

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**MANUAL DE RETROFIT PARA
COMPONENTES MECÂNICOS DE
ELEVADORES.**

Caio Lucas Barcellos dos Santos

Paulo Victor Orçai Granado

**Rio de Janeiro
Outubro 2021**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**MANUAL DE RETROFIT PARA
COMPONENTES MECÂNICOS DE
ELEVADORES.**

Caio Lucas Barcellos dos Santos

Paulo Victor Orçai Granado

Projeto final apresentado em cumprimento às normas do Departamento de Educação Superior do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Orientador: Leydervan de Souza Xavier, D.C.

**Rio de Janeiro
Outubro 2021**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

S237 Santos, Caio Lucas Barcellos dos
Manual de retrofit para componentes mecânicos de elevadores /
Caio Lucas Barcellos dos Santos [e] Paulo Victor Orçai Granado
— 2021.
72f.: il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2021.
Bibliografia : f. 71-72
Orientador: Leydervan de Souza Xavier

1. Engenharia mecânica. 2. Máquinas-ferramenta – Manutenção
e reparo. 3. Resistências de materiais. 4. Elevadores. 5. Fios de
aço. I. Granado, Paulo Victor Orçai II. Xavier, Leydervan de Souza
(Orient.). III. Título.

CDD 621

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho não será o ponto final de uma fase, mas sim apenas mais um marco que traz espaço para o início de uma nova jornada. Diante de um momento que confere a nós o tão sonhado título de Engenheiros Mecânicos, precisamos sem dúvida expressar nossos agradecimentos àqueles que nos fizeram estar aqui.

Primeiramente gostaríamos de agradecer ao nosso orientador Leydervan de Souza Xavier, que aceitou a tarefa de nos orientar durante essa importante etapa da conclusão do curso. Com toda sua sabedoria e humildade para passar o conhecimento adiante às novas gerações, ele pôde compartilhar parte de sua experiência, para que pudéssemos concluir este projeto.

Gostaríamos de agradecer também às amizades feitas ao longo dessa jornada, que serão levadas para depois dos portões CEFET. Pelos passos que deram juntos conosco, sempre nos fazendo enxergar as melhores possibilidades, usando seu tempo para nos ensinar e mostrando que ninguém faz nada grandioso sozinho. Indubitavelmente o caminho até aqui seria consideravelmente mais árduo e menos prazeroso sem elas.

Agradecemos também, a todas as nossas famílias, amigos e namoradas pelo companheirismo, suporte e incentivo durante os momentos passados. Foram vividos dias difíceis, noites sem dormir, dúvidas sobre o futuro e questionamentos sobre se seríamos capazes ao longo desses 5 anos de curso. Mas por fim, temos orgulho de termos passado por essa instituição e com certeza levaremos o legado, respeito, soberania e história do CEFET a frente como parte da nossa trajetória.

Sendo assim, gostaríamos de agradecer a todos os professores e colaboradores do CEFET que, de alguma maneira, contribuíram para o nosso desenvolvimento como engenheiros e como seres humanos.

RESUMO

Os elevadores são equipamentos largamente utilizados em indústrias, áreas comerciais, residenciais e diversas outras aplicações há várias décadas e são considerados um dos meios de transportes mais seguros do mundo, isso por que possuem vários mecanismos desenvolvidos para prevenir possíveis falhas e garantir a segurança dos usuários. Entretanto, com o passar dos anos, quer pela degradação natural, quer pela existência de soluções mais efetivas, alguns desses componentes se tornam obsoletos ou perdem a confiabilidade. Nesse sentido, visando preservar a estrutura arquitetônica original e sem deixar que os elevadores percam sua funcionalidade, a realização de operações de *retrofit* têm se tornado cada vez mais uma alternativa para revitalizar e modernizar os equipamentos dos elevadores, aumentando assim sua vida útil. Nesse contexto, o presente trabalho, desenvolve um manual para os principais sistemas mecânicos dos elevadores, que são, os motores, o cabeamento e os freios. Este documento se destina a facilitar o trabalho do engenheiro mecânico em especificar os materiais e equipamentos necessários para uma substituição de componentes obsoletos, contando com uma exemplificação real de aplicação do processo, extratos comentados das principais normas relacionadas ao dimensionamento de elevadores e uma breve descrição das respectivas manutenções, com base na literatura e experiência de profissionais consultados.

Palavras-chave: *Retrofit*; elevador; motofreio; cabo de aço; freio; manutenção.

ABSTRACT

Elevators are equipment widely used in industries, commercial areas, residential and several other applications for several decades and are considered one of the safest means of transportation in the world, because they have several mechanisms developed to prevent possible failures and ensure the safety of users . However, over the years, either due to natural degradation or to the existence of more effective solutions, some of these components became obsolete or have lost their reliability. This way, aiming to preserve the original architectural structure, without letting elevators lose their functionality, retrofit operations have increasingly become an alternative to revitalize and modernize elevator equipments, thus increasing their useful life. In this context, this work develops a manual for the main mechanical systems of elevators, which are motors, cabling and brakes. This document intendeds to make it easier the work of any mechanical engineer in specifying the materials and equipment necessary for a replacement of obsolete components, with a real example of the application of the process, commented extracts of the main standards related to the dimensioning of elevators and a brief description of the respective maintenance, based on the literature and experience of professionals consulted.

Keywords: *Retrofit; elevator; motor brake; steel cable; brake; maintenance.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: E. G. Otis demonstrando sua invenção em 1853. (Fonte: <i>London Transport Museum</i>)	2
Figura 2: Elevador Elétrico (Fonte: Atlas Schindler).....	7
Figura 3: Legenda do algarismo na nomenclatura IP (Fonte: WEG [10], pág. 7).....	10
Figura 4: Grau de proteção NEMA x IEC (Fonte: Digimed).....	11
Figura 5 - Conjunto de tração, cabo de aço, polia de tração e polia deslocadora (Fonte: Continental Elevadores)	15
Figura 6 - Construção de cabo de aço (Fonte: Nacional Cabos)	15
Figura 7 - Construção de cabos para elevadores de passageiros (Fonte: Manual técnico de cabos Cimaf, pág.65).....	16
Figura 8 – Raio da Polia (Fonte: Manual técnico de cabos Cimaf, pág.28).....	17
Figura 9:Freio de Disco (Fonte: Norton).....	19
Figura 10 - Fluxograma de metodologia do projeto (Fonte: Autores)	22
Figura 11 – Dimensões Mínimas da Frente da Caixa (Fonte: Atlas Schindler).....	24
Figura 12 – Dimensões da Caixa para Abertura Central (Fonte: Atlas Schindler)	25
Figura 13 – Dimensões da Caixa para Abertura Lateral (Fonte: Atlas Schindler).....	25
Figura 14: Principais componentes do motor de um Motofreio WEG W22 (Fonte:WEG)	31
Figura 15: Principais componentes do freio de um Motofreio WEG W22 (Fonte:WEG)	32
Figura 16: Esquema de ligação na ponte retificadora para frenagem rápida (Fonte:WEG).....	33
Figura 17: Esquema de ligação na ponte retificadora para frenagem normal (Fonte:WEG) ...	33
Figura 18 – Ranhuras da polia semicirculares (Fonte: Elevator Mechanical Design, pág 35).42	
Figura 19 – Ranhuras da polia em V (Fonte: Elevator Mechanical Design, pág 35).....	43
Figura 20 – Pressão específica de contato (Fonte:Elementos flexíveis: cabos de aços)	44
Figura 21: Freio de segurança (Fonte: Wittur)	45
Figura 22: Travamento centrífugo do limitador de velocidade (Fonte: <i>Elevator Technology</i>)	46
Figura 23: Regulador de velocidade encontrado em visita técnica (Fonte Autores).....	57
Figura 24: Representação da distância do centro (Fonte: Autores).....	58
Figura 25: Representação dos esforços no motor e polia (Fonte: Autores).....	58
Figura 26 – Conjunto cabo de aço,polia de tração e polia espaçadora do caso prático (Fonte: Autores)	62
Figura 27: Regulador de velocidade encontrado em visita técnica (Fonte Autores).....	65
Figura 28: Freio SGA-I-70 (Fonte Wittur)	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de rpm por número de pólo (Fonte: Autores)	9
Tabela 2 - a relação entre o diâmetro do cabo de aço e o diâmetro da polia (Fonte: Manual técnico de cabos Cimaf, pág.27).....	16
Tabela 3 – Relação velocidade por capacidade da cabina (Fonte: Atlas Schindler)	23
<i>Tabela 4 – Relação área útil por capacidade da cabina (Fonte: Atlas Schindler).....</i>	<i>23</i>
Tabela 5 - Tempo de aceleração e retardamento para cálculo de viagem total (Fonte:NBR 5665).	28
Tabela 6: Características do torque de frenagem de acordo com o tamanho do freio (Fonte: WEG).....	34
Tabela 7: Dimensões normalizadas para máquinas elétricas girantes fixadas por pés embaixo, $56 \leq H \leq 400$ (Fonte: NBR 15623-1)	35
Tabela 8: Dimensões A normalizadas para máquinas elétricas girantes fixadas por pés embaixo, $355 \leq H \leq 1000$ (Fonte: NBR 15623-2)	36
Tabela 9: Dimensões B normalizadas para máquinas elétricas girantes fixadas por pés embaixo, $355 \leq H \leq 1000$ (Fonte: NBR 15623-2)	36
Tabela 10: Distâncias recomendadas de entreferro (Fonte: WEG)	37
Tabela 11: Características do freio de acordo com tamanho e torque em 100 rpm (Fonte: WEG)	38
Tabela 12: Correção de Torque (Fonte: WEG)	39
Tabela 13: Tamanho de Carcaça e Freio (Fonte: WEG)	39
Tabela 14: Velocidades recomendadas para edifícios residenciais (Fonte: Atlas Schindler) ..	46
Tabela 15: Velocidades recomendadas para edifícios não-residenciais (Fonte: Atlas Schindler)	46
Tabela 16: Rolamento por tipo de Motor (Fonte: WEG)	50
Tabela 17: Intervalos de relubrificação e quantidade de graxa para rolamentos (Fonte: WEG)	51
Tabela 18 –Exemplo de catálogo de motofreios de 2 e 4 pólos (Fonte: WEG)	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diâmetros indicados para polias por tipo de equipamento (Fonte: Manual técnico de cabos Cimaf, pág.28)	16
Quadro 2 – Dimensões da Caixa de acordo com o tipo de porta (Fonte: Autores)	25
Quadro 3 - Capacidade mínima de transporte por edifício (Fonte: NBR 5665).....	27
Quadro 4 - Tempo de abertura e fechamento de portas de pavimento para cálculo de viagem total (Fonte:NBR 5665).....	28
Quadro 5 - Tempo de entrada e saída de passageiros por pavimento para cálculo de viagem total (Fonte:NBR 5665).....	28
Quadro 6 - Intervalo de tráfego (Fonte:NBR 5665)	29
Quadro 7: Alimentação da ponte retificadora através dos terminais do motor (Fonte: WEG)	33
Quadro 8: Definição do sistema de ventilação por meio da temperatura ambiente do motor (Fonte: WEG)	37
Quadro 9: Fator de segurança devido a aplicação (Fonte: Catálogo CIMAF, pág. 23)	40
Quadro 10: Defeitos e suas possíveis causas em motores elétricos (Fonte: WEG)	47
Quadro 11: Parâmetros iniciais (Fonte: Autores)	53
Quadro 12: Cálculo do momento M_L (Fonte: Autores).....	59
Quadro 13: Cálculo do momento M_{req} (Fonte: Autores)	60

SUMÁRIO

Lista de símbolos	12
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Histórico e Desenvolvimento.....	1
1.2. Importância e Justificativa.....	2
1.3. Motivação	3
1.4. Objetivo.....	3
1.5. Estrutura do Trabalho	4
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Retrofit.....	5
2.2. Relatório de Inspeção Anual – R.I.A.....	5
2.3. Principais Tipos de Elevadores.....	6
2.4. Elevadores Elétricos.....	6
2.5. Motores elétricos.....	8
2.5.1. Conceitos Básicos	9
2.5.2. Sistema trifásico	11
2.6. Cabos de aço e polia de tração	12
2.6.1. Cabos de aço.....	13
2.6.2. Polia de tração	16
2.7. Freios.....	17
2.7.1. Freios de Atrito.....	18
2.7.2. Freios de Disco.....	18
2.7.3. Freios de Tambor	19
2.8. Normatização	19
2.8.1. ABNT NBR NM 207	20
2.8.2. ABNT NM 313:2007	20

2.8.3.	ABNT NBR ISO 2408:2019	20
2.8.4.	ABNT NBR ISO 5665	20
2.8.5.	ABNT NBR 8400	20
2.8.6.	ABNT NBR 15623	21
2.8.7.	ABNT NBR 15597	21
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA		22
3.1.	Condições de contorno no caso real.....	23
3.1.1.	Lotação da Cabina	23
3.1.2.	Portas	24
3.1.3.	Dimensionamento da Caixa	25
3.2.	Cálculo de Tráfego.....	26
3.2.1.	População e Capacidade	26
3.2.2.	Cálculos	27
3.3.	Motofreio	30
3.3.1.	O funcionamento do Freio.....	31
3.3.2.	Entreferro	36
3.3.3.	Especificação do equipamento	37
3.4.	Cabo e polia de tração.....	40
3.5.	Freio	44
3.5.1.	Regulador de Velocidade	45
3.6.	Manutenção.....	47
3.6.1.	Manutenção do Motofreio	47
3.6.2.	Manutenção do Entreferro.....	49
3.6.3.	Limpeza	49
3.6.4.	Lubrificação	49
3.6.5.	Intervalo de Relubrificação	50
3.6.6.	Manutenção e inspeção de cabos de aço e polia	51

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1. Caso real e aplicação prática.....	53
4.2. Cálculo de tráfego para aplicação prática	54
4.2.1. População e capacidade.....	54
4.2.2. Paradas prováveis	54
4.2.3. Tempo total de viagem.....	55
4.2.4. Capacidade de transporte	56
4.2.5. Intervalo de tráfego	56
4.3. Escolha do motofreio	56
4.4. Cálculos do cabo de aço.....	61
4.5. Escolha do Freio de Emergência.....	64
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO	67
CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

Lista de símbolos

- a – Distância lateral interna da caixa do elevador [m];
- a_n – Retardamento do cabina em m/s^2 ;
- A – Distância lateral externa da caixa do elevador [m];
- Aa – Distância entre as linhas de centro dos furos dos pés (vista de frente) [mm];
- AL - Abertura lateral [m];
- AC - Abertura central [m];
- b – Profundidade interna da caixa [m];
- B – Profundidade externa da caixa [m];
- Bb – Distância entre os limites exteriores dos pés (vista lateral) [mm];
- Cc – Distância do enconsto da segunda ponta do eixo à linha de centro dos furos dos pés mais próximos [mm];
- C – Lotação da cabina;
- C_t – Capacidade de transporte;
- C_T – Capacidade de trafego;
- C_{T1} – Capacidade do elevador nº 1;
- C_{T2} – Capacidade do elevador nº 2;
- C_{Tn} – Capacidade do elevador n;
- CRM – carga de ruptura mínima;
- C_1 – Coeficiente que leva em conta a aceleração da gravidade, e o retardamento da cabina;
- C_2 – Coeficiente que leva em conta a variação do perfil da ranhura da polia de tração devido ao desgaste;
- d – Diâmetro dos cabos de tração [mm];
- d_c – Diâmetro do cabo de aço [mm];
- D – Diâmetro da polia de tração [mm];
- D_p – Diâmetro da polia [mm];
- FS – Faor de segurança;
- g_n – Aceleração da gravidade padrão em queda livre [m/s^2];
- h – Distância de queda livre calculada [m];
- H – Distância da linha de centro do eixo à base dos pés (altura da ponta do eixo: dimensão fundamental) [mm];
- I – Intervalo de tráfego [s];
- J_L – Inércia total referida ao eixo do rotor [kgm^2];

K – Fator de segurança;

Ka – Energia absorvida por um bloco de freio [J];

Kk – Diâmetro dos furos, ou largura dos rasgos, nos pés da máquina [mm];

L – Lotação da cabina;

Mk – Torque de frenagem [N.m];

M_L – Torque de carga [N.m];

Mr – Torque nominal [N.m];

M_{req} – Torque requerido [N.m];

n – Número de cabos;

N – Número de paradas prováveis;

p – Número de paradas do elevador;

p – Pressão específica [N/mm²];

$(P+Q)$ – é a massa total permissível [kg];

t_3 – Tempo de frenagem requerido [s];

t_{12} – Tempo de resposta do freio [s];

T – Tempo total de viagem [s];

$T1$ – Tempo de percurso total, ida e volta, entre os pavimentos extremos sem parada [s];

$T2$ – Tempo total de aceleração e retardamento [s];

$T3$ – Tempo total de abertura e fechamento das portas [s];

$T4$ – Tempo total de entrada e saída de passageiros [s];

T_s – Tensão em um único cabo de aço [N];

vc – Velocidade dos cabos correspondente a velocidade nominal da cabina [m/min];

$v1$ – Velocidade de desarme do limitador de velocidade [m/min];

α – Ângulo de abraçamento dos cabos na polia de tração [rad];

Δno – Rotação (rpm);

e – Base dos logaritmos naturais;

f – Coeficiente de atrito aparente dos cabos contra a ranhura da polia;

β – Ângulo da garganta nas ranhuras da polia de tração [rad];

μ – Coeficiente de atrito entre cabo de aço e polia de tração, feitas de ferro fundido;

γ – É o ângulo das ranhuras V da polia de tração [rad];

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho foi elaborado com o intuito de auxiliar o trabalho de colegas engenheiros incumbidos de modernizar elevadores, quando não seja cabível intervir na estrutura arquitetônica onde estão instalados. Para isso, os autores conceberam e produziram um trabalho, em formato de manual, que estabelecesse procedimentos e organizasse os conhecimentos necessários com base na literatura, em normas técnicas e na consulta a profissionais com larga experiência no ramo.

1.1. Histórico e Desenvolvimento

Elevador, por definição, é um tipo de máquina assistida por cabos, ou por cilindros hidráulicos que transportam verticalmente pessoas ou cargas entre andares, níveis ou conveses de um edifício, navio ou outra estrutura. Estes equipamentos são normalmente movidos por motores elétricos que acionam cabos de tração e sistemas de contrapeso, como uma talha, embora alguns bombeiem fluido hidráulico para elevar um pistão cilíndrico como um macaco (FERREIRA, 2000).

O ser humano em sua evolução ao longo dos tempos, buscou o caminho mais eficiente para transportar verticalmente cargas e passageiros em diferentes níveis. A partir disso, o desenvolvimento dos elevadores foi impulsionado pela necessidade de movimentação de matérias-primas, incluindo carvão, madeira e qualquer carga que precisasse ser deslocada em diferentes alturas. A primeira menção do que podemos chamar de “elevador”, que se tem registro, data de 50 a.C, quando o arquiteto romano Vitrúvio relatou que o primeiro guincho manual e protótipo de um elevador primitivo havia sido projetado por Arquimedes, a aproximadamente 230 a.C. Essas máquinas eram movidas pela força humana ou por tração animal. Mas foi só depois da Revolução Industrial, no século XIX (Figura 1), que a máquina a vapor possibilitou a construção de elevadores fixos para transportar materiais e, principalmente, pessoas.

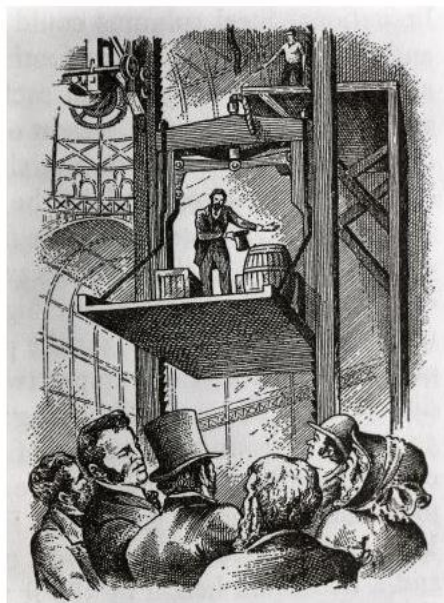


Figura 1: E. G. Otis demonstrando sua invenção em 1853. (Fonte: *London Transport Museum*)

1.2. Importância e Justificativa

O processo de *retrofit* se designa como um termo utilizado na engenharia para determinar as atividades de modernização de equipamentos ou estruturas que se apresentam próximas a obsolescência ou fora das normas vigentes atuais [6].

