)

c = Fator de Conversão corpo "rígido/ manequim"

O fator de queda (f), é obtido da razão da altura livre de queda (H), distância calculada utilizando o ponto de fixação do cinto do trabalhador a partir da posição de início de queda até o início da retenção pelo sistema, conforme FIGURA 22 e pelo

¹ Sulowski, A.C. (1991). Residual risk in fall arresting systems. In A.C. Sulowski (Ed.), Fundamentals of fall protection (pp. 321-344). Toronto, Ont, Canada: International Society for Fall Protection.

comprimento do talabarte (L). O comprimento do talabarte é calculado sem considerar o aumento do absorvedor de energia.

O fator de redução do trava-quedas (a) pode ser definido segundo Debarba (2012) como:

[...] como a relação entre a máxima força de captura num sistema de captura de queda (SCQ) com o trava-quedas em relação à máxima força de captura sem o trava-quedas, sobre as mesmas condições de queda e com os demais componentes do sistema nas mesmas condições.

Os valores do fator (a) são apresentados na TABELA 1.

TABELA 1 - FATOR DE REDUÇÃO DO TRAVA-QUEDAS (a)

Tipo de Trava-quedas	a variação	a recomendado
Tipo inercial, linha de vida com cabo de aço	0,5 a 0,7	0,7
Tipo inercial, linha de vida sintética	0,75 a 0,9	0,9
Tipo fricção	0,5 a 0,75	0,7
Alavanca mecânica	0,9 a 1,0	1,0

Fonte: Sulowski (1991, apud DEBARBA 2012).

Quanto ao fator de redução do cinto de segurança (b), o mesmo possui a mesma lógica do fator (a). Onde tanto o cinto de segurança do tipo abdominal quanto o do tipo paraquedista, devido à propriedade elástica do material de fabricação, tem a capacidade de reduzir a força máxima de impacto. Isso diminuiria a força de impacto em relação a outro sistema de ancoragem.

Os valores do fator de redução do cinto (b) são apresentados na TABELA 2.

TABELA 2 - FATOR DE REDUÇÃO DO CINTO (b)

Tipo de Cinto	b variação	b recomendado
Abdominal	0,8 a 0,9	0,9
Paraquedista	0,5 a 0,8	0,8
Outro tipo	N/A	1,0

Fonte: Sulowski (1991, apud DEBARBA 2012).

O fator de redução do absorvedor de queda (s) é definido como a relação entre a força máxima de impacto num SCQ com o absorvedor de energia em relação àquela sem o absorvedor, mantidos os demais elementos e condições de queda iguais (Debarba, 2012).

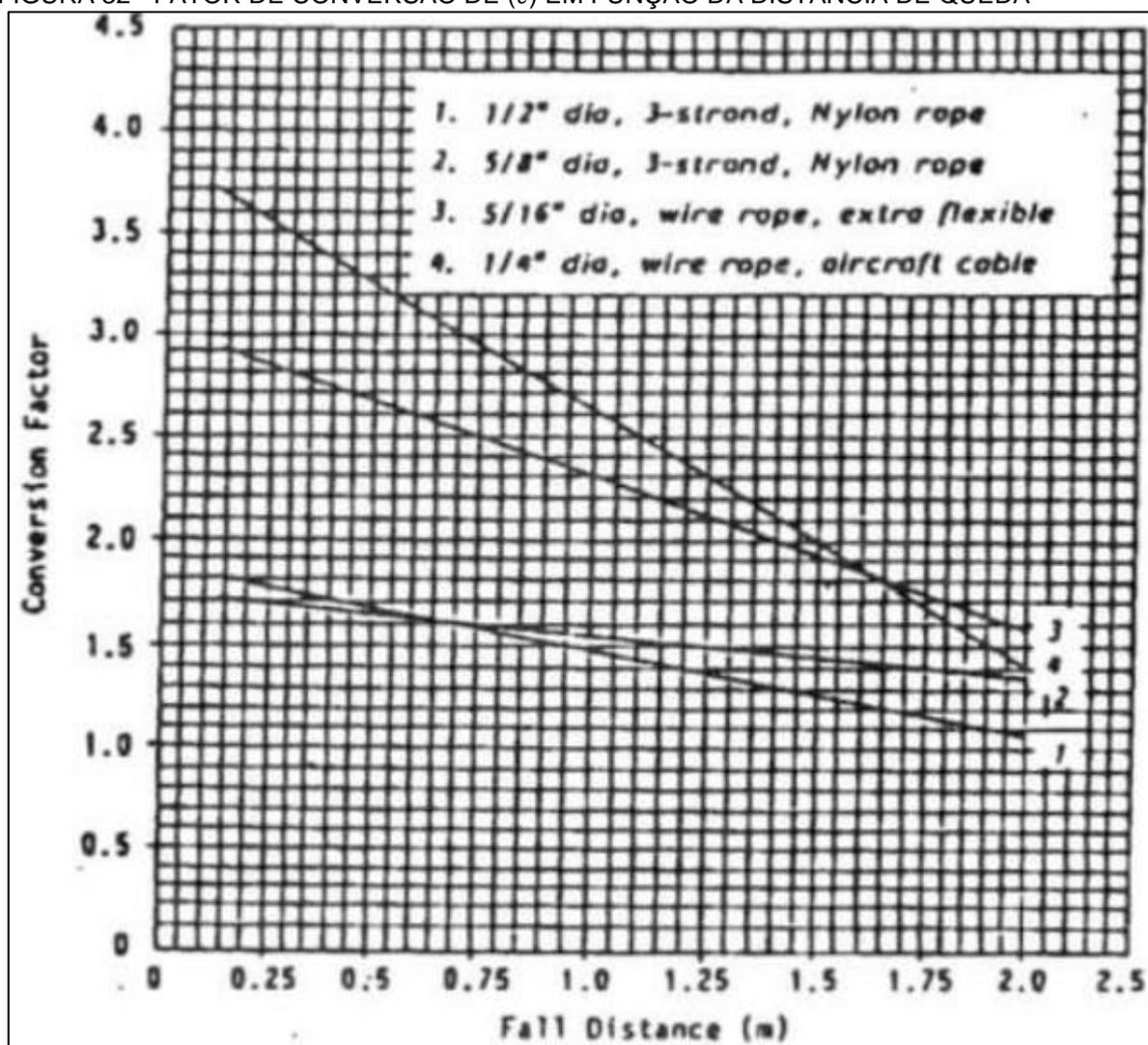
O fator (s) é apresentado na TABELA 3.

TABELA 3 - FATOR DE REDUÇÃO DO ABSORVEDOR DE QUEDA (s)

Tipo de Absorvedor de Energia	s variação	s recomendado
Costura de rasga (Rose)	0,2 a 0,6	0,6
Tecido sintético que rasga (Zorba)	0,3 a 0,7	0,7
Tecido de rasgar com costura metálica (Zorba)	0,2 a 0,6	0,6
Sem Absorvedor	N/A	1,0

Fonte: Sulowski (1991, apud DEBARBA 2012).

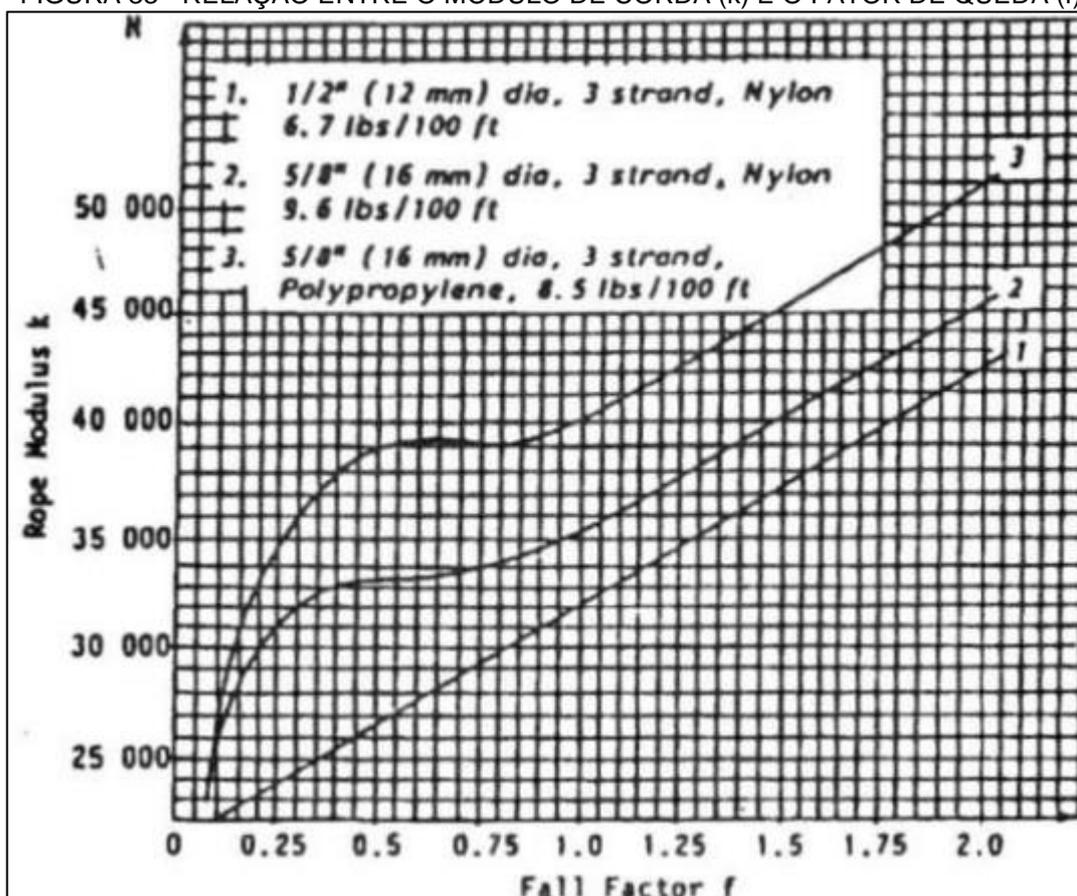
O fator de conversão corpo rígido/manequim (c) se dá pela impossibilidade de realização de testes de impacto envolvendo humanos. Assim, este fator é estimado como a relação entre a aceleração transmitida ao peso rígido em relação à aceleração transmitida ao manequim durante a captura de uma queda sobre iguais condições de testes. De acordo com Sulowski (1991, apud DEBARBA 2012), o valor de (c) varia com a distância de queda livre (h) e o tipo de corda empregada de acordo com a FIGURA 32.

