



**Guia de Projeto de
Sistemas de
Ancoragem baseado
em dispositivo do tipo
Linha de Vida
Horizontal Flexível**





**Guia de Projeto de
Sistemas de
Ancoragem baseado
em dispositivo do tipo
Linha de Vida
Horizontal Flexível**

CBIC



FICHA TÉCNICA

Realização	Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) Renato de Sousa Correia Presidente
Coordenação	Ricardo Dias Michelin Vice-Presidente de Política de Relações Trabalhistas (CPRT/CBIC)
Equipe Técnica	Danielle Guimarães Gerente de Projetos da CBIC Gabriela Serafim Gestora de Projetos da Comissão de Política de Relações Trabalhistas (CPRT/CBIC)
Apoio Especial	Denise Noletto Gerente Executiva do Serviço Social da Construção Civil (Seconci-Brasil) Equipe de Profissionais de SST do Seconci-Brasil Andreia Kaucher Darmstadter Engenheira de Segurança, Supervisora do Dep. de Segurança do Trabalho do Seconci-MG Juliana Moreira de Oliveira Gerente de Segurança do Trabalho no Seconci-DF Equipe de Profissionais de SST do SESI-DN
Conteúdos	O conteúdo deste Guia foi desenvolvido pelo especialista em Me. Eng. Mecânica especialista em sistemas e desenvolvimento de produto de proteção contra queda e análise experimental, Gustavo Carnevali.
Edição	EVO MARKETING Diagramação (Março 2025)

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC)

SBN - Quadra 1 - Bloco I - Ed. Armando Monteiro Neto - 3º e 4º andar

CEP: 70040-913 - Brasília-DF

Fone: (55) 61 - 3327-1013

e-mail: cprt@cbic.org.br | www.cbic.org.br

REDES SOCIAIS



facebook.com/cbicbrasil



instagram.com/cbic.brasil/



<https://twitter.com/cbicbrasil>



<https://www.youtube.com/user/cbicvideos>

Correalização:



Realização:



Representação, articulação e produção de conhecimento para a indústria da construção

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) foi fundada em 1957, no estado do Rio de Janeiro. Atualmente sediada em Brasília (DF) e com 67 anos de atuação, a CBIC reúne 98 sindicatos e associações patronais do setor da construção, presentes nas 27 unidades da Federação. Representante institucional do setor, a CBIC promove a integração da cadeia produtiva da construção, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país.

Dirigida por um Conselho de Administração eleito pelos associados, a CBIC atua por meio de suas comissões técnicas: Comissão de Infraestrutura (COINFRA); Comissão de Obras Industriais e Corporativas (COIC); Comissão da Indústria Imobiliária (CII); Comissão de Habitação de Interesse Social (CHIS); Comissão de Política de Relações Trabalhistas (CPRT); Comissão de Materiais, Tecnologia, Qualidade e Produtividade (COMAT); Comissão do Meio Ambiente (CMA); Comissão de Responsabilidade Social (CRS); e o Conselho Jurídico (CONJUR). A CBIC conta, ainda, com a Inteligência Estratégica, responsável por reunir e analisar os números e dados do setor, como geração de emprego, desempenho econômico, entre outros.

A entidade produz conhecimento qualificado, visando a disseminação dessa inteligência setorial e das boas práticas na atividade, com transparência e ética, voltada para a sustentabilidade. Por intermédio de suas comissões técnicas, a CBIC realiza projetos, estudos e eventos diversos destinados ao debate, formulação e disseminação de soluções novas e as melhores práticas, com foco na modernização continuada do setor.

A entidade ainda atua como porta-voz legítima no encaminhamento de temas e propostas junto aos Poderes Executivo, Legislativo e Judiciário federais; agentes financiadores; entidades diversas e a academia. E tem como característica marcante acompanhar a agenda nacional, posicionando a indústria da construção nos debates de interesse do Brasil, contribuindo com propostas para a solução de demandas e problemas, tendo como interesse maior o desenvolvimento do país e da sua população.

A CBIC também representa internacionalmente a indústria da construção. A entidade integra a Federação Interamericana da Indústria da Construção (FIIC), a Confederação Internacional das Associações de Construção (CICA) e a International Housing Association (IHA).

A CBIC representa
96
entidades associadas



O que corresponde a mais de
131
mil
empresas atendidas



2,6
milhões
de trabalhadores com carteira assinada



A construção impacta outros
97
setores da indústria e serviços



3,2
%
de participação no PIB Brasil em 2022



17
%
de crescimento no biênio

SOBRE O AUTOR

- Mestre em engenharia mecânica com ênfase em materiais e processo e Bioengenharia pelo Centro Universitário da FEI.
- Técnico de segurança do trabalho e acesso por corda N2
- Membro voluntário do Comitê Brasileiro 32 - Comissão de Estudo 004 - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT
- Coordenado no Comitê Brasileiro 32 da comissão CE004.005 – Implantação de Sistemas de Proteção contra Quedas - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT
- Coordenador do Comitê Técnico de Estudos Normativos – CTEN Altura – Associação Nacional da Indústria de Material de Segurança e Proteção ao Trabalho - ANIMASEG.
- Possui 25 anos de experiência em atividades em altura



Eng. Gustavo Carnevali Mendes
Engenheiro Mecânico

SUMÁRIO

Introdução	10
Legislação e normas aplicadas a projeto	12
Norma regulamentadora 35 - Trabalhos em altura	12
Norma regulamentadora 18 - Construção civil	16
Aplicação	16
A resistência do ponto	17
ABNT NBR 16325-2: 2024 - Proteção contra queda de Altura - Parte 2: Dispositivos de ancoragem tipos C	18
Outras normas aplicáveis	18
Equipamentos de Proteção individual e elementos de ligação	18
Normas de elaboração de projeto de sistemas de proteção contra quedas	18
Variáveis e Nomenclatura geral	18
Primeiros passos para a elaboração de projeto	21
Análise de risco	21
Desenvolvendo o projeto	21
Concepção inicial	21
Finalidade	22
Layout	22
Seleção do Cabo de aço	26
Qualidade do Arame	26
Diâmetro e área metálica	27
Construção	28
Alma	28
Resistência do cabo	29
Peso linear	30
Rigidez do cabo de aço (K)	30
Fator de segurança	30
Grampos e sapatilhos - ABNT NBR 11900	32

SUMÁRIO

Absorvedores de energia	32
Condição inicial - Diagrama inicial da linha de vida	33
Aproximação parabólica	34
Catenária	34
Método do Balanço estático	36
Objetivos do dimensionamento	36
Considerações sobre o modelo	36
Requisitos de aplicação	38
Força resultante pela decomposição de forças	38
Força resultante pela rigidez do cabo	40
Balanço estático	42
Uso de ferramentas computacionais.	43
Considerações sobre o diâmetro do cabo	45
Considerações sobre a carga aplicada.	46
Considerações sobre múltiplos vãos	47
Considerações sobre direção de carregamento	48
Considerações sobre ancoragens para linhas de vida horizontais	49
Arquivo técnico - Documentos de projeto	52
Plano de inspeção	52
Bibliografia	54
ANEXO I - Exemplo de cálculo	55

INTRODUÇÃO

Desde a publicação do primeiro guia de projeto de linha de vida horizontal em 2019, o mercado vem aplicando os conhecimentos na implantação de sistemas de proteção contra queda e podemos observar o método de balanço estático em diversos setores da Indústria da Construção e demais indústrias.

A primeira edição do guia de projeto de linha de vida horizontal preencheu uma carência de conhecimento no mercado com relação aos métodos e cálculos aplicáveis ao dimensionamento de uma linha de vida horizontal flexível.

Para os que imaginavam que apenas uma formação na área de engenharia seria suficiente para desenvolver todos os cálculos, puderam perceber que diversos conhecimentos aplicados no projeto de um sistema de proteção contra queda são muito específicos do universo do trabalho em altura.

Apesar da importância histórica no desenvolvimento da proteção contra queda no Brasil, desde a publicação muitos dos conceitos apresentados evoluíram e já não são mais considerados adequados para um sistema de proteção contra queda e esta foi uma das principais motivações em revisar e publicar este guia.

Pudemos perceber também que tanto nas indústrias, como nos canteiros de obra que existe um conceito equivocado de que o projeto do sistema de proteção contra a queda se resume somente ao projeto do dispositivo de ancoragem tipo C, também conhecido como linha de vida horizontal flexível (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024).

A Norma Regulamentadora 35 estabelece no seu anexo 2 (Ministério do Trabalho e Emprego, 2023a) que o dispositivo de ancoragem pode ser projetado, mas deverá fazer parte de um sistema de proteção individual contra quedas. Isso significa que o projetista deve ampliar a sua visão no que se refere ao sistema de proteção contra quedas e sobre todos os aspectos de segurança riscos e proteção do trabalhador desde a ancoragem onde será instalada os pontos de ancoragem até os elementos de ligação permitidos para a utilização do sistema de ancoragem.

Esta edição tem como objetivo principal o esclarecimento dos fundamentos e cálculos para o dimensionamento de um sistema de ancoragem baseado em uma linha de vida horizontal flexível.



**LEGISLAÇÃO
E NORMAS
APLICADAS
A PROJETO**

CBIC



LEGISLAÇÃO E NORMAS APLICADAS A PROJETO

Ao elaborar um projeto, o projetista pode ser levado a declarar que “o sistema atende a Norma Regulamentadora 35” ou, “linha de vida horizontal está conforme ABNT NBR 16325-2” de dispositivos de ancoragem, mas o que essas normas determinam com relação a projeto? São normas aplicáveis à elaboração de projeto? O que significa um sistema estar conforme uma norma?

Norma Regulamentadora 35 - Trabalhos em altura

A primeira referência legal que o projetista deve tomar como base para o seu projeto é o anexo 2 da NR-35 (Ministério do Trabalho e Emprego, 2023a) que aborda sistemas de ancoragem. Independente se o sistema de ancoragem é baseado em uma linha de vida horizontal, é responsabilidade do projetista verificar se o sistema de ancoragem como um todo atende os requisitos normativos.

“NR-35, Anexo II, item 4.3 O sistema de ancoragem permanente deve possuir projeto e a instalação deve estar sob responsabilidade de profissional legalmente habilitado.”

(Ministério do Trabalho e Emprego, 2023a)

Para o leitor que ainda não tenha familiaridade com as definições de um sistema de ancoragem podemos definir que um sistema de ancoragem é um conjunto de elementos que proporcionam um ou mais pontos de ancoragem¹ para que o trabalhador conecte o seu elemento de ligação e em caso de uma queda transmita e sustente os esforços gerados.

A Norma Regulamentadora 35, Anexo II, item 3.1 define:

“O sistema de ancoragem pode apresentar seu ponto de ancoragem:

- a) diretamente na estrutura;
- b) na ancoragem estrutural; ou
- c) no dispositivo de ancoragem.”

(Ministério do Trabalho e Emprego, 2023a)

Além de declarar onde podemos encontrar um ponto de ancoragem no sistema de ancoragem, este item define quais são os possíveis elementos que compõem um sistema de ancoragem. Dizemos “possíveis”, pois não é necessário que um sistema de ancoragem possua todos os elementos. Por exemplo:

¹ Ponto de ancoragem -Parte integrante de um sistema de ancoragem onde o equipamento de proteção individual é conectado.

- Uma torre de telefonia pode ter o seu ponto de ancoragem na própria estrutura;
- Utilizando uma cinta de ancoragem em torno de uma coluna é possível criar um ponto de ancoragem somente com a estrutura e um dispositivo tipo B;
- Instalando um parafuso olhal fixada através de chumbador químico, ou uma chapa olhal fixada através de solda, caracteriza um ponto de ancoragem somente com estrutura e ancoragem estrutural.

A Norma Regulamentadora 35 define os requisitos de cada elemento que compõem o sistema de ancoragem.

“NR-35 anexo II, 3.1.1 A estrutura integrante de um sistema de ancoragem deve ser capaz de resistir à força máxima aplicável.”
(Ministério do Trabalho e Emprego, 2023a)

Conforme visto anteriormente, segundo a norma, o Profissional Legalmente Habilitado (PLH), deve se responsabilizar por todo o sistema de ancoragem e isso inclui a estrutura. A estrutura deve ser verificada a fim de avaliar se é capaz de resistir aos esforços transmitidos de uma possível queda.

“NR-35 anexo II, 3.2 A ancoragem estrutural e os elementos de fixação devem:

- a) ser projetados e construídos sob responsabilidade de profissional legalmente habilitado; e
- b) atender às normas técnicas nacionais ou, na sua inexistência, às normas internacionais aplicáveis.”

(Ministério do Trabalho e Emprego, 2023a)

As ancoragens estruturais mais comuns são os chumbadores químicos e mecânicos, mas também podem se apresentar como elementos soldados. Por definição, são elementos que uma vez instalados, não são passíveis de remoção ou desmontagem sem danificar a estrutura.

“NR-35 anexo II, 3.3 O dispositivo de ancoragem deve atender a um dos seguintes requisitos:

- a) ser certificado;
- b) ser fabricado em conformidade com as normas técnicas nacionais vigentes sob responsabilidade do profissional legalmente habilitado; ou
- c) ser projetado por profissional legalmente habilitado, tendo como referência as normas técnicas nacionais vigentes, como parte integrante de um sistema completo de proteção individual contra quedas.”

(Ministério do Trabalho e Emprego, 2023a)

Este último item tem grande importância sobre os requisitos que uma linha de vida horizontal projetada deve atender. A norma deixa explícito que a linha de vida horizontal deve atender as normas técnicas nacionais vigentes (no caso a ABNT NBR 16325-2) e que deve ser projetada como parte integrante de um sistema completo de proteção individual contra queda, ou seja, o projetista deve verificar todos os elementos que compõem o sistema de ancoragem e selecionar os elementos de ligação e Equipamentos de Proteção Individual que podem ser utilizados na linha de vida.

Vale salientar que a linha de vida horizontal, sendo um dispositivo de ancoragem, faz parte de um sistema de proteção individual contra queda. O projetista pode adotar um dispositivo que seja certificado ou, (conforme o item b) seja fabricado de acordo com as normas vigentes ou seja possui um laudo de ensaio e tenha um engenheiro responsável pelo produto evidenciado através de uma anotação de responsabilidade técnica.

Nestas duas opções não é necessário que o projetista realize o projeto do dispositivo pois todas as informações de desempenho são fornecidas pelo fabricante e possuem laudos de ensaio que embasam esses números.

Entretanto, quando pensamos no sistema de proteção individual contra queda o projeto pode incluir a verificação das estruturas, o dimensionamento das ancoragens estruturais e a verificação da zona livre de queda.

A utilização de equipamentos e materiais certificados ou fornecidos por um fabricante, dispensa o projetista da necessidade de realizar o projeto do dispositivo e todos os riscos inerentes de um projeto. Por outro, é importante que o sistema de proteção individual contra a queda seja documentado e evidenciado quanto à seleção dos equipamentos e verificações estruturais e de desempenho.

Vale lembrar que não temos um órgão (governamental ou não) que certifique dispositivos de ancoragem. No mercado nacional, até o momento, somente os fabricantes estrangeiros possuem certificação de dispositivos pela EN 795. Os fabricantes nacionais de dispositivos, se enquadram no requisito b), e devem apresentar um laudo de ensaio do dispositivo - de preferência de um laboratório independente - em conformidade com a ABNT NBR 16325-2 na íntegra junto com uma Anotação de Responsabilidade Técnica do produto emitida pelo responsável técnico da empresa.

A Norma Regulamentadora 35 no item abaixo define que o sistema de ancoragem permanente deve possuir projeto e a instalação deve estar sob responsabilidade de um profissional legalmente habilitado.

“NR-35, Anexo II - item 4.3 O sistema de ancoragem permanente deve possuir projeto e a instalação deve estar sob responsabilidade de profissional legalmente habilitado.”
(Ministério do Trabalho e Emprego, 2023a)

O termo permanente, em oposição à temporário, traz uma conotação de período, de tempo, e o projetista deve ter muito cuidado com relação a isso.

A Norma Regulamentadora 12, referente a segurança em máquinas, traz uma outra concepção para o termo “permanentes” que vem sendo debatida nas comissões normativas que pode ser aplicável ao sistema de ancoragem para proteção contra queda.

“12.5.4 Para fins de aplicação desta NR, considera-se proteção o elemento especificamente utilizado para prover segurança por meio de barreira física, podendo ser:

- a) proteção fixa, que deve ser mantida em sua posição de maneira permanente ou por meio de elementos de fixação que só permitam sua remoção ou abertura com o uso de ferramentas;
- b) proteção móvel, que pode ser aberta sem o uso de ferramentas, geralmente ligada por elementos mecânicos à estrutura da máquina ou a um elemento fixo próximo, e deve se associar a dispositivos de intertravamento.”

(Ministério do Trabalho e Emprego, 2023b)

Observe que a concepção de permanente devido às ferramentas empregadas na instalação pode conflitar diretamente com a sua interpretação temporal. Por exemplo, pode existir um sistema de linha de vida horizontal, instalado através de ferramentas para a realização de uma atividade de dois dias.

Tomando como outro exemplo, um sistema de linha de vida horizontal provisória instalada utilizando apenas mosquetões de simples manuseio em olhais chumbados na estrutura. Neste caso temos uma composição de sistemas permanentes (olhais) com sistemas temporários (Linha de vida horizontal). Similarmente se aplica a monopés e suas bases instaladas em pisos através de chumbadores.