Neste contexto, surgindo como uma alternativa mais econômica do que a troca por inteiro do elevador, sem a necessidade de alterar a estrutura arquitetônica do ambiente, por vezes podendo ser patrimônio tombado, as operações de *retrofit* surgem como alternativa para adequar e modernizar a operação mecânica dos elevadores.

Segundo dados da Seciesp, disponibilizados pela Revista Elevador Brasil (2020), existem cerca de 500 mil elevadores no país, sendo que a metade está em São Paulo e no Rio de Janeiro. Calcula-se que hoje, no Brasil, mais de 80% dos elevadores foram construídos e instalados com base nas ABNT NB 30 e ABNT NBR 7192, hoje canceladas e substituídas pela ABNT NBR NM 207. Os elevadores existentes foram instalados com o nível de segurança apropriado ao seu tempo. Como aquele nível é, supostamente, inferior ao dos requisitos de segurança dos dias de hoje, recomenda-se que tais elevadores sejam modernizados. Visto que a grande migração populacional nas décadas de 70 e 80 em direção às grandes capitais, e o crescimento urbano dessas metrópoles, geraram um grande aumento na densidade habitacional e conseqüentemente um crescimento imobiliário, aumentou-se a demanda de serviços voltados a elevadores e conseqüentemente as necessidades de manutenção de equipamentos que podem apresentar obsolescência e disparidade com as normas vigentes de atuação.

Portanto, como importância e justificativa do presente trabalho, observou-se a necessidade de um manual de suporte para a execução de retrofit de equipamentos mecânicos em elevadores elétricos. Com este escopo, foi estruturada uma metodologia de natureza descritiva e prática para o dimensionamento dos equipamentos mecânicos, como acontece nos casos de eventual substituição por obsolescência, assistido por um exemplo real. Assim como, listou-se as maiores causas de falha e mau funcionamento de cada sistema, respectivas manutenções e possíveis soluções.

Vale ressaltar, que a maioria das operações de *retrofit* encontradas hoje, são mais focadas na substituição do quadro de comando, que antigamente era um equipamento exclusivamente mecânico, e atualmente é um equipamento com natureza no campo da automação, dessa forma, os autores preferiram se abster de aprofundar os conhecimentos desse componente, deixando como sugestão para futuros projetos, que terão com base o presente trabalho.

1.3. Motivação

Os autores compartilharam com familiares, que possuem experiência profissional no setor da instalação e manutenção dos elevadores há mais de 30 anos, o interesse sobre o tema e influenciados pelas dificuldades identificadas em muitas situações recorrentes, se motivaram a produzir este trabalho, com o intuito de contribuir com uma solução de um problema que há nesse mercado de trabalho: a precária disseminação de conteúdos práticos e teóricos que englobam uma metodologia ágil e de fácil aplicação sobre os equipamentos mecânicos dos elevadores. Na área de elevadores as publicações são escassas no que se refere aos conceitos de construção e manutenção de elevadores, dessa forma, observou-se a oportunidade de preencher essa lacuna com conhecimentos práticos e formais que fundamentam a mecânica do elevador, com o apoio e observação de profissionais capacitados e experientes da área.

1.4. Objetivo

Devido a uma elevada demanda de profissionais capacitados que dominem os conhecimentos básicos sobre a construção e gerenciamento das manutenções dos elevadores, a utilização de uma metodologia ágil, prática e descritiva sobre tais conhecimentos e aplicações, envolvendo as estruturas dos elevadores, se torna cada vez mais necessária. Visto que o mercado necessita de meses de treinamento para capacitar o profissional.

Diante disso, na abordagem estudada, objetivou-se estruturar um manual com a função de orientar e conduzir o profissional em um dimensionamento sobre os principais sistemas mecânicos dos elevadores, sendo estes os motores, os cabos de tração e os freios. De maneira a simplificar o desempenho de qualquer engenheiro mecânico que tenha o desejo de modernizar estes respectivos sistemas em um elevador, sem alterar a parte arquitetônica e estrutural do ambiente.

Foi proposto um estudo para estimar a escolha dos componentes mecânicos dos elevadores de acordo com as específicas necessidades das edificações, como também a avaliação necessária para a substituição de componentes obsoletos, com base em uma exemplificação de aplicação dos processos em um caso real, a partir das principais normas, e uma breve descrição das respectivas manutenções e análise das causas de defeitos e falhas desses equipamentos.

1.5. Estrutura do Trabalho

O trabalho será dividido em cinco capítulos e será redigido de acordo com o padrão das normas ABNT e do curso de Engenharia Mecânica do CEFET/RJ, apresentando-se conforme a estrutura a seguir:

- O primeiro capítulo consiste de uma breve introdução ao tema e formulação do problema, apresenta ainda a justificativa para o estudo, o objetivo e a motivação do trabalho, bem como a estrutura do mesmo.
- O segundo capítulo diz respeito à fundamentação teórica sobre alguns conceitos que os autores julgam importantes para o entendimento completo do trabalho e dos principais componentes mecânicos dos elevadores, através de uma revisão bibliográfica realizada com base em consultas a manuais de fabricantes e normas.
- O terceiro capítulo diz respeito à metodologia de pesquisa utilizada para coleta de dados e a forma como foram feitas as coletas.
- Em posse dos procedimentos descritos na metodologia, no quarto capítulo, foi posta à prova, a execução da metodologia, em um caso real, em que os autores realizaram uma visita técnica a um edifício no Rio de Janeiro e propuseram alterações que se enquadram no conceito de retrofit.
- Por fim, o quinto e último capítulo traz a conclusão do estudo realizado, criando uma solução de engenharia para os procedimentos de retrofit e levantando oportunidades para estudos futuros e melhorias viáveis.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é descrita uma breve revisão da literatura, em que foram contemplados os componentes mecânicos motofreio, cabo de tração e freio de emergência, que caracterizam os elevadores elétricos. Posteriormente, no capítulo 4, alguns desses conceitos são revisitados quando do dimensionamento de um caso real em que são aplicados os procedimentos indicados na literatura e nas normas técnicas.

2.1. Retrofit

A fabricante de motores WEG, especifica em seu site, que o retrofit é uma técnica de revitalização de construções antigas. Na engenharia civil, o termo é utilizado para definir o processo de transformar antigas edificações em prédios modernos e adaptados às necessidades atuais.

Significa colocar o antigo em forma, e é exatamente isso que a técnica faz. Os prédios antigos são reformados e condicionados aos tempos de hoje, tornando-se edificações mais completas, adequadas e inteligentes. Como é o caso em edifícios que são patrimônios tombados e que não podem ser demolidos ou passar por grandes reformas, portanto o retrofit torna-se necessário nessas circunstâncias.

2.2. Relatório de Inspeção Anual – R.I.A.

Esse relatório é proveniente de uma inspeção detalhada para identificar erros e falhas da manutenção no elevador, ou seja, tem a finalidade de averiguar se a manutenção mensal está sendo realizada de acordo com as normas técnicas. Essa inspeção tem que ser realizada pelo engenheiro responsável da empresa que faz a manutenção no elevador ou um especialista qualificado orientado por esse engenheiro [22].

Sempre é feito uma vez por ano e vale ressaltar que o Relatório de Inspeção Anual (RIA) só pode ser assinado e validado as informações contidas pelo engenheiro responsável. Verificado qualquer anomalia no equipamento e que esteja fora das normas, o condomínio é notificado com as pendências e tem o prazo para se adequar, principalmente os itens de segurança. Ou seja, nesses casos a execução do *retrofit* é obrigatória.

Este relatório só é obrigatório em algumas cidades, no Rio de Janeiro, por exemplo, é, mas recomenda-se, que mesmo sem a obrigatoriedade, seja realizada, pois assim, garante a confiabilidade e segurança dos equipamentos em operação.

2.3. Principais Tipos de Elevadores

Há diversos tipos e modelos de elevadores disponíveis atualmente no mercado. Os mais empregados são: elevadores elétricos (com ou sem casa de máquinas), elevadores hidráulicos e elevadores à vácuo.

Dentre os modelos listados, os elevadores elétricos são os principais por serem os que se adequam mais facilmente a diferentes aplicações pela sua *performance* e versatilidade. Dessa maneira, neste trabalho abordaremos os elevadores elétricos por serem os que englobam a maioria das operações de retrofit que os leitores deste trabalho podem encontrar.

2.4. Elevadores Elétricos

Como afirma o engenheiro fundador do *site* meuelevador.com [21], são os tipos de elevadores mais empregados atualmente. Com o desenvolvimento e aprimoramento dos elevadores elétricos, melhorou-se o conforto dos passageiros durante a viagem. Novas tecnologias, tais como quadros eletrônicos de comando, sistema de nobreak de emergência que permite que o passageiro complete a viagem mesmo que haja interrupção da fonte de alimentação, sistema de *sleeping* que desliga automaticamente as luzes da cabina após dez minutos de inatividade, dentre outros, surgiram e permitiram a instalação de elevadores elétricos sem a necessidade da presença da casa de máquinas, permitindo a sua aplicação mesmo em locais com espaço limitado. Os equipamentos elétricos são mais silenciosos do que os de acionamento hidráulico, pelo fato de não necessitarem de uma motobomba, o que constitui mais uma vantagem comparativa àqueles outros. Aliado a um menor custo de manutenção, esse tipo de equipamento também é mais eficiente energeticamente, reunindo, assim, características que são altamente desejáveis em uma instalação residencial.

Segundo (ATLAS SCHINDLER, 2021), a cabina é montada sobre uma plataforma, em uma armação de aço constituída por duas longarinas fixadas em cabeçotes (superior e inferior). O conjunto cabina, armação e plataforma são denominados de carro. A Figura 2 ilustra o modelo básico de um elevador do tipo elétrico com seus principais componentes que serão citados pela Schindler.

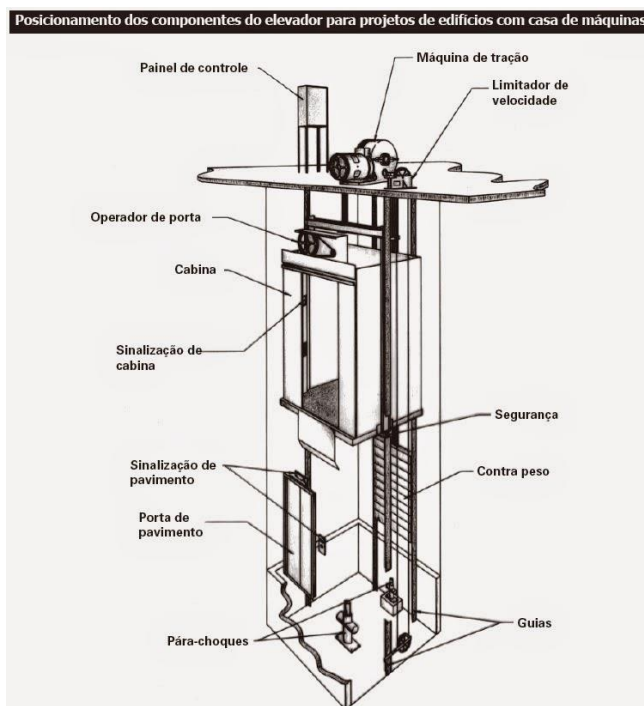


Figura 2: Elevador Elétrico (Fonte: Atlas Schindler)

O contrapeso consiste em uma armação metálica formada por duas longarinas e dois cabeçotes, onde são fixados pesos (intermediários), de tal forma que o conjunto tenha peso total igual ao do carro acrescido de 40 a 50% da capacidade licenciada. Tanto a cabina como o contrapeso deslizam pelas guias (trilhos de aço do tipo T), através de corredeiras.

As guias são fixadas em suportes de aço, os quais são chumbados em vigas, de concreto ou de aço, na caixa. O carro e o contrapeso são suspensos por cabos de aço ou novos elementos de tração que passam por polias, de tração e de desvio, instaladas na casa de máquinas ou na parte superior da caixa. O movimento de subida e descida do carro e do contrapeso é proporcionado pela máquina de tração, que imprime à polia a rotação necessária para garantir a velocidade especificada para o elevador. A aceleração e o retardamento ocorrem em função da variação de corrente elétrica no motor. A parada é possibilitada pela ação de um freio instalado na máquina.

Além desse freio normal, o elevador é dotado de um freio de segurança para situações de emergência. O freio de segurança é um dispositivo fixado na armação do carro ou do contrapeso, destinado a pará-los, de maneira progressiva ou instantânea, prendendo-os às guias quando acionado pelo limitador de velocidade. Sua atuação é mecânica. O limitador de velocidade, por sua vez, é um dispositivo montado no piso da casa de máquinas ou no interior da caixa, constituído basicamente de polia, cabo de aço e interruptor. Quando a velocidade do

carro ultrapassa um limite preestabelecido, o limitador aciona mecanicamente o freio de segurança e desliga o motor do elevador [5].

Por fim, o quadro de comando, que é responsável também por diminuir a velocidade do carro ao chegar próximo de andares selecionados e controlar as portas automáticas, fica na casa de máquinas. Sua montagem exige uma equipe especializada e focada na importância deste componente.

Composto por muitos fios, conectores, placar e demais peças, o quadro de comando é dividido em duas partes. A primeira delas conta com toda a programação que controla os movimentos e executa as instruções recebidas pelo elevador. Já a outra, é de potência e controla os níveis de corrente e tensão, que fazem operar a máquina de tração.

2.5. Motores elétricos

São máquinas destinadas a transformar energia elétrica em energia mecânica. O motor de indução é o mais usado de todos os tipos de motores, pois, combina as vantagens da utilização de energia elétrica, sendo estas baixo custo, facilidade de transporte, limpeza, simplicidade de comando, construção simples e grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos.

A maioria dos motores elétricos trabalha pela interação entre campos eletromagnéticos. Seu princípio de funcionamento é baseado na lei da força de Lorentz em que há uma força mecânica em todo o fio, quando está conduzindo corrente elétrica imersa em um campo magnético. A força descrita é perpendicular ao fio e ao campo magnético. Em um motor giratório, há um elemento girando, o rotor. O rotor gira porque os fios e o campo magnético são arrançados de modo que um torque seja desenvolvido sobre a linha central do rotor. O motor é constituído de eletroímãs, que são posicionados no material ferromagnético que constitui o corpo do rotor, e geralmente bobinas de cobre são enroladas e adequadamente dispostas em volta do material ferromagnético. Quando a bobina é alimentada, um campo magnético é gerado em torno do rotor. O lado esquerdo do rotor é empurrado para fora do ímã esquerdo e atraído para a direita, causando rotação (ALEXANDER e SADIKU, 2013, pág. 105).

Os tipos mais comuns de motores elétricos são os motores de corrente contínua e os de corrente alternada. Estes primeiros são motores de custo mais elevado e, além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada comum em corrente contínua. Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso, seu uso é restrito a casos

especiais em que estas exigências compensam o custo muito mais alto da instalação e da manutenção. Já os de corrente alternada são os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. São encontrados os de motor síncrono, que funciona com velocidade fixa, ou seja, sem interferência do escorregamento; utilizado normalmente para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores) e os de motor de indução, que funcionam normalmente com uma velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas, encontradas na prática [11].

2.5.1. Conceitos Básicos

No que se refere a motores elétricos trifásicos e monofásicos é importante que sejam considerados os termos mais utilizados para selecionar o motor elétrico mais adequado para a aplicação desejada. Os conceitos a seguir, foram retirados do catálogo da fabricante de motores elétricos WEG [10].

Potência: É a capacidade de realizar trabalho em uma unidade de tempo. Esta grandeza é medida em cv (cavalo vapor) ou em kW (quilowatt).

Rotação: É o número de giros do eixo do motor por uma unidade de tempo. A rotação normalmente é expressa em rpm (rotações por minuto). Para a frequência de 60 Hz, temos a Tabela 1.

Tabela 1 – Tabela de rpm por número de pólo (Fonte: Autores)

Motor (nº de polos)	Rotação (rpm)
2	3.600
4	1.800
6	1.200
8	900

Tensão:

- **Monofásica:** É a tensão medida entre fase e neutro. O motor monofásico normalmente está preparado para ser ligado a uma rede de 127 V ou 220 V. No entanto, existem lugares onde a tensão monofásica pode ser de 115 V, 230 V ou 254 V. Nestes casos deve ser aplicado um motor específico para estas tensões.
- **Trifásica:** É a tensão medida entre fases. São os motores mais utilizados, já que os motores monofásicos têm limitação de potência e fornecem rendimentos e torques

menores, o que aumenta seu custo operacional. No Brasil as tensões trifásicas mais utilizadas são 220 V, 380 V e 440 V.

Frequência: É o número de vezes que um determinado evento se repete dentro de um intervalo de tempo. A frequência da rede de alimentação utilizada no Brasil é de 60 Hz. Isso significa que a tensão da rede repete o seu ciclo sessenta vezes por segundo. Em países como Paraguai, Argentina e no continente europeu utiliza-se a frequência da rede de alimentação de 50 Hz. A frequência é um fator importante pois tem influência direta sobre a rotação do motor elétrico.

Grau de Proteção: É a proteção do motor contra a entrada de corpos estranhos (poeira, fibras, etc.), contato acidental e penetração de água. Assim, por exemplo, um equipamento a ser instalado num local sujeito a jatos d'água, deve possuir um invólucro capaz de suportar tais jatos, sob determinados valores de pressão e ângulo de incidência, sem que haja penetração de água que possa ser prejudicial ao funcionamento do motor. O grau de proteção é definido por duas letras (IP), como mostrado nas Figuras 3 e 4, seguido de dois números. O primeiro número indica proteção contra entrada de corpos estranhos e contato acidental, enquanto o segundo indica a proteção contra entrada de água.

1º Algarismo	
Algarismo	Indicação
0	Sem proteção
1	Proteção contra a entrada de corpos estranhos de dimensões acima de 50 mm
2	Proteção contra a entrada de corpos estranhos de dimensões acima de 12 mm
3	Proteção contra a entrada de corpos estranhos de dimensões acima de 2,5 mm
4	Proteção contra a entrada de corpos estranhos de dimensões acima de 1,0 mm
5	Proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais ao motor
6	Totalmente protegido contra poeira

2º Algarismo	
Algarismo	Indicação
0	Sem proteção
1	Proteção contra pingos de água na vertical
2	Proteção contra pingos de água até a inclinação de 15° com relação à vertical
3	Proteção contra pingos de água até a inclinação de 60° com relação à vertical
4	Proteção contra respingos vindos de todas as direções
5	Proteção contra jatos de água vindos de todas as direções
6	Proteção contra água de vagalhões
7	Imersão temporária
8	Imersão permanente

Figura 3: Legenda do algarismo na nomenclatura IP (Fonte: WEG [10], pág. 7)

GRAU DE PROTEÇÃO

NEMA x IEC		2º Numeral Grau de proteção contra água													
NEMA	IP20	IP22	IP54	IP55	IP66	IP67	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	●														
2		●													
3															
3R		●													
4															
4X															
6															
12															
13															

1º Numeral Grau de proteção contra objetos sólidos	2º Numeral Grau de proteção contra água									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Não protegido	0	IP 00	IP 01	IP 02	IP 13					
Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 50mm	1	IP 10	IP 11	IP 12	IP 13					
Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 12mm	2	IP 20	IP 21	IP 22	IP 23					
Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 2,5mm	3	IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34				
Protegido contra objetos sólidos com Ø maior que 1mm	4	IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44	IP 45	IP 46		
Protegido contra poeira depressão: 200mm de coluna d'água Máxima aspiração de ar: 80 vezes o volume do invólucro	5					IP 54	IP 55	IP 56		
Totalmente protegido contra a poeira. Mesmo procedimento de teste	6						IP 65	IP 66	IP 67	IP 68

Figura 4: Grau de proteção NEMA x IEC (Fonte: Digimed)

Carcaça: O tipo de carcaça permite identificar grande parte de suas dimensões mecânicas. O tamanho da carcaça é definido pela potência e rotação do motor e é identificada pela letra H, que vai da base de suporte do motor até o centro do eixo, medida em mm. A altura H é exatamente igual ao modelo da carcaça do motor.

2.5.2. Sistema trifásico

A energia elétrica trifásica é um tipo comum de corrente alternada usada na geração, transmissão e distribuição de eletricidade (Jr, pág. 2). É um tipo de sistema polifásico que emprega 3 ou 4 fios, se incluído o fio de retorno (neutro) e é o método mais comum usado por redes elétricas em todo o mundo para transferir energia.