FIGURA 32 - FATOR DE CONVERSÃO DE (c) EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DE QUEDA

Fonte: Sulowski (1991, apud DEBARBA 2012).

Por fim, o módulo de corda (k) depende do fator de queda (f), e do tipo de material de fabricação do talabarte adotado no sistema de captura de queda que deve ser conhecido através do fabricante do dispositivo. Na ausência desta informação, para o dimensionamento do sistema de captura de queda têm utilizado os valores de (k) obtidos em testes de queda por Sulowski e apresentados na FIGURA 33.

FIGURA 33 - RELAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE CORDA (k) E O FATOR DE QUEDA (f)



Fonte: Sulowski (1991, apud DEBARBA 2012)

3.3.2 Esforços e deslocamentos na linha de vida

Conhecida a força aplicada ao sistema devido ao impacto do trabalhador na linha de vida, deve-se conhecer as forças transmitidas aos apoios e ao cabo de aço utilizado.

Partindo da premissa de que o sistema irá entrar em equilíbrio e de que o instante de maiores tensões será no ponto em que o trabalhador atinge o ponto mais baixo de sua queda no sistema de captura, podemos assim formular as equações e diagramas de corpo livre, baseados neste determinado instante. Assim, de acordo com BEER et al. (2012), pg 184, as condições necessárias e suficientes para o equilíbrio de um corpo rígido podem ser obtidas decompondo cada força e cada momento em seus componentes retangulares, sendo representadas com seis equações escalares (equação 13).

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0 \\ \sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Estas equações quando analisadas em um plano podem ser simplificadas resultando somente em 3 equações, sendo elas:

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M_z = 0 \quad (14)$$

A partir destas equações pode-se formular o diagrama de corpo livre do sistema de retenção de quedas e calcular os equipamentos. Para o efeito do dimensionamento não foi considerado o peso próprio do cabo de aço envolvido, entretanto há de se prever uma flecha inicial mínima de 3% do vão, valor recomendado por CBIC (2017), de acordo com a equação 15.

$$f1 = 0,03 L \quad (15)$$

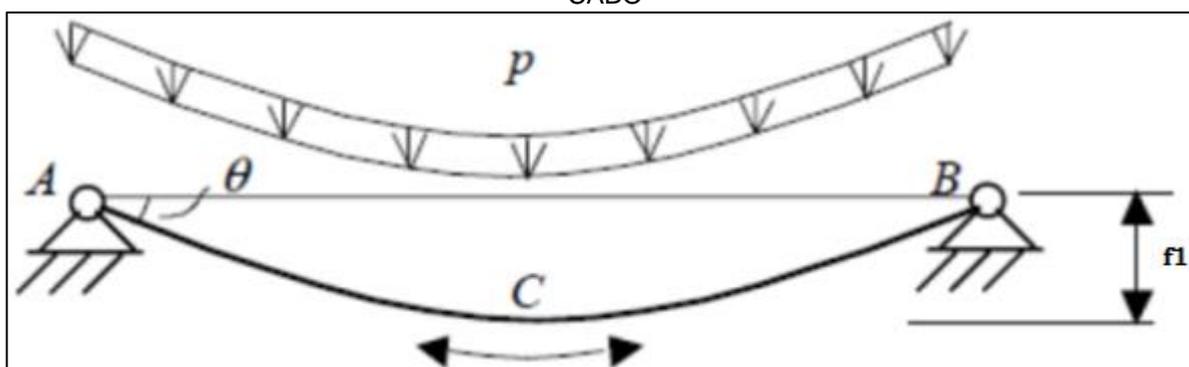
Onde:

f1 – flecha de montagem > 3% do vão (L)

L – Vão compreendido entre as ancoragens da linha de vida.

A flecha de montagem, e conseqüentemente o comprimento do cabo, é utilizada a configuração parabólica que o cabo de aço acaba adotando devido ao peso próprio do mesmo, conforme FIGURA 34.

FIGURA 34 - APLICAÇÃO DE CARGA DISTRIBUÍDA COM A FORMA DE CATENÁRIA EM UM CABO



Fonte: Norma Zhang (2001, apud DEBARBA 2012).

Assim o comprimento do cabo é calculado a partir da equação 16.

$$L1 = L \left(1 + \frac{2}{3} \left(\frac{f1}{L/2} \right)^2 \right) \quad (16)$$

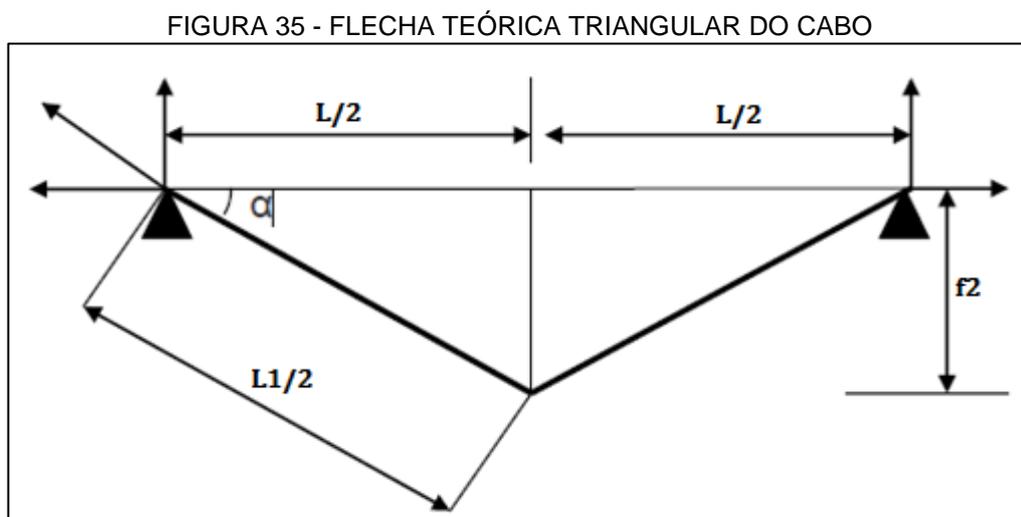
Onde:

L1 – Comprimento total do cabo com uma flecha de montagem determinada.

f1 – flecha de montagem > 3% do vão (L)

L – Vão compreendido entre as ancoragens da linha de vida.

Afim de facilitar os cálculos futuros, é calculada uma flecha triangular do cabo ($f2$), levando em conta o comprimento do cabo calculado ($L1$) e o vão entre as ancoragens (L), utilizando o teorema de Pitágoras (FIGURA 35), conforme apresentado por CBIC (2017).



Fonte: Norma Zhang (2001, apud DEBARBA 2012)

Assim ($f2$) é calculado segundo a equação 17.

$$f2 = \sqrt{\left(\frac{L1}{2} \right)^2 - \left(\frac{L}{2} \right)^2} \quad (17)$$

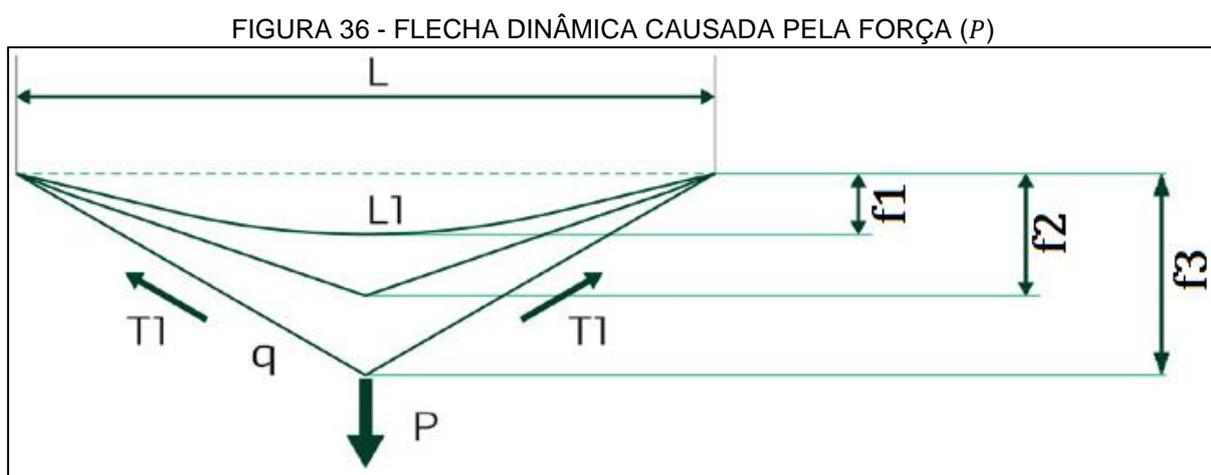
Onde:

L1 – Comprimento total do cabo com uma flecha de montagem determinada.