Mesmo que a norma dispense o projeto em algumas situações é muito importante que o projetista entenda o porquê de elaborar um projeto e a partir desse conceito entender quando é essencial que ele exista. A norma regulamentadora estabelece requisitos mínimos de segurança, mas também não proíbe que seja adotada uma prática mais segura nas atividades diárias.

O principal objetivo de elaboração de um projeto é documentar e evidenciar as verificações feitas, concepções adotadas, equipamentos selecionados e dimensionados de forma que a informação seja de fácil compreensão.

Podemos ainda citar toda e qualquer alteração estrutural como fator a justificar a elaboração de um projeto.

A instalação de um chumbador químico, que envolve, furação, limpeza, instalação e ensaio, deve possuir um projeto a fim de assegurar que todos os modos de falha foram verificados e os requisitos de instalação definidos.

Um sistema de proteção contra queda composto de dispositivos de ancoragem instalados diretamente na estrutura (por exemplo, cintas de ancoragem e linha de vida horizontal provisória) não é necessário fazer um projeto do dispositivo, mas é uma boa prática fazer um projeto do sistema de proteção individual especificando os equipamentos, indicando a Zona Livre de Queda requerida e os layouts típicos possíveis.

O projeto não precisa ser extenso ou complexo, mas deve conter todas as informações essenciais para uma validação em campo, substituição de componentes ou até mesmo uma auditoria.

Outro objetivo essencial do projeto é a otimizar a aplicação de recursos.

A função do projetista não somente é verificar as questões técnicas, mas também reduzir os recursos utilizados na implantação do sistema de proteção contra a queda.

NORMA REGULAMENTADORA 18 - CONSTRUÇÃO CIVIL

Neste capítulo vamos pontuar algumas considerações da Norma Regulamentadora 18, no que diz respeito aos requisitos de sistemas de proteção contra quedas e linhas de vida horizontais.

Aplicação

Primeiro ponto importante é sobre a aplicação dos pontos de ancoragem:

“18.12.12 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.”

“18.12.12.1 Os pontos de ancoragem de equipamentos e dos cabos de segurança devem ser independentes, com exceção das edificações que possuírem projetos específicos para instalação de equipamentos definitivos para limpeza, manutenção e restauração de fachadas.”

(Ministério do Trabalho e Emprego, 2024)

Apesar de falar sobre serem independentes, ainda existem interpretações erradas sobre o uso dos pontos de ancoragem de proteção para pessoas e ancoragem de equipamentos.

É de entendimento geral que equipamentos e pessoas não devem estar ancorados nos mesmos pontos de ancoragem. As ancoragens devem ser independentes. A divergência está no uso de um ponto de proteção contra queda como ancoragem de equipamento quando não se tem um Sistema de Proteção contra Quedas ancorado.

Os pontos de ancoragem para proteção de pessoas não devem jamais ser utilizados para ancoragem de equipamentos. Os pontos devem estar íntegros para suportar uma possível queda e não devem ter sido sobrecarregados ou sujeitos a carregamentos cíclicos que possam levar a uma falha prematura por fadiga.

Pontos de ancoragem para proteção contra quedas são para uso exclusivo em sistemas de proteção contra queda.

A resistência do ponto

A Norma Regulamentadora 18 determina que:

“18.12.12.2 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.”

(Ministério do Trabalho e Emprego, 2024)

Muitos projetos declaram em sua documentação que o ponto de ancoragem suporta 1500 kgf conforme a Norma Regulamentadora 18, no entanto existem algumas observações sobre este item.

Como sabemos, o dispositivo de ancoragem é um componente que em conjunto de uma estrutura ou ancoragem estrutural formam o sistema de ancoragem. O dispositivo de ancoragem para proteção contra quedas possui uma norma específica que é a ABNT NBR 16325 que iremos abordar a seguir.

Primeira observação sobre o item é que a norma não deixa claro se o dispositivo de ancoragem é para equipamentos ou proteção de pessoas e se considerar a incluir a proteção de pessoas, este item gera um conflito com a NBR 16325 que testa os dispositivos tipo A com 12 kN (aproximadamente 1200 kgf).

O segundo ponto importante, é que os pontos de ancoragem citados são para “cabos de segurança”, ou seja, linhas de vida verticais para uso com trava queda deslizante em linha flexível, onde a força máxima transmitida (força atuante) em caso de uma queda será de 6 kN (aproximadamente 600 kgf).

Para linhas de vida horizontais, principalmente as projetadas, as forças atuantes, ou seja, as forças que irão realmente atuar nas ancoragens orbitam na ordem de 25 kN a 30 kN dimensionada para uma pessoa, ou seja, aproximadamente de 2500 kgf a 3000 kgf nas ancoragens.

Portanto, o requisito de 1500 kgf da Norma Regulamentadora 18 não se aplica às linhas de vida horizontais.

ABNT NBR 16325-2: 2024 - PROTEÇÃO CONTRA QUEDA DE ALTURA PARTE 2: DISPOSITIVOS DE ANCORAGEM TIPOS C

A ABNT NBR 16325-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024) é a norma técnica responsável pela definição dos ensaios e requisitos de dispositivos de ancoragem. Ela foi baseada na norma europeia EN 795 de 2012 que é utilizada até hoje na Europa para certificação dos dispositivos de ancoragem. São normas semelhantes em requisitos, equipamentos e métodos de ensaio, então podemos dizer que são normas equivalentes.

OUTRAS NORMAS APLICÁVEIS

Equipamentos de Proteção individual e elementos de ligação

É de extrema importância que o projetista conheça a maior quantidade possível de equipamentos de proteção individual, elementos de ligação e dispositivos de ancoragem e suas características de desempenho e limitações, mas também é importante entender como são realizados os ensaios para certificação ou validação.

As normas de ensaio de Equipamentos de Proteção Individual e elementos de ligação, estabelecem não só requisitos e métodos de ensaio dos equipamentos, mas também todos os requisitos de equipamentos e estruturas para conduzir os ensaios.

Normas de elaboração de projeto de sistemas de proteção contra quedas

Enquanto não é publicada a norma de implantação de sistemas de proteção contra queda, podemos adotar a norma britânica BS 7883 (British Standards Institute, 2019) ou a norma americana ANSI Z359.6 (American National Standard Institute & American Society of Safety Professionals, 2016).

Estas normas nos dão referências e parâmetros para o desenvolvimento de qualquer tipo de sistema de proteção contra quedas.

Variáveis e Nomenclatura geral

Para o desenvolvimento dos cálculos, vamos tomar as seguintes variáveis conforme a Figura 1. As unidades estão indicadas entre [].

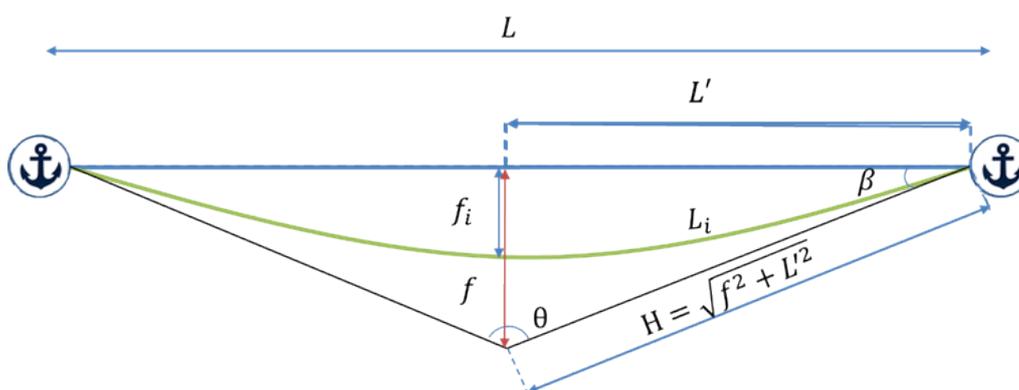
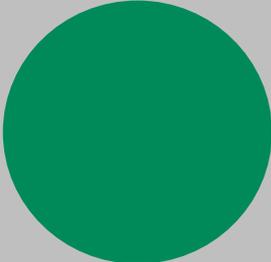


Figura 1 Variáveis adotadas no modelo de linha de vida Fonte: Autor



$n_u =$ número de usuários [adm]

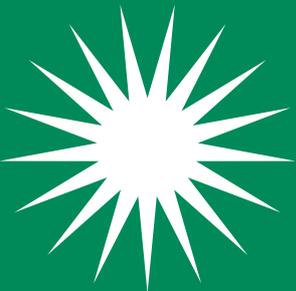
$C_{rt} =$ Carga de ruptura teórica [N] ou [kN]

$C_{rm} =$ Carga de ruptura mínima [N] ou [kN]

$C_t =$ Carga de trabalho = $\frac{C_{rm}}{FS_{cabo}}$ [N] ou [kN]



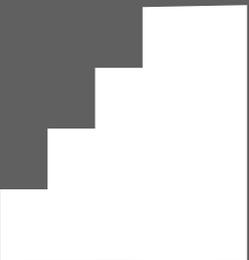
$C_r =$ Carga de ruptura medida [N] ou [kN]



$FS_{cabo} =$ Fator de segurança aplicado a resistência mínima [adm]

$FS_{carga} =$ Fator de segurança aplicado a carga atuante [adm]

$FS_{global} =$ Fator de segurança global = $FS_{carga} \cdot FS_{cabo}$ [adm]



$L =$ Comprimento horizontal do vão [m]

$L' =$ Metade do comprimento horizontal do vão = $\frac{L}{2}$ [m]




$$L_i = \text{Metade do comprimento inicial real do cabo} = \frac{T_0}{w_0} \cdot \text{senh}\left(\frac{w_0}{T_0} \cdot L'\right) [m]$$

$$H = \text{Metade do comprimento real do cabo em uma flecha qualquer} \\ = \sqrt{f^2 + L'^2} [m]$$

$$f_i = \text{Flecha inicial do cabo em catenária} [m]$$

$$f_1 = \text{Flecha inicial do cabo em tensão} [m]$$

$$f_f = \text{Flecha final do cabo em equilíbrio} [m]$$

$$f = \text{Flecha qualquer do cabo} [m]$$

$$\beta = \text{Ângulo da flecha com o eixo horizontal} [^\circ]$$

$$\theta = \text{Ângulo de abertura da linha no ponto de carregamento} [^\circ]$$

$$F_r = \text{Força resultante em cada ponto de ancoragem} [N] \text{ ou } [kN]$$

$$P = \text{Força peso} [N] \text{ ou } [kN]$$

$$d_n = \text{Diâmetro nominal do cabo}$$

$$A_m = \text{Área metálica do cabo} = \text{Fat_mult} \cdot d_n^2$$

$$\text{Fat_mult} = \text{Fator de multiplicação} [\text{adm}]^2$$

$$E = \text{Módulo elástico do cabo} [\text{GPa}]$$

$$K = \text{Rigidez do cabo} = \frac{A_m \cdot E}{L} \left[\frac{N}{m} \right]$$

$$R = \text{Relação entre flecha inicial e comprimento da linha} = \frac{f_i}{L_{\square}} \cdot 100 [\text{adm}]$$

² Fornecido pelo fabricante do cabo

PRIMEIROS PASSOS PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETO

Análise de risco

Primeiro passo para iniciar um projeto é executar uma análise de risco da atividade e entender quais são os pontos e passos e etapas que serão executados e sua cronologia.

A análise de risco vai proporcionar informações técnicas que servem de base para estabelecer a concepção inicial do sistema.

DESENVOLVENDO O PROJETO

Concepção inicial

A concepção inicial do sistema pode ser interpretada como a decisão pelo qual dispositivo de ancoragem será utilizado quais são os elementos de ligação que serão empregados e uma vez com a concepção definida esta deve ser verificada.

A verificação da concepção inicial é o desenvolvimento do projeto. O projetista vai adotar alguns materiais e elementos que vão compor um sistema hipotético. O projetista vai verificar analiticamente ou com auxílio computacional o comportamento dessa linha de vida horizontal.

É importante respeitar os limites do modelo e observar as limitações de realização do projeto na prática. Algumas considerações adotadas como por exemplo tensão inicial do cabo (seja de aço ou corda) muitas vezes são difíceis de serem medidas e respeitadas no ato da implantação e essa variação implica em variação no resultado previsto por causa.

Utilize dispositivos fabricados onde o fabricante fornece os dados de força resultante e flecha obtidos através de ensaios de laboratório.

Primeiro vamos adotar um cabo de aço e levantar suas propriedades com o objetivo de verificar se o sistema entra no regime plástico ou ultrapassa a carga de trabalho do cabo. Caso isso seja identificado, o cabo selecionado deverá ser substituído e os cálculos feitos.

É importante frisar que o modelo de balanço estático é aplicável para linhas de vida de vão único. Não deve ser adotado este modelo em sistemas de múltiplos vãos, pois o atrito do cabo pelos olhais intermediários influencia o comportamento previsto da linha podendo aumentar a força resultante ou a flecha.

Os vãos únicos devem possuir um limite de comprimento de 10 m, pois comprimentos maiores podem levar a quedas equivalentes a uma queda de fator maior que 2 e sujeitar o trabalhador a uma força de desaceleração maior que 6 kN.

Finalidade

Pela Norma Regulamentadora 35, um sistema de proteção contra quedas pode possuir as seguintes finalidades.

“NR-35, Anexo II - item 2.2 Os sistemas de ancoragem tratados neste anexo atendem às seguintes finalidades:

- a) retenção de queda;
- b) restrição de movimentação;
- c) posicionamento no trabalho; ou
- d) acesso por corda.”

(Ministério do Trabalho e Emprego, 2023a)

No entanto, especificamente para linhas de vida horizontais flexíveis somente são aplicáveis para as finalidades de retenção ou restrição.

Se existir a necessidade de um posicionamento, suspensão, ou até mesmo a aplicação de técnicas de acesso por corda que demandem uma movimentação horizontal, é necessário avaliar a viabilidade de aplicação de uma linha de vida horizontal rígida.

Layout

O layout deve ser definido em conjunto com um elemento de ligação para estabelecer as áreas de acesso seguro. O projetista deve considerar as características do local de trabalho (superfície de trabalho, acessos etc.), atividade a ser executada.

O projetista deve elaborar um layout que proporciona a maior segurança ao trabalhador consumindo o mínimo de material e sem deixar de observar as questões relacionadas com a instalação (tempo, facilidade, rendimento).

O layout deve sempre ser concebido de forma a priorizar a restrição de queda, o que não é uma escolha, é uma condição de acesso. A linha de vida horizontal, em conjunto com o elemento de ligação, quando projetada para restrição vai tornar o acesso do trabalhador seguro no sentido de impossibilitar a sua exposição a uma condição de queda. O sistema de restrição limita a área de ação do trabalhador, mantendo-o a uma distância segura da borda.

Em algumas situações, mesmo a linha de vida tendo sido projetada para restrição, mas no caso de sua falha, leve o trabalhador a um risco iminente de queda, esta deve ser projetada para retenção.

Caso não seja possível projetar para restrição (por exemplo: Deslocamento sobre superfícies frágeis, telhas de fibrocimento por exemplo), ou seja, o trabalhador estará exposto constantemente a possibilidade de queda com diferença de nível. Neste caso, o projetista deverá considerar a implantação de meios de acesso seguros como pranchas e passarelas. O sistema de proteção contra quedas deve andar junto com os meios de acesso.

Para melhor entendimento da área segura, vamos considerar uma área de 289m² com um ponto único de ancoragem para uso com um talabarte (ou trava queda). Podemos observar Figura 2, a). A área segura em amarelo.

Na mesma área, podemos observar Figura 2, b) que ao aumentar os pontos de ancoragem em uma distribuição uniforme, a área segura foi reduzida. Apesar de ser contra intuitivo, nem sempre aumentar a quantidade de pontos leva a um aumento de segurança.

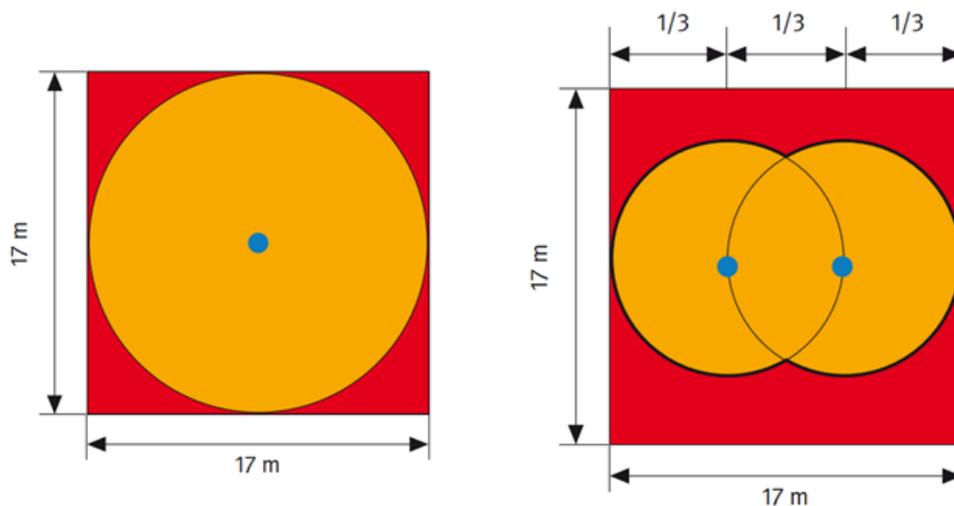


Figura 2 a) Área segura: 226,9m² (78,5%); b) Área segura: 162,31m²(56,2%)
 Fonte (DGUV - Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2015)

Tomando como outro exemplo uma nova superfície de trabalho de 595m², percorrível, ou seja, sem risco de ruptura e queda através da superfície (ex. uma laje). Consideramos a área de risco de queda de altura a área até 2 metros a 2,5 metros de distância da borda. Ao distribuir os pontos de ancoragem a cada 7,5 metros podemos observar na Figura 3 uma área segura de aproximadamente 510m² (85% da área total).