Um circuito de três fios é geralmente mais econômico do que um circuito monofásico de dois fios equivalente na mesma linha para a tensão de aterramento porque usa menos material condutor para transmitir uma determinada quantidade de energia elétrica. A energia trifásica é usada principalmente para alimentar grandes motores e outras cargas pesadas. As cargas pequenas geralmente usam apenas um circuito monofásico de dois fios, que pode ser derivado de um sistema trifásico (CROFT & SUMMERS, pág. 3-10).

O sistema é formado pela associação de três sistemas monofásicos de tensões U1, U2 e U3, em que U é a tensão medida em Volt, tais que a defasagem entre elas seja de 120°, ou seja,

os “atrasos” de U2 em relação a U1, de U3 em relação a U2 e de U1 em relação a U3 sejam iguais a 120° (considerando um ciclo completo = 360°). O sistema é equilibrado se as três tensões têm o mesmo valor eficaz $U1 = U2 = U3$.

Ligando entre si os três sistemas monofásicos e eliminando os fios desnecessários, teremos um sistema trifásico equilibrado: três tensões U1, U2 e U3 equilibradas, defasadas entre si de 120° e aplicadas entre os três fios do sistema. A ligação pode ser feita de duas maneiras, triângulo e estrela.

A ligação triângulo também chamada de ligação delta, é formada pela ligação de cada um dos condutores de fase da fonte aos vértices do triângulo formados pela carga elétrica. Tem sua forma final parecida com a de um triângulo equilátero. Neste tipo de condução, o condutor neutro é desligado. Além disso, o motor recebe uma tensão menor (220/380V). Sua principal função é reduzir o valor da sua corrente de pico no momento da partida.

É uma das partidas indiretas mais usadas, já que é mais suave, além de também ter um baixo custo e reduzir em 33% da corrente nominal utilizada. Carros mais potentes poderão utilizar ligações trifásicas triangulares, pois o motor precisa ser ligado de maneira mais suave. Então, acelerado para a sua potência máxima, proporciona melhor conforto ao condutor e menos riscos de acidentes.

Já a ligação estrela ocorre quando um fio (muitas vezes, o neutro) de cada sistema monofásico é conectado a um ponto comum aos três. Assim, eles passam a ter uma forma semelhante a uma estrela. Para criar uma ligação estrela, é preciso fazer um círculo de potência com três contadores, tendo um fusível de proteção para cada fase. Também é necessário um disjuntor de proteção que seja compatível com a carga que será gerada.

É considerada uma das partidas de motores mais utilizadas, principalmente, por ter um custo baixo e um bom desempenho em diferentes aplicações. Também é possível encontrar sua versão com reversão. Indústrias que necessitam de um trabalho rápido e potente das suas máquinas são um exemplo de onde a ligação trifásica estrela pode ser aplicada. Assim, no momento da partida, os equipamentos terão uma carga plena e poderão atuar de maneira máxima, como afirmado no catálogo de motores da fabricante WEG [13].

2.6. Cabos de aço e polia de tração

2.6.1. Cabos de aço

Os cabos de aço são elementos primordiais para garantir o transporte dos passageiros. Através da conexão no centro de massa da cabina ao centro de massa do contrapeso, passando por polias de tração e por polias deslocadoras, também chamadas de polias de desvio. Esse conjunto, Figura 5, corresponde aos elementos de tração do sistema e são considerados componentes críticos e vitais para a segurança dos elevadores. Os cabos de aço estão constantemente expostos a carregamentos estáticos quando em equilíbrio, e a carregamentos dinâmicos promovidos pelas acelerações e frenagem do motor. Os cabos de aço além da sua relação de forças de tração para suportar as cargas admissíveis máximas, apresenta uma relação de forças de compressão e fricção com as polias de tração. Já que não se pode permitir deslizamento entre o cabo de aço e as ranhuras da polia de tração, uma movimentação de deslizamento pode causar danos ao cabo de aço, “usinagem involuntária” da polia, desalinhamento entre o pavimento e a cabina e comprometer a segurança dos usuários. Dessa forma, os cabos durante o ciclo de trabalho, sofrem desgaste por atrito e devem ser dimensionados como elementos de máquinas submetidos à fadiga [18].

Os cabos de aço podem ser classificados quanto à sua aplicação, e a sua composição estrutural, de acordo com a *ABNT NBR ISO 2408*, como ilustrado a construção de um cabo de aço na Figura 6.

Perna: Os arames que compõem as pernas internas do cabo de aço são fabricados através do processo de trefilação, em que o aço é estirado por meio de uma ou mais fieiras, em um processo de deformação plástica para a redução de diâmetro do arame, reduzindo a largura e aumentando o comprimento do material. Para a construção das pernas, os arames passam por máquinas chamadas de entrelaçadeiras, que enrolam os arames através de um arame central, que torcidos de novo posteriormente recebem uma nova nova camada em passos diferentes, para que assim o cruzamento entre arames aumentam a área de contato e reduzem os espaços vazios possíveis.

Alma: A alma de um cabo de aço é um núcleo em torno do qual as pernas são torcidas e ficam dispostas em forma de hélice. Sua função principal é fazer com que as pernas sejam posicionadas de tal forma que o esforço aplicado no cabo de aço seja distribuído uniformemente entre elas. A alma pode ser constituída de fibras, natural ou artificial ou alma de aço. As almas de fibras naturais são normalmente de sisal, e as almas de fibras artificiais são geralmente de polipropileno. As almas de fibra garantem maior flexibilidade para o cabo, e sua temperatura de trabalho não ultrapassa os 80°C. Já as almas de aço, trabalham em elevada resistência à

tração, garantem maior resistência ao amassamento, e podem ser utilizadas em temperaturas acima de 80°C.

Acabamento: Os cabos polidos não apresentam acabamento superficial, e devem ser lubrificados interna e externamente. Os cabos galvanizados possuem arames que foram revestidos com uma camada de zinco para proteção contra corrosão, e não necessita de lubrificação. Os acabamentos inoxidáveis são aplicados a cabos que exigem alta resistência a corrosão, que enfrentarão um ambiente quimicamente agressivo. O acabamento em PVC ou nylon, são utilizados em aplicações onde a resistência a abrasão é necessária.

Tipos de torção: No cabo de torção regular, os arames das pernas são torcidos em sentido oposto à torção das próprias pernas. Estes cabos são estáveis, possuem boa resistência ao desgaste interno e torção e são fáceis de manusear. Também possuem considerável resistência a amassamentos e deformações devido ao curto comprimento dos arames expostos. No cabo de torção Lang, os arames das pernas são torcidos no mesmo sentido que o das próprias pernas. Devido ao fato dos arames externos possuírem maior área exposta, a torção Lang proporciona ao cabo de aço maior resistência à abrasão. São também mais flexíveis e possuem maior resistência à fadiga. Estão mais sujeitos ao desgaste interno, distorções e deformações e possuem baixa resistência aos amassamentos.

Lubrificação: Um lubrificante adequado para cabo de aço deve ser quimicamente neutro, possuir boa aderência, possuir uma viscosidade capaz de penetrar entre as pernas e outros arames, ser estável sob condições operacionais, proteger contra a corrosão e ser compatível com o lubrificante original. O ponto de aplicação do lubrificante seja preferencialmente onde o cabo de aço passe por polias, pois nesse momento ocorre uma abertura entre as pernas na parte superior do cabo de aço, favorecendo a penetração do lubrificante. Para elevadores, o óleo mineral parafínico é o mais indicado.

Composição geral do material: Médio carbono, com a porcentagem de carbono equivalente entre 0,2% a 0,5% para aplicação de elevadores elétricos. O que alia altos limites de tração e a fadiga, flexibilidade ao dobramento, e boa ductilidade para a aplicação.



Figura 5 - Conjunto de tração, cabo de aço, polia de tração e polia deslocadora (Fonte: Continental Elevadores)

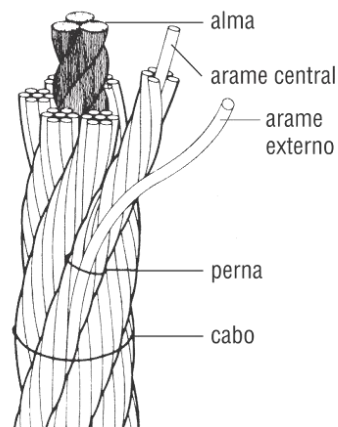


Figura 6 - Construção de cabo de aço (Fonte: Nacional Cabos)

Para elevadores, a recomendação de construção de cabo de aço é de 8 pernas com 19 arames em cada perna. Nesta classe a alma dos cabos são fabricados geralmente em fibras naturais (AF). Devido ao tamanho relativamente grande da alma, este cabo de aço é mais suscetível ao achatamento quando submetido a uma alta pressão na polia, desta forma, seu uso é recomendado em operações com cargas moderadas, torção regular, polido e lubrificação controlada. A maior parte dos elevadores de passageiros, utilizam cabos de aço com diâmetros entre 9,5 mm e 16,0 mm, nesta classe. Na composição Seale existem pelo menos duas camadas adjacentes com o mesmo número de arames. Todos os arames da camada externa nesta composição possuem diâmetro maior para aumentar a resistência ao desgaste provocado pelo atrito, como é possível observar na Figura 7.

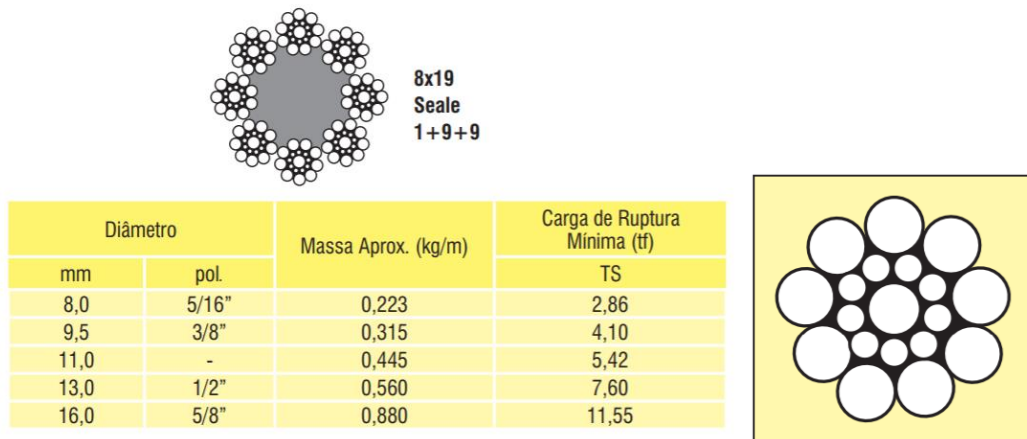


Figura 7 - Construção de cabos para elevadores de passageiros (Fonte: Manual técnico de cabos Cimaf, pág.65)

2.6.2. Polia de tração

A polias de tração e a polia deslocadora, ou polia de desvio, serão o apoio e a base para os cabos de aço suportarem os carregamentos da massa da cabine com a capacidade máxima de passageiros mais o contrapeso. Fabricadas de ferro fundido, elas devem ser usinadas de forma para acomodar os cabos de aço em uma profundidade exata, e geralmente submetidas a um processo de endurecimento com o objetivo de reduzir o desgaste pela tração entre polia e cabo de aço. Além de necessitarem de um acabamento excelente, evitando assim rebarbas e pontas cortantes, que podem futuramente acarretar no rompimento dos arames do cabo de aço.

Existe uma relação entre o diâmetro do cabo de aço e o diâmetro da polia que deve ser observada, como representados nas Tabelas 2 e Quadro 1, a fim de garantir um bom desempenho do cabo de aço.

Quadro 1 - Diâmetros indicados para polias por tipo de equipamento (Fonte: Manual técnico de cabos Cimaf, pág.28)

Tipo de equipamento	Norma	Aplicação	D/d mínimo	
			Tambor	Polia
Elevador de Passageiro	ASME A17.1	Tração	40	40

Em que: D = Diâmetro da polia e d = Diâmetro do cabo de aço.

Tabela 2 - a relação entre o diâmetro do cabo de aço e o diâmetro da polia (Fonte: Manual técnico de cabos Cimaf, pág.27)

Construção do cabo	Diâmetro da polia ou do tambor	
	Recomendado	Mínimo
6x7	72	42 x \varnothing do cabo
6x19 S	51	34 x \varnothing do cabo
19x7	51	34 x \varnothing do cabo
6x25 F	39	26 x \varnothing do cabo
8x19 S	39	26 x \varnothing do cabo

De acordo com a ISO 4308, o canal da polia, para uma vida útil do cabo, deverá ser adequado ao diâmetro do cabo, como representado na Figura 8 abaixo. O raio do canal da polia deverá estar entre $0,525d$ e $0,537d$, onde d é o diâmetro nominal do cabo [19].

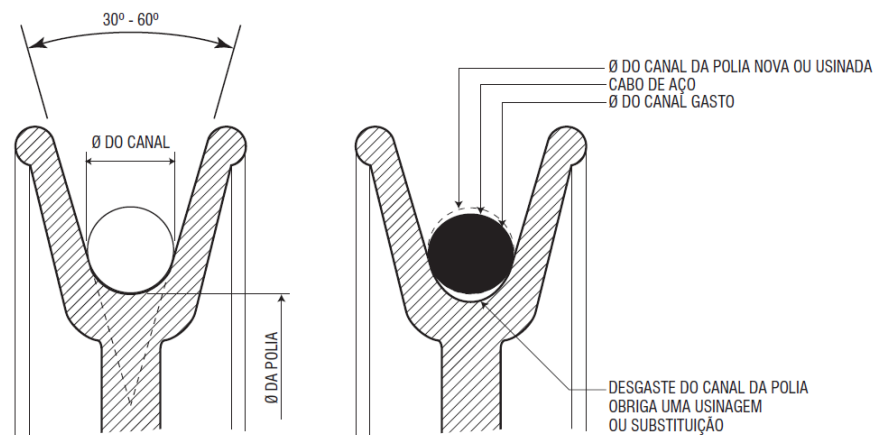


Figura 8 – Raio da Polia (Fonte: Manual técnico de cabos Cimaf, pág.28)

Os canais da polia determinam a fricção entre cabos e canais, com o passar do tempo os cabos vão usinando as ranhuras. Em consequência, acarreta na patinação do cabo entre a polia em relação a área de contato, perdendo assim o atrito necessário para o deslocamento do cabo de forma segura.

2.7. Freios

O sistema de freio dos elevadores, que devem iniciar operação automaticamente assim que há uma falha ou interrupção no fornecimento de energia, devem ser providos de um freio de fricção eletromecânica. É necessário que esse freio seja capaz de retardar a carga máxima estipulada, à sua velocidade nominal máxima e mantê-la estática, até que as condições normais de trabalho sejam restabelecidas.

Os freios são acionados caso haja situações de excesso velocidade em ambas as direções, paralisações, ou seja, quando o carro começa a se movimentar caso nenhum comando tenha sido dado ou falhe em se movimentar caso algum comando tenha sido dado e em caso de rompimentos dos cabos de suspensão (JANOVSKY, 1993).

Os freios podem ser classificados de várias maneiras, por meio da forma de atuação, pela maneira como transferem energia entre elementos e pelo caráter do acoplamento (NORTON, 2013). As formas de atuação podem ser mecânica, como ocorre quando se aperta o pedal de freio em um automóvel, pneumática ou hidráulica, na qual a pressão exercida por um fluido move um pistão para fazer mecanicamente o acoplamento ou desacoplamento, como ocorre em freios de veículos, **elétrica**, que é tipicamente utilizada para excitar uma espira magnética, ou **automática**, como no caso do freio contra derrapagem que se acopla pelo movimento relativo entre elementos.

2.7.1. Freios de Atrito

Nestes freios, duas ou mais superfícies são pressionadas entre si por meio de uma força normal para criar um torque de atrito. As superfícies de atrito podem ser planas e perpendiculares ao eixo de rotação, caso em que a força normal é axial (freio de disco), ou podem ser cilíndricas com a força normal na direção radial (freio de tambor), ou cônicas.

Pelo menos uma das superfícies de atrito é geralmente metálica (ferro fundido ou aço), e a outra é normalmente feita de um material com alto atrito, conhecido como material de forro. Se existirem apenas dois elementos, haverá uma ou duas superfícies de atrito para transmitir torque. Um arranjo cilíndrico (freio de tambor) possui uma superfície de atrito apenas, e um arranjo axial (disco de freio) possui uma ou duas superfícies dependendo de o disco ser colocado em forma de sanduíche entre as duas superfícies do outro elemento ou não. Para maior capacidade de torque, freios de disco são construídos frequentemente com discos múltiplos para aumentar o número de superfícies de atrito. A habilidade que um freio tem de transmitir o calor gerado pelo atrito pode ser o fator limitante de sua capacidade. Para cargas dinâmicas de alta velocidade, um número menor de superfícies de atrito é melhor (NORTON, 2013).

2.7.2. Freios de Disco

Freios de disco com pinça, como aqueles utilizados em automóveis, usam pastilhas de atrito aplicadas contra uma pequena parte da circunferência de disco, deixando o restante exposto ao esfriamento. Algumas vezes, o disco é ventilado com passagens internas de ar que proporcionam esfriamento. A pinça normalmente envolve o disco e contém duas pastilhas, cada uma das quais atritando um lado do disco. Isso cancela a força axial e reduz as cargas axiais nos mancais. O freio comum de pinça utilizado em bicicletas, como mostrado na Figura 9 é um outro exemplo em que o aro do pneu é o disco e os garfos atuam sobre apenas uma pequena parte da circunferência. Algumas vantagens de discos sobre tambores resultam da boa

controlabilidade e linearidade (torque de frenagem diretamente proporcional à força axial aplicada) dos primeiros (NORTON, 2013).

Em motores elétricos, atuam de maneira eletromagnética, permanecendo na posição aberta enquanto há a passagem de corrente e conseqüentemente campo eletromagnético e fechados quando há a interrupção dessa passagem.

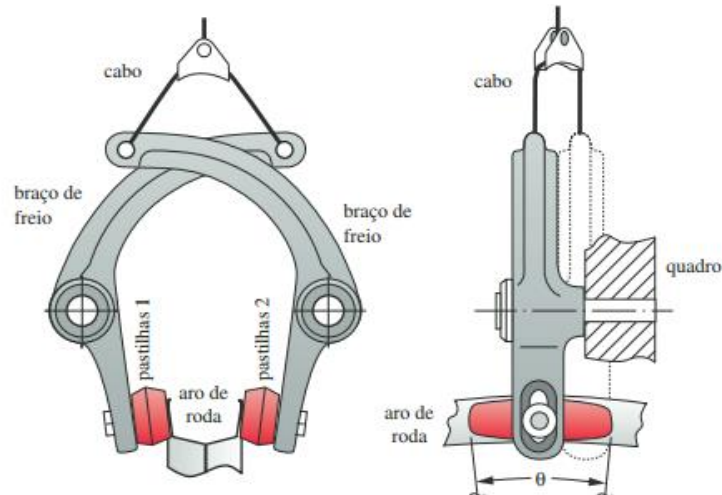


Figura 9:Freio de Disco (Fonte: Norton)

2.7.3. Freios de Tambor

Freios de tambor forçam o material de atrito sobre a circunferência de um cilindro, seja externamente, internamente ou em ambas as faces. A parte à qual o material de atrito é rebitado ou colado com adesivo é chamada de sapata de freio, e a parte contra a qual atrita, tambor de freio. A sapata é forçada contra o tambor para criar um torque de atrito. A configuração mais simples de um freio de tambor é o freio de banda, no qual uma sapata flexível é enrolada ao redor da maior parte da circunferência do tambor e apertada contra ele. Alternativamente, uma sapata (ou sapatas) relativamente rígida, com guarnição, pode ser pivotada contra a circunferência externa ou interna (ou ambas) do tambor. Se a sapata entra em contato com apenas uma pequena porção angular do tambor, o arranjo é conhecido como um freio de sapata curto, caso contrário, é um freio de sapata longo (NORTON, 2013).

2.8. Normatização

Nesta seção, serão expostas as principais normas utilizadas para o desenvolvimento do projeto.

2.8.1. ABNT NBR NM 207

O objetivo desta Norma é definir regras de segurança relativas a elevadores de passageiros com vistas a proteger as pessoas e objetos contra os riscos de acidentes relacionados com as operações pelo usuário, de manutenção e de emergência de elevadores.

Esta Norma não somente trata dos requisitos de segurança essenciais, mas adicionalmente estabelece as regras mínimas para a instalação de elevadores nos edifícios/construções. Regulamentos técnicos para a construção de edifícios não podem ser ignorados.