L – Vão compreendido entre as ancoragens da linha de vida.

f_2 – Flecha considerando o comprimento L_1 formando um triângulo.

Além disso, calculou-se a flecha dinâmica (f_3), conforme FIGURA 36, para assim descobrir a força de tração no cabo (T), mas para isso primeiramente deve ser calculado o alongamento do cabo (ΔL) devido à força de tração sobre o mesmo causado pela força (P).



Fonte: CBIC (2017).

Como pode ser notado, a força de tração no cabo depende da flecha dinâmica (f_3) que depende do alongamento (ΔL), que por sua vez depende da força de tração no cabo (T). Assim, para realizar tal cálculo devemos fazê-lo de forma iterativa iniciando com uma força de tração no cabo (T) qualquer, assim pode-se calcular o alongamento no cabo (ΔL) com a tal força arbitrada, de acordo com a equação 18.

$$\Delta L = \frac{T L_1}{E A_c} \quad (18)$$

Onde:

ΔL – Alongamento do cabo submetido a uma força T .

T – Força inicial adotada para o início do cálculo de iteração.

L_1 – Comprimento total do cabo com uma flecha de montagem determinada.

A_c – Área metálica do cabo (obtida dos catálogos dos fabricantes de cabos de aço).

E – Módulo Elástico (obtido dos catálogos dos fabricantes de cabos de aço).

De acordo com o Manual Técnico de Cabos CIMAF, a área metálica de um cabo de aço varia em função da construção do cabo de aço. Ela é constituída pela somatória das áreas das seções transversais dos arames individuais que o compõem, exceto dos arames de preenchimento (filler).

O cálculo da área metálica de um cabo de aço ou cordoalha pode ser feito através da equação 19. Embora esse cálculo não seja exato, seu resultado é bastante aproximado (CIMAF, 2012).

$$A_c = F d^2 \quad (19)$$

Onde:

A_c – Área metálica do cabo (mm^2).

F – fator de multiplicação.

d – diâmetro nominal do cabo de aço ou cordoalha em milímetro.

O fator de multiplicação é dado na TABELA 4.

TABELA 4 - FATOR DE MULTIPLICAÇÃO (F)

Construção do cabo de aço ou cordoalha	Fator “F”
8X19 Seale, 8x25 Filler	0,359
MinePac	0,374
6x7	0,395
6x19 M	0,396
6x31/ 6x36 / 6x41 Warrington Seale	0,410
6x19 Seale	0,416
6x25 Filler	0,418
18x7 Resistente à Rotação	0,426
Cordoalha 7 Fios	0,589
Cordoalha 37 Fios	0,595
Cordoalha 19 Fios	0,600

Fonte: CIMAF (2012).

De acordo com CIMAF (2012):

[...] o módulo de elasticidade de um cabo de aço aumenta durante a vida do mesmo em serviço, dependendo de sua construção e condições sob as quais é operado, como intensidade das cargas aplicadas, cargas constantes ou variáveis, flexões e vibrações às quais o mesmo é submetido.

Os valores dos módulos de elasticidade (E) aproximados são dados na TABELA 5.

TABELA 5 - MÓDULOS DE ELASTICIDADE APROXIMADOS DE CABOS DE AÇOS NOVOS E CORDOALHAS NOVAS.

		Classe	E (Kgf/mm ²)
Cabos de aço alma de fibra	6 x 7		9.000 a 10.000
	6 x 19		8.500 a 9.500
	6 x 36		7.500 a 8.500
Cabos de aço alma de aço	8 x 19		6.500 a 7.500
	6 x 7		10.500 a 11.500
	6 x 19		10.000 a 11.000
	6 x 36		9.500 a 10.500
Cordoalhas	7 fios		14.500 a 15.500
	19 fios		13.000 a 14.000
	37 fios		12.000 a 13.000

Fonte: CIMAF (2012).

Com o valor do alongamento do cabo (ΔL), pode-se calcular a flecha dinâmica (f_3) utilizando o teorema de Pitágoras, como foi utilizado para calcular a flecha (f_2), de acordo com a equação 20.

$$f_3 = \sqrt{\left(\frac{L_1 + \Delta L}{2}\right)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (20)$$

Onde:

L_1 – Comprimento total do cabo com uma flecha de montagem determinada.

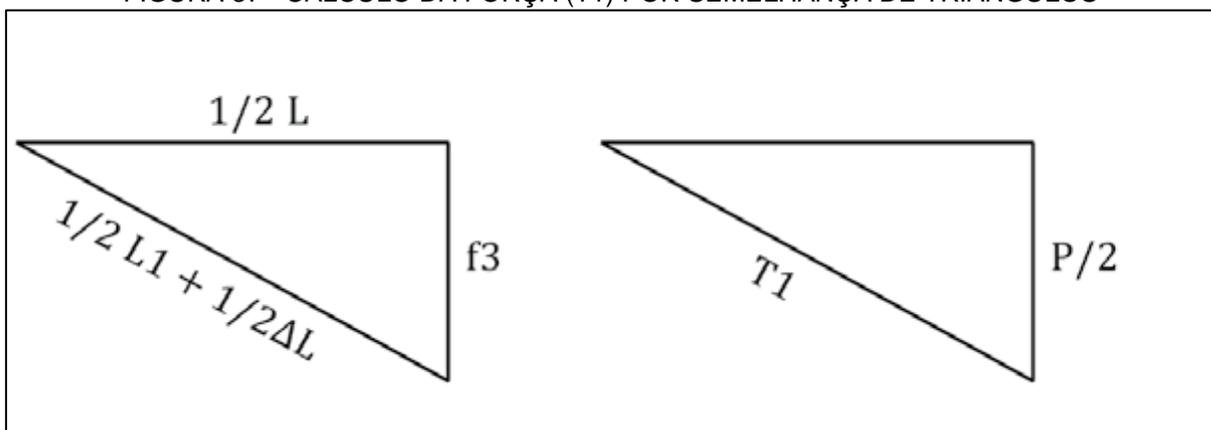
L – Vão compreendido entre as ancoragens da linha de vida.

f_3 – Flecha considerando o comprimento $L_1 + \Delta L$ formando um triângulo.

ΔL – Alongamento do cabo submetido a uma força T .

Finalmente, para encontrar a força de tração (T_1) no cálculo iterativo deve-se inserir os dados encontrados de força de carga dinâmica devido ao impacto do trabalhador na linha de vida encontrado utilizando a equação 12. Vale ressaltar que o valor da força de queda do trabalhador não pode ser superior a 600 Kgf.

FIGURA 37 - CALCULO DA FORÇA (T_1) POR SEMELHANÇA DE TRIÂNGULOS



Fonte: CBIC (2017).

Assim, por semelhança de triângulos, comparando as deformações encontradas com as forças do sistema (FIGURA 37), encontra-se a força de tração (T_1) no cabo, com a equação 21.

$$\frac{f_3}{(L_1 + \Delta L)/2} = \frac{P/2}{T_1}$$

$$T_1 = \frac{P(L_1 + \Delta L)}{4 f_3} \quad (21)$$

Onde:

L_1 – Comprimento total do cabo com uma flecha de montagem determinada.

f_3 – Flecha considerando o comprimento $L_1 + \Delta L$ formando um triângulo.

ΔL – Alongamento do cabo submetido a uma força T .

P – Carga dinâmica atuando na retenção da queda (máximo 600 kgf).

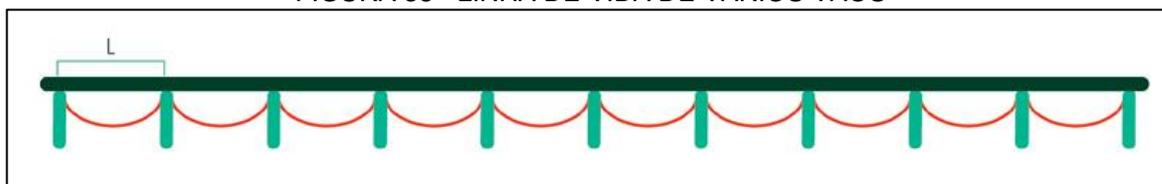
T_1 – Força de tração no cabo.

Compara-se a força de tração de T_1 encontrada nos cálculos com a T adotada inicialmente. Se forem diferentes, adota-se o valor da força de tração calculada T_1 . Esse valor é utilizado para entrada no início do processo de cálculo iterativo (equação 18) com essa nova força adotada e assim sucessivamente, até que o valor de força adotada T seja igual à força calculada T_1 , aí teremos o ponto de trabalho do sistema.