Este tipo de layout demanda que o usuário execute ações de conexão e desconexão durante toda a atividade em função do local de trabalho. Pode ser aplicado (não necessariamente com estas distâncias) para atividades em balancins individuais e acesso por corda.

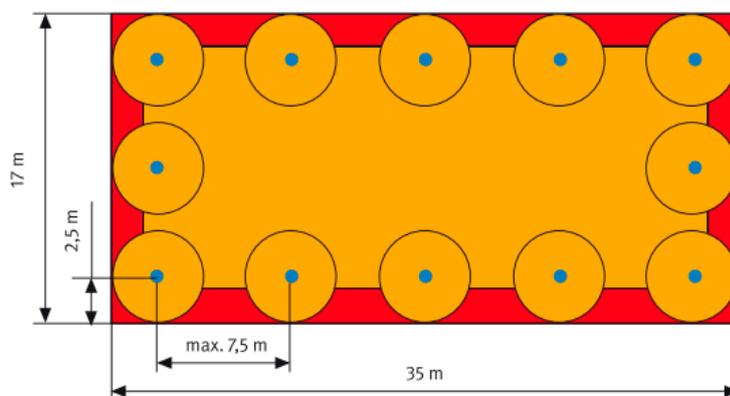


Figura 3 Área segura: Aprox. 510 (85% da área total)
 Fonte:(DGUV - Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2015)

Ao ligar uma linha de vida horizontalmente pelos pontos, podemos reduzir a quantidade de pontos e aumentar a área segura para aproximadamente 590m² (99%).

Em linhas projetadas de “múltiplos vãos”, o cabo deve terminar em cada ponto de ancoragem, o que obriga o trabalhador a fazer uma transição de vão para outro através do talabarte. Em linhas fabricadas, existe a tecnologia de elementos que passam pelos intermediários sem a necessidade de ação na transição.

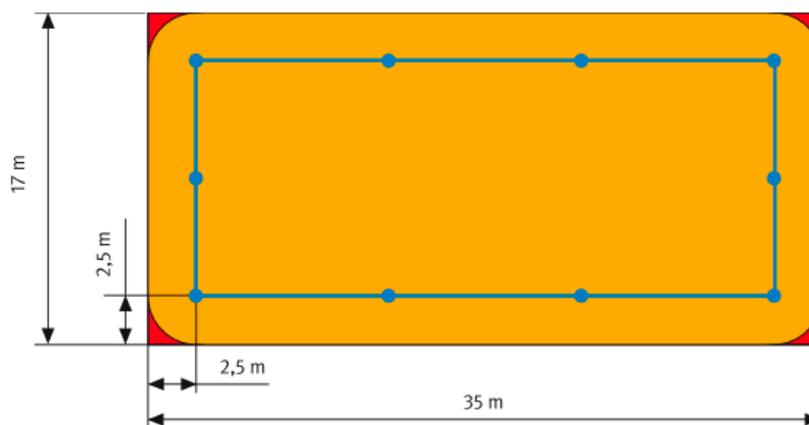


Figura 4 Área segura: Aprox. 590m² (99% da área total)
Fonte: (DGUV - Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2015)

O projetista ainda pode buscar a otimização de materiais propondo layouts como os ilustrados na Figura 5 e Figura 6, mas deve sempre se lembrar que estes tipos de layout são mais dependentes da ação do trabalhador de conexão aos pontos anti pêndulo e regulagem do comprimento do elemento de ligação, ou seja, implica em um aumento substancial do risco.

A única forma de eliminar qualquer necessidade de ação do trabalhador é implantando um sistema de proteção coletiva como guarda corpo na periferia. Desta forma o risco de queda em altura é eliminado por se atuar na exposição ao risco.

Se não é possível implantar um sistema de proteção coletiva, então o sistema individual de proteção é empregado e é esperado que demande alguma ação ao trabalhador como se conectar ao sistema, por exemplo. Mesmo assim, a concepção do sistema pode aumentar ou reduzir a quantidade de ações durante a atividade ou acesso ao local de trabalho. O Projetista deve considerar a capacitação e experiência da equipe que irá utilizar o sistema. Se essa informação não for possível de se obter (por exemplo: a atividade será executada por empresas terceiras desconhecidas pelo projetista), o projetista deverá considerar o pior cenário possível e, portanto, propor um sistema mais simples possível.

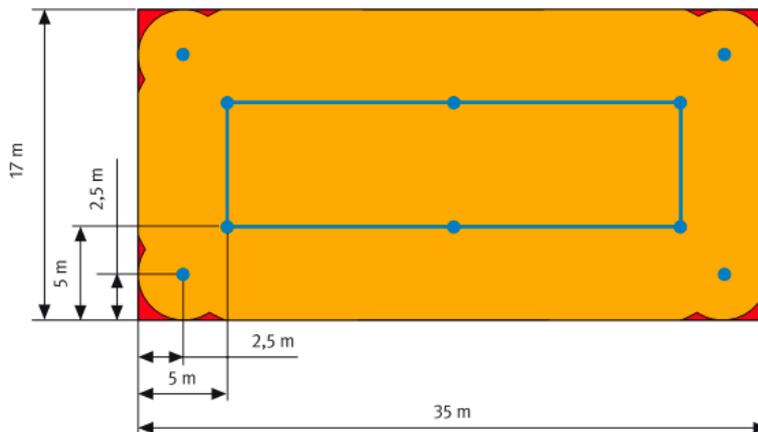


Figura 5 Área segura: 588,16m² (98,8%)
 Fonte: (DGUV - Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2015)

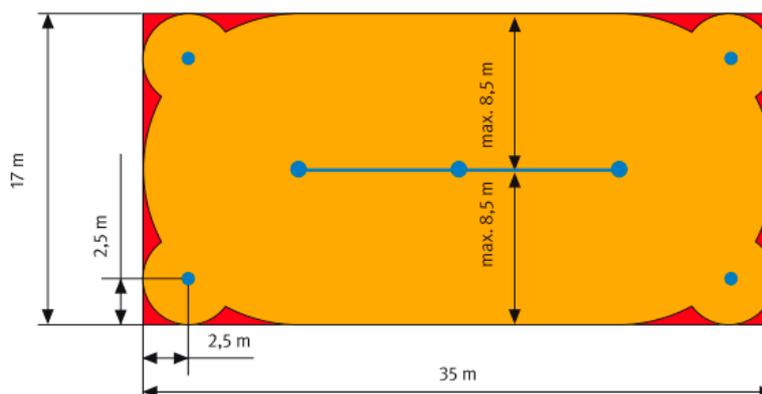


Figura 6 Área segura: 574,4m² (96,5%)
 Fonte: (DGUV - Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2015)

O projetista jamais deverá projetar um layout que coloque o trabalhador em risco de queda em pêndulo (área vermelha), pois pode implicar em falha do equipamento e/ou graves lesões. Para tal, pode ser necessário incluir linhas laterais (se a superfície tiver até 15° de inclinação) ou pontos anti pêndulo passivos (não dependem da ação do usuário) ou ativos (dependem da ação do usuário).

Vale destacar que os pontos anti pêndulo ativos implicam em um aumento do risco significativo caso seja negligenciado conforme observado na Figura 7.

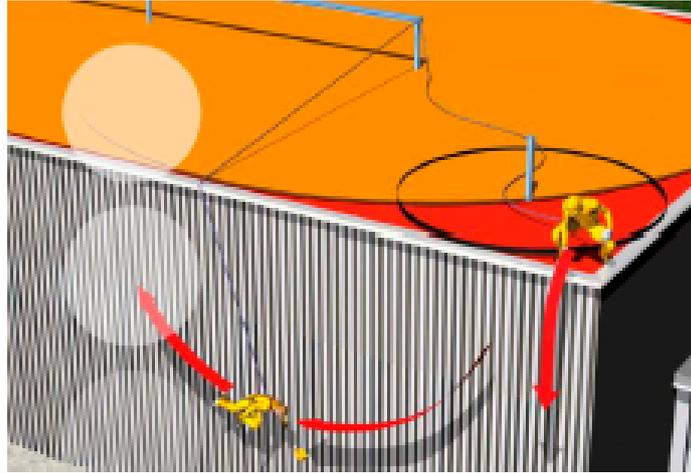


Figura 7 Ilustração de queda em pêndulo
Fonte: (DGUV - Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2015)

Seleção do Cabo de aço

Com o layout definido, passamos para a seleção do cabo de aço.

Qualidade do Arame

A qualidade do arame corresponde a resistência de cada arame utilizado na construção do cabo e permite calcular uma resistência de ruptura teórica com a Área metálica do cabo selecionado. Podemos observar na Tabela 1 as respectivas resistências e suas classes de qualidade.

Sigla	Correspondência em N/mm ²
PS	1370 - 1770
IPS	1570 - 1960
EIPS	1770 - 2160
EEIPS	1960 - 2160
CIMAX	1960 - 2360

Tabela 1 Classe de resistência dos cabos de aço e seus respectivos valores Fonte: (CIMAF, 2009)

A qualidade do arame deve estar descrita na especificação do cabo no projeto e no memorial de cálculo.

Diâmetro e área metálica

Os cabos de aço adotados para linhas de vida horizontais projetadas têm um diâmetro nominal () mínimo de 8 mm. Geralmente quando as resultantes são altas é comum o projetista aumentar o diâmetro para que o cabo suporte a carga, no entanto, ao fazer isso o projetista também aumenta a rigidez e, por consequência, aumenta também as resultantes.

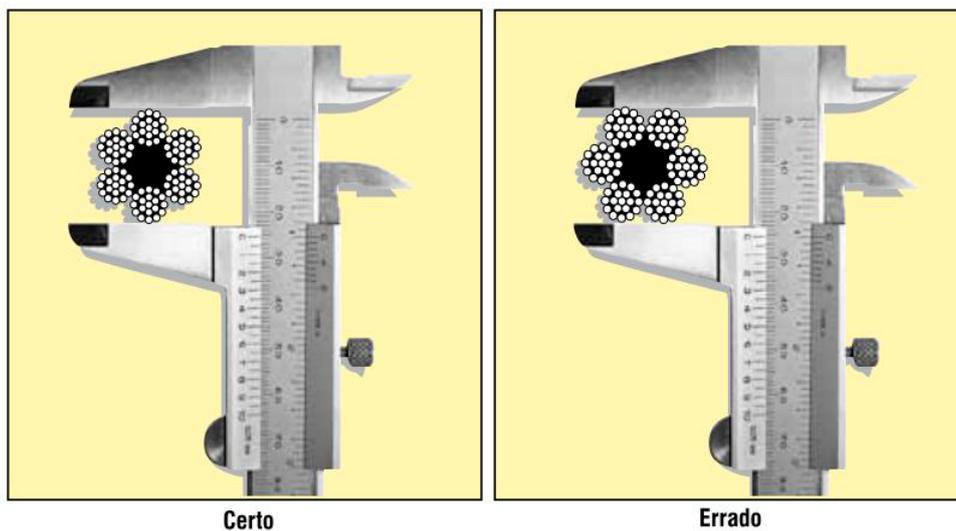


Figura 8 Ilustração da forma correta e errada de medir o diâmetro do cabo
Fonte: (CIMAF, 2009)

Para fins de cálculos devemos utilizar a Área metálica do cabo, e não uma área calculada pela equação de área de circunferência. Para obter a área metálica utilizamos a seguinte fórmula:

$$A_m = Fat_mult. d_n \quad \text{Equação 1}$$

Sendo o fator de multiplicação fornecido pelo fabricante conforme Tabela 2.

Construção do cabo de aço ou cordoalha	Fator "F"
8X19 Seale, 8x25 Filler	0,359
DELTA FILLER / MinePac	0,374
6x7	0,395
6x19 M	0,396
6x31/ 6x36 / 6x41 Warrington Seale, 6x41 Filler	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

Tabela 2 Tabela de fator "F" para cálculo da área metálica
Fonte: (CIMAF, 2009)

Construção

Os cabos de aço devem possuir uma construção 6x19, ou seja, 6 pernas com 19 fios cada, conforme ilustrado na Figura 9.

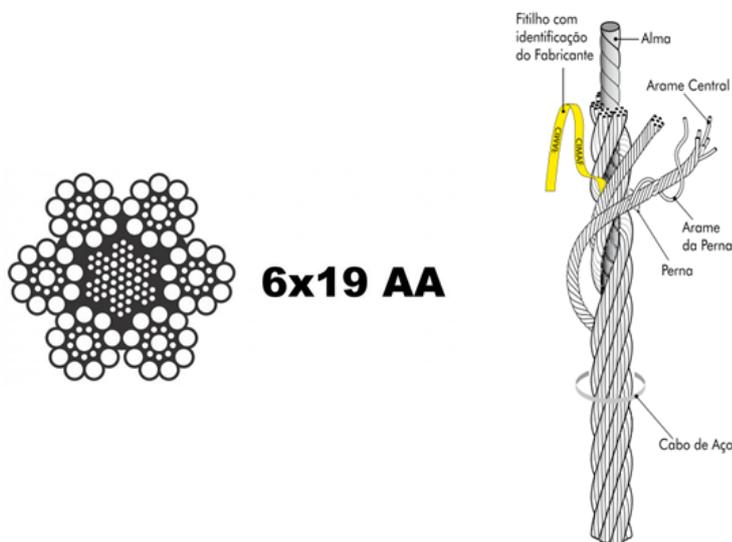


Figura 9 Construção do cabo e suas partes.
Fonte: (CIMAF, 2009).

Alma

O cabo de aço deve obrigatoriamente possuir alma de aço (AA ou AACI). A alma de aço garante a estabilidade estrutural do cabo na terminação ao longo do tempo.

Cabos de aço com alma de fibra sintética ou natural, além de possuírem uma resistência e rigidez muito menor em comparação com os cabos com alma de aço, tendem a perder a sua estabilidade estrutural e levar ao afrouxamento dos grampos com o passar do tempo aumentando o risco de falha da terminação por escorregamento.

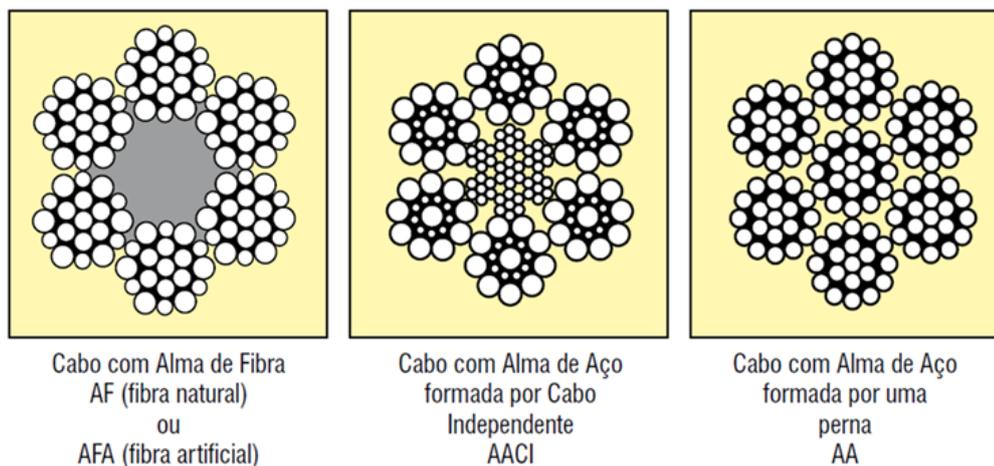


Figura 10 Ilustração alma de fibra (AF) e alma de aço (AA).
Fonte:(CIMAF, 2009).

O tipo de alma deve constar na especificação do cabo de aço no projeto e no memorial.

Resistência do cabo

No processo de seleção e verificação, devemos definir qual a resistência do cabo e o carregamento admissível neste cabo. Podemos considerar:

“A **carga de ruptura teórica** do cabo de aço é obtida através da resistência dos arames multiplicada pelo total da área da seção de todos os arames.”

Portanto: $C_{rt} = A_m \cdot \text{Resistência do arame}$

Equação 2

“A **carga de ruptura mínima** do cabo de aço é obtida através da carga de ruptura teórica dele, multiplicada pelo fator de encablamento. Este fator varia conforme as diversas classes de cabos de aço.”

Portanto: $C_{rm} = C_{rt} \cdot \text{Fator de encablamento}$

Equação 3

“A **carga de ruptura medida** é determinada em laboratório, através do ensaio de tração do cabo de aço.”

É recomendado que o cabo seja selecionado em função das informações obtidas pelo fabricante. A resistência adotada deve constar no projeto e memorial de cálculo.