2.8.2. ABNT NM 313:2007

Esta Norma reza as condições de acessibilidade, fixando condições exigíveis na elaboração do projeto, fabricação e instalação de elevadores de passageiros, com o fim de adequá-los com características para transportar pessoas portadoras de deficiência que podem locomover-se sem o auxílio de terceiros.

2.8.3. ABNT NBR ISO 2408:2019

Esta edição da Norma especifica diâmetros e categorias de resistências de cabos em medidas métricas para as classes de cabos mais comuns. Além disso, e para efeitos de comparação, nesta edição são fornecidas informações sobre diâmetros e categorias de resistências de cabos em medidas imperiais, a fim de auxiliar no processo de seleção de cabos e ajudar a assegurar que os níveis existentes de segurança sejam mantidos nos equipamentos originalmente projetados para operar com tais cabos.

2.8.4. ABNT NBR ISO 5665

Fixa as condições mínimas que devem ser observadas no cálculo de tráfego das instalações de elevadores de passageiros.

2.8.5. ABNT NBR 8400

Esta Norma fixa as diretrizes básicas para o cálculo das partes estruturais e componentes mecânicos dos equipamentos de levantamento e movimentação de cargas, independente do grau de complexidade ou do tipo de serviço do equipamento, determinando:

- solicitações e combinações de solicitações a serem consideradas;
- condições de resistência dos diversos componentes do equipamento em relação às solicitações consideradas;

- condições de estabilidade a serem observadas.

2.8.6. ABNT NBR 15623

Estabelece os procedimentos para a medição da excentricidade da ponta de eixo e para máquinas fixadas por flange, da concentricidade do diâmetro do encaixe do flange e da perpendicularidade da superfície de apoio do flange com relação ao eixo. Também estabelece as dimensões básicas dos motores e dos eixos e as potências nominais para as máquinas elétricas girantes, além dos máximos torques permitidos para motores de corrente alternada para operação contínua.

2.8.7. ABNT NBR 15597

Estabelece regras para melhoria da segurança dos elevadores existentes, com o objetivo de atingir um nível equivalente de segurança àquele de um elevador recentemente instalado conforme a ABNT NBR NM 207 e aplicando o que há de mais avançado em segurança.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

A metodologia deste projeto consiste em aplicar as especificações citadas no item 2.7 *Normalização*, em relação aos equipamentos mecânicos de um elevador, citados no *Capítulo 2*. Assim como, a metodologia de identificar equipamentos que podem estar fora das conformidades exigíveis.

A organização estrutural do projeto se baseia em um fluxo direto de ações e etapas, como ilustra o fluxograma da Figura 10, de modo a introduzir os conceitos e funcionamentos dos equipamentos mecânicos, com base em exemplificações reais de aplicações dos processos. De modo inicial, o estudo apresenta os conceitos de cálculo de tráfego, que por meio de especificações da aplicabilidade do edifício, pode-se definir a capacidade do elevador, a quantidade de elevadores, e a velocidade necessária para atender a demanda de utilização. A partir disso, os dimensionamentos ideais e os conceitos de motofreio, cabo de tração/polia de tração, e freio de emergência puderam ser calculados e expostos. A partir das visitas técnicas dos autores, em diferentes elevadores acompanhados pela empresa Assistec Rio Elevadores, empresa com mais de 30 anos de experiência no mercado, analisou-se um cenário prático que possibilitou uma demonstração e aplicação real dos dimensionamentos dos equipamentos mecânicos citados para as necessidades exigíveis dos edifícios de acordo com as suas aplicações. Por fim, foi analisado as principais causas dos defeitos e falhas de cada componente e estudado suas possíveis soluções, como também uma análise de manutenção adequada para os equipamentos, obsolescência dos componentes mecânicos e momento de substituição, a fim de evitar riscos aos usuários.

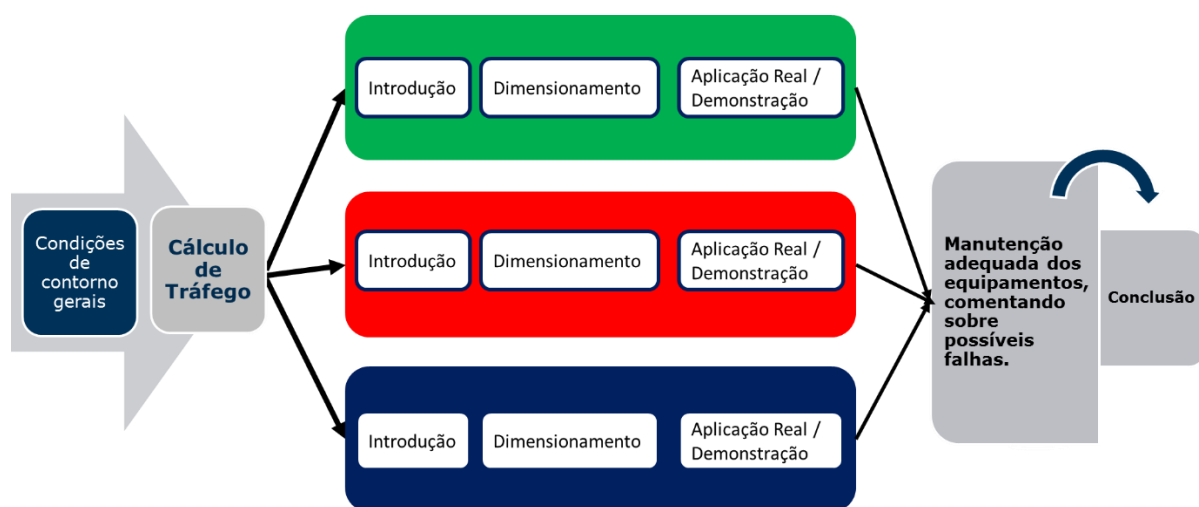


Figura 10 - Fluxograma de metodologia do projeto (Fonte: Autores)

3.1. Condições de contorno no caso real

Para determinar as condições de contorno do problema que se deseja solucionar, é necessário colher algumas informações de maneira a balizar os cálculos necessários para a determinação dos equipamentos mais adequados ao serviço. As principais informações estão descritas nos subitens seguintes.

3.1.1. Lotação da Cabina

Primeiramente deve-se determinar a lotação da cabina, que determinará sua velocidade nominal, conforme combinações mais usuais e econômicas, encontrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Relação velocidade por capacidade da cabina (Fonte: Atlas Schindler)

Velocidade m/s (m/min)	Capacidade da cabina (pessoas)																							
	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
0,60 (36)	■																							
0,75 (45)		■	■	■																				
1,00 (60)		■	■	■	■																			
1,25 (75)		■	■	■	■	■																		
1,50 (90)		■	■	■	■	■	■																	
1,75 (105)							■	■	■	■	■	■	■	■	■									
2,00 (120)							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
2,50 (150)											■	■	■	■	■	■	■							
3,00 (180)																■	■	■	■	■	■	■		
3,50 (210)																						■		
4,00 (240)																						■		
5,00 (300)																						■		
6,00 (360)																						■		
7,00 (420)																						■		
8,00 (480)																						■		

Outro fator a ser considerado é a área útil da cabina, ela se dá em função da definição da lotação da cabina, como é possível ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Relação área útil por capacidade da cabina (Fonte: Atlas Schindler)

Lotação (A) Pessoas	Carga (B) kg	Área útil em m ²		
		Mínimo	Médio	Máximo
6	450	1,170	1,235	1,300
7	525	1,310	1,380	1,450
8	600	1,450	1,525	1,600
9	675	1,590	1,670	1,750
10	750	1,730	1,815	1,900
11	825	1,870	1,960	2,050
12	900	2,010	2,105	2,200
13	975	2,150	2,250	2,350
14	1050	2,290	2,395	2,500

15	1125	2,430	2,540	2,650
16	1200	2,570	2,685	2,800
17	1275	2,710	2,830	2,950
18	1350	2,850	2,975	3,100
19	1425	2,990	3,120	3,250
20	1500	3,130	3,265	3,400
21	1575	3,245	3,382	3,520
22	1650	3,360	3,500	3,640
23	1725	3,475	3,618	3,760
24	1800	3,590	3,735	3,880
25	1875	3,705	3,852	4,000
26	1950	3,820	3,970	4,120

(A) = Inclusive ascensorista

(B) = Para outras cargas a área útil da cabina e determinada por extrapolação linear

3.1.2. Portas

Os tipos de portas para elevadores de passageiros, são os de abertura lateral (AL) e os de abertura central (AC), tanto para pavimento quanto para a cabina. Por exigência da norma NM 207, as dimensões mínimas das portas são de 0,80m de largura por 2,00m de altura.

As combinações possíveis de abertura de porta são:

- Cabine (AL) e Pavimento (AL);
- Cabine (AC) e Pavimento (AC).

Em função da largura e do tipo da porta, são sugeridas, como mínimas, as seguintes dimensões para a frente da Caixa, como apresentado na Figura 11.

Dimensões Mínimas da Frente da Caixa (m)		
Largura da porta	Combinação Cabina - AL Pavimento - AL	Combinação Cabina - AC Pavimento - AC
0,80	1,60	1,80
0,90	1,75	2,00
1,00	1,90	2,20

Figura 11 – Dimensões Mínimas da Frente da Caixa (Fonte: Atlas Schindler)

3.1.3. Dimensionamento da Caixa

As caixas estruturais O dimensionamento das Caixas dos elevadores se dá em função da capacidade, da velocidade e do tipo de portas. A disposição dos tamanhos A e B das Figuras 12 e 13, varia conforme o Quadro 2.

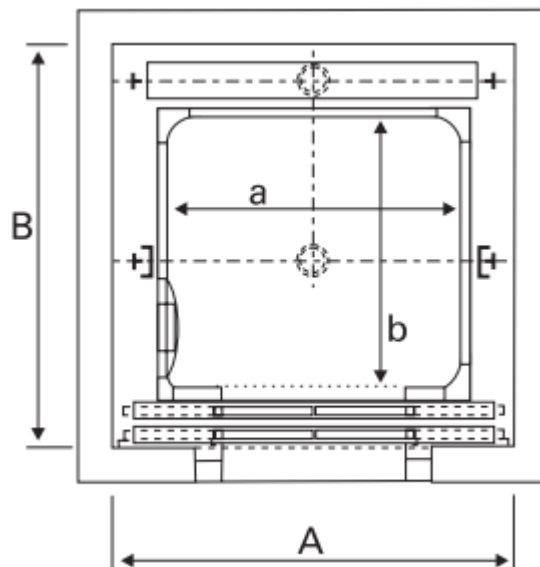


Figura 12 – Dimensões da Caixa para Abertura Central (Fonte: Atlas Schindler)

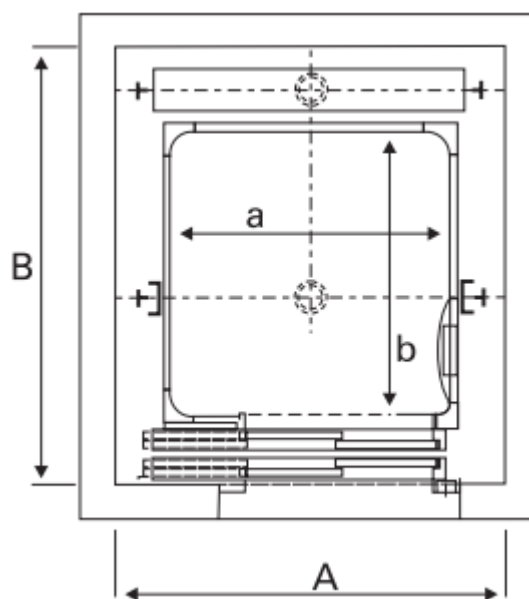


Figura 13 – Dimensões da Caixa para Abertura Lateral (Fonte: Atlas Schindler)

Quadro 2 – Dimensões da Caixa de acordo com o tipo de porta (Fonte: Autores)

Portas AC	Portas AL
$A = a + 0,40\text{m}$	$A = a + 0,40\text{m}$
$B = b + 0,65\text{m}$	$B = b + 0,70\text{m}$

As dimensões “a” e “b” da cabina são fixadas após se determinar, por meio do cálculo de tráfego, a capacidade e, conseqüentemente, a área da cabina.

3.2. Cálculo de Tráfego

Para o planejamento da construção de um elevador, o cálculo de tráfego se faz necessário. Ele se configura como um conjunto de métodos desenvolvidos para fixar as condições mínimas de deslocamento seguro e confortável exigíveis, em determinadas instalações de elevadores de passageiros em uma edificação, segundo a norma vigente NBR 5665/1983. Dessa forma, a partir do trânsito para cada aplicação do edifício projetado, pode-se definir a capacidade do elevador, a quantidade de elevadores, e a velocidade necessária para atender a demanda de utilização.

Para realizar o cálculo, deve-se tomar algumas variáveis como premissas, como por exemplo população e capacidade de transporte, aplicação e finalidade do edifício, tempo total de viagem, abertura e fechamento de porta, entrada e saída de passageiros e intervalo de tráfego. Que conduzirão a primeira etapa em um processo de dimensionamento das necessidades de um edifício quanto a locomoção dos passageiros, e assim a partir disso, conseguimos conseqüentemente dimensionar e especificar os componentes mecânicos necessários como motofreio, cabo de tração e sistema de freio de segurança, para a aplicação desejada.

3.2.1. População e Capacidade

O tráfego deve ser calculado a partir da população que irá circular o edifício e seus ambientes. Dessa forma, definir a aplicação e a finalidade da edificação é fundamental para entender os carregamentos exercidos ao longo do tempo e quais devem ser as capacidades dos componentes mecânicos. Portanto a população deve ser calculada baseada nos seguintes fatores:

- a) Escritórios e consultórios: 1 pessoa por 7m² de sala;
- b) Apartamentos: 2 pessoas por dormitório, 4 pessoas por 2 dormitórios, 5 pessoas por 3 dormitórios, 6 pessoas por 4 dormitórios ou mais;
- c) Hotéis: 2 pessoas por dormitório;
- d) Hospitais: 2,5 pessoas por leito;
- e) Restaurantes: 1 pessoa por 1,5m²;
- f) Escolas: Salas de aula = 1 pessoa por 2m². Salas de administração = 1 pessoa por 7m²;
- g) Edifícios garagem: 1,4 pessoas por vaga;
- h) Lojas e centros comerciais: 1 pessoa por 4m².

Para efeito de especificação de um ambiente, alguns critérios devem ser consideradas:

- Para qualquer tipo de edifício, pode-se desconsiderar 50% da população ao cálculo, dos pavimentos que se encontram em até 5m de distância imediatamente acima e/ou abaixo ao pavimento de acesso.
- Nos edifícios escolares, pode-se desconsiderar 30% da população ao cálculo, dos pavimentos que se encontram em até 12m de distância imediatamente acima e/ou abaixo ao pavimento de acesso.
- Edifícios de escritórios, pode-se desconsiderar 15% a área de salas que ocupam todo o pavimento, ou salas com área igual ou superior 200m².

Considerando o sentido de movimentação de subida, os elevadores devem ser capazes de transportar em no máximo 5 minutos as seguintes porcentagens mínimas da população de um edifício, como no Quadro 3.

Quadro 3 - Capacidade mínima de transporte por edifício (Fonte: NBR 5665)

Transporte da população de um edifício	
Local	Transporte da % mín. da população do local
Escritórios	15%
Consultórios	12%
Apartamentos	10%
Hotéis	10%
Restaurantes	6%
Hospitais	12%
Escolas	20%
Edifícios garagem	10%
Lojas e Centros comerciais	10%

3.2.2. Cálculos

- i) O tempo total de viagem deve ser calculado pela fórmula:

$$T = T1 + T2 + 1,1 (T3+T4) \quad (1)$$

T = Tempo total de viagem

T1 = Tempo de percurso total, ida e volta, entre os pavimentos extremos sem parada

T2 = Tempo total de aceleração e retardamento = $\frac{(n^\circ \text{ de paradas prováveis} \times \text{tempo da Tabela 5})}{2}$

T3 = Tempo total de abertura e fechamento das portas =

$\frac{(n^\circ \text{ de paradas prováveis} \times \text{tempo da Quadro 4})}{2}$

T4 = Tempo total de entrada e saída de passageiros =

$(n^\circ \text{ da lotação de pessoas na cabina} \times \text{tempo da Quadro 5})$

Tabela 5 - Tempo de aceleração e retardamento para cálculo de viagem total (Fonte: NBR 5665).

Tempo de aceleração e retardamento	
Velocidade(m/min)	Tempos (s)
0,63	2,5
0,75	2,5
1,00	3,0
1,25	3,0
1,50	3,5
1,75	4,0
2,00	4,5
2,50	5,5
Acima de 2,5	6,0

Quadro 4 - Tempo de abertura e fechamento de portas de pavimento para cálculo de viagem total (Fonte: NBR 5665).

Tempo de abertura e fechamento das portas	
Tipo de porta	Tempos (s)
Abertura Central (AC)	3,9
Abertura Lateral (AL)	5,5
Eixo Vertical (EV)	6,0

Quadro 5 - Tempo de entrada e saída de passageiros por pavimento para cálculo de viagem total (Fonte: NBR 5665).

Tempo de entrada e saída de passageiros	
Abertura da porta (m)	Tempo (s)
Menor que 1,10	2,4
Maior ou igual a 1,10	2,0

ii) O número de paradas prováveis deve ser calculado pela fórmula:

$$N = p - (p - 1) \left(\frac{p-2}{p-1} \right)^c \quad (2)$$

N = Número de paradas prováveis

p = Número de paradas do elevador

C = Lotação da cabina

iii) A capacidade de transporte de um elevador, em 5 minutos, deve ser calculada pela fórmula:

$$C_t = \frac{Lx300}{T} \quad (3)$$

C_t = Capacidade de transporte

L = Lotação da cabina

T = Tempo total da viagem, em segundos

$$C_T = C_{T1} + C_{T2} + C_{Tn} \quad (4)$$

C_T = Capacidade de tráfego

C_{T1} = Capacidade do elevador nº1

C_{T2} = Capacidade do elevador nº2

C_{Tn} = Capacidade do elevador n

iv) Intervalo de tráfego deve ser calculado pela fórmula:

$$I = \frac{T}{ne} \quad (5)$$

I = Intervalo de tráfego

T = Tempo total de viagem, em segundos

ne = número de elevadores segundo a aplicação do edifício

Quadro 6 - Intervalo de tráfego (Fonte:NBR 5665)

Intervalo de Tráfego		
Nº de Elevadores	Finalidade do Prédio	Intervalo de tráfego máximo (s)
1	Residencial	80
2	Residencial	60
3	Residencial	50
4 ou mais	Escritórios e Consultórios	40
	Hospitais	
	Hotéis	45
	Escolas	
	Lojas	
	Garagens	
	Restaurantes	

3.3. Motofreio

O motofreio consiste de um motor de indução Figura 14, acoplado a um freio monodisco Figura 15, formando uma unidade integral compacta e robusta. O motor de indução é totalmente fechado com ventilação externa, com as mesmas características de robustez e desempenho da linha de motores.

O freio é construído com poucas partes móveis, que assegura longa duração com o mínimo de manutenção. A dupla face das pastilhas forma uma grande superfície de atrito, que proporciona pequena pressão sobre as mesmas, baixo aquecimento e mínimo desgaste. Além disso, o freio é resfriado pela própria ventilação do motor. A bobina de acionamento do eletroímã, protegida com resina epóxi, funciona continuamente com tensões de 10% acima ou abaixo da nominal.

A bobina de acionamento do eletroímã é alimentada por corrente contínua, fornecida por uma ponte retificadora composta de diodos de silício e varistores, que suprimem picos indesejáveis de tensão e permitem um rápido desligamento da corrente. A alimentação em corrente contínua proporciona maior rapidez e uniformidade de operação do freio.

São utilizados em equipamentos, onde se exigem paradas rápidas por questão de segurança, posicionamento e redução do tempo de operação, caso do elevador de passageiros, objeto do nosso estudo [12].