3.3.3 Linhas de vida de vários vãos

Em locais onde existe a possibilidade de ancoragens intermediárias, é preferível a instalação da linha de vida dividida em vários vãos (FIGURA 38), sendo que os pontos de ancoragem ficam localizados no primeiro e no último vão. Assim, estes pontos sofrerão as forças horizontais em uma queda e os vãos intermediários, que deverão ter olhais para a passagem do cabo, sofrerão as forças verticais (CBIC, 2017).

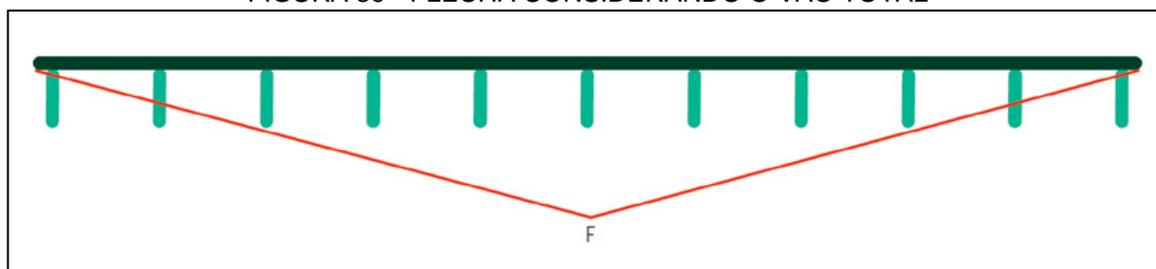
FIGURA 38 - LINHA DE VIDA DE VÁRIOS VÃOS



Fonte: CBIC (2017).

Para o cálculo da linha de vida de vários vãos utiliza-se o cálculo para as forças nas ancoragens, como se fosse somente um único vão, conforme FIGURA 39.

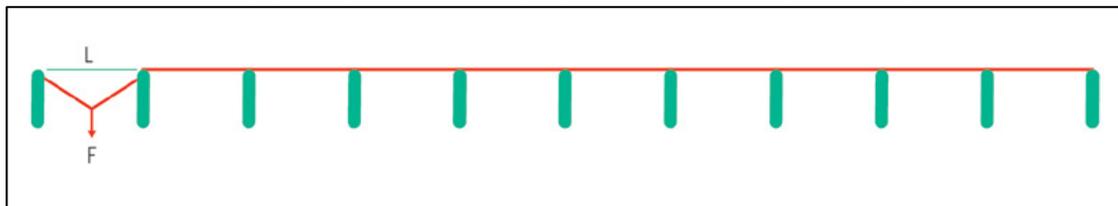
FIGURA 39 - FLECHA CONSIDERANDO O VÃO TOTAL



Fonte: CBIC (2017).

O resultado da força nas ancoragens pode ter uma boa aproximação, mas as flechas calculadas não poderão ser utilizadas.

FIGURA 40 - FLECHA CONSIDERADA PARA CADA VÃO



Fonte: CBIC (2017).

Segundo CBIC (2017), as flechas devem ser calculadas considerando o aumento total do cabo de aço pela força, somadas aos comprimentos deixados pela flecha de montagem, considerando somente um vão. Depois, soma-se o comprimento adicional do cabo durante a queda, em um vão, e se multiplica pelo número de vãos, conforme equação 22.

$$f3 = \sqrt{\left(\frac{L1+(n \cdot \Delta L)}{2}\right)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (22)$$

Onde:

n – número de vãos.

3.3.4 Fator de Segurança no cabo

Quanto ao fator de segurança do cabo, foi adotado o valor aparado legalmente na NR 18 (BRASIL, 2020):

Os cabos de aço devem ter carga de ruptura equivalente a, no mínimo, 5 (cinco) vezes a carga máxima de trabalho a que estiverem sujeitos e resistência à tração de seus fios de, no mínimo, 160 kgf/mm² (cento e sessenta quilogramas-força por milímetro quadrado).

Este valor também vai de encontro do estabelecido segundo CIMAF (2012), que apresenta que o fator de segurança (*FS*) é a relação entre a carga de ruptura mínima (*CRM*) do cabo e a carga de trabalho (*CT*), de acordo com a equação (23).

$$FS = \frac{CRM}{CT} \quad (23)$$

E especifica na TABELA 6 as devidas aplicações e fatores de segurança (*FS*) recomendados.

TABELA 6 - FATOR DE SEGURANÇA RECOMENDADO PARA DIVERSAS APLICAÇÕES

Aplicações	Fatores de Segurança
Cabos e cordoalhas estáticas	3 a 4
Cabo para tração no sentido horizontal	4 a 5
Guinchos, guindastes, escavadeiras	5
Pontes rolantes	6 a 8
Talhas elétricas	7
Guindaste estacionário	6 a 8
Lingas	5
Elevadores de obra	8 a 10
Elevadores de passageiros	12

Fonte: CIMAF (2012).

E em relação ao coeficiente de utilização do cabo foram adotado valores inferiores ao valor do limite elástico do cabo que, segundo o CIMAF (2012), é de aproximadamente 55% a 60% da carga de ruptura mínima do mesmo.

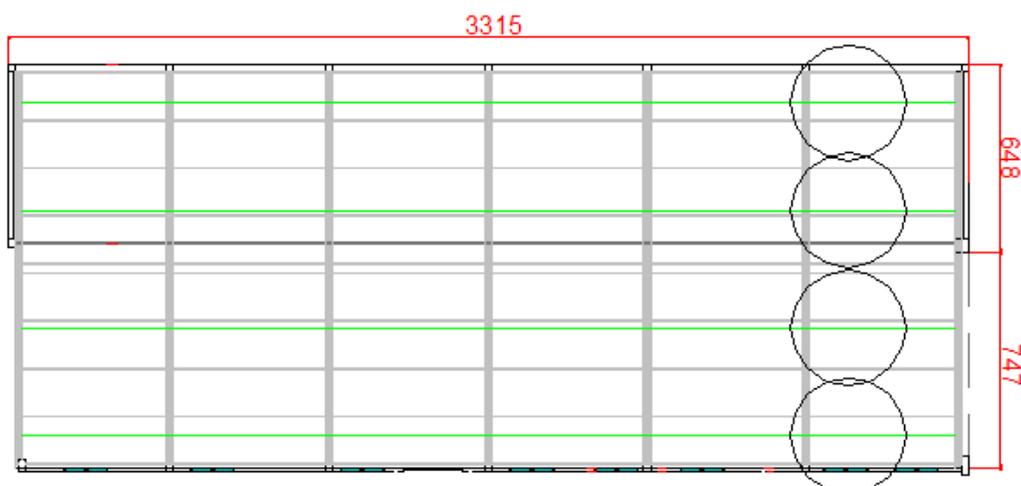
3.3.5 Aplicação da análise no estudo de caso

O local, o qual possuiu estrutura pré-moldada na cobertura, possui 7 linhas de pilares e vigas de sustentação. Assim, foi estabelecido que os apoios intermediários da linha de vida horizontal seriam em cada uma das vigas da estrutura.

Vale ressaltar que deveria ser verificado concomitantemente ao presente estudo uma análise da sobrecarga causada peso sistema de segurança nas vigas da edificação e que esta não ultrapasse o estado limite do projeto estrutural original da edificação. Tal verificação não foi realizada devido a não ser objeto do escopo do estudo, apesar de ter relação direta com o mesmo.

De forma a atender todo o perímetro do local por um trabalhador utilizando um talabarte de comprimento de 2 metros, verificou-se a necessidade de quatro linhas de vida em paralelo para que em nenhum momento o executante do serviço em altura precise se desvencilhar de sua segurança, ou seja, deixando sempre a possibilidade de retirar a ancoragem de uma linha de vida desde que já esteja ancorado previamente em outra.

FIGURA 41 - LAYOUT DA LINHA DE VIDA



Fonte: O Autor (2023).

Definido como a quantidade de linhas de vida necessárias, o manual da CBIC (2017), apresenta os passos para a efetivação de um projeto de linha de vida, sendo:

1. Estudo do local de instalação da linha de vida e cálculo da zona livre de queda (ZLQ). O sistema deve ser projetado de maneira a minimizar a distância de queda livre: quanto menos energia o corpo adquire, menor a carga dinâmica no corpo.
2. Cálculo da linha de vida, com reação nas ancoragens; especificações do cabo de aço e demais elementos.
3. Cálculo dos pontos de ancoragem da linha de vida, seja ancoragem de borda ou ancoragens intermediárias, com locação deles em desenho estrutural do prédio;
4. Cálculo ou teste do substrato onde serão instalados os suportes de ancoragem.

Desta forma, ao caso em específico, são calculadas a Zona Livre de Queda (ZLQ), as forças atuantes na linha de vida e a força resistente necessária, tendo em vista os valores e diâmetros comerciais dos cabos de aço.

3.3.5.1 Cálculo da Linha de Vida

Para o cálculo da linha de vida de múltiplos vãos, uma simplificação admissível, é utilizar análises para a tensão no cabo de aço considerando como se fosse um único vão. Assim foram encontrados valores para a força no cabo de aço e encontrado o melhor diâmetro comercial disponível, afim de atender o fator de segurança 5, conforme TABELA 7.