	DIÂMETRO		MASSA APROXIMADA (kg/m)	CARGA DE RUPTURA MÍNIMA (tf)	
	mm	pol		IPS	EIPS
 6x19 Seale 1+9+9	3,2	1/8"	0,036	0,61	-
	4,8	3/16"	0,082	1,37	-
	6,4	1/4"	0,142	2,50	2,73
	8,0	5/16"	0,230	3,90	4,30
	9,5	3/8"	0,343	-	6,10
	11,5	7/16"	0,479	-	8,30
	13,0	1/2"	0,608	-	10,80
	14,5	9/16"	0,775	-	13,60
	16,0	5/8"	0,933	-	16,80
	19,0	3/4"	1,298	-	24,00
 6x25 Filler 1+6+6+12	22,0	7/8"	1,805	29,50	32,60
	26,0	1"	2,442	38,50	42,60
	29,0	1.1/8"	3,055	-	53,90
	32,0	1.1/4"	3,733	60,10	66,50
	35,0	1.3/8"	4,529	-	80,50
	38,0	1.1/2"	5,328	86,50	95,80
	45,0	1.3/4"	8,368	-	130,40
	52,0	2"	9,740	-	170,30

Tabela 3 Exemplo de informações do cabo de aço. Consulte a tabela do fabricante do cabo selecionado.
Fonte: Internet – domínio público

Caso opte por calcular a resistência teórica, o fator de encablamento deve ser obtido com o fabricante do cabo conforme exemplo na Tabela 4. Utilize os valores correspondentes do cabo selecionado.

Fator de encablamento	Classe do cabo
0,96	Cordoalha de 3 e 7 arames
0,94	Cordoalha de 19 e 37 arames
0,86	6x7
0,825	6x19, 8x19 e DELTA FILLER - MinePac
0,80	PowerPac, PowerPac Extra, 6x36
0,76	ErgoFlex e ErgoFlex Plus
0,72	18x7 e 34x7

Tabela 4 Tabela de exemplo - fator de encablamento – Consultar o fabricante.
Fonte: (CIMAF, 2009).

Peso linear

O peso linear do cabo é fornecido pelo fabricante (vide figura) e corresponde ao peso por metro do cabo. Esse dado será utilizado para o cálculo da flecha inicial.

Rigidez do cabo de aço (K)

A rigidez do cabo é um dado essencial para o cálculo por balanço estático e para obtê-la utilizamos a seguinte equação:

$$K = \frac{A_m \cdot E}{L} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo “L” o comprimento do cabo do segmento a ser calculado, conforme iremos abordar adiante.

Módulo elástico

Fator de segurança

Geralmente um fator de segurança de no mínimo dois é uma boa prática no dimensionamento de sistemas de proteção, ou seja, dimensionar o sistema para suportar o dobro da possível carga atuante.

Entretanto muitos projetistas ainda se confundem onde devem aplicar esse fator e se esse valor é suficiente.

O fator de segurança 2 é o valor aplicado para dispositivos de ancoragem certificados ou ensaiados. Para dispositivos projetados, é mais recomendado que o fator de segurança global seja no mínimo 2,5 dos limites mínimos dos materiais.

$$\text{Carga atuante} \leq \frac{\text{Resistência limite}}{2,5} \quad \text{Equação 5}$$

O fator de segurança global, nesta aplicação é compreendido como o Fator de segurança aplicado no dado de carregamento do sistema multiplicado pelo fator de segurança do cabo.

$$FS_{carga} \cdot \text{Carga atuante} \leq \frac{\text{Resistência mínima do cabo}}{FS_{cabo}} \quad \text{Equação 6}$$

$$FS_{global} = FS_{cabo} \cdot FS_{carga} \quad \text{Equação 7}$$

Se for necessário projetar algum dispositivo mecânico, o projetista deve adotar a tensão de escoamento como resistência limite do material.

O fator de segurança tem como finalidade imputar uma margem segura para cobrir quaisquer desvios e incertezas do sistema.

Em linhas de vida projetadas é comum ver o projetista adotando elementos de elevação de carga (não testados para cargas dinâmicas) sem rastreabilidade como por exemplo: esticadores, grampos e olhais de carga fundidos³, trazem essas incertezas aos sistemas.

É importante que o projetista se atenha onde e como aplicar este fator de segurança. A norma de ensaio (Associação Brasileira de Normas Técnicas) estabelece que o ensaio estático seja executado com $12kN_0^{+1}$ e, caso o dispositivo seja dimensionado para o uso de mais de uma pessoa simultaneamente, seja acrescido $1kN_0^{+1}$ para cada pessoa extra.

O valor de 12 kN já possui um fator de segurança igual a dois, pois a força máxima que um elemento de ligação pode transmitir para o trabalhador é 6 kN. Os acréscimos de 1 kN consideram os demais trabalhadores em suspensão na linha.

Ao verificar se o cabo atende ou não a força atuante, é importante aplicar um fator de segurança mínimo de 1,25 a 2 na menor carga declarada pelo fabricante (carga de ruptura mínima ou carga de ruptura ensaiada).

$$FS_{carga} \cdot \text{Carga atuante} \leq \frac{\text{Resistência mínima do cabo}}{FS_{cabo}} \quad \text{Equação 8}$$

³ Materiais fundidos podem apresentar defeitos inerentes ao processo de fabricação e, apesar de encontrar diversos dispositivos no mercado, não são recomendados para proteção contra quedas. Opte sempre por forjados ou chapas.



GRAMPOS E SAPATILHOS - ABNT NBR 11900

Em nenhuma hipótese utilize grampos leves para qualquer tipo de sistema de proteção de pessoas.

A norma Europeia de dispositivos de ancoragem (British Standards Institute, 2012) proíbe o uso de grampos tipo U em linhas de vida horizontal devido às razões listadas abaixo:

- O fácil acesso local à utilização de terminais prensados e certificados;
- O fato de os grampos não serem projetados para cargas dinâmicas;
- Alta ocorrência de erros na montagem (posição dos grampos)
- Impossibilidade de verificação visual do torque aplicados na instalação.

De fato, a norma de terminação grampo pesado (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018) testa as terminações com 80% da carga de ruptura do cabo de aço em um ensaio estático essa perda de resistência deve ser considerada na seleção do cabo ou o projetista deverá acrescentar um grampo extra ao recomendado pela norma em função do carregamento dinâmico no caso de queda.

Todas as terminações devem possuir sapatilho e serem instaladas conforme o Anexo B da ABNT NBR 11900-4 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018).

O torque de instalação do grampo deve ser aplicado com um torquímetro com calibração reconhecida RBC-INMETRO com menos de um ano.

Absorvedores de energia

Absorvedores de energia são elementos destinados a limitar a força transmitida para a estrutura através de mecanismos variados como deformação, "rasgamento" e atrito. Em contrapartida quanto menor a força transmitida para a estrutura durante a retenção da queda devido e elementos de absorção de energia, maior é a flecha no sistema.

O método do balanço estático é um modelo mais simples e usualmente adotado para projetos de linha de vida horizontal, mas não contempla, e, portanto, não permite a utilização de absorvedores. **É proibida a utilização de absorvedores de energia quando for aplicado o método de balanço estático apresentado neste guia.**

O dimensionamento de uma linha de vida horizontal flexível busca obter as forças resultantes nos pontos e a flecha máxima. Uma vez que o projetista encontre estes valores, se for implantando um absorvedor, se este tiver o seu comportamento conhecido, até é possível se estabelecer a força resultante, porém os cálculos de flecha não seriam mais válidos.

Para aplicar o absorvedor de energia em uma linha de vida horizontal flexível é necessário adotar um modelo de cálculo baseado em energia e para ser mais exato no balanço de energia.

O modelo de balanço de energia é um modelo mais preciso por considerar a queda e diversos outros fatores incluindo os absorvedores de energia das linhas horizontais e talabartes.

Entretanto este modelo também é bem mais complexo, não contínuo, não linear e, até o momento, não validado e aceito pela comunidade técnica. Por estes motivos, não será abordado neste guia.

Caso a estrutura não possua resistência suficiente, opte por utilizar uma linha de vida horizontal com absorvedor de energia que seja certificada ou tenha sido testada e que o fabricante forneça os dados de desempenho de força resultante e flecha para as condições de instalação. Muito cuidado com dispositivos isolados encontrados no mercado que prometem um desempenho de absorvedor.

O absorvedor de energia é um componente integrante de um sistema e deve ser testado com a linha conforme NBR 16325-2 ou EN 795.

CONDIÇÃO INICIAL - DIAGRAMA INICIAL DA LINHA DE VIDA

Uma vez estabelecidos dois pontos de ancoragem iremos calcular comprimento do cabo e a força necessária para manter o cabo esticado na flecha inicial.

A flecha inicial é o quanto a linha, em seu ponto médio, vai se deslocar para baixo devido ao peso próprio do eixo teórico horizontal (conforme Figura 1).

As linhas fabricadas que utilizam absorvedores de energia geralmente possuem uma tensão inicial que mantém o cabo aproximadamente na horizontal.

Para calcular o comprimento de cabo sujeito a peso próprio (flecha inicial) temos duas abordagens: aproximação parabólica ou catenária, sendo a última mais precisa por descrever exatamente um cabo sujeito a peso próprio.

Segundo Nigell, uma regra geral é que a flecha inicial deve estar entre 38,1 mm até 76,2 mm para cada 3048 mm de linha de vida (R). Isso significa entre 1,25% e 2,5% de flecha inicial e, não maior igual a 3% como era proposto no guia anterior. O autor propõe uma faixa bem definida a fim de que os cálculos tenham maior aderência com o comportamento real.

Vale ressaltar que essa flecha inicial é recorrentemente confundida com a flecha máxima, o que gera uma decomposição de forças errada nos dimensionamentos seguintes e uma Zona Livre de Queda requerida menor que o necessário.

Aproximação parabólica

O cálculo do comprimento do cabo por aproximação parabólica dispensa o peso linear do cabo para sua obtenção e é dada por:

$$L_i = L \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{f_i}{L'} \right)^2 \right) \quad \text{Equação 9}$$

Sendo:

L' : Comprimento do cabo sujeito a peso próprio

L : Comprimento horizontal entre pontos

f_i : Flecha inicial imposta

Considerando uma linha de comprimento L igual a 10 metros (10000 mm) e uma flecha imposta de 2,5% (250 mm)

$$L_i = 10 \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{0,25}{5} \right)^2 \right) = 10,016 \text{ mm}$$

Catenária

As equações da catenária foram propostas em 1691 por Leibniz, e só foram possíveis depois do desenvolvimento das derivadas. A catenária é a curva que um cabo segue quando sujeito ao peso próprio.

Diferente do método anterior, a flecha inicial é calculada através da seguinte equação:

$$f_i = \frac{T_o}{w_o} \cdot \left(\cosh \left(\frac{w_o}{T_o} \cdot x \right) - 1 \right) \quad \text{Equação 10}$$

Sendo:

f_i = flecha inicial em metros ou milímetros

T_o = Tensão inicial de instalação em Newtons

w_o = Peso linear do cabo em N/m

x = distância horizontal da ancoragem ao ponto mais baixo da linha = $L/2$

Utilizamos esta equação para obter a flecha no ponto central entre as duas ancoragens, mas também é possível obter o ponto no eixo vertical em qualquer ponto do eixo horizontal. Esta equação descreve o contorno de um cabo sujeito ao peso próprio no espaço.

Exemplo:

Adotando um cabo 6x19 - 8mm - AA em uma linha de vida de 10 metros, temos:

$$W_o = w_o \cdot g = 0,230 \frac{kg}{m} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 2,26 \frac{N}{m}$$

$$T_o = 1000N \text{ (adotado)}$$

$$f_i = \frac{1000N}{2,26 \frac{N}{m}} \cdot \left(\cosh \left(\frac{5m}{\frac{1000N}{2,26 \frac{N}{m}}} \right) - 1 \right) = 0,03m$$

Nota: para uma flecha de 251,95 mm (2,5%) é necessária uma tensão inicial de 112N (11.42 kgf).

Com os mesmos valores podemos obter o comprimento do cabo com a seguinte equação:

$$L_i = \frac{T_o}{w_o} \cdot \left(\sinh \left(\frac{w_o}{T_o} x \right) \right) \quad \text{Equação 11}$$

Exemplo:

$$L_i = \frac{1000 N}{2,26 \frac{N}{m}} \cdot \left(\sinh \left(\frac{2,26 \frac{N}{m}}{1000 N} \cdot 5m \right) \right) = 10,00021m$$

Para uma tensão inicial de 112 N, o comprimento do cabo é 10,01691 m, o que é muito próximo do comprimento 10,00021 (0,16%) obtido pela aproximação parabólica.

No entanto, adotar o cálculo do comprimento pela catenária além de mais preciso, também considera a tensão inicial do cabo que deverá ser somada à força resultante calculada mais a frente.



MÉTODO DO BALANÇO ESTÁTICO

Objetivos do dimensionamento

Uma vez que as características iniciais da linha foram adotadas e calculadas, a próxima etapa é aplicar o modelo de balanço estático para obter as seguintes verificações:

- Forças resultantes para aplicação nos dimensionamentos das ancoragens estruturais, dispositivos tipo A (interfaces) e verificação da estrutura
- Flecha máxima para verificação da Zona Livre de Queda requerida pelo sistema e direção de carregamento para fins de dimensionamento dos componentes do item anterior.

Considerações sobre o modelo

A Norma Regulamentadora 35 estabelece no anexo II:

“3.3 O dispositivo de ancoragem deve atender a um dos seguintes requisitos:

- a) ser certificado;
- b) ser fabricado em conformidade com as normas técnicas nacionais vigentes sob responsabilidade do profissional legalmente habilitado; ou
- c) ser projetado por profissional legalmente habilitado, tendo como referência as normas técnicas nacionais vigentes, como parte integrante de um sistema completo de proteção individual contra quedas.”
(Ministério do Trabalho e Emprego, 2023a)

Como vimos anteriormente, a norma de dispositivos de ancoragem (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024) estabelece métodos de ensaios para aplicação em dispositivos para certificação (item a) ou fabricados com responsabilidade técnica do fabricante (item b).

Não é possível que uma linha projetada seja declarada “conforme NBR 16325-2” a menos que seja realizado um ensaio em laboratório de terceira parte.

Entretanto, algumas referências dos ensaios são aplicáveis no dimensionamento da linha de vida horizontal.

O modelo do balanço estático é um modelo que descreve o comportamento da linha de vida horizontal em um ensaio estático, e, por este motivo, é conceitualmente errado chamar de “força dinâmica” neste método.

Uma vez que o modelo de cálculo é aderente ao ensaio estático podemos tomar como referência os itens sobre o ensaio de resistência estática:

“4.4.3.1 Quando ensaiado de acordo com 5.4 (procedimentos para o ensaio de resistência estática), com o ponto móvel de ancoragem ou meio de conexão determinado pelo fabricante, este deve ser posicionado:

- a) imediatamente ao lado de uma ancoragem de extremidade;
- b) sobre uma ancoragem intermediária;
- c) em uma ancoragem de curva;
- d) em local de entrada/saída da linha e em uma emenda da linha horizontal;
- e) no centro do vão mais longo;
- f) no centro do vão mais curto.

Utilizando as mesmas configurações de ensaio utilizadas para o ensaio de força dinâmica e integridade descritas em 5.3.2 e 5.3.3, aplicar uma carga de (12+1) kN ou, para elementos não metálicos, a carga estática deve ser de (18+1) kN. O ponto móvel de ancoragem ou meio de conexão determinado pelo fabricante não pode se desconectar da linha flexível de ancoragem.

4.4.3.2 Quando o fabricante permitir que mais de um usuário utilize o dispositivo de ancoragem de forma simultânea, as cargas de ensaio devem ser acrescidas de (1 +0.1) kN para cada usuário adicional, por exemplo, 15 kN para quatro usuários em um dispositivo de ancoragem metálico. O ponto de ancoragem móvel não pode se desconectar da linha flexível de ancoragem.”

(Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024)

Portanto a carga P de 12 kN a ser considerada nos cálculos, já possui um fator de segurança igual a 2 para um usuário.

A norma soma um 1kN por usuário extra, pois se embasa no conceito que é estatisticamente muito improvável que dois trabalhadores caiam exatamente no mesmo milissegundo, carregando a linha com uma carga real de 12 kN (seria necessário dimensionar para 24 kN). Portanto, independente da ordem de queda, a norma considera o impacto de uma queda e os demais trabalhadores são considerados em suspensão.

Exemplo: Para uma linha de vida horizontal para 4 usuários:

$$P = 12\text{kN} + 1\text{kN} + 1\text{kN} + 1\text{kN} = 15\text{kN}$$

REQUISITOS DE APLICAÇÃO

Para aplicação deste método os seguintes requisitos devem ser atendidos:

- Vão único
- Sem absorvedor de energia
- Vão máximo de 15 metros;

Força resultante pela decomposição de forças

O cálculo de força resultando por decomposição é aplicado nas amarrações de cordas em acesso por corda e é bem conhecido pelo diagrama da Figura 11.

A literatura apresenta as resultantes em função do ângulo de abertura do ponto de carregamento que facilita para o trabalhador ou profissional de acesso por corda visualizar em campo.