Principais componentes do motor

1	Vedação	8	Ventilador
2	Tampa	9	Ponte retificadora
3	Rolamento	10	Placa de bornes
4	Eixo	11	Caixa de ligação
5	Rotor	12	Carcça
6	Olhal de içamento	13	Estator
7	Tampa defletora	14	Chaveta

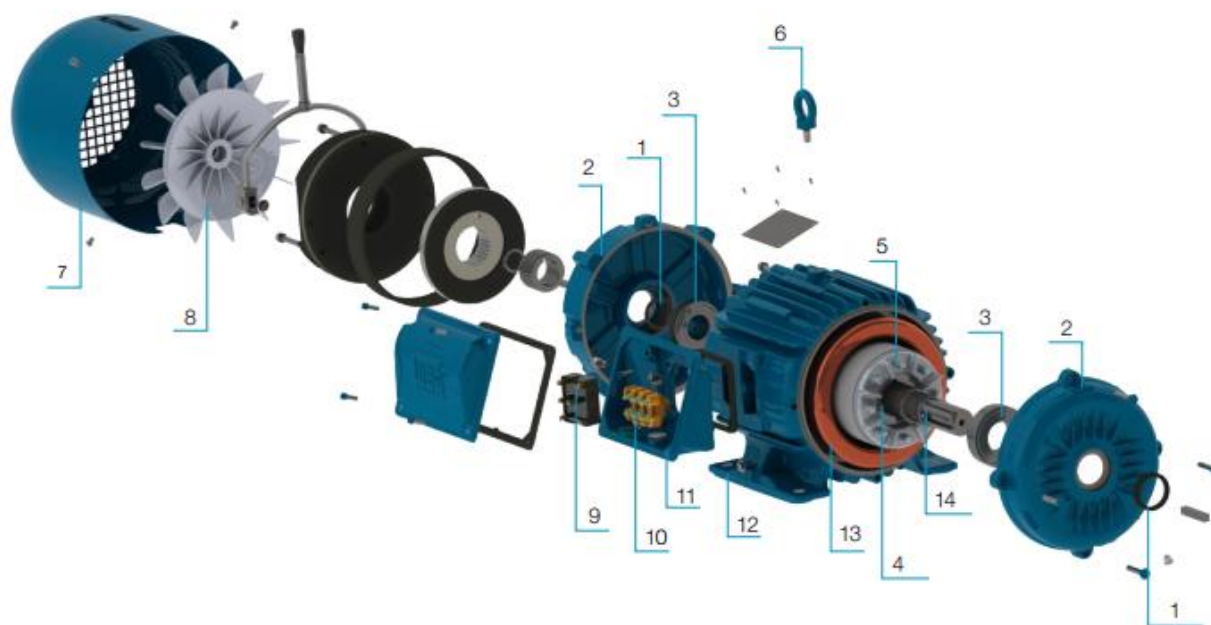


Figura 14: Principais componentes do motor de um Motofreio WEG W22 (Fonte:WEG)

3.3.1. O funcionamento do Freio

Quando o motor é desligado da rede, o controle também interrompe a corrente da bobina e o eletroímã para de atuar.

As molas de pressão empurram a armadura na direção da tampa traseira do motor. As pastilhas, que estão alojadas no disco de frenagem, são comprimidas entre as duas superfícies de atrito, a armadura e a tampa, freando o motor até que ele pare. Quando o motor é ligado na rede, a bobina é alimentada e a armadura é atraída contra a carcaça do eletroímã, vencendo a resistência das molas. As pastilhas, ao ficarem livres, deslocam-se axialmente em seus alojamentos ficando afastadas das superfícies de atrito. Assim, termina a ação de frenagem, deixando o motor partir livremente [9].

Principais componentes do freio

1	Parafusos de fixação	6	Anel de Retenção
2	Alavanca de destravamento	7	Cubo (hub)
3	Estator do freio (eletroimã)	8	Chaveta
4	Disco de frenagem	9	Vedação
5	Selo do freio	10	Tampa traseira



Figura 15: Principais componentes do freio de um Motofreio WEG W22 (Fonte:WEG)

Os motores devem ser instalados em máquinas e equipamentos de acordo com o manual de instalação, normalmente fornecido com o motor e em especial em aplicações que sejam compatíveis com as características de frenagem para o qual o motor foi projetado.

Podem ser montados em qualquer posição, desde que o freio não fique sujeito a penetração excessiva de água, óleo ou poeiras abrasivas. Para motores que são montados na posição vertical e que permitam a entrada de água ou partículas sólidas no interior do sistema de frenagem do motor, é recomendável o uso de proteções adicionais para o motor, por exemplo, uso de chapéu sobre a tampa defletora.

A alimentação da bobina do freio é feita por corrente contínua, que pode ser fornecida diretamente por uma fonte de tensão contínua ou por uma ponte retificadora, que transforma a corrente alternada em contínua e filtra os picos indesejáveis de tensão permitindo um rápido desligamento da corrente elétrica. A alimentação por corrente contínua proporciona maior rapidez e confiabilidade na operação do freio. A alimentação da ponte retificadora por corrente alternada, pode ser obtida de fonte independente ou dos terminais do motor, desde que o motor não seja alimentado por inversor de frequência. Esta alimentação poderá ser nas tensões de 220/230/240V, 380/400/415V ou 440/460/480V, de acordo com as características do conjunto ponte retificadora/bobina do freio. Quando a alimentação é feita por meio da ponte retificadora,

ela pode ser feita conforme o Quadro 7. Para o normal funcionamento do motor e da bobina do freio a tensão da rede elétrica deve estar dentro $\pm 10\%$ da tensão nominal.

Quadro 7: Alimentação da ponte retificadora através dos terminais do motor (Fonte: WEG)

Tensão de alimentação do motor (Vca)	Tensão de alimentação da ponte retificadora (Vca)	Esquema elétrico para frenagem		Alimentação da ponte retificadora através das conexões dos cabos do motor (padrão IEC-NBR/NEMA)				
		Normal	Rápida	Terminal 1	Terminal 2			
					3	6	9	12
220/230/240 (Δ)	220/230/240	Fig. 17	Fig. 16	U1/T1	W1/T3	W1/T3	W1/T3	W1/T3
380/400/415 (Y)	220/230/240				-	W2/T6	-	W4/T12
380/400/415 (Δ)	380/400/415				W1/T3	W1/T3	W1/T3	W1/T3
440/460 (T)	440/460				W1/T3	W1/T3	W1/T3	W1/T3
525/550/575 (T)	525/550/575				W1/T3	W1/T3	W1/T3	W1/T3

Para esquemas de ligação com corrente alternada há duas possibilidades de frenagem: rápida (Figura 16) e normal (Figura 17).

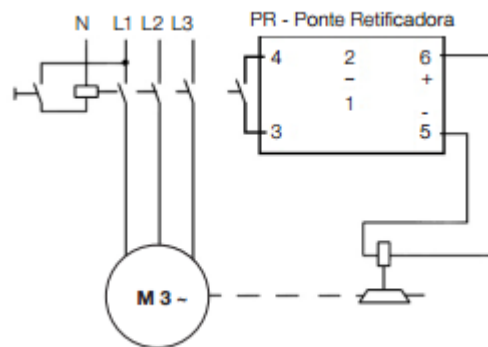


Figura 16: Esquema de ligação na ponte retificadora para frenagem rápida (Fonte:WEG)

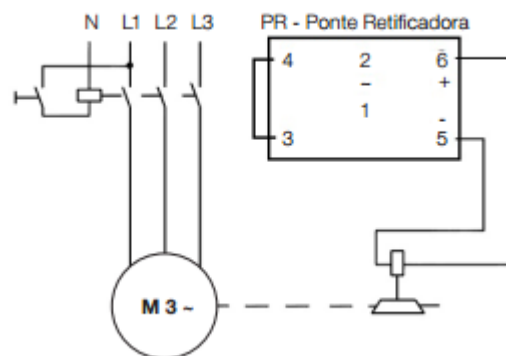


Figura 17: Esquema de ligação na ponte retificadora para frenagem normal (Fonte:WEG)

Já para corrente contínua, a ligação deverá ser feita diretamente nos terminais da bobina do freio com uma fonte de corrente contínua, sem o uso da ponte retificadora.

Sempre deve ser observada a tensão de alimentação da bobina do freio atentamente a fim de evitar problemas no freio ou no motor.

Em geral, os torques são padronizados, dimensionados por carcaça, para proporcionar menores tempos de frenagem. Caso haja necessidade, alguns equipamentos vem com reguladores de torque de frenagem.

Para se fazer o ajuste, a porca de ajuste, presente na parte traseira do freio deve ser girada no sentido horário quando se deseja aumentar o torque e para o sentido anti-horário quando se deseja diminuir o torque de frenagem.

A regulagem de fábrica do torque de freio é conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Características do torque de frenagem de acordo com o tamanho do freio (Fonte: WEG)

Carcaça	Tamanho do freio	Torque nominal (N.m) (100rpm)
63	6	4
71	8	8
80	8	8
90	10	16
100	12	32
112	14	60
132	16	80

A designação da carcaça pode se dá mediante o estabelecimento de procedimentos para a medição da excentricidade da ponta de eixo e para máquinas fixadas por flange, da concentricidade do diâmetro de encaixe do flange e da perpendicularidade da superfície de apoio em relação ao eixo.

Estes procedimentos podem ser encontrados nas normas NBR 15623-1 para alturas de ponta de eixo (“dimensão fundamental”) de 56 a 400 mm e na NBR 15623-2 para 355 a 1000 mm. As Tabelas 7, 8 e 9, exemplificam as designações e parâmetros.

Tabela 7: Dimensões normalizadas para máquinas elétricas girantes fixadas por pés embaixo, $56 \leq H \leq 400$ (Fonte: NBR 15623-1)

Designação da carcaça	H		Aa	Bb	Cc	Kk		Parafuso para fixação dos pés
	Nominal mm	Afastamento mm				Nominal mm	Tolerâncias μm	
56 M	56	-0,5	90	71	36	5,8	+360	M5
63 M	63	-0,5	100	80	40	7	+360	M6
71 M	71	-0,5	112	90	45	7	+360	M6
80 M	80	-0,5	125	100	50	10	+360	M8
90 S	90	-0,5	140	100	56	10	+360	M8
90 L	90	-0,5	140	125	56	10	+360	M8
100 S	100	-0,5	160	112	63	12	+430	M10
100 L	100	-0,5	160	140	63	12	+430	M10
112 S	112	-0,5	190	114	70	12	+430	M10
112 M	112	-0,5	190	140	70	12	+430	M10
(112 L)	112	-0,5	190	159	70	12	+430	M10
132 S	132	-0,5	216	140	89	12	+430	M10
132 M	132	-0,5	216	178	89	12	+430	M10
(132 L)	132	-0,5	216	203	89	12	+430	M10
160 S	160	-0,5	254	178	108	14,5	+430	M12
160 M	160	-0,5	254	210	108	14,5	+430	M12
160 L	160	-0,5	254	254	108	14,5	+430	M12
180 S	180	-0,5	279	203	121	14,5	+430	M12
180 M	180	-0,5	279	241	121	14,5	+430	M12
180 L	180	-0,5	279	279	121	14,5	+430	M12
200 S	200	-0,5	318	228	133	18,5	+520	M16
200 M	200	-0,5	318	267	133	18,5	+520	M16
200 L	200	-0,5	318	305	133	18,5	+520	M16
225 S	225	-0,5	356	286	149	18,5	+520	M16
225 M	225	-0,5	356	311	149	18,5	+520	M16
(225 L)	225	-0,5	356	356	149	18,5	+520	M16
250 S	250	-0,5	406	311	168	24	+520	M20
250 M	250	-0,5	406	349	168	24	+520	M20
(250 L)	250	-0,5	406	406	168	24	+520	M20
280 S	280	-1	457	368	190	24	+520	M20
280 M	280	-1	457	419	190	24	+520	M20
(280 L)	280	-1	457	457	190	24	+520	M20
315 S	315	-1	508	406	216	28	+520	M24
315 M	315	-1	508	457	216	28	+520	M24
(315 L)	315	-1	508	508	216	28	+520	M24
355 S	355	-1	610	500	254	28	+520	M24
355 M	355	-1	610	560	254	28	+520	M24
355 L	355	-1	610	630	254	28	+520	M24
400 S	400	-1	686	560	280	35	+620	M30
400 M	400	-1	686	630	280	35	+620	M30
400 L	400	-1	686	710	280	35	+620	M30

Aa - Distância entre as linhas de centro dos furos dos pés (vista de frente)
 Bb - Distância entre os limites exteriores dos pés (vista lateral)
 Cc - Distância do enconsto da segunda ponta do eixo à linha de centro dos furos dos pés mais próximos
 H - Distância da linha de centro do eixo à base dos pés (altura da ponta do eixo: dimensão fundamental)
 Kk - Diâmetro dos furos, ou largura dos rasgos, nos pés da máquina

Tabela 8: Dimensões A normalizadas para máquinas elétricas girantes fixadas por pés embaixo, $355 \leq H \leq 1000$ (Fonte: NBR 15623-2)

H	Aa												
355	450	475	500	530	560	610	630	670	710	750	800	850	900
400	500	530	560	600	630	686	710	750	800	850	900	950	1000
450	560	600	630	670	710	750	800	850	900	950	1000	1060	1120
500	630	670	710	750	800	850	900	950	1000	1060	1120	1180	1250
560	710	750	800	850	900	950	1000	1060	1120	1180	1250	1320	1400
630	800	850	900	950	1000	1060	1120	1180	1250	1320	1400	1500	1600
710	900	950	1000	1060	1120	1180	1250	1320	1400	1500	1600	1700	1800
800	1000	1060	1120	1180	1250	1320	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
900	1120	1180	1250	1320	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2120	2240
1000	1250	1320	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2120	2240	2360	2500

Tabela 9: Dimensões B normalizadas para máquinas elétricas girantes fixadas por pés embaixo, $355 \leq H \leq 1000$ (Fonte: NBR 15623-2)

H	Bb																
355	-	-	-	-	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120
400	-	-	-	-	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250
450	-	-	-	-	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400
500	-	-	-	-	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600
560	-	-	-	-	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800
630	-	-	-	-	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000
710	-	-	-	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2240
800	-	-	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2240	2500
900	-	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2240	2500	2800
1000	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2240	2500	2800	3150

3.3.2. Entreferro

Os motofreios são fornecidos com o entreferro inicial, ou seja, a distância entre a armadura e a carcaça com o freio aplicado, pré-ajustado pela fábrica em seu valor mínimo indicado na Tabela 10.

Por serem de construção simples, os motofreios praticamente dispensam manutenção, a não ser a ajustagem periódica do entreferro. Recomenda-se proceder uma limpeza interna, quando houver penetração de água, poeiras, etc, ou por ocasião da manutenção periódica do motor.

Tabela 10: Distâncias recomendadas de entreferro (Fonte: WEG)

Carcaça	Entreferro inicial (mm)	Entreferro máximo (mm)
71	0,2 - 0,3	0,6
80	0,2 - 0,3	0,6
90S - 60L	0,2 - 0,3	0,6
100L	0,2 - 0,3	0,6
112M	0,2 - 0,3	0,6
132S - 132M	0,3 - 0,4	0,8
160M - 160L	0,3 - 0,4	0,8

Com o desgaste natural das pastilhas, o entreferro aumenta gradativamente, não afetando o bom funcionamento do freio até que ele atinja o valor máximo indicado na Tabela 10.

3.3.3. Especificação do equipamento

Para determinar o motor e o freio o primeiro passo consiste em definir em qual ambiente o equipamento será empregado, de modo a selecionar o motor com as melhores características eletromecânicas para a aplicação. Deve-se verificar também o tipo de freio, informando qual será a tensão de alimentação e o torque de frenagem necessário.

De acordo com a temperatura ambiente que o motor irá operar, pode-se determinar o sistema de resfriamento mínimo para a operação do freio, conforme o Quadro 8.

Quadro 8: Definição do sistema de ventilação por meio da temperatura ambiente do motor (Fonte: WEG)

Temperatura ambiente	Sistema de resfriamento mínimo do motor
Até 40 °C	Sem ventilação / W-Easy Maintenance
41 a 50 °C	Auto ventilado / Air Over
51 a 60 °C	Ventilação forçada
61 a 70 °C	Ventilação forçada + limitação da carga + limitação do número de frenagens/hora

É necessário também, para os invólucros dos equipamentos elétricos, especificar um grau de proteção, conforme as características do local em que são instalados e de sua acessibilidade. Assim, por exemplo, um equipamento a ser instalado num local sujeito a jatos d'água, deve possuir um invólucro capaz de suportar tais jatos, sob determinados valores de pressão e ângulo de incidência, sem que haja penetração de água. A Figura 4 da seção 2.3.1, indica o sistema necessário para garantir o grau de proteção.

Também é necessário, definir o torque de frenagem. O valor do torque de frenagem (Mk) varia de acordo com a carcaça e deve ser igual ou maior que o torque nominal do motor.

A Tabela 11 apresenta as principais características dos freios usando como base a rotação de 100 rpm.

Tabela 11: Características do freio de acordo com tamanho e torque em 100 rpm (Fonte: WEG)

Carcaça	Torque a 100 rpm [Nm]	Máxima rotação de trabalho [rpm]	Máxima energia dissipada Qe (J)	Tempo de resposta do freio t ₁₂ (s)
63	4	12,200	3,000	0.015
71	8	10,000	7,500	0.017
80				
90	16	8,200	12,000	0.020
100	32	6,600	24,000	0.030
112	60	6,000	30,000	
132	80	5,200	36,000	
160	150	4,300	60,000	0.043
180	260	3,600	80,000	0.100
200	400	3,000	120,000	0.120
225	530			0.135
250	800			2,300
	-			

O torque nominal de freios eletromagnéticos somente é alcançado após um curto período de operação, quando ocorre o assentamento completo do disco de frenagem. O atrito resultante do disco de freio pode variar devido ao seu processo de fabricação e de sua montagem, e assim, uma variação do torque de frenagem especificado é possível de ocorrer, principalmente quando um novo disco de frenagem é montado. Essa variação é considerada no dimensionamento do freio, mas requer atenção do usuário nas primeiras operações de um novo conjunto freio + motor. Uma redução do torque de freio também pode ocorrer após longos períodos sem acionamento do freio, podendo ser causada pela presença de umidade e/ou variação da temperatura ambiente.

O fator de segurança (k) para aplicações normais das recomendações usuais de fabricantes é de um fator de segurança “k” de 1,5 a 2 vezes o valor do torque. Para aplicações especiais como elevações, recomenda-se utilizar um fator de segurança “k” de 2 a 3 vezes o torque nominal.

O cálculo do torque para aplicações de elevações em geral deve ser obtido através do cálculo de torque requerido (Mreq), que é dado pela equação (6).

$$Mreq = k * \left(\frac{JL * \Delta n \omega}{9.55 * \left(\frac{t_{13} - t_{12}}{2} \right)} + ML \right) \quad (6)$$

Fonte: [12]

Em que:

M_{req} : Torque Requerido [N.m];

K: Fator de segurança;

M_L : Torque de Carga [N.m];

J_L : Inércia total referida ao eixo do rotor = inércia da carga + inércia do sistema + inércia do motor [kgm²];

Δn : rotação (rpm);

t_3 : Tempo de frenagem requerido [s];

t_{12} : Tempo de resposta do freio [s].

Em casos de paradas de emergência (na rotação de trabalho) ou em motores sem inversor de frequência, considera-se que a rotação de frenagem é a rotação nominal do motor. Dessa maneira, deve-se fazer a correção do valor de torque devido a rotação de frenagem (MR) conforme indicado na Tabela 12.

Tabela 12: Correção de Torque (Fonte: WEG)

Tamanho do Freio	Correção do Torque na rotação (rpm) [%]							
	750	900	1000	1200	1500	1800	3000	3600
06	93.5	92	91	89.5	87	85	80	78.5
08	92.5	91	89.7	87.7	85	83	78	76.5
10	91.5	89.5	88,2	86	83	81	76	74.7
12	90.5	88.2	87	84.2	81	78.8	74	72.2
14	90	87.5	86	83.5	80	77.7	73	71.5
16	89.5	87	85.5	82.5	79	76.5	72	70.2
18	88	85.7	84	80.7	77	74.5	70	68
20	87	84.5	82.5	79	75	72.2	68	66.2
25	86	83	81	77.5	73	70.1	66	-
31	82	79	77	73	69	65	-	-

Para frenagens com inversor de frequência, é necessário conhecer a rotação em que será realizada a frenagem, e caso necessário, corrigir o torque do freio, como demonstrado na Equação (7).

$$Mr = \frac{M_{req}}{\text{correção}(\%)} * 100 \quad (7)$$

Fonte: [12]

Para relacionar o tamanho da carcaça, com o tamanho do freio, é necessário que se utilize a Tabela 13.