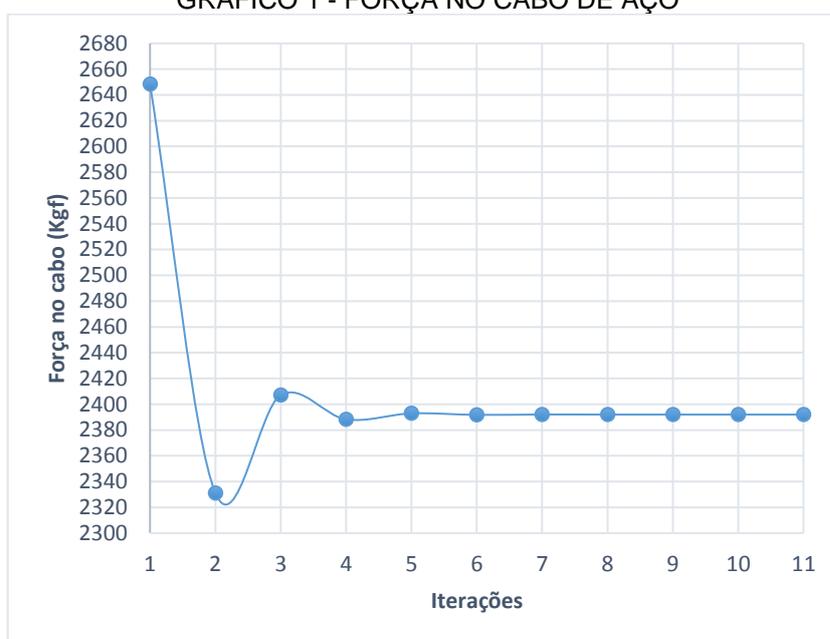
TABELA 7 - CÁLCULO DA LINHA DE VIDA

Iterações		1	2	3	4	5	6	7
Dados de entrada								
Peso do Corpo (m)	kg	100	100	100	100	100	100	100
Vão (L)	m	33.15	33.15	33.15	33.15	33.15	33.15	33.15
Diâmetro do Cabo (d)	mm	16	16	16	16	16	16	16
Força de ruptura do cabo (fu)	kgf	16800	16800	16800	16800	16800	16800	16800
Número de pessoas (n)	n	1	1	1	1	1	1	1
Comprimento do talabarte (a)	m	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Comprimento abs. estendido (c)	m	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Uso de trava-quedas retrátil (A1)	m	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Espaço de frenagem trava-quedas retrátil (B1)	m	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Distância posição recolhida a posição de trabalho (b1)	m	1	1	1	1	1	1	1
FORÇA CABO - ITERAÇÃO	kgf	1500	2648.370556	2331.148278	2407.131851	2388.249849	2392.900137	2391.752312
Cálculos								
FLECHA (%)		3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Comprimento do cabo e 3%	mm	33229.56	33229.56	33229.56	33229.56	33229.56	33229.56	33229.56
DI alongamento cabo (AL)	mm	49.29226661	87.02945836	76.60505495	79.10198999	78.48149887	78.63431437	78.5965951
Flecha inicial parabólica (f1)	mm	994.5	994.5	994.5	994.5	994.5	994.5	994.5
Flecha inicial cabo reto (f2)	mm	1149.038489	1149.038489	1149.038489	1149.038489	1149.038489	1149.038489	1149.038489
Flecha total carga dinâmica (f3)	mm	1462.831858	1663.778316	1610.755309	1623.611989	1620.426525	1621.211621	1621.017872
Distância de frenagem	mm	313.7933697	514.7398272	461.7168208	474.5735004	471.3880363	472.1731326	471.9793832
Carga corpo (P)	kgf	465.655581	465.655581	465.655581	465.655581	465.655581	465.655581	465.655581
Força no cabo (T1)	kgf	2648.370556	2331.148278	2407.131851	2388.249849	2392.900137	2391.752312	2392.035474
Força admissível (Fadm)	kgf	6720	6720	6720	6720	6720	6720	6720
Número de pessoas (n)	n	1	1	1	1	1	1	1
Hmin cabo/piso – talabarte (ZLQ1)	m	7.262831858	7.463778316	7.410755309	7.423611989	7.420426525	7.421211621	7.421017872

Hmin cabo/piso – trava-quedas (ZLQ 2)	m	5.162831858	5.363778316	5.310755309	5.323611989	5.320426525	5.321211621	5.321017872
Hmin do piso de trab. p/ trava-quedas (Hp)	m	469.2318583	670.1783158	617.1553094	630.011989	626.8265249	627.6116213	627.4178719
Coefficiente de utilização do cabo	%	39.4%	34.7%	35.8%	35.5%	35.6%	35.6%	35.6%
FATOR DE SERVIÇO DO CABO		5.074818541	5.765399022	5.583408318	5.62755191	5.616615499	5.619310967	5.618645772

Fonte: O Autor (2023).

GRÁFICO 1 - FORÇA NO CABO DE AÇO



Fonte: O Autor (2023).

GRÁFICO 2 - FATOR DE SERVIÇO DO CABO DE AÇO



Fonte: O Autor (2023).

Pode-se verificar através do GRÁFICO 1 e do GRÁFICO 2 que, a partir da quinta iteração, os valores tendem a convergir.

3.3.5.2 Cálculo do ZLQ

Para o cálculo do ZLQ é necessário realizar a correção da flecha dinâmica, apresentada pela equação 22. Esta é utilizada na formulação de Sulowski para o cálculo da força de impacto no corpo em uma queda e da zona livre de queda. Assim, temos a TABELA 8.

TABELA 8 - CÁLCULO DA FLECHA DINÂMICA E ZLQ
CÁLCULOS

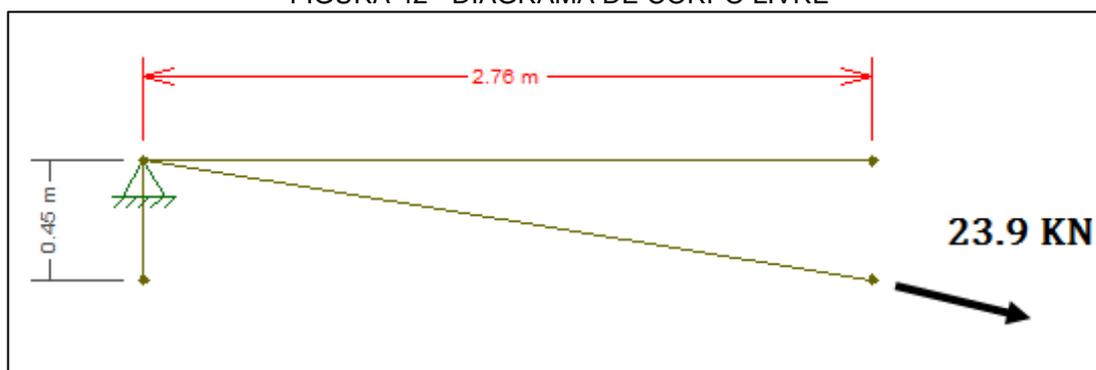
Flecha total carga dinâmica (f3)	mm	451.3437649
Força de Impacto	N	3847.180004
Força de Impacto	Kgf	392.1692155
Massa do Trabalhador (m)	Kg	100
Módulo de Corda (k)	N	40000
Distância de Queda Livre (H)	m	1.691506415
Comprimento do Talabarte (L)	m	1.5
Fator de Queda (f)	-	1.127670943
Fator de redução do Trava-quadras (a)	-	1
Fator de redução do Cinto de Segurança (b)	-	0.8
Fator de redução do ABS (s)	-	0.6
Fator de Conversão Corpo Rígido / Manequim (c)	-	1.6
ZLQ	m	5.951343765
Comprimento do ABS aberto (B)	m	1.5
Distancia do Elemento de Engate até o pé do trabalhador	m	1.5
Distância de Segurança	m	1

Fonte: O Autor (2023).

3.3.5.3 Reações de apoio nas ancoragens

Observamos que, a força de tensão do cabo pode ser decomposta em suas componentes F_x e F_y , a partir diagrama de corpo livre apresentado na FIGURA 42. Também foi encontrado que, o ângulo entre a projeção vertical e a linha de vida é de $\theta = 80,72^\circ$, e assim as componentes x e y , da força de tensão no cabo serão de $F_x = 3,784 \text{ KN}$ e $F_y = 23,158 \text{ KN}$.

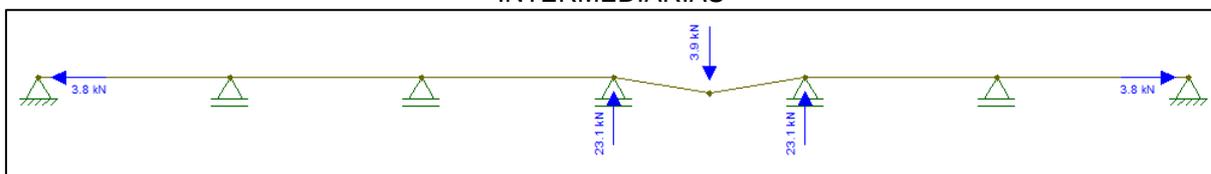
FIGURA 42 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE



Fonte: O Autor (2023).