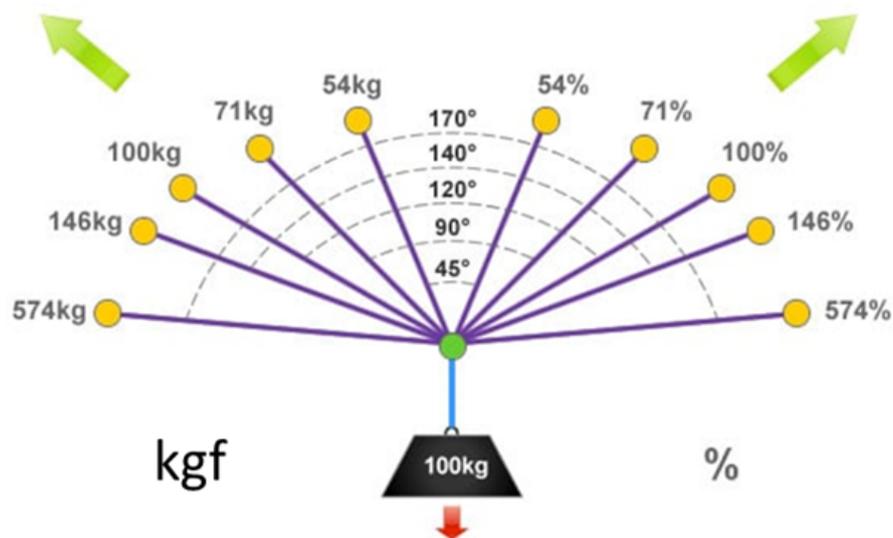


Figura 11 Ilustração do aumento da força resultante em função do ângulo de abertura de uma ancoragem.
Fonte: Internet – domínio Público

Para aplicarmos esse conceito nos cálculos de linha de vida horizontal, vamos adotar o ângulo β como referência conforme ilustrado na Figura 12.

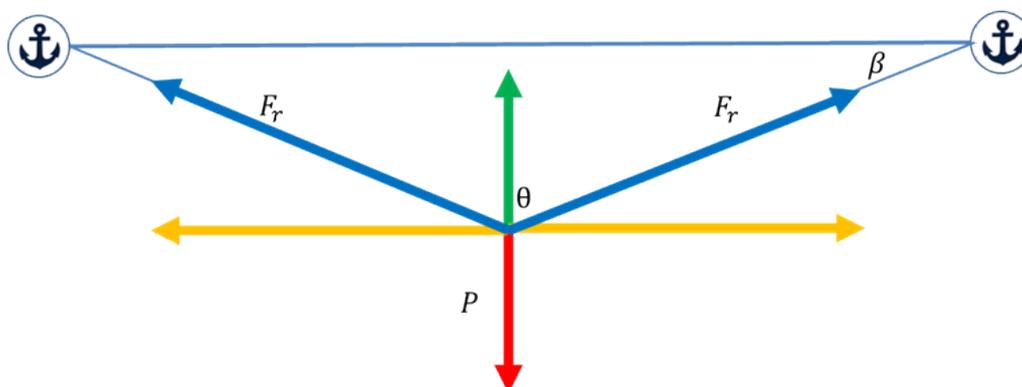


Figura 12 Diagrama de decomposição de forças.
Fonte: Autor

A partir de uma carga P conhecida, adotamos um ângulo β e obtemos a Força resultante em cada ponto de ancoragem.

A partir da Figura 12 temos que:

$$F_r \cdot \text{sen}(\beta) = 0,5 \cdot P \quad \text{Equação 12}$$

É sabido também que:

$$\text{sen}(\beta) = \frac{\text{Cateto oposto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{f}{\sqrt{f^2 + L'^2}} \quad \text{Equação 13}$$

Portanto:

$$F_r = \frac{0,5 \cdot P}{\text{sen}(\beta)} = \frac{0,5 \cdot P \cdot \sqrt{f^2 + L'^2}}{f} \quad \text{Equação A}$$

Desta forma, uma vez que temos uma carga definida e o comprimento L' conhecido, podemos obter a força resultante apenas variando o comprimento da flecha que é a única variável.

A Equação A terá um comportamento descrito conforme o gráfico da Figura 13.

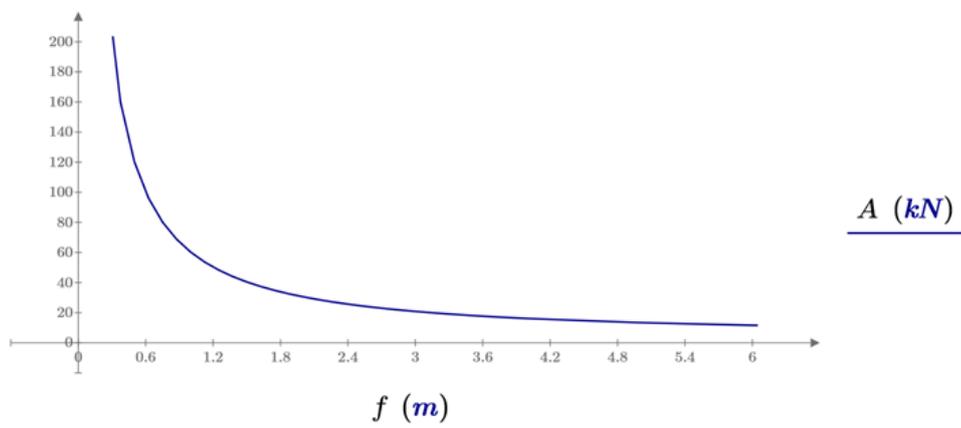


Figura 13 Gráfico da Força resultante em função da flecha pela equação de decomposição de forças.
Fonte: Autor.

O gráfico apresenta que quanto maior a flecha (f) do eixo x , menor será a resultante (F_r) nas ancoragens, mas apesar da obtenção da força resultante, a Equação A não é suficiente para prever o comportamento de uma linha de vida sujeita a uma força estática pois não temos o ponto que a linha entrará em equilíbrio. Apenas um "retrato" da força em um determinado ângulo.

Com o objetivo de chegar ao modelo de balanço estático, vamos estudar outra forma de cálculo considerando a rigidez do cabo.

Força resultante pela rigidez do cabo

Considerando o cabo um elemento elástico é correto afirmar que seu comportamento pode ser descrito pela lei de Hook:

$$F = K \cdot x$$

Equação 14

A rigidez K do cabo é obtida conforme visto no capítulo "Rigidez do cabo de aço (K)".

Adotando o diagrama apresentado na Figura 14 podemos observar que conforme a flecha aumenta, o cabo é alongado e consequentemente a força resultante aumenta.

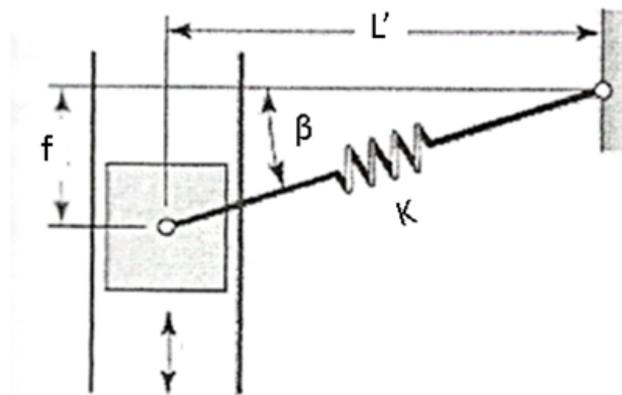


Figura 14 Ilustração esquemática de um sistema considerando o cabo como elemento de mola (elástico).
Fonte:(Balachandran & Magrab, 2009) modificado

Podemos descrever a distância comprimento do cabo (H) em uma flecha qualquer aplicando Pitágoras com a seguinte fórmula:

$$H = \sqrt{f^2 + L'^2}$$

Equação 15

É importante visualizar que neste caso o comprimento do cabo está sendo alterado devido a um alongamento. Ao aumentar a flecha, o comprimento do cabo também aumenta, e a diferença entre o comprimento inicial, será chamado de x conforme Figura 15.



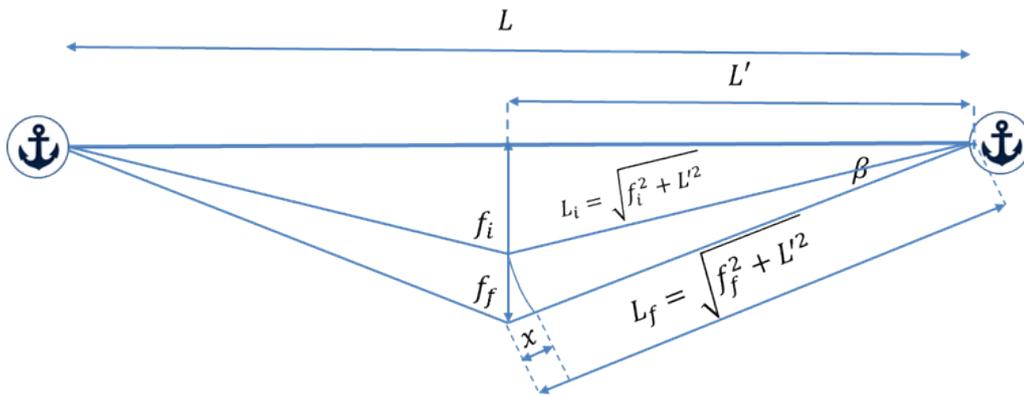


Figura 15 Diagrama esquemático da linha pré tensionada e em sua tensão máxima.
Fonte: Autor.

Podemos obter então o valor de x com a diferença de comprimento entre duas flechas:

$$x = \sqrt{f_f^2 + L'^2} - \sqrt{f_i^2 + L'^2} \quad \text{Equação 16}$$

Uma vez tendo o comprimento inicial do cabo L' , podemos obter a rigidez do cabo:

$$K = \frac{A_m \cdot E}{L_i} \quad \text{Equação 17}$$

e, portanto, podemos obter a força resultante em cada ancoragem com a seguinte equação:

$$F_r = \frac{A_m \cdot E}{L_i} \cdot \sqrt{f_f^2 + L'^2} - \sqrt{f_i^2 + L'^2} \quad \text{Equação B}$$

Quando a flecha inicial em catenária tende a 0, podemos reescrever a equação da seguinte forma:

$$F_r = \frac{A_m \cdot E}{L_i} \cdot \sqrt{f_f^2 + L'^2} - L' \quad \text{Equação 18}$$

A equação B tem um comportamento que pode ser descrito pelo gráfico conforme Figura 1

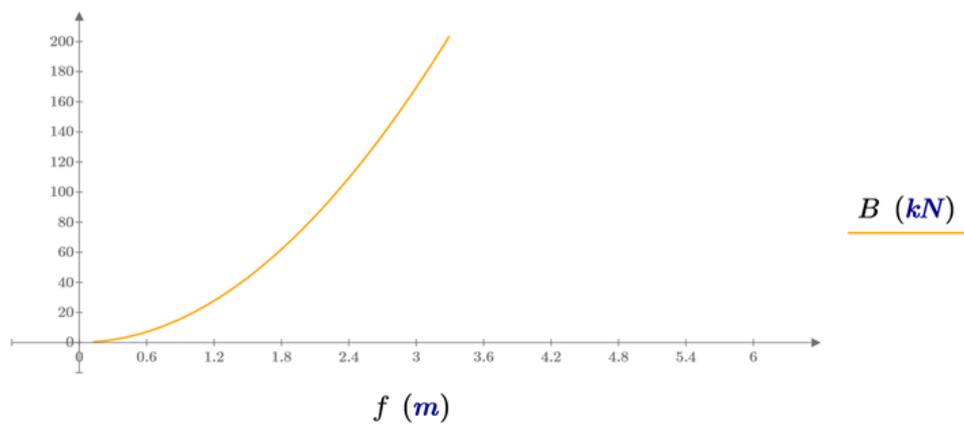


Figura 16 Gráfico da Força resultante em função da flecha pela equação com base na rigidez.
Fonte: Autor.

Conforme a flecha aumenta, a força resultante aumenta devido ao alongamento do cabo.

Da mesma forma que a Equação A, a Equação B só possui a variável flecha. Os demais valores são obtidos na concepção do sistema.

Assim como a Equação A, a Equação B também não é suficiente para o cálculo de uma linha de vida horizontal pois não é possível estabelecer qual será a flecha de equilíbrio para um determinado carregamento. Entretanto, com as duas equações podemos avançar para o balanço estático.

Balanço estático

Considerando as equações A e B temos:

$$F_r = \frac{0,5.P.\sqrt{f^2 + L'^2}}{f} \quad \text{Equação A}$$

$$F_r = \frac{A_m \cdot E}{L_i} \cdot \sqrt{f_f^2 + L'^2} - \sqrt{f_1^2 + L'^2} \quad \text{Equação B}$$

Ambas as equações são de Força resultante em função da flecha, logo, podemos supor que existe um ponto onde uma determinada flecha resulta na mesma força resultante em ambas as equações.

Essa hipótese se confirma quando observamos a superposição das equações do gráfico da figura onde vemos um ponto onde ambas têm o mesmo valor de força resultante e flecha.

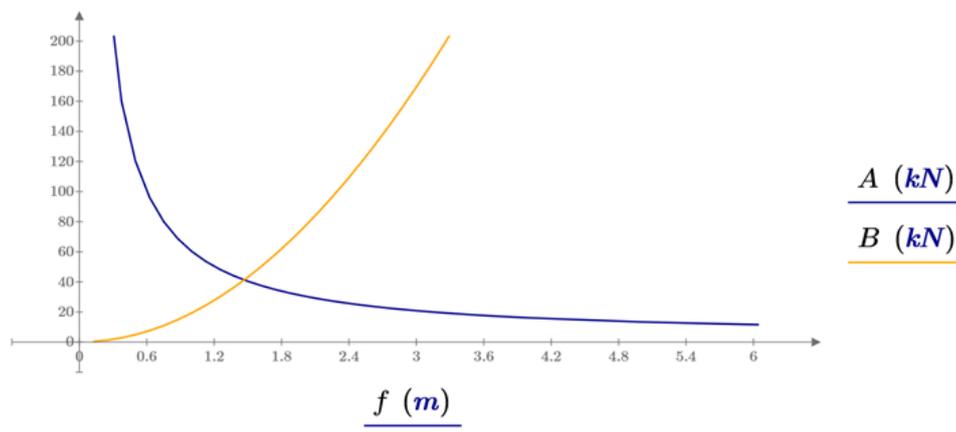


Figura 17 Superposição dos dois gráficos – ponto de equilíbrio no cruzamento.
Fonte: Autor.

Portanto podemos apresentar o balanço estático da seguinte forma

$$\frac{0,5.P.\sqrt{f^2+L'^2}}{f} = \frac{A_m.E}{L_i} \cdot \sqrt{f_f^2 + L'^2} - \sqrt{f_1^2 + L'^2} \quad \text{Equação 19}$$

e, logo,

$$\frac{A_m.E}{L_i} \cdot \sqrt{f_f^2 + L'^2} - \sqrt{f_1^2 + L'^2} - \frac{0,5.P.\sqrt{f^2 + L'^2}}{f} = 0$$

Finalmente, para uma maior precisão, somamos o valor T_o referente a tensão constante inicial de instalação adotada no cálculo da catenária:

$$T_o + \frac{A_m.E}{L_i} \cdot \sqrt{f_f^2 + L'^2} - \sqrt{f_1^2 + L'^2} - \frac{0,5.P.\sqrt{f^2+L'^2}}{f} = 0 \quad \text{Equação C}$$

Quando a diferença entre ambas for igual a 0, o balanço entrou em equilíbrio.

Uma vez a flecha definida, podemos voltar para a equação A e obter a força resultante do ponto de equilíbrio.

Uso de ferramentas computacionais.

É claro que os cálculos apresentados podem ser feitos “a mão”, mas em pleno século 21, com todos os avanços tecnológicos, não podemos afirmar que “fazer a mão” é um sinônimo de melhor método.

Não importa a ferramenta utilizada, mas sim se o projetista compreende e sabe aplicar os conhecimentos adquiridos seja em um papel ou uma planilha eletrônica.

Existem publicações que apresentam um “roteiro” de fórmulas prontas que tem o objetivo de facilitar a tarefa do projetista, mas infelizmente, muitas planilhas foram criadas com erros de digitação que viralizaram e muitas vezes o usuário não se atenta.

A primeira recomendação ao projetista é ler este guia até compreender o modelo proposto e, então, desenvolver a sua própria planilha.

Cuidado com as unidades!!! Como se aprende nos cursos de engenharia, só podemos calcular banana com banana e maçã com maçã. Alguns softwares matemáticos já fazem os cálculos e conversões de unidade, mas se for utilizar uma planilha de Excel, coloque as unidades do lado de cada valor de entrada e verifique se os resultados estão de acordo com o esperado. Utilize o ANEXO I - Exemplo de cálculo para validar a sua planilha.

Se utilizar optar por utilizar uma planilha de Excel, uma ferramenta muito útil é a “Atingir meta” que você encontra na aba “Dados”, dentro do menu “Teste de Hipóteses”

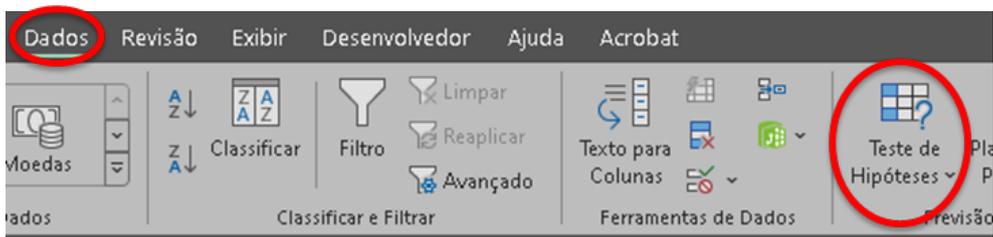


Figura 18 Localização da ferramenta “Atingir meta”.
Fonte: Autor.