Tabela 13: Tamanho de Carcaça e Freio (Fonte: WEG)

Carcaça	Tamanho do freio
63	6
71/80	8
90	10

100	12
112	14
132	16
160	18
180	20
200/225	25 (até 600 Nm)
225/250	25 (> 600 Nm)
	31

Por fim, deve-se verificar se o momento requerido corrigido é igual ou menor ao torque do freio selecionado. Se for maior, será necessário aumentar o torque do freio ($M_k > MR$).

3.4. Cabo e polia de tração

Os diferentes tipos de cabos de aço são projetados e testados para suportar uma determinada carga de tração a partir da sua aplicação. Portanto, esses cabos são testados tanto para os carregamentos estáticos e dinâmicos quanto para fadiga, visto que comumente estão sujeitos a tensões axiais variáveis ou momentos de torção. A vida útil do cabo de aço tende a diminuir quando o mesmo é submetido a carga axial crescente, implicando assim na diminuição da seção transversal, como também em contato com polias de raios de curvaturas muito pequenos.[15,16] Dessa forma, diante desse contexto o dimensionamento do cabo de aço para seus respectivos carregamentos se torna imprescindível para a segurança do transporte de passageiros nos elevadores elétricos.

Para o processo de *retrofit* dos cabos de aço, recomenda-se seguir alguns fatores de metodologia e aplicação das normas *ABNT NBR ISO 2408* e *ABNT NBR 12892*, para avaliar a integridade dos cabos para a troca ou a manutenção dos mesmos que se encontram em obsolescência, como também o dimensionamento diante da aplicação necessária.

Para os elevadores elétricos, o dimensionamento recomendado do cabo de tração de acordo com os carregamentos admissíveis, se correlacionar ao fator de segurança mínimo exigível em norma, que corresponde a 12 para elevadores de passageiros, conforme Quadro 9, e com a carga mínima de ruptura no cabo, exemplificada na equação (8). Dessa forma, podemos identificar a força necessária que o cabo deve suportar.

Quadro 9: Fator de segurança devido a aplicação (Fonte: Catálogo CIMAF, pág. 23)

Aplicações	Fatores de Segurança
Cabos e cordoalhas estáticas	3 a 4
Cabo para tração no sentido horizontal	4 a 5
Guinchos, guindastes e escavadeiras	5

Pontes rolantes	6 a 8
Talhas elétricas	7
Guindaste estacionário	6 a 8
Lingas	5
Elevadores de obras	8 a 10
Elevadores de passageiros	12

$$CRM = FS . Ts \quad (8)$$

Fonte: [15]

Em que:

CRM = carga de ruptura mínima;

FS = Fator de segurança;

Ts = Tensão em um único cabo de aço.

A partir do valor da carga de ruptura mínima, deve-se consultar o catálogo do fabricante para verificar que tipo de cabo suporta tais carregamentos, e conseqüentemente, qual o diâmetro do cabo de aço e sua respectiva construção.

As configurações dos cabos de aço devem respeitar os requisitos de ter no mínimo 6mm de diâmetro nominal, dependendo da sua relação com a polia de tração e carregamentos admissíveis de acordo com a capacidade do elevador e contrapeso. A tensão mínima de ruptura dos arames deve ser de 1570 N/mm² ou 1770 N/mm² para cabos de tensão única, e o número mínimo de cabos de aço que correspondem ao sistema de tração é de dois. Além disso, a relação de diâmetro primitivo da polia e o diâmetro nominal do cabo de aço deve ser de pelo menos 40, independente do número de pernas no cabo, como é demonstrado na equação 9.

$$\frac{Dp}{dc} \geq 40 \quad (9)$$

Fonte: [15]

Em que:

Dp = Diâmetro da polia;

dc = Diâmetro do cabo de aço.

A razão de tração no sistema que compõe o cabo de aço, polia de tração e relação com cabina e contrapeso, se define por:

$$\frac{T_1}{T_2} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq e^{f\alpha} \quad (10)$$

Fonte: [16]

Em que:

T_1/T_2 = É a razão entre a maior e a menor força estática nos cabos, situado em qualquer dos lados da polia de tração. Para os casos em que a cabina apresente 125% de carga equivalente da carga nominal estacionada no pavimento mais baixo.

C_1 = Coeficiente que leva em conta a aceleração da gravidade, e o retardamento da cabina, calculado por:

$$C_1 = \frac{g_n + a_n}{g_n - a_n} \quad (11)$$

Fonte: [16]

Em que:

g_n = É a aceleração da gravidade padrão em queda livre em m/s^2 ;

a_n = Retardamento do cabina em m/s^2 ;

E o valor mínimo do coeficiente C_1 deve ser de 1,01.

C_2 = é o coeficiente que leva em conta a variação do perfil da ranhura da polia de tração devido ao desgaste. Consida-se $C_2 = 1$ para ranhuras semicirculares ou recortadas, figura 18. Já polias com ranhuras em V, considera-se $C_2 = 1.2$, figura 19.

e = Base dos logaritmos naturais;

α = É o ângulo de abraçamento dos cabos na polia de tração;

f = coeficiente de atrito aparente dos cabos contra a ranhura da polia;

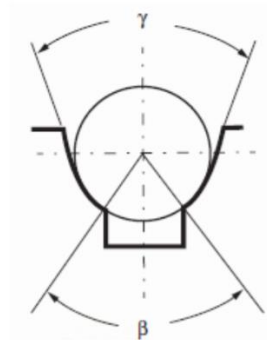


Figura 18 – Ranhuras da polia semicirculares (Fonte: Elevator Mechanical Design, pág 35)

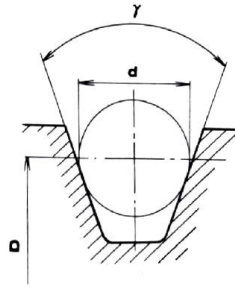


Figura 19 – Ranhuras da polia em V (Fonte: Elevator Mechanical Design, pág 35)

Para o cálculo do coeficiente de atrito entre ranhuras da polia e cabos de aço, pode-se considerar a seguinte função para ranhuras semicirculares ou recortadas.

$$f = \mu \frac{4\mu [1 - \text{sen}(\frac{\beta}{2})]}{\pi - \beta - \text{sen} \beta} \quad (12)$$

Fonte: [16]

Em que:

$\beta = \acute{E}$ o ângulo da garganta nas ranhuras da polia de tração (rad). O valor máximo do ângulo de recorte β não deve exceder a 106° (1,83 rad) e não deve ser menor que 90° (1,57 rad)

$\mu =$ Coeficiente de atrito entre cabo de aço e polia de tração, feitas de ferro fundido, o $\mu = 0,09$

Para o cálculo do coeficiente de atrito entre ranhuras da polia e cabos de aço, pode-se considerar a seguinte função para ranhuras em V:

$$f = \frac{\mu}{\text{sen} \frac{\gamma}{2}} \quad (13)$$

Fonte: [16]

Em que:

$\gamma = \acute{E}$ o ângulo das ranhuras V da polia de tração (rad)

O valor de ângulo de ranhura γ é projetado pelo fabricante, e esse não pode ser menor que 25° (0,43rad).

Ainda é necessário obedecer mais um requisito de atrito segundo a norma. A pressão específica de contato deve ser calculada de acordo com a Equação 14, para ranhuras cortadas ou semicirculares, ou segundo a Equação 15, para ranhuras V.

$$p = \frac{T}{n \cdot d \cdot D} \cdot \frac{[8 - \cos(\frac{\beta}{2})]}{(\pi - \beta - \text{sen} \beta)} \quad (14)$$

Fonte: [16]

$$p = \frac{T}{n \cdot d \cdot D} \cdot \frac{4,5}{(\text{sen} \frac{\gamma}{2})} \quad (15)$$

Fonte: [16]

Em que:

d = Diâmetro dos cabos de tração em mm;

D = Diâmetro da polia de tração;

n = Número de cabos;

p = Pressão específica em N/mm²;

vc = Velocidade dos cabos correspondente à velocidade nominal da cabina;

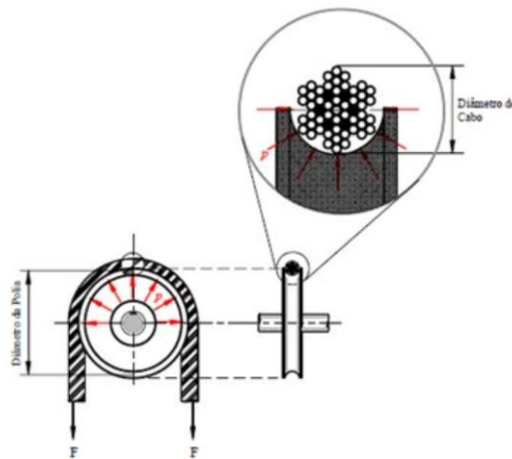


Figura 16 - Flexão do cabo de aço em torno da polia.

Figura 20 – Pressão específica de contato (Fonte:Elementos flexíveis: cabos de aços)

3.5. Freio

Considerado como o principal item de segurança, o freio de segurança fica localizado abaixo da cabine, como demonstrado na Figura 21. De acordo com o item 9.7 da NM 207, o carro deve ser provido de um freio de segurança capaz de operar somente no sentido de descida e capaz de parar o carro com a sua carga nominal, à velocidade de desarme do limitador de velocidade, mesmo se ocorrer ruptura dos elementos de suspensão, por meio de força de compressão nas guias, e de manter o carro preso nelas, impedindo assim a queda livre da cabine.

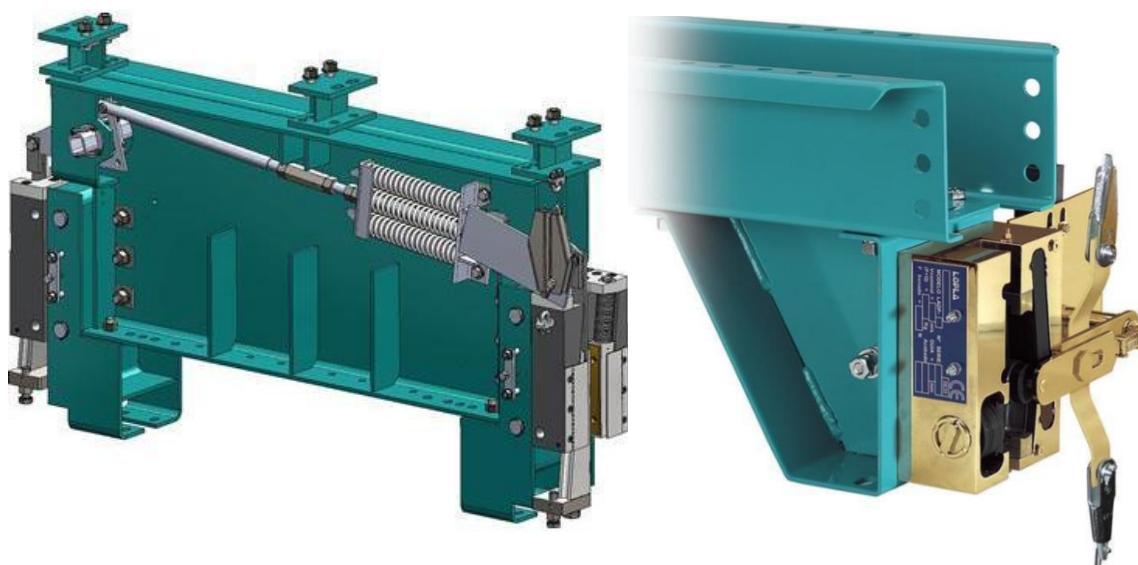


Figura 21: Freio de segurança (Fonte: Wittur)

O freio de segurança do carro deve ser do tipo progressivo se a velocidade nominal exceder 1 m/min, do tipo instantâneo com efeito amortecido se a velocidade nominal não exceder 1 m/min e do tipo instantâneo se a velocidade nominal não exceder 0,75 m/min. No entanto, se o carro possui vários freios de segurança eles devem ser todos do tipo progressivo.

O freio de emergência deve atuar de acordo com seu regulador de velocidade. O desarme do limitador de velocidade para acionamento do freio de segurança do carro deve ocorrer a uma velocidade pelo menos igual a 115% da velocidade nominal. Esse equipamento e seu funcionamento são melhores descritos a seguir, no item 3.5.1.

3.5.1. Regulador de Velocidade

O conceito de funcionamento do regulador de velocidades, parte do princípio de um sistema que inclui um regulador responsivo à velocidade da cabine do elevador por meio de meios de acoplamento convencionais, como uma roldana do regulador acoplada a um cabo que está ligado a uma cabine do elevador, pelo que o cabo transmite a velocidade da cabine do elevador para o regulador. Quando uma velocidade predeterminada é excedida, os meios de acionamento convencionais, tais como os contrapesos centrífugos, acionam um primeiro conjunto de interruptores, como demonstrado na Figura 22, e, se a velocidade do carro continuar a aumentar, causa o acionamento dos meios mecânicos convencionais para impedir o movimento do carro do elevador. O primeiro conjunto de interruptores pode compreender um ou qualquer outro número de interruptores, dependendo de vários fatores, como o grau de

redundância de segurança desejado ou o número de componentes diferentes dependendo das condições de velocidade excessiva.

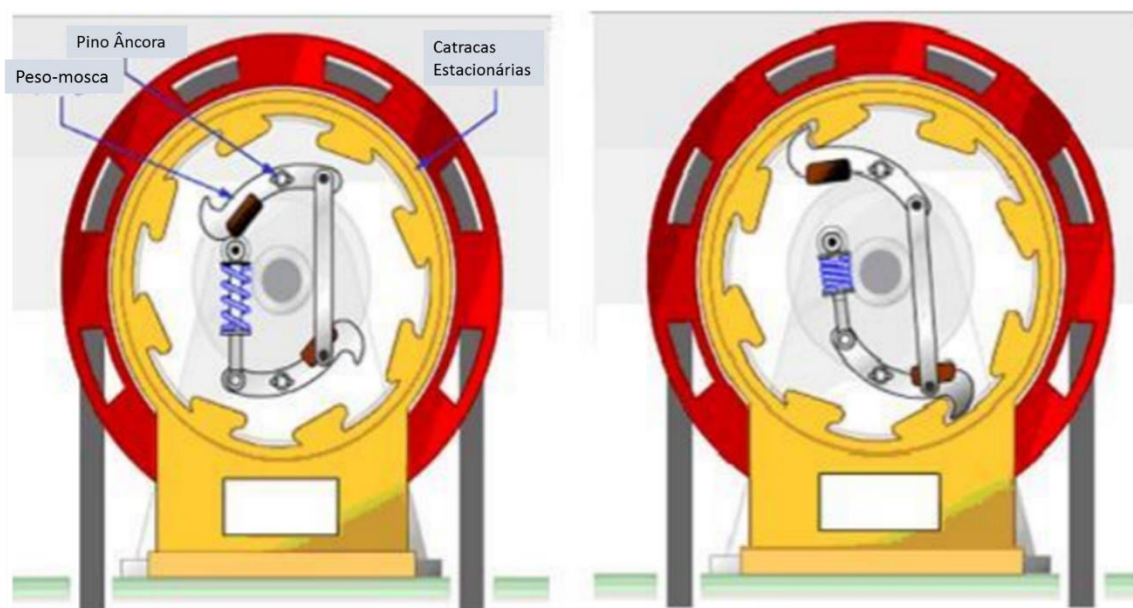


Figura 22: Travamento centrífugo do limitador de velocidade (Fonte: *Elevator Technology*)

A velocidade é estabelecida, inicialmente, de forma compatível com a altura do prédio, conforme as Tabelas 14 e 15.

Tabela 14: Velocidades recomendadas para edifícios residenciais (Fonte: *Atlas Schindler*)

Percurso (m)	Velocidade (m/s)
até 29	de 0,75 a 1,00
de 30 a 44	de 1,00 a 1,50
de 45 a 59	de 1,25 a 2,00
de 60 a 74	de 1,75 a 2,50
de 75 a 90	de 2,50 a 3,50

Tabela 15: Velocidades recomendadas para edifícios não-residenciais (Fonte: *Atlas Schindler*)

Percurso (m)	Velocidade (m/s)
até 17	de 0,50 a 1,00
de 18 a 29	de 1,00 a 1,75
de 30 a 44	de 1,75 a 2,50
de 45 a 59	de 2,50 a 3,50
de 60 a 74	de 3,50 a 4,00
de 75 a 89	de 4,00 a 5,00
de 90 a 150	de 5,00 a 6,00
acima de 150	de 6,00 a 8,00

O tempo de aceleração e retardamento do elevador em cada viagem, são obtidos, de acordo com a Tabela 5 do item 3.2.2, em função da velocidade indicada nas Tabelas 14 e 15 (conforme item 6.1 da NBR-5665).

3.6. Manutenção

Nesta seção, serão abordadas as técnicas de manutenção específicas de cada subsistema abordado no projeto.

3.6.1. Manutenção do Motofreio

Por serem de construção simples, os motofreios praticamente dispensam manutenção. Esta resume-se a inspeção periódica quanto aos níveis de isolamento, elevação de temperatura, desgastes excessivos, correta lubrificação dos rolamentos, eventuais exames no ventilador, para verificar o correto fluxo de ar e a ajustagem periódica do entreferro.

Os motofreios são fornecidos com o entreferro inicial, ou seja, a separação entre a armadura e a carcaça com o freio aplicado, pré-ajustado na fábrica e seus valores mínimos são indicados na Tabela 10. A frequência com que devem ser feitas as inspeções, depende do tipo de motor e das condições do local de aplicação do motor. Recomenda-se proceder uma limpeza interna, quando houver penetração de água, poeiras, [14].

O Quadro 10, lista alguns defeitos que podem ocorrer em motores e as possíveis causas, facilitando assim, uma manutenção mais rápida e assertiva.

Quadro 10: Defeitos e suas possíveis causas em motores elétricos (Fonte: WEG)

Defeito	Possíveis Causas
Motor não consegue partir	Graxa em demasia Excessivo esforço axial ou radial da correia Eixo torto Conexão errada Numeração dos cabos trocada Carga excessiva Platinado aberto Capacitor danificado Bobina auxiliar interrompida
Baixo torque de partida	Ligação interna errada Rotor falhado ou descentralizado Tensão abaixo do normal Frequência acima ou abaixo da nominal Capacitância abaixo da especificada Capacitores ligados em série ao invés de em paralelo
Conjugado máximo baixo	Rotor falhado ou descentralizado Rotor com inclinação de barras acima do especificado Tensão abaixo do nominal Capacitor permanentemente abaixo do especificado
Corrente alta a vazio	Entreferro acima do especificado Tensão acima do especificado

	<p>Frequência abaixo do especificado Ligação interna errada Rotor descentralizado ou arrastando Rolamentos com defeito Tampas com muita pressão ou mal encaixadas Chapas magnéticas sem tratamento Capacitor permanente fora do especificado Platinado/centrífugo não abrem</p>
Corrente alta em carga	<p>Tensão fora da nominal Sobrecarga Frequência fora da nominal Correias muito esticadas Rotor arrastando no estator</p>
Resistência de isolamento baixa	<p>Isolantes de ranhura danificados Cabinhos cortados Cabeça de bobina encostando na carcaça Presença de umidade ou agentes químicos Presença de pó sobre o bobinado</p>
Aquecimento dos mancais	<p>Excessivo esforço axial ou radial da correia Eixo torto Tampas frouxas ou descentralizadas Falta ou excesso de graxa Matéria estranha na graxa</p>
Sobreaquecimento do motor	<p>Ventilação obstruída Ventilador menor Tensão ou frequência fora do especificado Rotor arrastando ou falhado Estator sem impregnação Sobrecarga Rolamento com defeito Partidas consecutivas Entreferro abaixo do especificado Capacitor permanente inadequado Ligações erradas</p>
Alto nível de ruído	<p>Desbalanceamento Eixo torto Alinhamento incorreto Rotor fora de centro Ligações erradas Corpos estranhos no entreferro Objetos presos entre o ventilador e a tampa defletora Rolamentos gastos Combinação de ranhuras inadequadas Aerodinâmica inadequada</p>

Vibração excessiva	Rotor fora de centro, falhado, arrastando ou desbalanceado Desbalanceamento na tensão da rede Rolamentos desalinhados, gastos ou sem graxa Ligações erradas Mancais com folga Eixo torto Folga nas chapas do estator Uso de grupos fracionários em bobinagem de motor monofásico de capacitor permanente
--------------------	---

3.6.2. Manutenção do Entreferro

Para ajustar o entreferro a seus valores iniciais, indicados na Tabela 10, deve-se remover do anel de proteção, medir o entreferro em três pontos, próximos aos parafusos de regulagem, a qual é feita com um jogo de lâminas padrão (espião) e se a medida encontrada for maior ou igual ao valor máximo indicado, ou se as três leituras forem diferentes entre si, o entreferro deverá ser ajustado.