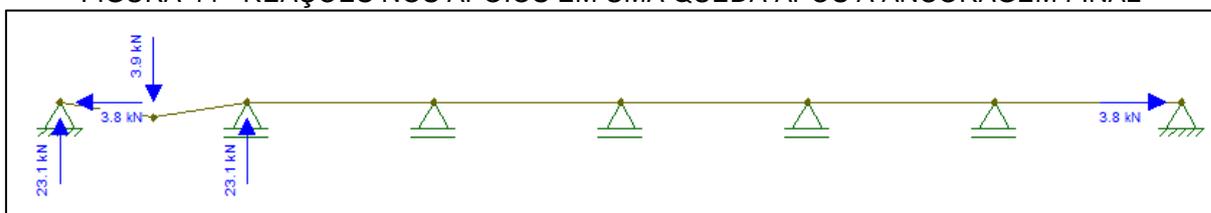
Nas ancoragens finais são previstas reações verticais e horizontais quando a queda do trabalhador acontecer próximo as mesmas, conforme FIGURA 43 e FIGURA 44. Entretanto, nas ancoragens intermediárias são previstas somente reações verticais, haja visto que o apoio do cabo de aço é um poste com um olhal, podendo ser modelado como um apoio do primeiro gênero, ou seja, que só possui restrição de movimento vertical.

FIGURA 43 – REAÇÕES NOS APOIOS EM UMA QUEDA ENTRE AS ANCORAGENS INTERMEDIÁRIAS



Fonte: O Autor (2023).

FIGURA 44 - REAÇÕES NOS APOIOS EM UMA QUEDA APÓS A ANCORAGEM FINAL



Fonte: O Autor (2023).

3.3.5.4 Especificações para o teste no substrato

Nos casos de fixação em concreto, deve-se realizar sempre o teste de arranque para garantir a confiabilidade da ancoragem, utilizando um macaco hidráulico ou dinamômetro conforme FIGURA 45.

FIGURA 45 - DINAMÔMETRO PARA TESTE DE ARRANCAMENTO DE ANCORAGEM



Fonte: GRUPO RANGER SMS (2022).

Para garantir um chumbamento químico satisfatório, é necessário garantir: a compatibilidade do substrato/adetivo químico com o concreto e os respectivos dimensionamentos, como profundidade do furo e a haste metálica utilizada. A NR 18, traz um entendimento para especificar a força aplicada no dinamômetro para o teste de arrancamento:

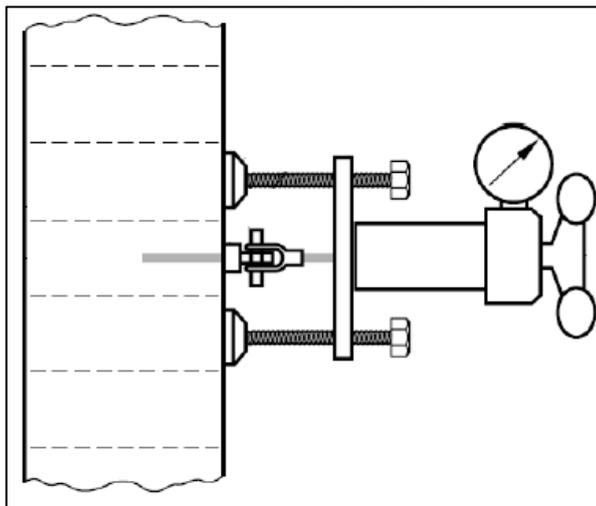
18.12.12.2 Os dispositivos de ancoragem devem:

b) suportar uma carga de trabalho de, no mínimo, 1.500 kgf (mil e quinhentos quilogramas-força) (BRASIL, 2020).

Também o manual de auxílio de interpretação da NR35 (BRASIL, 2018) aborda que um procedimento alternativo de ensaio para verificação da resistência é preconizado na BS 7.883. O ensaio é feito pós-instalação de todos os pontos de ancoragem com aplicação de uma carga de ensaio adequada em função das características do chumbador e da base onde está instalado.

Após a instalação de cada dispositivo de ancoragem o mesmo deve ser submetido a um teste de força de 6 kN [...] a fim de testar a resistência do conjunto de argamassa bem como a ancoragem estrutural, [...] o conjunto completo deve manter a integridade por um período mínimo de 15 segundos, sem falha ou deformação ou quaisquer sinais de fissuras (BS EN 7.883, 2019)

FIGURA 46 - MANÔMETRO EM TESTE DE ARRANCAMENTO



Fonte: BS 7883 (2019).

3.4 ESPECIFICAÇÃO E ORÇAMENTO

O presente trabalho é um estudo sobre a utilização dos equipamentos de segurança para trabalho em altura e como os mesmos devem ser instalados e utilizados. Portanto, faz-se relevante também que se detalhe e quantifique os materiais e custos envolvidos no estudo de caso analisado.

3.4.1 Componentes acessórios

A linha de vida é composta por um cabo de aço, sapatilhos e grampos para confecção dos olhais nas extremidades, um esticador, olhais de ancoragem e manilhas para as conexões, conforme FIGURA 47.

FIGURA 47 - COMPONENTES DE UMA LINHA DE VIDA HORIZONTAL



Fonte: CBIC (2017).

Considerando uma linha de vida temos que considerar inicialmente o comprimento total da linha entre as ancoragens com o acréscimo de 3% (CBIC, 2017), ou seja, 33,15 metros do cabo 6 X 19 + AF.

TABELA 9 - CARGA DE RUPTURA DOS CABOS DE AÇO

DIÂMETRO		CARGA DE RUPTURA MÍNIMA TF					
mm	Pol.	Massa Aprox. em Kg/m	AF		Massa Aprox. Kg/m	AA	
			1770 N/mm ² IPS	1960 N/mm ² EIPS		1770 N/mm ² IPS	1960 N/mm ² EIPS
3.2	1/8	0.03	0.61	0.68	0.03	0.66	0.73
5	3/16	0.08	1.49	1.65	0.06	1.61	1.78
6	1/4	0.13	2.14	2.37	0.14	2.31	2.56
8	5/16	0.23	3.81	4.22	0.25	4.11	4.55
10	3/8	0.35	5.96	6.60	0.40	6.43	7.12
11	7/16	0.43	7.21	7.98	0.48	7.77	8.61
13	1/2	0.60	10.07	11.15	0.67	10.80	12.02
14.5	9/16	0.77	12.52	13.87	0.85	12.64	14.06
16	5/8	0.91	15.25	16.88	1.02	16.45	18.21
19	3/4	1.30	21.50	23.81	1.44	23.20	25.69
22	7/8	1.74	28.83	31.92	1.94	31.10	34.44
26	1	2.43	40.26	44.59	2.70	43.44	48.10
28	1.1/8	2.81	46.70	51.71	3.14	50.37	55.78
32	1.1/4	3.68	60.99	67.54	4.10	65.80	72.86
35	1.3/8	4.40	72.96	80.79	4.90	78.71	87.16
38	1.1/2	5.18	86.01	95.24	5.78	92.78	102.74
42	1.5/8	6.95	105.07	116.34	7.74	113.34	125.51
45	1.3/4	7.27	120.61	133.56	8.10	130.11	143.70
48	1.7/8	8.27	137.23	151.96	9.22	148.04	164.00
52	2	9.71	161.05	178.34	10.80	173.74	192.39
56	2.1/4	11.30	186.78	206.83	12.50	201.50	223.13
60	2.3/8	12.90	214.42	237.44	14.40	231.31	256.14
64 a 118	Consulte opções disponíveis						

Fonte: CABOPEC (2019).

A partir deste valor é necessário prever um adicional nas ancoragens. Para isto, utiliza-se o diâmetro encontrado do cabo, ou seja, 16 mm ou 5/8", e dimensiona-se os grampos nas mesmas, conforme ABNT NBR 11900-4 (2016).

FIGURA 48 - GRAMPO PESADO



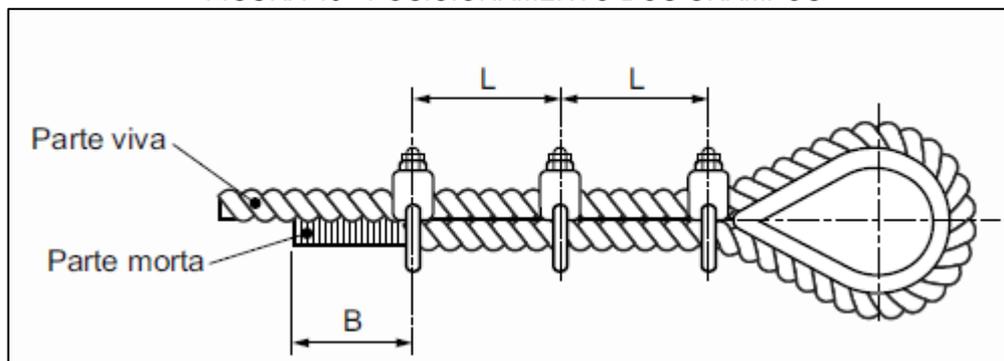
Fonte: CABOPEC (2019).