Crie uma célula para inserir o valor da flecha e uma para cada resultado das Equações A e B, e uma quarta célula para o valor de A-B conforme Figura 19 abaixo. Neste exemplo podemos ver que com a flecha de 1000 mm as equações não se igualam, e a diferença entre elas é -15,32 kN.

f	1000,00	mm
F1	30,59	kN
F2	15,27	kN
dif	-15,32	kN

Figura 19 Exemplo de disposição das células de uma planilha para aplicação da ferramenta “Atingir meta”.
Fonte: Autor.

Clique em “Atingir Meta”. Irá abrir a tela conforme Figura 20.

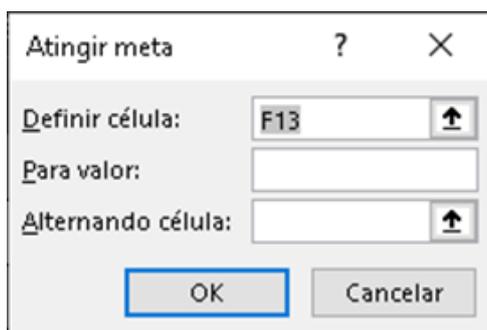


Figura 20 Janela de parâmetros da ferramenta “Atingir meta”.
Fonte: Autor.

Em "Definir célula" selecione o resultado da diferença.

Em "Para valor" digite 0.

Em "Alternando célula", selecione a célula do valor da flecha e clique em "OK".

O Excel irá responder com o seguinte "pop-up" conforme Figura 21.

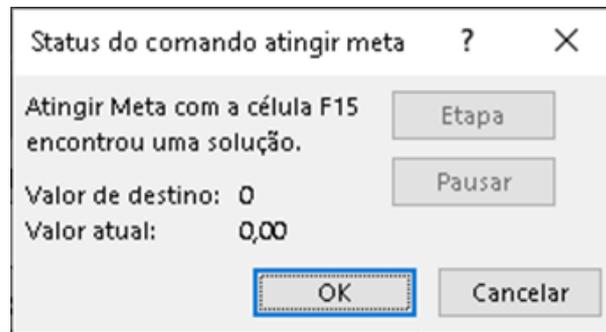


Figura 21 Janela de Status da convergência dos resultados.

Fonte: Autor.

Clique em "Ok" novamente e veja que o Excel encontrou o valor da flecha para que a diferença entre as duas equações fosse igual a zero (vide Figura 22).

f	1268,02	mm
F1	24,41	kN
F2	24,41	kN
dif	0,00	kN

Figura 22 Planilha após aplicação da ferramenta "Atingir meta".

Fonte: Autor

Considerações sobre o diâmetro do cabo

Podemos observar na Figura 23 que o aumento do diâmetro do cabo possui uma resistência maior, também aumenta a rigidez do cabo e, portanto, a força resultante nos pontos.

No gráfico podemos observar a simulação com cabos de 6 mm, 8 mm e 10mm e suas respectivas flechas e resultantes em equilíbrio.



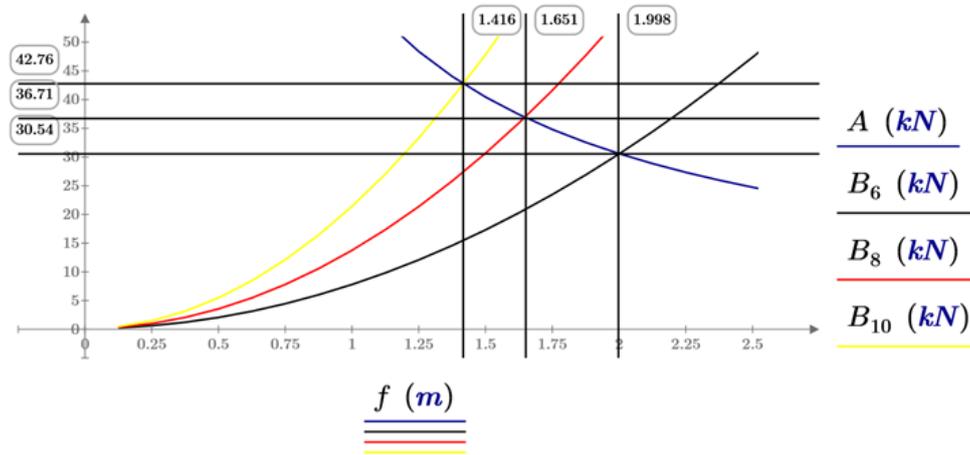


Figura 23 Gráfico Equação A sobre Equação B – Variação do diâmetro.
Fonte: Autor.

Considerações sobre a carga aplicada.

Um erro bastante comum nos dimensionamentos de linha de vida horizontal flexível, é adotar 100 kgf como a força P do sistema devido ser uma massa padronizada nos ensaios de EPIs e elementos de ligação.

Conforme vimos anteriormente a carga máxima permitida é 6 kN e com os fatores de segurança aplicados, teremos um aumento significativo na resultante, podendo até inviabilizar tecnicamente a implantação.

Podemos observar na Figura 24, a simulação de equilíbrio estático com as seguintes cargas: 1 kN, 6 kN, 12 kN, 14 kN em um cabo de 10 mm de diâmetro.

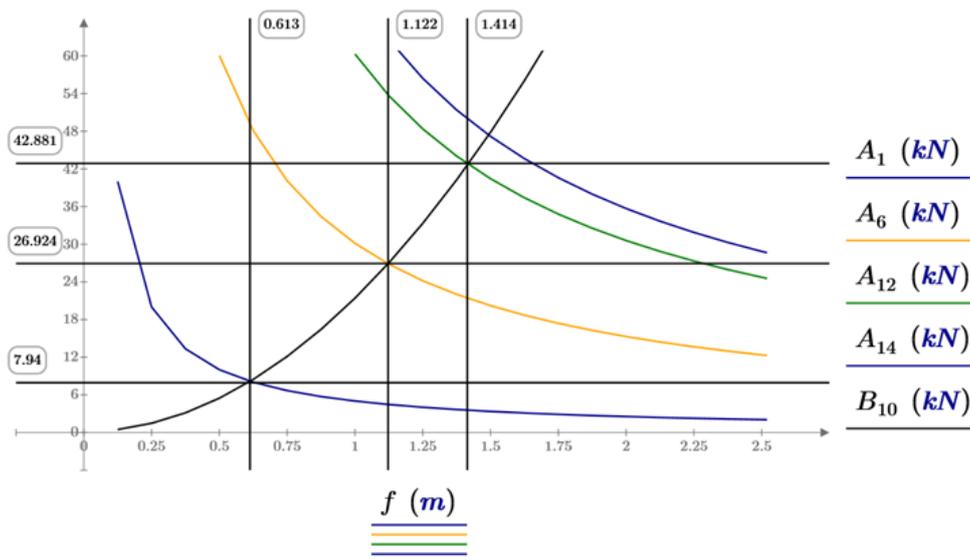


Figura 24 Gráfico Equação A sobre Equação B – Variação da carga P.
Fonte: Autor.

Também é possível observar uma diferença importante na força resultante em comparação com uma força P de 1kN (7,94 kN) para uma de 6kN (26,92 kN).

Considerações sobre múltiplos vãos

O método de balanço estático é indicado para linhas de vida horizontais flexíveis de vão único, o que diverge do entendimento anterior onde se recomendava o dimensionamento de todo o comprimento da linha como se fosse um único vão e simplesmente se aplicam os intermediários.

O primeiro dado a ser considerado é que para vãos únicos, independente do comprimento da linha, a força resultante será sempre a mesma, variando somente a flecha conforme observamos na Figura 25 a simulação para 10 metros, 30 metros, 50 metros, 80 metros e 100 metros.

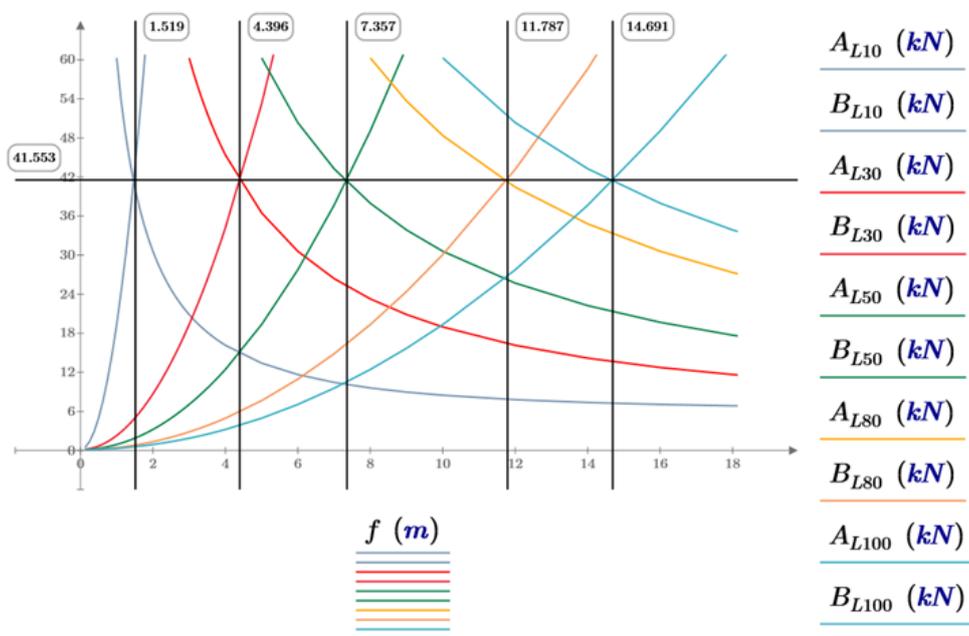


Figura 25 Gráfico Equação A sobre Equação B – Variação de comprimento de vão.
Fonte: Autor.

Existem algumas questões que impedem a aplicação destes valores em linhas de vidas horizontais flexíveis de múltiplos vão. A primeira questão é a flecha que podemos observar na Figura 25 que para um vão de 100 metros a flecha calculada chegou a 14,69 metros o que inviabiliza a maioria das instalações por si só.

Supondo uma situação em que o trabalhador “possa” cair quase 15 metros, a energia gerada na queda seria equivalente a uma queda de fator muito maior que 2 e isto impactaria na proteção do trabalhador devido os limites de desempenho dos elementos de ligação.

A americana de projetos (American National Standard Institute & American Society of Safety Professionals, 2016) define uma equação para cálculo de vão máximo de linhas de vida horizontais com absorvedores de energia (que não se aplicam a modelo de balanço estático) com o objetivo de proteger o trabalhador de queda acima do limite dos equipamentos utilizados.

Por último, dimensionar uma linha de vida horizontal de vão único com qualquer vão não representa o comportamento de uma linha com pontos intermediários. O alongamento do cabo será concentrado no vão da queda e devido ao atrito gerado pelo cabo no olhal, a rigidez do cabo é variável em função do comprimento útil do cabo no segmento de retenção.

Considerações sobre direção de carregamento

A direção de carregamento deve ser avaliada em função das áreas de riscos de queda e como o sistema será solicitado.

Uma vez que se faça os cálculos para obtenção de força e flecha, o projetista deve avaliar a direção de carregamento e decompor a força resultante em 3 eixos ortogonais.

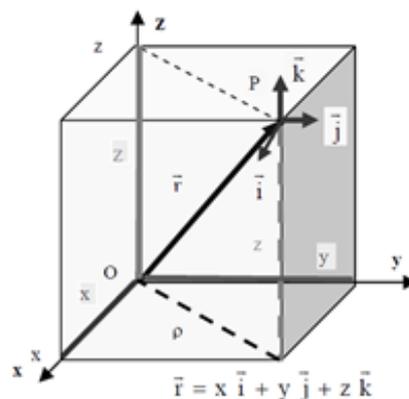


Figura 26 Decomposição vetorial em 3 eixos ortogonais.
Fonte: domínio público.

Estes 3 componentes de forças serão aplicados nos pontos de ancoragem.

Tomando como exemplo a situação ilustrada na Figura 27 abaixo:



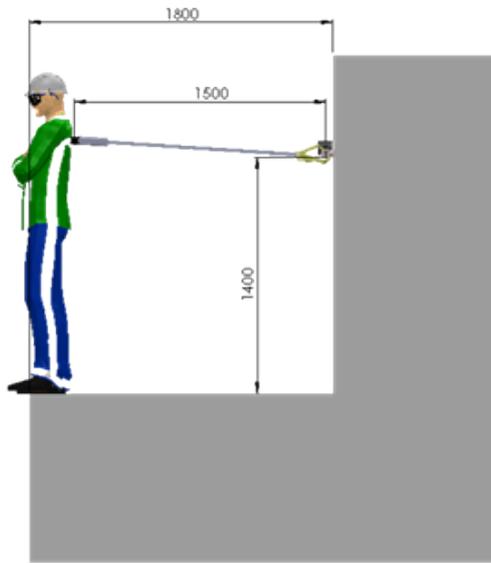


Figura 27 Estudo de caso – situação exemplo 01 – vista lateral.
Fonte: Autor.

Supondo que o trabalhador caia e seu talabarte se apoie sobre a quina, a linha de linha de vida horizontal flexível será carregada na direção da borda e não no plano vertical, e, portanto, a componente F_v possui um ângulo com o plano vertical.

O projetista irá conduzir os cálculos conforme o método, mas após obter a força resultante, irá decompor a força em dois vetores de força ortogonais conforme visto na Figura 28.

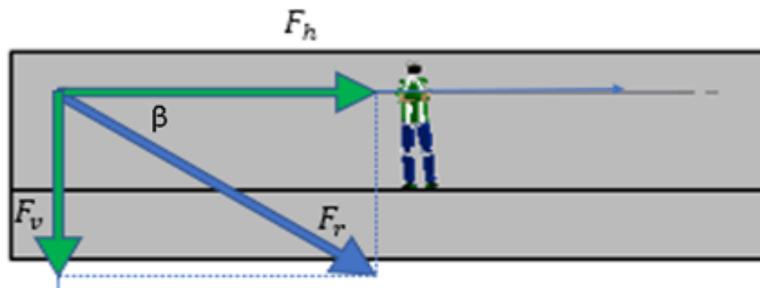


Figura 28 Estudo de caso – situação exemplo 01 – vista frontal com decomposição de forças.
Fonte: Autor.

Como o componente F_v está paralelo a direção de carregamento, o projetista deverá decompor em outros dois vetores de força (F_v^1 e F_v^2) conforme visto na Figura 29.

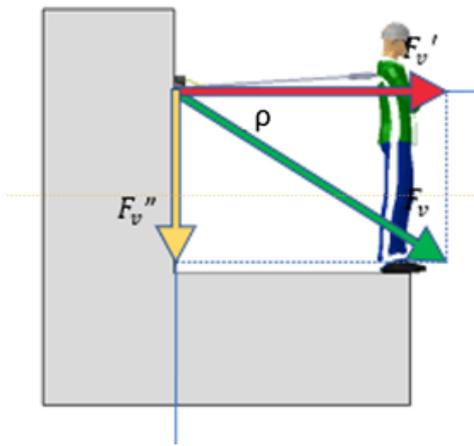


Figura 29 Estudo de caso – situação exemplo 01 – vista lateral com decomposição de forças
Fonte: Autor.

Estes 3 componentes de força ($F_{v'}$, $F_{v''}$ e F_v) agora devem ser aplicados na superfície de instalação e orientados quanto ao seu tipo de carregamento (normal ou cisalhamento) conforme Figura 30a.

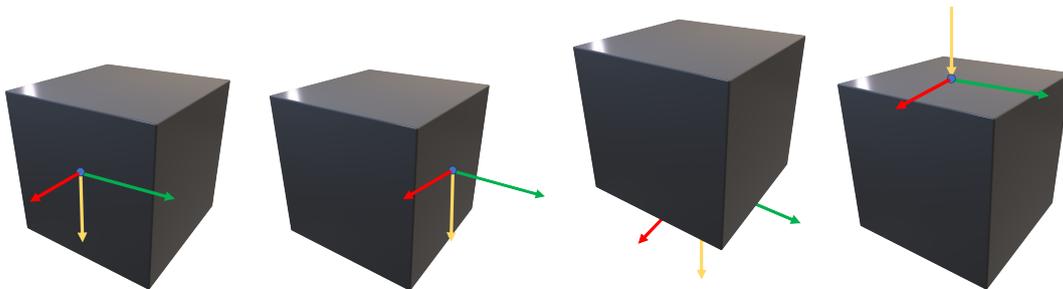


Figura 29 Estudo de caso – situação exemplo 01 – vista lateral com decomposição de forças
Fonte: Autor.

Esta orientação do carregamento auxilia no dimensionamento dos chumbadores, sejam químicos ou mecânicos.