O intervalo de tempo entre os reajustes periódicos do entreferro, ou seja, o número de operações de frenagem até que o desgaste das pastilhas leve o entreferro ao seu valor máximo, depende da carga, das condições de serviço, das impurezas do ambiente de trabalho, etc. O intervalo poderá ser determinado pela manutenção, observando-se o comportamento do motofreio nos primeiros meses de funcionamento, nas condições reais de trabalho. O desgaste das pastilhas depende do momento de inércia da carga atingida.

3.6.3. Limpeza

Os motores devem ser mantidos limpos, isentos de poeira, detritos e óleos. Para limpá-los, deve-se utilizar escovas ou panos limpos de algodão. Se a poeira não for abrasiva, deve-se utilizar o jateamento de ar comprimido, soprando a poeira da tampa defletora e eliminando toda acumulação de pó contida nas pás do ventilador e nas aletas de refrigeração.

3.6.4. Lubrificação

Os motores até a carcaça 160 não possuem graxeira, enquanto que para motores da carcaça 160 até a carcaça 200 o pino graxeira é opcional. Acima desta carcaça (225 à 355) é usual a presença do pino graxeira. A finalidade de manutenção, neste caso, é prolongar o máximo possível, a vida útil do sistema de mancais. A manutenção abrange a observação do

estado geral em que se encontram os mancais, lubrificação, limpeza e exames minuciosos dos rolamentos.

O controle de temperatura num mancal também faz parte da manutenção de rotina. Sendo o mancal lubrificado com graxas apropriadas, a temperatura de trabalho não deverá ultrapassar 70°C. A temperatura poderá ser controlada permanentemente com termômetros, colocados do lado de fora do mancal, ou com termoelementos embutidos. Os rolamentos devem ser lubrificados para evitar o contato metálico entre os corpos rolantes e também para proteger os mesmos contra a corrosão e desgaste. As propriedades dos lubrificantes deterioram-se em virtude de envelhecimento e trabalho mecânico, além disso, todos os lubrificantes sofrem contaminação em serviço, razão pela qual devem ser completados ou trocados periodicamente.

3.6.5. Intervalo de Relubrificação

A quantidade de graxa correta é sem dúvida, um aspecto importante para uma boa lubrificação. A relubrificação deve ser feita conforme a Tabela 17, em função do tipo de rolamento especificado na Tabela 16. Na ausência destas informações, o rolamento deve ser preenchido com a graxa até a metade de seu espaço vazio (somente espaço vazio entre os corpos girantes). Na execução destas operações, recomenda-se o máximo de cuidado e limpeza, com o objetivo de evitar qualquer penetração de sujeira que possa causar danos no rolamento.

Tabela 16: Rolamento por tipo de Motor (Fonte: WEG)

Carcaças	Forma construtiva	Rolamentos	
		Dianteiro	Traseiro
Motores totalmente fechados com ventilador externo			
63	T O D A S	6201 ZZ	6201 ZZ
71		6203 ZZ	6202 ZZ
80		6204 ZZ	6203 ZZ
90 S		6205 ZZ	6204 ZZ
90 L		6205 ZZ	6204 ZZ
100 L		6206 ZZ	6205 ZZ
112 M		6307 ZZ	6206 ZZ
132 S		6308 ZZ	6207 ZZ
132 M		6308 ZZ	6207 ZZ
160 M		6309-C3	6209 Z-C3
160 L		6309-C3	6209 Z-C3
180 M		6311-C3	6211 Z-C3
180 L		6311-C3	6211 Z-C3
200 L		6312-C3	6212 Z-C3
200 M		6312-C3	6212 Z-C3
225 S/M		6314-C3	6314-C3
250 S/M		6314-C3	6314-C3
280 S/M		6314-C3 **	6314-C3
315 S/M		6316-C3	6316-C3
		6314-C3 **	6314-C3
355 M/L	6319-C3	6316-C3	
	6314-C3 **	6314-C3	
		NU 322-C3	6319-C3

Tabela 17: Intervalos de relubrificação e quantidade de graxa para rolamentos (Fonte: WEG)

Características	Intervalo de relubrificação (horas de funcionamento)													
	II pólos		IV pólos		VI pólos		VIII pólos		X pólos		XII pólos		Graxa (g)	
	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz		
S É R I E	6304	8700	10100	13300	14800	17100	19100						4	
	6305	8000	9400	12600	14100	16200	18200	19300					6	
	6306	7300	8700	12000	13400	15400	17200	18300					7	
	6307	6600	8100	11400	12700	14500	16300	17300	19200				9	
	6308	5900	7400	10800	12000	13700	15300	16300	18200	18600			11	
	6309	5300	6900	10400	11600	13400	15000	16000	17800	18200	19900		13	
	6310	4900	6400	9700	11000	12900	14600	19500	17300	17700	19500	19500	15	
	6311	4300	5900	9500	10900	12700	14400	15300	17000	17500	19000	19000	18	
	6312	3800	5400	9300	10300	12400	14300	15200	16500	16800	18200	18200	21	
	6313	3100	4900	8900	10100	12200	14000	14800	16100	16400	17900	17900	19700	24
6 3	6314	1100	2000	4100	5000	5900	6500	6900	7500	7700	8600	8600	9600	27
	6315	1000	1800	4400	5000	5600	6300	6700	7600	7900	8900	8900	9900	30
	6316	700	1600	4100	4700	5700	6500	6800	7500	7700	8500	8500	9500	34
	6317	800	1300	3900	4700	5600	6300	6700	7400	7500	8300	8300	9300	37
	6318	—	1000	3800	4600	5500	6200	6600	7200	7400	8200	8200	9100	41
	6319	—	800	3700	4500	5400	6100	6500	7100	7300	8000	8000	8900	45
	6320	—	—	3600	4300	5300	6000	6300	7000	7100	7900	7900	8800	51
	6321	—	—	3400	4200	5100	5800	6200	6800	7000	7800	7800	8700	56
	6322	—	—	3100	4000	5000	5700	6100	6700	6900	7700	7700	8600	60

3.6.6. Manutenção e inspeção de cabos de aço e polia

A perda involuntária de tração, resultante do desgaste de alguns componentes, se torna um risco quando não analisada, e pode ser perigosa permitindo a movimentação de um elevador de forma incontrolada. Algumas dessas causas serão avaliadas abaixo:

- Relação de tração do carro e contrapeso;
- Área de contato dos cabos de içamento com a polia de tração (conectada ao motor);
- O coeficiente/fator de atrito entre os cabos de içamento/tração e a polia de tração;
- Aceleração e desaceleração do motor;

Para uma boa verificação e inspeção do cabo de aço alguns critérios deverão ser assumidos para identificar se o cabo pode ou não está condenado, sendo elas:

- Número de arames rompidos: Ocorre normalmente por fadiga de flexão, abrasão, ou desgaste externo, no contato constante com uma polia de tração, que pode apresentar pequenas rebarbas de um mau usinamento no canal onde servem de guia para os cabos. Outras opções também por algum canto vivo que se encontra no obstáculo da movimentação do cabo de aço. Mesmo que o arame não se rompa, o seu desgaste promoverá a perda de capacidade de carga do cabo de aço através da redução de área metálica, tornando o seu uso perigoso

- Corrosão: Diminui a capacidade de carga através da redução da área metálica do cabo de aço, além de acelerar a fadiga. Podendo ser detectada visualmente, quando se apresenta na parte externa do cabo de aço.
- Torção do cabo: No momento da instalação e troca dos cabos, deve-se seguir o desbobinamento da embalagem para a instalação, a fim de se evitar torção no cabo e consequentemente acúmulo de energia localizada, e falta de linearidade no cabo. Podendo assim fazer com que o cabo salte da polia.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como maneira de validar a aplicação dos conhecimentos expostos nos Capítulos 2 e 3, este capítulo apresenta uma aplicação real de *retrofit*.

Antes de se iniciar o detalhamento para a escolha do equipamento, para a determinar se há a necessidade de uma operação de *retrofit* ou não, os autores tomam como referência a Norma Mercosul 207, que data de 1999, portanto, se há equipamentos em funcionamento desde antes da publicação da referida norma, entende-se que há a possibilidade da realização da operação.

4.1. Caso real e aplicação prática

Como parte prática do estudo, e exemplificação dos métodos de dimensionamento que foram explorados, os autores visitaram um prédio residencial, datado da década de 1940, localizado no bairro de Botafogo na cidade do Rio de Janeiro. O edifício residencial conta com 4 pavimentos, sendo 4 apartamentos por andar e 2 elevadores, com capacidade de lotação de 6 pessoas, para o atendimento dos moradores. Nesse contexto, foram feitas visitas técnicas à casa de máquinas, interior do poço, áreas internas do operador de porta e pavimentos, e foi possível observar o comportamento e a dinâmica de um elevador elétrico residencial em sua rotina cotidiana.

Em conformidade com o item 3.1.1, o elevador visitado com capacidade de lotação de 6 passageiros, tinha velocidade nominal de 0,75 m/min, atendendo ao *range* especificado na Tabela 3 que varia de 0,75 a 1,50 m/min (ou 45 a 90 m/min). Ainda se tratando desse elevador, as portas encontradas eram de abertura lateral de 0,80m e com a cabine tendo 1,60m de profundidade, atendendo ao item 3.1.2, que estabelece um range de 0,80 a 1,00 metros de tamanho de porta, relacionando-o a profundidade da cabine, e ao item 3.1.1 com área útil calculada de 1,28m², atendendo ao *range* de lotação de 6 pessoas de acordo com a Tabela 4, que varia de 1,170 a 1,300m².

Por fim, as dimensões da caixa encontradas através de medições foram de A e B iguais a 1,60m.

Assim, foi possível elaborar o Quadro 11, que especifica os parâmetros iniciais para a aplicação de *retrofit*, que os autores quiseram realizar.

Quadro 11: Parâmetros iniciais (Fonte: Autores)

Item	Quantidade
Elevadores	2
Capacidade de lotação total de passageiros	6
Área útil da cabine	1,28 m ²
Largura e profundidade da Caixa (A e B)	1.2 m
Pavimentos	4
Percurso do carro	16 metros
Tempo de percurso	76 segundos
Velocidade nominal	0,75 m/min
Peso da Cabina	1000 kg
Peso do contrapeso	1500 kg

4.2. Cálculo de tráfego para aplicação prática

4.2.1. População e capacidade

A partir dos métodos apresentados no item 3.2 para o dimensionamento do cálculo de tráfego, no presente item pode-se observar a aplicação prática da metodologia para o exemplo de prédio em que ocorreu a visita técnica. Dessa forma, foram aplicados os processos de cálculo para o caso real, com as características gerais descritas no item 4.1 e no Quadro 11.

Para o cálculo da população e capacidade, de acordo com o item 3.2.1, tem-se:

- O número de pessoas por apartamento residencial com 2 quartos ou dormitórios, dessa forma consideramos um apartamento com um total de 4 pessoas em média.
- Visto que o edifício possui 4 pavimentos de apartamentos, sem contar com o pavimento de acesso, 4 apartamentos por andar, e cada apartamento possui 4 pessoas, considera-se a população total do prédio em 64 pessoas.
- Considerando que a capacidade mínima aceitável de transporte dos elevadores em um intervalo de 5 minutos, corresponde a 10% da população total deste edifício. Dessa forma, pode-se afirmar que os 2 elevadores presentes no prédio, conseguem transportar 7 pessoas (10% de 64 pessoas) em cada elevador em um período de até 5 minutos, em diferentes viagens.

4.2.2. Paradas prováveis

O número de paradas prováveis pode ser calculado pela fórmula:

$$N = p - (p - 1) \left(\frac{p-2}{p-1} \right)^c \quad (16)$$

N = Número de paradas prováveis

p = Número de paradas do elevador

C = Lotação da cabina

$$N = 4 - (4 - 1) \left(\frac{4-2}{4-1} \right)^6 \quad (17)$$

N = 3,11, aproxima-se para 4 paradas prováveis.

4.2.3. Tempo total de viagem

De acordo com o item 3.2.2, para o cálculo do tempo total de viagem obtém-se:

- T1 = Tempo de percurso total, ida e volta, entre os pavimentos extremos sem parada;
Considerando a velocidade nominal de 0,75 m/min por elevador, e um deslocamento de 16m de percurso de carro.

$$T1 = \frac{(16 \times 2)}{0.75} = 43 \text{ segundos;}$$

- T2 = Tempo total de aceleração e retardamento

$$\frac{(n^\circ \text{ de paradas prováveis} \times \text{tempo da Tabela 5})}{2}$$

De acordo com a Tabela 5, para um tempo nominal de velocidade do elevador de 0,75m/min, calcula-se um tempo de aceleração e retardamento de 2,5 segundos.

$$T2 = \frac{(4 \times 2,5)}{2} = 5 \text{ segundos;}$$

- T3 = Tempo total de abertura/fechamento das portas =

$$\frac{(n^\circ \text{ de paradas prováveis} \times \text{tempo do Quadro 4})}{2}$$

De acordo com o Quadro 4, portas que se fecham no estilo AL, abertura lateral, calcula-se um tempo de abertura e fechamento das portas de 5,5 segundos

$$T3 = \frac{(4 \times 5,5)}{2} = 11 \text{ segundos;}$$

- T4 = Tempo total de entrada e saída de passageiros

$$(n^\circ \text{ da lotação de pessoas na cabina} \times \text{tempo do Quadro 5})$$

De acordo com o Quadro 5, para larguras de portas menores a 1,10m,(caso prático do edifício apresenta 0,8m de largura de porta) obtém-se um tempo total de entrada e saída dos passageiros de de 2,4 segundos

$$T4 = 6 \times 2,4 = 14,4 \text{ segundos;}$$

Portanto O tempo total de viagem deve ser calculado pela fórmula:

$$T = T_1 + T_2 + 1,1 (T_3+T_4) \quad (18)$$

$$T = 43 + 5 + 1,1(11 + 14,4) = 76 \text{ segundos é o tempo total de viagem.}$$

4.2.4. Capacidade de transporte

Para a aplicação real da capacidade de transporte em um elevador num período de até 5 minutos, pode-se utilizar da fórmula:

$$C_t = \frac{Lx300}{T} \quad (19)$$

C_t = Capacidade de transporte

L = Lotação da cabina

T = Tempo total da viagem, em segundos

$$C_t = \frac{6x300}{76} = 24 \text{ pessoas}$$

Para 2 elevadores no edifício, haverá 48 pessoas a serem transportadas em até 5 minutos.

4.2.5. Intervalo de tráfego

Para as necessidade do edifício de acordo com as suas características, pode-se calcular o intervalo de tráfego a partir da fórmula:

$$I = \frac{T}{ne} \quad (20)$$

I = Intervalo de tráfego

T = Tempo total de viagem, em segundos

ne = número de elevadores segundo a aplicação do edifício.

Para 2 elevadores e o intervalo máximo aceitável é de 60 segundos, de acordo com o Quadro 6.

$$I = \frac{76}{2} = 38 \text{ s}$$

Dessa forma, o intervalo de tráfego atende as necessidades mínimas de até 60 segundos.

4.3. Escolha do motofreio

Na visita técnica realizada pelos autores ao prédio, foi encontrado um motofreio conforme Figura 23, que data de 1954, ou seja 45 anos anterior a norma que estamos utilizando, para que seja avaliada a possibilidade de retrofit.

O motofreio contava com 5 HP de potência, 3 fases, ligação em Y e 860 rpm. Como é possível ser observado ao fim desse capítulo, as velocidades de rotação atualmente são por volta do dobro desse valor (em torno de 1700 rpm), além de, como é possível observar também no capítulo 4.5, este motor estava relacionado a uma velocidade de operação inferior a velocidade nominal de 0,75 m/min que estamos adotando para esse trabalho. Assim, também para o motofreio, é sugerido uma operação de retrofit.



Figura 23: Regulador de velocidade encontrado em visita técnica (Fonte Autores)

Para a seleção do motofreio mais adequado para a aplicação do caso real, deve-se atender a Equação 6, exposta no capítulo 3.3.3. No entanto, algumas considerações devem ser feitas antes dos cálculos se iniciarem.

Por exemplo, o motor ficará exposto numa casa de máquinas, em temperaturas que variam até 40°C, totalmente protegido contra poeiras, e por haver eventuais limpezas com água, também será necessário um grau de proteção contra jatos de água vindo de todas as direções, necessitando assim de graus de proteção IP 65, em concordância com a Figura 4 exposta no capítulo 2.

Seguindo com o estudo, para o cálculo do valor do torque de carga (M_L), foi consultada a norma NM 207, que em seu item 11.3, especifica a distância horizontal entre carro e contrapeso às paredes da cabine, deve ser de 0,03 metros, logo, se os cabos de aço que tracionam a cabine do elevador, encontram-se em no centro da cabine, a distância horizontal, que foi denominada de L na Figura 24, entre o contrapeso e o centro geométrico da cabine, é de metade da medida de profundidade da cabine (B) adicionados aos 0,03 metros.



Figura 24: Representação da distância do centro (Fonte: Autores)

Na Figura 25, está representado fora de escala, o esquema da ligação da cabina ao contrapeso, em que T_1 representa o peso da cabine em N, T_2 representa o peso do contrapeso em N, R é o raio da polia do motor e r é o raio da polia, adotando-se para o valor da gravidade $9,80 \text{ m/s}^2$.

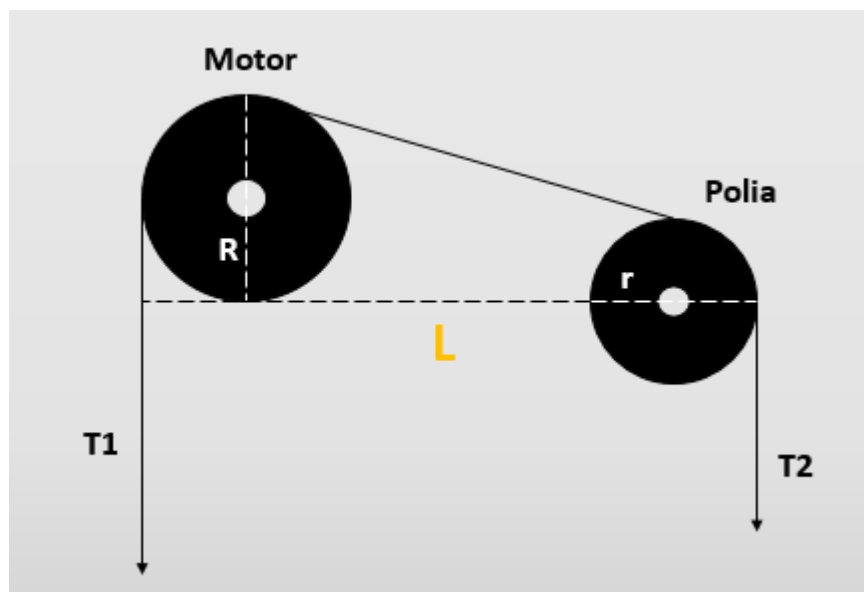


Figura 25: Representação dos esforços no motor e polia (Fonte: Autores)

Os valores das variáveis, como o resultado do cálculo para M_L , se encontram no Quadro 12.

Quadro 12: Cálculo do momento M_L (Fonte: Autores)

Variável	Valor	Unidade
T1	14.210	N
T2	14.700	N
R	300	mm
r	260	mm
L	830	mm
ML	203	N.m

Como explicitado no item 3.3.3, para o fator de segurança (k), tem-se que em elevações, como o caso do transporte vertical de passageiros em elevadores, se enquadram na especificação de aplicação especial, portanto para este projeto foi considerado o valor de dois.

Tanto o valor do tempo total do percurso da cabine, quanto o valor do tempo de frenagem requerido (t_3), são encontrados em função do problema descrito no item 4.1.

A rotação em rpm (Δn_0), assim como o valor do tempo de resposta do freio (t_{12}) e a inércia total referida ao eixo do rotor (J_L), dependem da escolha do motor.

Fazendo um cruzamento dos valores encontrados acima, com os fornecidos pelos catálogos da empresa fabricante de motofreios WEG, como disposto na Tabela 18, é possível obter a potência necessária em Kw através de uma interpolação numérica, resultando no Quadro 13, possibilitando assim a escolha do aparelho mais adequado para a aplicação.