TABELA 10 - TAMANHO DO GRAMPO E COMPRIMENTO DO CABO PARA CONFECCIONAR O OLHAL

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
5/8	16	129	305	3
3/4	18 – 20	176	460	4
7/8	22	305	480	4
1	24 – 25	305	660	5
1.1/8	28 – 30	305	860	6
1.1/4	32 – 34	488	1 120	7
1.3/8	36	488	1 120	7
1.1/2	38 – 40	488	1 370	8
1.5/8	41 – 42	583	1 470	8
1.3/4	44 – 46	800	1 550	8
2	48 – 52	1 017	1 800	8
2.1/4	56 – 58	1 017	1 850	8
2.1/2	62 – 65	1 017	2 130	9
2.3/4	68 – 72	1 017	2 540	10
3	75 – 78	1 627	2 690	10
3.1/2	89 – 90	1 627	3 780	12

Fonte: ABNT NBR 11900-4 (2016).

FIGURA 49 - POSICIONAMENTO DOS GRAMPOS



Fonte: ABNT NBR 11900-4 (2016).

A maneira correta de posicionar os grampos (FIGURA 49) e seus espaçamentos são determinados de acordo com a ABNT NBR 11900-4 (2016):

O primeiro grampo tipo U leve deve ser fixado próximo à extremidade da parte morta do cabo de aço, mantendo-se uma distância mínima igual à largura do corpo do grampo. A distância L entre os grampos tipo U deve ser de aproximadamente seis vezes o diâmetro nominal do cabo de aço.

Por fim, pode-se concluir que o comprimento final do cabo de aço para a linha de vida será de $33,15m + 0,305m + 0,305m = 33,76$ metros.

Para os esticadores, por razão de segurança e manutenção serão utilizados os esticadores de alta capacidade do tipo M x M (FIGURA 50) e dimensionado afim de garantir o fator de segurança de no mínimo 5, no sistema.

FIGURA 50 - ESTICADOR TIPO M X M



Fonte: CABOPEC (2019).

Desta forma, afim de atender o $FS = 5$, a carga de trabalho (kgf) do esticador deve ser de no mínimo $5979,9$ kgf , por fim podem ser encontradas utilizando um catálogo (como o catálogo mostrado na TABELA 11) as dimensões mínimas.

TABELA 11 - DIMENSÕES DOS ESTICADORES E SUA CARGA DE TRABALHO

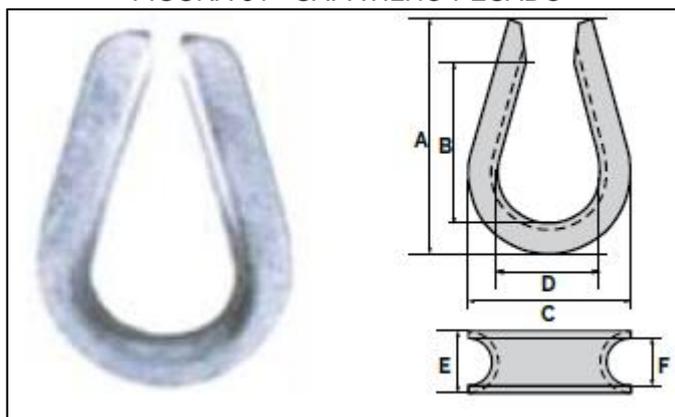
Ref.	Rosca	Corpo	Abertura		Carga de Trabalho (kgf)					
	pol.	pol.	mm	mm	GxG	GxO	OxM	OxO	GxM	MxM
06-102	1/4	4	307	206	181	181	226	226	181	226
08-114	5/16	4,5	343	241	317	317	362	362	317	362
10-152	3/8	6	419	267	453	453	544	544	453	544
13-152	1/2	6	452	300	680	680	997	997	680	997
13-229	1/2	9	605	376	680	680	997	997	680	997
13-305	1/2	12	757	452	680	680	997	997	680	997
16-152	5/8	6	488	335	1.020	1.020	1.587	1.587	1.020	1.587
16-229	5/8	9	640	411	1.020	1.020	1.587	1.587	1.020	1.587
16-305	5/8	12	792	488	1.020	1.020	1.587	1.587	1.020	1.587
19-152	3/4	6	528	376	1.360	1.360	2.358	2.358	1.360	2.358
19-229	3/4	9	681	452	1.360	1.360	2.358	2.358	1.360	2.358
19-305	3/4	12	833	528	1.360	1.360	2.358	2.358	1.360	2.358
19-457	3/4	18	1.138	681	1.360	1.360	2.358	2.358	1.360	2.358
22-305	7/8	12	869	564	1.814	1.814	3.265	3.265	1.814	3.265
22-457	7/8	18	1.173	716	1.814	1.814	3.265	3.265	1.814	3.265
25-152	1	6	599	447	2.267	2.267	4.535	4.535	2.267	4.535
25-305	1	12	904	599	2.267	2.267	4.535	4.535	2.267	4.535
25-457	1	18	1.209	752	2.267	2.267	4.535	4.535	2.267	4.535
25-610	1	24	1.514	904	2.267	2.267	4.535	4.535	2.267	4.535
32-305	1 1/4	12	963	658	2.948	2.948	6.894	6.894	2.948	6.894
32-457	1 1/4	18	1.270	813	2.948	2.948	6.894	6.894	2.948	6.894
38-305	1 1/2	12	1.041	737	3.401	3.401	9.706	9.706	3.401	9.706
38-457	1 1/2	18	1.346	889	3.401	3.401	9.706	9.706	3.401	9.706
38-610	1 1/2	24	1.651	1.041	3.401	3.401	9.706	9.706	3.401	9.706
44-457	1 3/4	18	1.504	1.046	-	-	-	-	-	12.700
44-610	1 3/4	24	1.808	1.199	-	-	-	-	-	12.700
51-610	2	24	1.948	1.339	-	-	-	-	-	16.782
64-610	2 1/2	24	2.088	1.478	-	-	-	-	-	27.215

*Para cotas precisas e outros tamanhos consulte nosso departamento técnico.
Disponibilizamos esticadores sob consulta conforme ABNT NBR 8029:2013.

Fonte: CABOPEC (2019).

Os sapatilhos pesados devem acompanhar o dimensionamento do cabo de aço conforme FIGURA 51 e TABELA 12.

FIGURA 51 - SAPATILHO PESADO



Fonte: CABOPEC (2019).

TABELA 12 - DIMENSÕES DOS SAPATILHOS

Ø Nominal Cabo (Pol.)	Dimensões (mm) aproximadas						Peso por Peça (kg)
	A	B	C	D	E	F	
5/16"	65	48	45	26	13	9	0,050
3/8"	73	55	52	28	18	13	0,100
1/2"	91	68	66	36	24	15	0,200
5/8"	109	83	79	45	26	18	0,310
3/4"	129	93	97	54	32	23	0,550
7/8"	139	107	103	51	34	25	0,680
1"	156	113	123	66	38	28	1,050
1 1/8"	183	132	143	74	47	37	1,570
1 1/4"	228	162	170	91	59	40	3,480
1 1/2"	233	163	181	95	65	44	5,870
1 3/4"	302	255	212	117	73	51	6,870
2"	381	298	246	149	81	59	9,150
2 1/4" e acima	Consulte opções disponíveis						

Fonte: CABOPEC (2019).

As manilhas para as conexões devem atender o fator de segurança já estabelecido e dimensionada conforme TABELA 13.

TABELA 13 - MANILHA GREEN PIN STANDARD / VAN BEEST

Carga max. de trabalho	Ø corpo	Ø pino	Ø othal	Largura Othal	Largura Interna	Altura Interna	Ø Curva	Compri- mento	Largura Curva	Espess. Porca	Peso Unitário
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	
Tons	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
0,33	5	6	12,5	5	9,5	22	16	41	28	-	0,02
0,5	7	8	17	7	12	29	20	54	37	4	0,06
0,75	9	10	21	9	13,5	32	22	61	42	5	0,11
1	10	11	23	10	17	36,5	26	71	49	8	0,16
1,5	11	13	26	11	19	43	29	80	54	11	0,22
2	13,5	16	34	13,5	22	51	32	91	63	13	0,42
3,25	16	19	40	16	27	64	43	114	79	17	0,74
4,75	19	22	47	19	31	76	51	136	94	20	1,18
6,5	22	25	53	22	36	83	58	157	107	23	1,77
8,5	25	28	60	25	43	95	68	176	124	25	2,58
9,5	28	32	67	28	47	108	75	197	137	28	3,66
12	32	35	74	32	51	115	83	218	154	31	4,91
13,5	35	38	80	35	57	133	92	240	170	34	6,54
17	38	42	89	38	60	146	99	262	183	39	8,19
25	45	50	104	45	74	178	126	314	226	24	14,22
35	50	57	119	50	83	197	138	358	250	27	19,85
42,5	57	65	134	57	95	222	160	414	287	30	28,33
55	65	70	145	65	105	260	180	463	329	33	39,59
85(*)	75	83	163	75	127	329	190	556	355	40	62

Fonte: CABOPEC (2019).