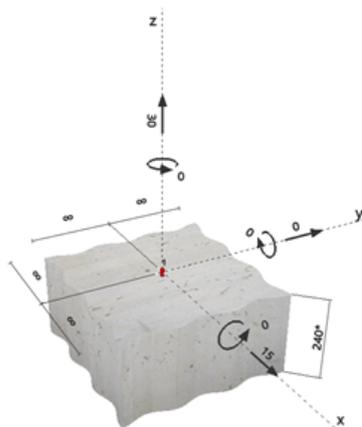


Figura 30 Ilustração - Mesmo carregamento em diferentes faces de uma estrutura.
Fonte: Autor.

CONSIDERAÇÕES SOBRE ANCORAGENS PARA LINHAS DE VIDA HORIZONTAIS

Uma vez as forças posicionadas e orientadas, os chumbadores químicos (ou mecânicos) devem ser dimensionados conforme método EOTA buscando verificar quatro modos de falha em carregamento normal (Figura 32) e quatro modos de falha em carregamento de cisalhamento. (Figura 33).

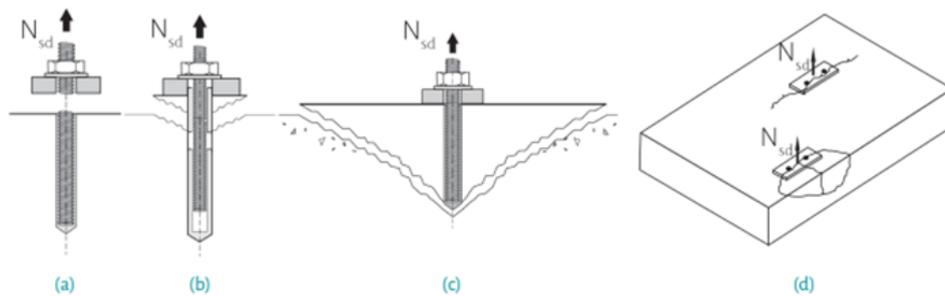


Figura 32 Modos de falha da ancoragem estrutural em carregamento normal. (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural, 2018).

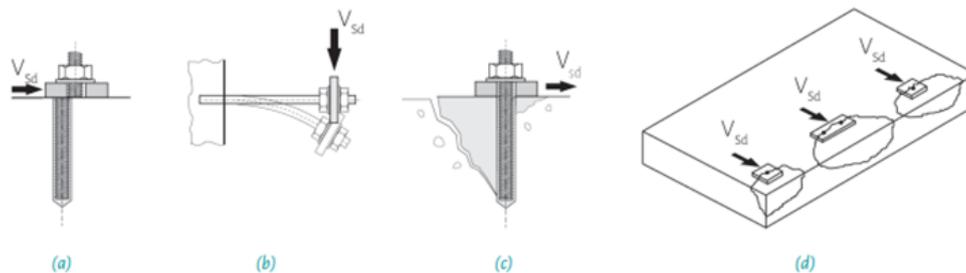


Figura 33 Modos de falha da ancoragem estrutural em carregamento em cisalhamento. Fonte:(Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural, 2018).

Uma vez validados as direções de carregamento, as especificações de instalação e materiais deverão ser incluídas no memorial e projeto, não se limitando à:

- diâmetro da broca
- embutimento
- distância mínima de borda
- distância mínima entre pontos
- Especificações do químico
- Especificações da barra a ser instalada.



Arquivo técnico - Documentos de projeto

O arquivo técnico deverá conter todas as informações do sistema desde a sua implantação até os relatórios de inspeção, monitoramento e manutenção.

Podemos listar os documentos mais comuns que compõe um arquivo técnico:

- **SPIQ**
 - Projeto, desenhos e especificações do SPIQ;
 - Memorial descritivo do SPIQ;
 - Memorial de cálculo do SPIQ;
 - Relatório de instalação;
 - Relatório de ensaio da ancoragem estrutural;
 - Notas fiscais de aquisição dos materiais utilizados;
 - Plano de inspeção;
- **Específicos dos dispositivos de ancoragem;**
 - Manuais do fabricante;
 - Documentação de validação;
 - Certificado; ou
 - Laudo de ensaio de 3ª parte + ART;
 - Projeto e memorial do dispositivo;
- **Específicos da ancoragem estrutural;**
 - Ficha técnica;
 - Relatório de desempenho do chumbador;
 - Projeto e dimensionamento do chumbador (incluído na documentação do SPIQ);
- **Estrutura;**
 - Validação da estrutura (incluído na documentação do SPIQ).

Plano de inspeção

Muitos são os casos de sistemas instalados, aprovados para uso e na primeira inspeção periódica (quando não realizada pelo próprio instalador) é reprovada.

Muitas empresas também têm como regra “quem instala, inspeciona” e vive numa ilusão de que a documentação estando aprovada e um recolhimento de uma ART basta para qualquer sinistro que venha ocorrer. Temos também outras empresas sem nenhuma documentação ou histórico do sistema, que contratam serviços de inspeção para “recertificar” o sistema.

Já tive relatos de empresas que sobrecarregam os pontos nos ensaios de arrancamento para levar a uma falha e tentar obter um contrato de manutenção.

Temos inúmeros relatos de ocorrências relacionadas com inspeções inadequadas ou sistemas novos que não passam em uma inspeção. Isso se deve pela falta de um plano de inspeção definido logo no início da implantação.

Inicialmente, é importante entender que o inspetor não é projetista, muitas vezes nem é um profissional da engenharia e ele não tem condições de avaliar se um sistema foi adequadamente projetado e instalado.

O papel do inspetor é monitorar, acompanhar, avaliar, ensaiar e verificar se um sistema mantém suas condições mínimas necessárias para desempenhar conforme projetado e, este trabalho não pode e não deve partir da subjetividade de cada inspetor.

Se não existir um histórico do que foi instalado, documentação embasando o sistema, mesmo ensaiando a inspeção não te passa nenhum resultado significativo.

Uma determinada empresa possuía uma linha de vida horizontal que o projeto declarava que a força resultante da linha era de 22 kN (aproximadamente 2200 kgf) e estava “conforme a NR-35”. O ponto onde a linha estava ancoragem possuía uma placa “testado e aprovado com 1500 kgf conforme NR-18”. A linha já estava instalada pelo menos há 5 anos e era aprovada anualmente nas inspeções.

O inspetor não determina a carga que será aplicada em um ponto. Este valor vem do projeto. Existem referências normativas que o projetista deve se embasar tanto para o dimensionamento como para a determinação da carga de ensaio.

Todos os parâmetros de inspeção devem ser determinados na fase de projeto e constar no plano de inspeção, sendo alguns deles (mas não limitando a esta lista):

- Identificação do sistema
- Lista de materiais com especificação, marca, modelo, fabricante e código de referência
 - Ou citação do projeto;
- Carga de ensaio e tempo de ensaio definidos;
- Equipamentos a serem utilizados, requisitos de calibração;
- Periodicidade de ensaio - máximo 12 meses, mas podem existir períodos reduzidos),
- Quem pode inspecionar?
- Qual a capacitação mínima do inspetor? Precisa ser homologado pelo fabricante?
- Critérios de aprovação, reprovação;

BIBLIOGRAFIA

American National Standard Institute, & American Society of Safety Professionals. (2016). Z359.06-2016 - ANSI/ASSP - Specifications and Design Requirements for Active Fall Protection Systems.

Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural. (2018). Abece 005:2018 - Projeto de fixações com chumbadores químicos em elementos de concreto.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). ABNT NBR11900-4 2016 - Terminal para cabo de aço - parte 4 - grampos leve e pesado.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2024). NBR 16325-2 - Proteção contra queda de Altura - Parte 2: Dispositivos de ancoragem tipos C.

Balachandran, B., & Magrab, E. B. (2009). VIBRATIONS (2o, Vol. 1). CENGAGE Learning.

British Standards Institute. (2012). BS EN 795 - Personal fall protection equipment - Anchor systems - Anchor devices.

British Standards Institute. (2019). BS 7883:2019 - Personal Fall Protection equipment - Anchor Systems - system design, installation and inspection - code of practice. 147.

CIMAF. (2009). Manual Técnico de Cabos. Bekeart, 64. Retrieved from <http://www.cimafbrasil.com.br/home.php>

DGUV - Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. (2015). DGUV Information 201-056 Planungsgrundlagen von Anschlagrichtungen auf Dächern. (August 2012).

Ministério do Trabalho e Emprego. (2023a). Norma regulamentadora no 35 - Trabalho em altura (pp. 1–23). pp. 1–23. Retrieved from <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-reguladoras/NR35atualizada2023.pdf>

Ministério do Trabalho e Emprego. (2023b). NR12 - SEGURANCA EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. (12).

Ministério do Trabalho e Emprego. (2024). NR-18 Construção Civil 2024. (18).

ANEXO I - Exemplo de cálculo

Os cálculos a seguir são para exemplificar um memorial de cálculo e não devem ser reproduzidos pois adotam elementos fictícios.

Exemplo: “Projetar um sistema de ancoragem tipo linha de vida horizontal flexível de 15 metros para a atividade de concretagem em uma obra. Trabalharão 3 funcionários na atividade.”

Dados da linha

$$L := 15 \text{ m}$$

$$L' := \frac{L}{2} = 7.5 \text{ m}$$

$$n_u := 3 \quad \text{Número de usuários}$$

$$F_{max} := 6 \text{ kN} \quad \text{Força máxima transmitida pelo elemento de ligação.}$$

$$FS_{carga} := 2 \quad \text{Fator de segurança do carregamento estático NBR 16325-2}$$

$$P := F_{max} \cdot FS_{carga} + 1 \text{ kN} \cdot (n_u - 1) = 14 \text{ kN} \quad \text{Conforme ensaio estático NBR 16325-2}$$

Especificação do cabo:

Cabo de aço 6x19 - 9,5 mm - AA - EIPS - galvanizado

Dados de Entrada

$$d_m := 9.5 \text{ mm} \quad \text{Diâmetro nominal}$$

$$w_o := 0.343 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} = 3.36 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad \text{Peso linear do cabo}$$

$$EEIPS := 2060 \text{ MPa} \quad \text{Valor médio da qualidade do arame}$$

$$Fator_{encablamento} := 0.825 \quad \text{Fator para cálculo de Crm}$$

$$FS_{cabo} := 1.25 \quad \text{Fator de segurança do cabo}$$

$$E := 10500 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} = 102969.83 \text{ MPa} \quad \text{Módulo elástico}$$

Cálculos do cabo

$$A_m := 0.396 \cdot d_m^2 = 35.74 \text{ mm}^2$$

Área metálica do cabo

$$C_{rt} := A_m \cdot EEIPS = 73.62 \text{ kN}$$

Carga de ruptura teórica

$$C_{rm} := C_{rt} \cdot \text{Fator_encabamento} = 60.74 \text{ kN}$$

Carga de ruptura mínima

$$K := \frac{A_m \cdot E}{L'} = 490.67 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Rigidez do cabo

Condição inicial - Catenária

$$T_o := 500 \text{ N} = 50.99 \text{ kgf}$$

Tensão de instalação

$$f_i := \frac{T_o}{w_o} \cdot \left(\cosh \left(\frac{L'}{\frac{T_o}{w_o}} \right) - 1 \right) = 189.25 \text{ mm}$$

Flecha inicial catenária

$$L_i := \frac{T_o}{w_o} \cdot \sinh \left(\frac{L'}{\frac{T_o}{w_o}} \right) = 7.50318 \text{ m}$$

Comprimento real do cabo em catenária

$$L_i \cdot 2 = 15.01 \text{ m}$$

Comprimento real do vão

$$f_1 := \sqrt{L_i^2 - L'^2} = 218.51 \text{ mm}$$

Flecha inicial em carregamento

$$R := \frac{f_i}{L} \cdot 100 = 1.26$$

Razão de flecha - entre 1,25% e 2,5%

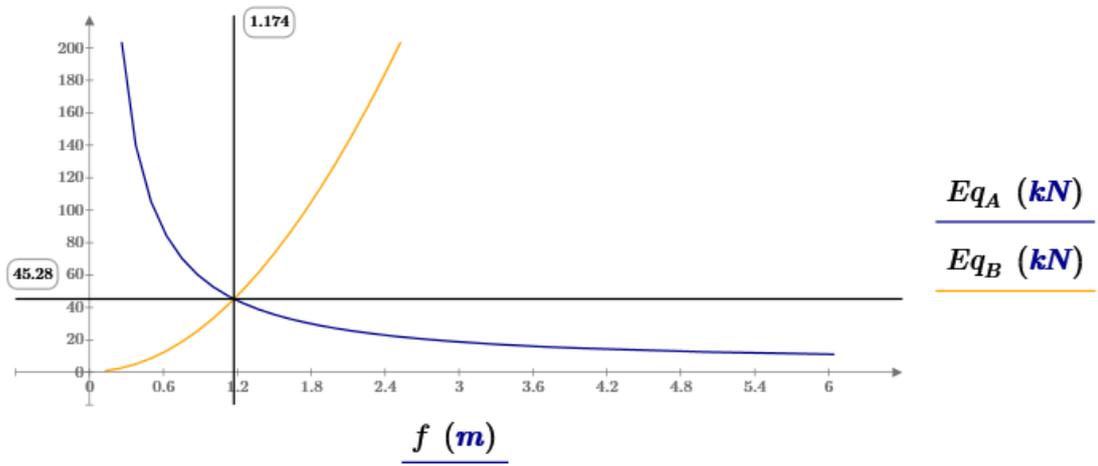
Balço estático

$$Eq_A := \frac{((0.5 \cdot P) \cdot (\sqrt{(f)^2 + L'^2}))}{f}$$

Resultante por decomposiço

$$Eq_B := T_o + (K \cdot (\sqrt{L'^2 + f^2} - L'))$$

Resultante por rigidez + tensõ da catenária



$$Eq_A := \frac{((0.5 \cdot P) \cdot (\sqrt{(1.17357 \text{ m})^2 + L'^2}))}{1.17357 \text{ m}} = 45279.65 \text{ N}$$

$$Eq_B := T_o + (K \cdot (\sqrt{L'^2 + (1.17357 \text{ m})^2} - L')) = 45279.94 \text{ N}$$

$$dif := Eq_A - Eq_B = -0.29 \text{ N}$$

Resultados

$$f_2 := 1.17357 \text{ m} \quad \text{Flecha máxima}$$

$$F_r := Eq_A = 45.28 \text{ kN} \quad \text{Força máxima}$$

$$\beta := \text{atan}\left(\frac{f_2}{L'}\right) = 8.89^\circ \quad \text{ângulo com o eixo horizontal}$$

Segue com esses resultados para o dimensionamento dos chumbadores.

Verificação do cabo

$$C_t := \frac{C_{rm}}{1.25} = 48.59 \text{ kN}$$

$$F_r < C_t = 1 \quad 1 = \text{verdadeiro, portanto OK}$$

$$FS_{global} := FS_{cabo} \cdot FS_{carga} = 2.5$$

O fator de segurança global recomendado

Zona Livre de Queda requerida - baseada na altura da linha de vida horizontal

$$f_2 = 1.17 \text{ m} \quad \text{Flecha máxima da linha}$$

$$L_{talabarte} := 1.5 \text{ m} \quad \text{Comprimento do talabarte}$$

$$L_{absorvedor} := 1.3 \text{ m} \quad \text{Abertura máxima do absorvedor do talabarte}$$

$$h_{seguran\c{c}a} := 1 \text{ m} \quad \text{Altura de segurança}$$

$$h_{usu\c{a}rio} := 1.5 \text{ m} \quad \text{Altura do ponto de conexão dorsal}$$

$$h_{epi} := 0.5 \text{ m} \quad \text{Altura de deslocamento do ponto dorsal em suspensão}$$

$$ZLQ_r := f_2 + L_{talabarte} + L_{absorvedor} + h_{seguran\c{c}a} + h_{usu\c{a}rio} + h_{epi} = 6.97 \text{ m}$$

Publicações ***CBIC***

Acesse o site da CBIC (www.cbic.org.br/publicacoes) e baixe os livros gratuitamente. Disponíveis em português, inglês e espanhol

INOVAÇÃO

COMAT
COMISSÃO DE MATERIAIS,
TECNOLOGIA, QUALIDADE E
PRODUTIVIDADE



Guia de Desenvolvimento e Adoção de Plataformas de Produto na Construção (2025)



E-Book – Inovação Aberta e em Rede na Construção Civil (2024)



Guia Orientativo da Construção em Aço – App Store – (2019)



Guia Orientativo da Construção em Aço – Google Play – (2019)



Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (2019)



Habitação 10 anos no Futuro – Relatório Final (2018)



Habitação 10 anos no Futuro – Sinais (2018)



RoadShow BIM (2018)



Guia Esquadrilhas para Edificações (2017)



COLETÂNEA – BIM



Cartilha do BIM (2016)



Norma de Desempenho: Panorama Atual e Desafios Futuros (2016)



Catálogo de Inovação na Construção Civil (2016)



Boas Práticas para Entrega do Empreendimento – Desde a Sua Concepção (2016)



Análise dos Critérios de Atendimento à Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575 (2016)



Guia de Elaboração de Manuais (2014)



Dúvidas Sobre a Norma de Desempenho – Especialistas Respondem (2014)



2º Caderno de Caso de Inovação na Construção Civil (2014)



Estratégias para a formulação de Política de Ciência, Tecnologia e Inovação para a indústria da Construção Civil (2013)



Guia da Norma de Desempenho (2013)



Tributação Industrialização e Inovação Tecnológica na Construção Civil (2013)