Por fim, os olhais de conexão com o substrato, ou seja os dispositivos de ancoragem tipo A1 e a ancoragem estrutural, barra roscada com para fixação química, devem ser de material resistente a intempéries e possuir marcação do fabricante e destinado a atividade que se refere (ABNT NBR 16325-1, 2014).

Com tudo que foi exposto, optou-se por um dispositivo de ancoragem já homologado para trabalho em altura e uma ancoragem estrutural para o mesmo fim, sendo escolhido a marca Bonnier, para tal.

FIGURA 52 - DISPOSITIVO DE ANCORAGEM A1 E ANCORAGEM ESTRUTURAL



Fonte: BONNIER (2023).

Para as ancoragens intermediárias deve ser previsto um poste de ancoragem (FIGURA 53) com olhal para a passagem do cabo de aço. Esta ancoragem tem o objetivo de evitar o contato do cabo de aço com a parte estrutural da edificação em caso de uma queda do trabalhador e receber os esforços verticais, não impedindo o movimento horizontal do cabo de aço.

FIGURA 53 - POSTE DE ANCORAGEM



Fonte: PROJAN (2023).

3.4.2 Quantitativo

Desta forma, pode ser apresentado um quantitativo dos materiais necessários para a execução das linhas de vida no referido local, que segue na TABELA 14.

TABELA 14 - QUANTITATIVO DE MATERIAIS

Equipamento	Especificação	1 Linha de Vida		N° de Linhas	Total do Projeto	
		Quantidade	Unidade		Total	Unidade
Cabo de Aço 16 mm	6 X 19 AF	33.76	m	4	135.04	m
Grampo	5/8"	3	un		12	un
Esticador M x M	6.894 Kgf	1	un		4	un
Sapatilho Pesado	5/8"	2	un		8	un
Manilha Van Beest	6.5 tons	2	un		8	un
Dispositivo de Ancoragem A1	Bornier	2	un		8	un
Ancoragem Estrutural	Bornier	2	un		8	un
Poste de Ancoragem	Projan	5	un		20	un

Fonte: O Autor (2023).

3.4.3 Orçamento

Durante a realização deste trabalho, foram feitos alguns contatos com empresas que fornecem os componentes da linha de vida, para que os mesmos fornecessem um orçamento dos materiais para a instalação da mesma.

Os valores dos materiais foram expressos e apresentados na TABELA 15.

TABELA 15 - ORÇAMENTO DO PROJETO DA LINHA DE VIDA

Equipamento	Especificação	Total do Projeto		Valores	
		Total	Unidade	Unitário	Total
Cabo de Aço 16 mm	6 X 19 AF	135.04	m	R\$ 37.41	R\$ 5,051.85
Grampo	5/8"	12	un	R\$ 25.28	R\$ 303.36
Esticador M x M	6.894 Kgf	4	un	R\$ 784.08	R\$ 3,136.32
Sapatilho Pesado	5/8"	8	un	R\$ 12.96	R\$ 103.68
Manilha Van Beest	6.5 tons	8	un	R\$ 270.77	R\$ 2,166.16
Dispositivo de Ancoragem A1	Bornier	8	un	R\$ 83.00	R\$ 664.00
Ancoragem Estrutural	Bornier	8	un	R\$ 34.00	R\$ 272.00
Poste de Ancoragem	Projan	20	un	R\$ 509.11	R\$ 10,182.20
				TOTAL	R\$ 21,879.57

Fonte: O Autor (2023).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho obteve sucesso em sua proposta, no que tange a apresentar um problema grave que acomete muitos trabalhadores da construção civil. Dentre os riscos físicos presentes no canteiro de obras, o mais eminente e com um grande potencial de causar ferimentos graves, e até mesmo óbito, é o risco de queda de altura dos trabalhadores.

Foram apresentadas assim várias normativas que tratam do risco de queda de altura e as medidas de controle necessárias para eliminar ou minimizar este risco. Dentre as possibilidades apresentadas uma delas refere-se à utilização de ancoragem do Tipo C, linha de vida horizontal flexível permanente, composta por um cabo de aço e acessórios, além da utilização do cinto tipo paraquedista e do elemento de ligação, talabarte de segurança.

Por fim, foram apresentadas as forças atuantes durante uma queda do trabalhador na linha de vida, dimensionado o cabo utilizado e os acessórios do sistema. O cálculo apresentado para o dimensionamento do cabo de aço da linha de vida foi feito de forma iterativa, pois a esta estrutura não apresenta linearidade geométrica, ou seja, as deformações na estrutura não podem ser desprezadas. Assim, foram calculadas as forças de tração no cabo a partir de uma força de tração arbitrária. Esta força de tração gera um deslocamento, no qual pode ser calculada a nova força de tração a partir da posição deformada da estrutura. Deste cálculo iterativo, pôde ser

percebido que os valores para a força no cabo tendem a convergir, não tendo variação relevante a partir da 5ª iteração.

O orçamento da linha de vida, de acordo com o quantitativo de materiais, foi de R\$ 21,879.57, não incluídos os custos de instalação.

Como sugestão para trabalhos posteriores tem-se a abordagem dos testes de aderência ao substrato e a relação com a carga aplicada ao mesmo. Outra possibilidade é o estudo da relação da resistência do concreto a compressão com a carga máxima de arrancamento de chumbadores químicos e mecânicos do mercado, haja vista que ensaios destrutivos não podem ser empregados na instalação das linhas de vida e necessita-se de arcabouço teórico e prático afim de determinar a resistência da aderência da ancoragem ao substrato através de aproximações determinadas previamente de forma empírica.

REFERÊNCIAS

ALTISEG. Seleção e utilização de EPI para trabalho em altura. 2ª edição. Curitiba, 2011.

ABNT – NBR 15837. Equipamento de proteção individual contra queda de altura - Conectores. Rio de Janeiro. 2010.

ABNT – NBR 16489. Sistemas e equipamentos de proteção individual para trabalhos em altura — Recomendações e orientações para seleção, uso e manutenção. Rio de Janeiro. 2017.

ABNT – NBR 15836. Equipamento de proteção individual contra queda de altura — Cinturão de segurança tipo para-quedista. Rio de Janeiro. 2010.

ABNT – NBR 11900-4. Terminal para cabo de aço - Parte 4: Grampos leve e pesado. Rio de Janeiro. 2016.

ABNT – NBR 16325-1. Proteção contra quedas de altura - Parte 1: Dispositivos de ancoragem tipos A, B e D. Rio de Janeiro. 2014.

ABNT – NBR 16325-2. Proteção contra quedas de altura - Parte 2: Dispositivos de ancoragem tipo C. Rio de Janeiro. 2014.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R.; MAZUREK, D. F.; EISENBERG, E. R. Mecânica Vetorial para Engenheiros – Estática. 9 ed. Porto Alegre. 2012.

BONIER. Disponível em: <https://bonier.com.br/>. Acesso em: 03 fev. 2023.

BRASIL. Saúde e segurança no trabalho no Brasil: aspectos institucionais, sistemas de informação e indicadores. Instituto de pesquisa econômica aplicada. Brasília. 2011.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego, Secretaria de Inspeção do Trabalho (SIT). Trabalho em Altura – NR 35. Diário Oficial da República Federativa do Brasil – Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego, Secretaria de Inspeção do Trabalho (SIT). Manual de auxílio na interpretação e aplicação da Norma Regulamentadora n.º 35 - Trabalho em Altura. Diário Oficial da República Federativa do Brasil – Brasília, 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, 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 06 – Equipamento de Proteção Individual – EPI. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022.

BS (British Standards). BS 7883:2019 Personal fall protection equipment. Anchor systems. System design, installation and inspection. Code of practice

CABOPEC. Catálogo Técnico. 4º Edição. Curitiba, 2019.

CBIC. Guia Prático para Cálculo de Linha de Vida e Restrição para a Indústria da Construção. Brasília, 2017.

CIMAF. Manual Técnico de Cabos. Osasco, São Paulo. 2012.

COELHO, J. O. R. Avaliação e prevenção de acidentes no trabalho em altura na construção civil. Trabalho de conclusão de curso. UFSM, Santa Maria. Rio Grande do Sul. 2015.

DEBARBA, Lúcio. Sistemas de Proteção Contra Queda de Altura na Construção Civil. 2002. 42 f. Monografia (Curso de Pós Graduação em Engenharia de Segurança do trabalho) - Universidade Franciscana, Santa Maria, 2012.

FREITAS, L. M. Análise numérico experimental da força decorrente da queda de um operário em um sistema com linha de vida horizontal flexível e talabarte com

absorvedor de energia. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2019.

GRUPO RANGER SMS. Disponível em: <https://www.rangersms.com.br/>. Acesso em: 28 nov. 2022.

LONARÁPIDA. Disponível em: <https://lonarapida.lojaintegrada.com.br/>. Acesso em: 02 jan. 2023.

PROJAN. Disponível em: <https://projan.com.br/>. Acesso em: 03 fev. 2023.

ROJAS, Pablo. Técnico em segurança do trabalho. Porto Alegre: Bookman, 2015.

SPINELLI, L. Os Cem Quilos. São Paulo, Brasil. 2016.

VICSA. Disponível em: <https://www.vicsa.com.br/projeto-de-linha-de-vida-para-trabalho-em-telhado/>. Acesso em: 03 dez. 2022.