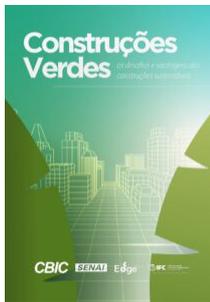


1º Caderno de Casos de Inovação na Construção Civil (2011)

SUSTENTABILIDADE



Cidades resilientes e a urgência por projetos Net Zero Water



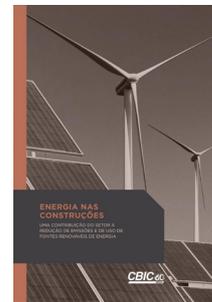
Construções Verdes: Os desafios e vantagens das construções sustentáveis



Guia Orientativo Normas de Conservação de Água (2019)



O Futuro da Minha Cidade – Manual 2ª Edição (2018)



Energia na Construção (2017)



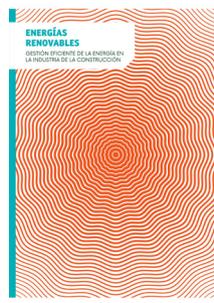
Gestão de Recursos Hídricos na Indústria da Construção (2017)



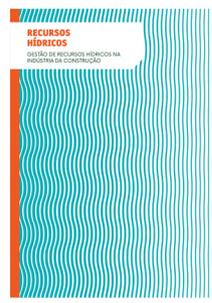
Gestão de Recursos Hídricos na Indústria da Construção – English Version (2017)



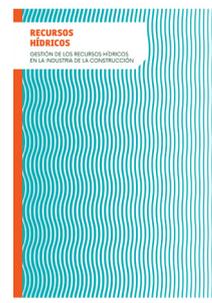
Energias Renováveis (2016)



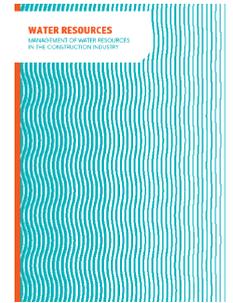
Energias Renováveis – Versión en Español (2016)



Recursos Hídricos (2016)



Recursos Hídricos – Versión en español (2016)



Recursos Hídricos – English Version (2016)



Mapeamento de Incentivos Econômicos Para a Construção Sustentável (2015)



Mapeamento de Incentivos Econômicos Para a Construção Sustentável– Versión en Español (2015)



Guia de Compra Responsável (2015)



Guia de Compra Responsável – Versión en español (2015)



O Futuro da Minha Cidade (2015)



Guia de Orientação para Licenciamento Ambiental (2015)



Guia de Orientação para Licenciamento Ambiental – Versión en español (2015)



Desenvolvimento Com Sustentabilidade (2014)



Desafio de Pensar o Futuro das Cidades (2014)

INFRAESTRUTURA

COINFRA

COMISSÃO DE INFRAESTRUTURA



Alocação de Riscos em Contratos de Obras Públicas (2024)



O reequilíbrio econômico-financeiro dos contratos administrativos de obras e serviços de engenharia (2022)



Os impactos da pandemia do coronavirus nos contratos de obra publica (2022)



Princípios Básicos para o Reequilíbrio Contratual



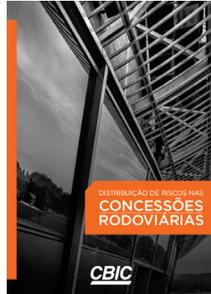
O labirinto das Obras Públicas – 2ª Edição (2022)



Relatório de Produção de Índices de Preços de Índices de Preços



Seminário BNDES – Novo Ciclo de Investimentos em Infraestrutura e a Transparência na Construção Civil (2019)



Distribuição de Riscos na Concessões Rodoviárias (2018)



Impacto Econômico e Social da Paralisação das Obras Públicas (2018)



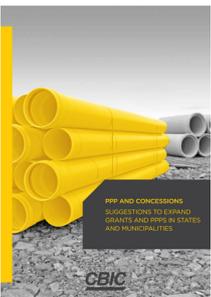
Excelência em Gestão na Construção (2017)



Concessões e Parcerias Público-Privadas (2017)



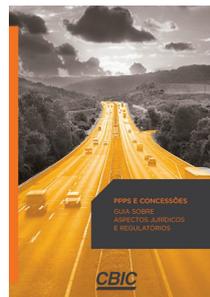
Proposta para Ampliar a Aplicação em Estados e Municípios (2016)



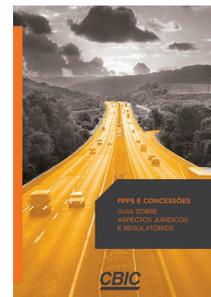
Proposta para Ampliar a Aplicação em Estados e Municípios – English Version (2016)



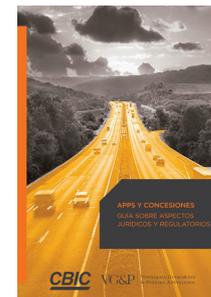
Proposta para Ampliar a Aplicação em Estados e Municípios – Versión en Español (2016)



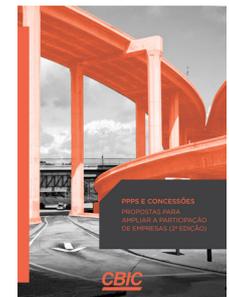
Guia sobre Aspectos Jurídicos e Regulatórios (2016)



Guia sobre Aspectos Jurídicos – English Version (2016)



Guia sobre Aspectos Jurídicos e Regulatórios – Versión en Español (2016)



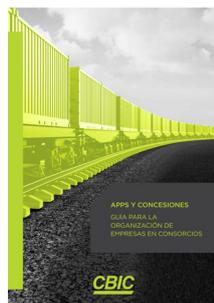
Proposta para Ampliar a Participação de Empresas 2ª Edição (2016)



Guia para Organização das Empresas em Consórcios (2016)



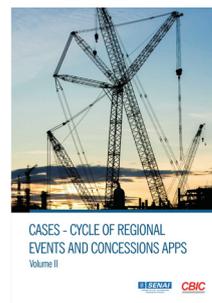
Guia para Organização das Empresas em Consórcios – English Version (2016)



Guia para Organização das Empresas em Consórcios – Versión en Español (2016)



Ciclo de Eventos Regionais Concessões e PPPs – Volume 2 (2016)



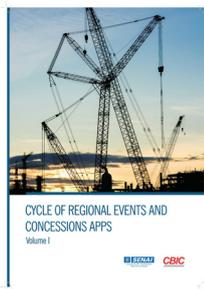
Ciclo de Eventos Regionais Concessões e PPPs – Volume 2 – English Version (2016)



Ciclo de Eventos Regionais Concessões e PPPs – Volume 2 – Versión en Español (2016)



Ciclo de Eventos Regionais Concessões e PPPs – Volume 1



Ciclo de Eventos Regionais Concessões e PPPs – Volume 1 – English Version (2016)



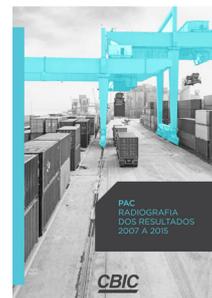
Ciclo de Eventos Regionais Concessões e PPPs – Volume 1 – Versión en Español (2016)



Um debate sobre Financiamento de Longo Prazo para Infraestrutura (2016)



PAC – Avaliação do Potencial de Impacto Econômico (2016)



PAC – Radiografia dos Resultados 2007 a 2015 (2016)



Encontro Internacional de Infraestrutura e PPPs (2015)



Encontro Internacional de Infraestrutura e PPPs – English Version (2015)



Encontro Internacional de Infraestrutura e PPPs – Versión en Español (2015)



Investimento Em Infraestrutura e Recuperação da Economia (2015)



Investimento Em Infraestrutura e Recuperação da Economia – English Version (2015)



Investimento Em Infraestrutura e Recuperação da Economia – Versión en Español (2015)



Proposta para Ampliar a Participação de Empresas 1ª Edição (2015)



Proposta para Ampliar a Participação de Empresas 1ª Edição – English Version (2015)



Proposta para Ampliar a Participação de Empresas 1ª Edição – Versión en Español (2015)



Cartilha CBIC – TCU (2014)



Distratos na Incorporação Imobiliária (2019)



Desmistificando a Incorporação Imobiliária e o Patrimônio de Afetação (2019)



Jornada da Incorporação Imobiliária | Vendas Digitais



II Encontro Nacional sobre Licenciamentos na Construção (2019)



Letras Imobiliárias Garantidas e o Crédito Habitacional (2017)



Indicadores Imobiliários Nacionais (2017)



Cartilha - Por Uma Nova Cultura Urbana (2017)



Caderno - Por Uma Nova Cultura Urbana (2017)



Perenidade dos Programas Habitacionais (2016)



Eficiência na Construção - Brasil mais Eficiente, País mais Justo (2014)



Custo da Burocracia no Imóvel (2015)



I Encontro Nacional sobre Licenciamento na Construção (2015)

RESPONSABILIDADE SOCIAL



Cartilha - Construindo juntos! Por um ambiente mais diverso e inclusivo na Indústria da Construção - 2023



Comunicação de Engajamento - Pacto Global (2019)



Boas Práticas na Construção x ODS (2019)



Ética e Compliance na Construção Civil - Fortalecimento do Controle Interno e Melhoria dos Marcos Regulatórios e Práticas (2016)



Ética e Compliance na Construção Civil - Fortalecimento do Controle Interno e Melhoria dos Marcos Regulatórios e Práticas - English Version (2016)



Ética e Compliance na Construção Civil - Fortalecimento do Controle Interno e Melhoria dos Marcos Regulatórios e Práticas - Versión en Español (2016)



Ética e Compliance - Volume I (2016)



Ética e Compliance - Volume I - English Version (2016)



Ética e Compliance - Volume I - Versión en Español (2016)



Ética e Compliance - Volume II (2016)



Ética e Compliance - Volume II - English Version (2016)



Ética e Compliance - Volume II - Versión en Español (2016)



Sustentabilidade na Indústria da Construção (2016)



Ética & Compliance (2015)



Avaliação de Impactos do Dia Nacional da Construção Social (2015)



Trabalhadores Da Construção (2015)



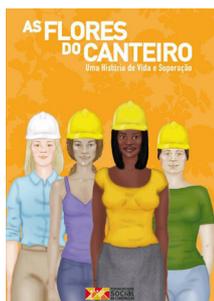
Mulheres na Construção (2015)



Passo a Passo da Tecnologia Social do Dia Nacional da Construção Social (2014)



Guia CBIC de Boas Práticas em Sustentabilidade na Indústria da Construção (2014)



Flores do Canteiro (2014)

POLÍTICAS TRABALHISTAS

CPRT
COMISSÃO DE POLÍTICA DE RELAÇÕES TRABALHISTAS



AS NOVAS NRs E A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (2022)



Guia básico para implantação de segurança e saúde nos canteiros de obra (2022)



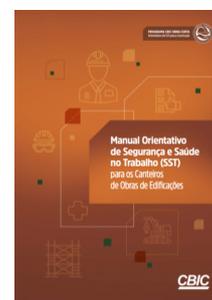
Guia do Sistema de Proteção Individual Contra Quedas (2022)



Áreas de Vivência (2022)



Livreto Nova NR-18 (2021)



Manual Orientativo de Segurança e Saúde no Trabalho (SST) para os Canteiros de obras de Edificações (2021)



Informativo sobre a Nova NR18 (2021)



Segurança e Saúde do Trabalho na Indústria da Construção Civil (2019)



Manual de Segurança e Saúde no Trabalho para Escavação da Indústria da Construção (2019)



Segurança e Saúde na Indústria da Construção – Prevenção e Inovação (2019)



Guia Contrate Certo – 3ª Edição (2018)



Manual de Segurança e Saúde no Trabalho para Instalações Elétricas Temporárias na Indústria da Construção. (2018)



Encargos Previdenciários e Trabalhistas no Setor da Construção Civil (2018)



Cartilha Edificar o Trabalho (2017)



Guia Prático para Cálculo de Linha de Vida e Restrição para a Indústria da Construção (2017)



Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil – Relatório Completo (2017)



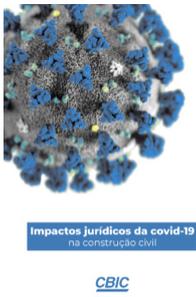
Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil (2017)



Guia Orientativo de Incentivo a Formalidade (2016)

JURÍDICO

CONJUR
CONSELHO JURÍDICO



Impactos jurídicos da Covid-19 na construção civil (2020)



Recuperação Judicial – Conceitos Básicos (2020)



Novos Marcos Regulatórios de Interface com a Construção Civil (2019)



Distratos na Incorporação Imobiliária (2019)



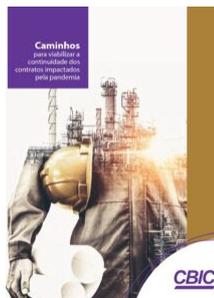
Desmistificando a Incorporação Imobiliária e o Patrimônio de Afetação (2019)

OBRAS INDUSTIAIS

COIC
COMISSÃO DE OBRAS INDUSTIAIS E CORPORATIVAS



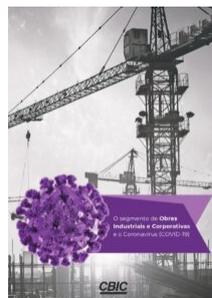
Cartilha – ESG no Segmento de Obras Industriais e Corporativas



Caminhos para viabilizar a continuidade dos contratos impactados pela pandemia



Guia Prático de Gestão Compartilhada – 2020



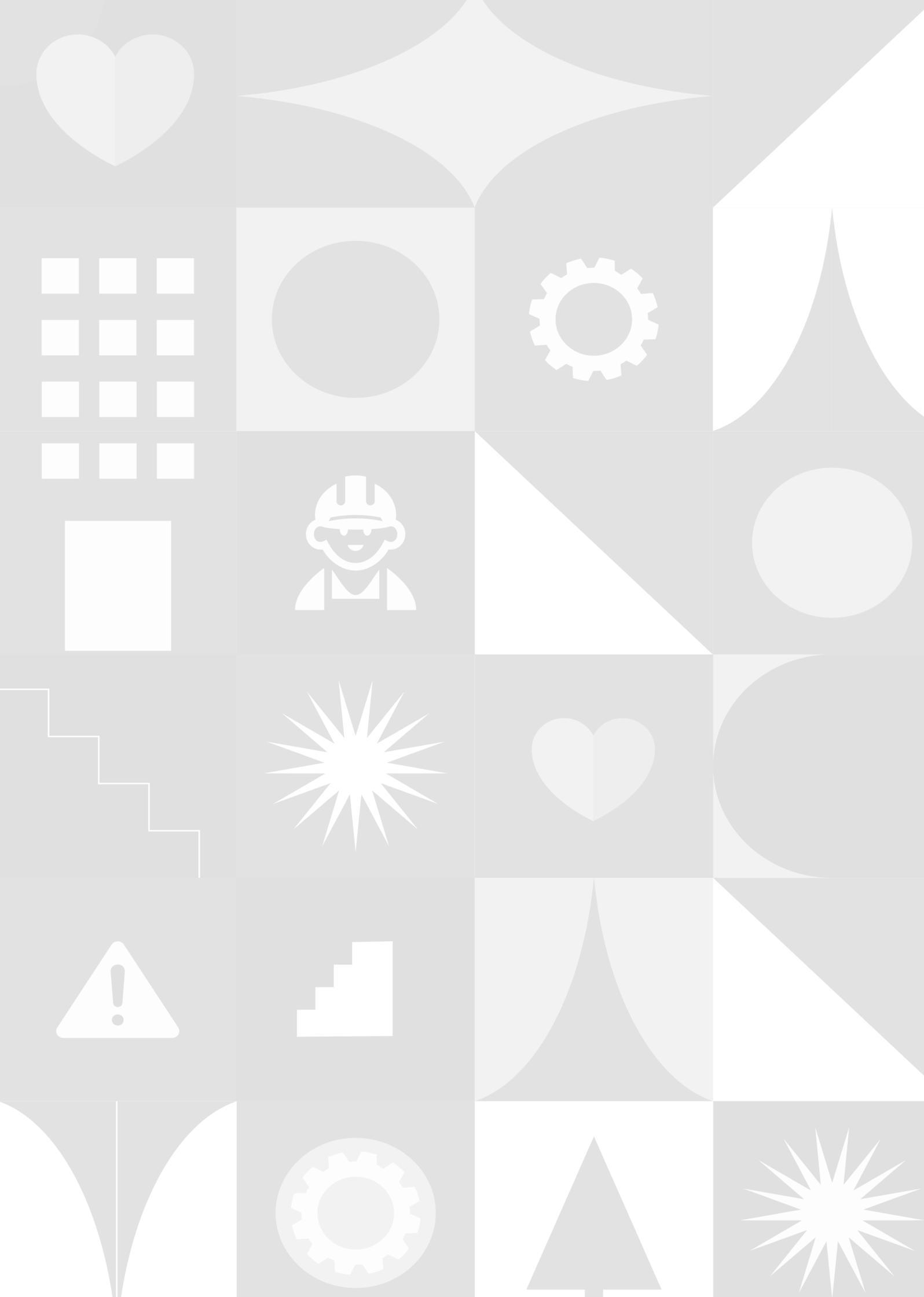
Coronavírus COIC (2020)



Guia BDI (2019)



Guia Contratos de Empreitada na Construção (2019)





Correalização:

SESI *Serviço Social da Indústria*

Realização:

CBIC