Tabela 18 – Exemplo de catálogo de motofreios de 2 e 4 pólos (Fonte: WEG)

POTÊNCIA		CARCAÇA (ABNT)	PÓLOS	ROTAÇÃO (rpm)	CORRENTE 220V		RENDIMENTO n% 100% η	FATOR DE POTÊNCIA 100%	GD² DO ROTOR (kgm²)	CONJUGADO DE FRENAGEM (kgfm)	MOMENTO DE INÉRCIA PRÓPRIO JM (kgm²)	N° DE OPERAÇÕES POR HORA	N° DE OPERAÇÕES ATÉ A PRÓXIMA AJUSTAGEM DO ENTREFERRO (MOTOR LIVRE) NL	FATOR DE SERVIÇO	MASSA (kg)
(cv)	(kW)				ln (A)	lp (A)									
2-4 PÓLOS 60 Hz															
0,38	0,28	63b	2	3330	1,3	5,4	64	0,87	0,0018	0,17	0,000462	600	500.000	1,00	7,5
0,27	0,20		4	1680	1,2	4,4	62	0,73							
0,50	0,37	71a	2	3240	1,8	10	62	0,83	0,0045	0,36	0,001116	450	200.000	1,00	12,8
0,35	0,26		4	1665	1,5	5,2	61	0,77							
0,70	0,52	71b	2	3340	2,4	11,4	71	0,82	0,0051	0,36	0,001266	450	200.000	1,00	13,3
0,46	0,34		4	1705	1,8	8,8	73	0,69							
1,00	0,75	80a	2	3345	3,8	24	68	0,74	0,0091	0,70	0,002273	300	120.000	1,00	17,8
0,70	0,52		4	1710	2,6	12	69	0,78							
1,30	0,96	80b	2	3445	5,6	30	69	0,65	0,0107	0,70	0,002673	300	120.000	1,00	18,8
1,10	0,81		4	1710	4,2	24	78	0,65							
2,00	1,50	90S	2	3440	7,0	42	67	0,81	0,0211	1,45	0,005269	200	80.000	1,00	26,4
1,55	1,10		4	1730	5,0	30	77	0,78							
2,50	1,80	90L	2	3470	8,0	50	69	0,87	0,0281	1,45	0,007019	200	60.000	1,00	30
2,00	1,50		4	1730	6,0	40	73	0,83							
3,80	2,80	100La	2	3470	12,0	70	71	0,83	0,0281	2,30	0,007018	150	50.000	1,00	36,5
3,10	2,30		4	1720	8,0	56	81	0,86							
5,20	3,80	100L	2	3450	16,0	96	78	0,82	0,0347	2,30	0,008680	150	50.000	1,00	38,5
4,00	2,90		4	1730	12,0	80	83	0,83							
6,50	4,80	112M	2	3500	19,6	166	75	0,86	0,0665	3,40	0,016621	100	45.000	1,00	51
5,20	3,80		4	1750	15,6	128	82	0,80							
8,00	5,90	132S	2	3500	22,0	180	75	0,94	0,1473	6,80	0,036819	50	33.000	1,00	69
7,00	5,20		4	1760	18,0	142	84	0,88							
9,00	6,60	132Ma	2	3500	26,0	204	77	0,89	0,01743	6,80	0,043569	50	33.000	1,00	77
8,00	5,90		4	1740	24,0	180	83	0,80							
11,50	8,50	132M	2	3520	32,0	288	75	0,92	0,2263	6,80	0,056569	50	33.000	1,00	82
10,50	7,70		4	1755	28,0	240	84	0,87							
17,50	13,00	160M	2	3500	44,0	382	79	0,96	0,3557	13,40	0,088935	30	25.000	1,00	138
14,50	11,00		4	1750	38,0	310	86	0,85							
23,00	17,00	160L	2	3520	56,0	522	85	0,95	0,4357	13,40	0,108935	30	25.000	1,00	146
17,50	13,00		4	1760	44,0	422	88	0,88							
28,50	21,00	180M	2	3515	72,0	569	84	0,94	0,6269	18,15	0,156729	30	18.000	1,00	188
23,00	17,00		4	1765	58,0	463	89	0,86							
35,00	26,00	180L	2	3510	86,0	732	83	0,94	0,7369	18,15	0,184229	30	18.000	1,00	203
28,50	21,00		4	1760	74,0	586	88	0,85							
46,00	34,00	200L	2	3540	114,0	922	83	0,93	1,4162	26,40	0,354038	30	13.000	1,00	283
38,00	28,00		4	1770	96,0	766	91	0,87							

Quadro 13: Cálculo do momento M_{req} (Fonte: Autores)

Variável	Valor	Unidade
Δn_0	1740	rpm
JL	0,01743	kgm²
k	2	adimensional
ML	203	N.m
t3	2,5	segundos
t12	0,03	segundos
M_{req}	412	N.m
tempo total de viagem	76	segundos
Potência	5,4	KW

Assim, para o caso apresentado pelos autores, o motofreio mais adequado para a aplicação deveria ser o motor trifásico assíncrono, Série MFBD, 2 velocidades, um enrolamento, de 4 pólos e com carcaça 132M.

No entanto, ainda há que se verificar o torque devido à rotação de frenagem calculado (MR), pois se este for maior que o torque de frenagem disponível (Mk), então deve-se realizar o processo novamente.

Para realizar essa verificação, deve-se utilizar a Equação (7) e as Tabelas 12 e 13, expostas no item 3.3.3. Assim, tem-se que para a carcaça de numeração 132, o tamanho de freio é de 16 e a partir disso, pode-se extrair o valor da correção de torque. Assim, conforme apresentado na Tabela 18, para o motor de carcaça 132, Δn_0 é igual 1740, aproxima-se esse número para o valor imediatamente abaixo da Tabela 12, de 1500 rpm obtendo-se assim um fator de correção de 79. Aplicando-o na Equação (7) tem-se:

$$Mr = \left(\frac{412}{79}\right) \cdot 100 = 521,51[N.m]$$

Como M_k para rotações de 100 rpm é de 80 N.m, é preciso colocá-lo na mesma base comparativa de MR, assim, para M_k a 1500 rpm, tem-se M_k a 1.203 [N.m]. Dessa maneira, fica comprovado que $M_k > MR$, portanto a escolha do modelo de motor é adequada.

Recomenda-se para a manutenção deste equipamento, inspeções periódicas quanto aos níveis de isolamento, elevação de temperatura, desgastes excessivos e correta lubrificação dos rolamentos, com intervalos de relubrificação a cada 10.800 horas de acordo com as Tabelas 17 e 18.

4.4. Cálculos do cabo de aço

De acordo com caso encontrado durante a visita técnica ao local, as seguintes premissas foram observadas, que conseqüentemente irão influenciar na análise e dimensionamento dos cabos de aço de tração de acordo com a metodologia exibida no item 3.4. O presente item tem como objetivo trazer na prática, a teoria descrita no item citado, como também trazer uma exemplificação de um caso real para o dimensionamento adequado dos cabos de aço e suas relações.

De acordo tensão máxima admissível calculada no item 4.3, levando em consideração a massa da cabina, capacidade máxima de passageiros e contra peso, pode-se identificar a carga de ruptura mínima pela equação (8), de acordo com o fator de segurança para os cabos de tração em elevadores elétricos de transporte de passageiros.

$$CRM = FS \cdot \frac{Ts}{3} \quad (21)$$

$$CRM = 12 \cdot \frac{14700}{3}$$

$$CRM = 58\,800\,N$$

Convertendo para a unidade de tonelada força:

$$CRM = 5.99\,tf \cong 6\,tf$$

Devido ao elevador do edifício visitado utilizar 3 cabos de tração em seu arranjo, conforme Figura 26 divide-se a a força de tração por 3, visto que cada cabo de tração, admitindo-se que todos foram tensionados de forma igual, suportam um carregamento igual, que é somado quando calculada a tração equivalente do sistema. Para esse carregamento de carga de ruptura mínima, de acordo com a figura 7, o cabo de aço recomendado para elevadores de passageiros é o de ½” ou 12,7mm de diâmetro, podendo ser considerado o cabo de 13mm, com construção de 8 pernas com 19 arames em cada perna e alma em fibras naturais de torção regular e polido, 8x19 Seale AF.

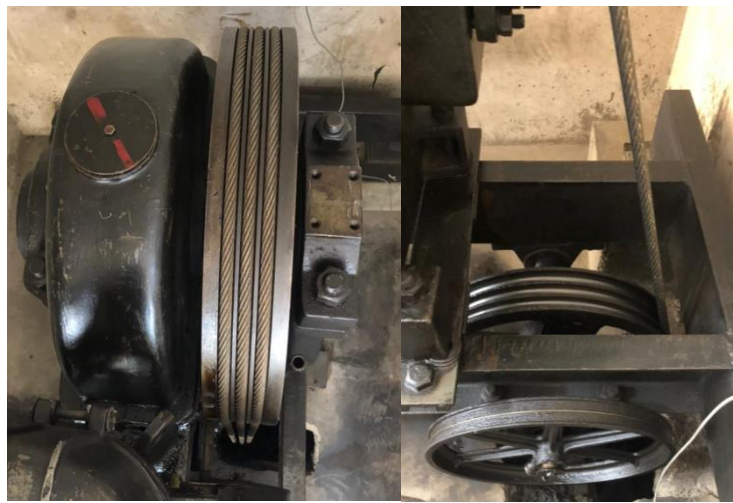


Figura 26 – Conjunto cabo de aço, polia de tração e polia espaçadora do caso prático (Fonte: Autores)

A correlação da polia da tração com o cabo de aço, se dá pela equação (9). Sabendo que o diâmetro do cabo de aço (d_c) apropriado é de 13mm, logo pode-se fazer a relação para encontrar o diâmetro da polia (D_p) recomendado.

$$\frac{D_p}{d_c} \geq 40 \quad (22)$$

$$\frac{D_p}{0,013} \geq 40, \text{ logo } D_p \geq 0,52m = D_p \geq 52 \text{ cm}$$

Nessa etapa, a escolha do tipo de ranhura será definida pela relação de maiores condições de atrito entre cabo de aço e polia, por meio da Equação (10). Que representa a razão entre T_1/T_2 , os coeficientes C_1 e C_2 e o ângulo de abraçamento α , que representa em graus o contato máximo do cabo de aço com a polia, visto que uma extremidade do cabo liga a cabina e outra o contrapeso.

$$\frac{T_1}{T_2} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq e^{f\alpha} \quad (23)$$

C_1 = Coeficiente que leva em conta a aceleração da gravidade, e o retardamento da cabina, calculado por:

$$C_1 = \frac{g_n + a_n}{g_n - a_n} \quad (24)$$

O retardamento da cabine pode ser encontrado na Tabela 5, em que para a velocidade da cabina de 0,75m/min, a velocidade de retardamento é de 2,5 s. Dessa forma, o retardamento da cabine pode ser calculado a partir da divisão da velocidade pelo tempo de parada, $\frac{0,75}{2,5} = 0,3 \text{ m/s}^2$. A aceleração da gravidade g_n é considerada 9,81 m/s². Nesse sentido, obtém-se:

$$C_1 = \frac{9,81 + 0,3}{9,81 - 0,3} = 1,06$$

C_2 = é o coeficiente que leva em conta a variação do perfil da ranhura da polia de tração devido ao desgaste, em ranhuras semicirculares, o $C_2 = 1$ e para ranhuras em V considera-se $C_2 = 1.2$.

O ângulo de abraçamento α medido em campo foi de $160^\circ \cong 2,8$ radianos , e o número de Euler, base dos logaritmos naturais vale $e \cong 2,72$.

Para o cálculo do coeficiente de atrito entre ranhuras da polia e cabos de aço, pode-se considerar a seguinte função para ranhuras semicirculares ou recortadas:

$$f = \mu \frac{4\mu [1 - \text{sen}(\frac{\beta}{2})]}{\pi - \beta - \text{sen} \beta} \quad (25)$$

O ângulo β como ângulo da garganta nas ranhuras da polia de tração, adotado como $100^\circ \cong 1,75$ radianos. E considerando μ como coeficiente de atrito entre cabo de aço e polia de tração, feitas de ferro fundido, valendo $\mu = 0,09$.

$$f = 0,09 \frac{4 \cdot 0,09 [1 - \text{sen}(\frac{1,75}{2})]}{\pi - 1,75 - \text{sen} 1,75} = f = 0.018$$

Já para o cálculo do coeficiente de atrito entre ranhuras da polia em V e cabos de aço, pode-se considerar a seguinte função:

$$f = \frac{\mu}{\text{sen} \frac{\gamma}{2}} \quad (26)$$

γ = É o ângulo das ranhuras V da polia de tração, adotado como $42^\circ \cong 0,73$ radianos.

$$f = \frac{0,09}{\text{sen} \frac{0,73}{2}} = f = 0.25$$

Com todas as devidas informações, pode-se retornar a equação (10), nesse caso considerando ranhuras semicirculares ou recortadas:

$$\frac{T_1}{T_2} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq 2,72^{0.018 \cdot 2,8}$$

$$\frac{T_1}{T_2} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq 1,05$$

Aplicando a mesma equação, porém considerando ranhuras em V:

$$\frac{T_1}{T_2} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq 2,72^{0,25 \cdot 2,8}$$

$$\frac{T_1}{T_2} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq 2.01$$

Dessa forma, diante da relação entre T_1/T_2 , os coeficientes C_1 e C_2 e o ângulo de abraçamento α , a ranhura em V se comprovou mais eficiente para atender condições de atritos mais rigorosas, conseqüentemente suportando maiores carregamentos evitando possíveis deslizamentos e falta de atrito entre o cabo de aço e a polia de tração.

Além disso, faz-se importante analisar a pressão específica de contato, que é calculada pela equação 13 para ranhuras recortadas ou semicirculares, ou segundo a Equação 14, para ranhuras V.

Para ranhuras em V temos:

$$p = \frac{T_s}{n \cdot d \cdot D} \cdot \frac{4,5}{(\text{sen} \frac{\gamma}{2})} \quad (27)$$

Em que:

d = Diâmetro dos cabos de tração em mm;

D = Diâmetro da polia de tração;

n = Número de cabos;

p = Pressão específica em N/mm²;

$$p = \frac{14700}{3 \cdot 12,7 \cdot 520} \cdot \frac{4,5}{(\text{sen} \frac{0,73}{2})} = 9.35 \text{ N/mm}^2$$

4.5. Escolha do Freio de Emergência

Na visita técnica realizada pelos autores ao prédio, foi encontrado o regulador de velocidade conforme Figura 27, que data de 1955, ou seja 44 anos anterior a norma que estamos utilizando, para que seja avaliada a possibilidade de retrofit.

A velocidade nominal para o carro era de 45 m/min e velocidade para desarme, de 64 m/min, como é possível verificar na imagem, o que é menor que a velocidade nominal que estamos adotando para a resolução do problema, de 0,75 m/min. A velocidade de desarme do regulador de velocidade encontrado, está 42% acima da velocidade nominal, o que também está em desacordo com a norma, que deve ser de apenas 15% acima, atualmente. Assim, sugere-se o retrofit para a operação de freios.



Figura 27: Regulador de velocidade encontrado em visita técnica (Fonte Autores)

Para determinar o equipamento a ser escolhido, a partir do regulador de velocidade atualizado, deve-se calcular a energia absorvida pelo freio, de acordo com o item 3.2.4.1 do Anexo F da norma NM 207. Para este cálculo são usadas as expressões:

$$h = \frac{v_1^2}{2gn} + 0,10 + 0,03 \text{ (m)} \quad (21)$$

$$2Ka = (P + Q) \cdot gn \cdot h \text{ (J)} \quad (22)$$

Em que:

- $(P+Q)$ é a massa total permissível (1450 kg);
- v_1 é a velocidade de desarme do limitador de velocidade (0,87 m/min);
- gn é a aceleração padrão de queda livre (9,80 m/s²);
- h é a distância de queda livre calculada (m);
- Ka é a energia absorvida por um bloco de freio (J);
- Os valores de 0,10 e 0,03 metros, dizem respeito à distância percorrida durante o tempo de resposta e ao percurso durante o consumo da folga entre os elementos de agarre e as guias.

Portanto, para a h tem-se:

$$h = \frac{0,87^2}{2 \cdot 9,8} + 0,10 + 0,03 = 0,52\text{m}$$

Para Ka tem-se:

$$Ka = \frac{1450 \times 9,8 \times 0,52}{2} = 3.694,6 J$$

Para aplicações em que a velocidade nominal é até 0,75 m/min, situação encontrada no caso exposto pelos autores, então deve-se escolher um freio do tipo instantâneo, como indicado no item 3.5. Consultando os catálogos da fabricante de freios de elevadores Wittur, o único freio que atende as especificações é o de modelo SGA-I-70, ilustrado na Figura 28 pois é o único de frenagem instantânea, aplicado para velocidade de até 1,00 m/min.



Figura 28: Freio SGA-I-70 (Fonte Wittur)

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

Apresentou-se uma solução de engenharia para as necessidades de *retrofit* em um elevador elétrico residencial, com formato similar de um manual, porém com acréscimo de indicação de procedimentos, critérios de decisão para dimensionamento e seleção de componentes. Esse projeto envolveu primeiramente o conhecimento de opções de mercado na área de elevadores, o funcionamento de seus conjuntos, e termos usuais empregados nesses tipos de equipamentos mecânicos. Foram também levantadas informações sobre motores elétricos, cabos de aço, polia de tração e freio de segurança, para cada tipo de aplicação e solicitação, envolvendo de maneira aplicável as normas NM e NBR, que fundamentam a construção, instalação e manutenção de elevadores para que sejam concebidos projetos seguros.

A tarefa de elaborar um material que explicita de maneira clara o processo de *retrofit* compreendeu prospectar, compreender e enquadrar todas as etapas de projeto nas condições das normas vigentes. Além disso, unifica a solução dos problemas e organiza a sequência do manual em partes, pelo fato de os componentes serem dependentes entre si, o que foi objeto de especial atenção durante a elaboração do texto.

Fazendo-se uma análise geral dos resultados, observa-se que o documento elaborado atende ao propósito de servir como manual, efetivamente orientando e demonstrando como é possível realizar uma operação de *retrofit*, como de fato aconteceu com o equipamento analisado e cujos dados reais foram obtidos por meio de visitas técnicas ao edifício em que estava instalado.

Considerando-se as demandas contemporâneas por processos e equipamentos mais sustentáveis e, ainda, o fato de que as diversas plataformas de suporte, controle, automação se modernizam constantemente, sugere-se para desenvolvimento em trabalhos futuros o projeto de integração dos sistemas abordados no trabalho, com outros sistemas, como por exemplo, de monitoração de parâmetros de operação remota e redes de abastecimento solar, especificando os componentes conforme a disponibilidade e custo de mercado.

CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O.. **Motores Elétricos e Acionamentos**. McGraw Hill, 2013.
- [2] JR, William D. Stevenson. **Elements of Power System Analysis**. 3ª edição, McGraw-Hill, New York, 1975.
- [3] CROFT, Terrell; SUMMERS, Wilford. **American Electricians' Handbook**. 11ª ed., McGraw Hill, 1987.
- [4] FERREIRA, A. B. D. H. Mini-Aurélio - **O Minidicionário da Língua Portuguesa - Século XXI**. 4ª. ed. [S.l.]:Nova Fronteira, 2000.
- [5] ATLAS SCHINDLER. **Manual de Transporte Vertical em Edifícios**. Disponível em:<<https://www.atlas.schindler.com>> Acesso em: 28 mai. 2021.
- [6] SECIESP. **Sindicato Empresas de Conservação Manutenção e Instalação de Elevadores de São Paulo**.
- [7] Revista Elevador Brasil. **Edição 159**. Disponível em:<https://issuu.com/elevadorbrasil/docs/revista_159_site> Acesso em: 28 mai. 2021.
- [8] BUDYNAS, Richard; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica**. 8ª edição. McGraw Hill, 2011.
- [9] NORO, Robert L. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. 4ª edição. Bookman, 2013.
- [10] WEG. **Guia Prático de Treinamento Técnico/Comercial: Motor Elétrico Módulo I**. Disponível em:<<https://www.weg.net/institutional/US/pt/search/downloadcenter>> Acesso em: 28 set. 2021.
- [11] WEG. **Guia de Especificação: Motores Elétricos**. Disponível em:<<https://www.weg.net/institutional/US/pt/search/downloadcenter>> Acesso em: 28 set. 2021.
- [12] WEG. **W22 Motofreio: Motor Elétrico Trifásico**. Disponível em:<<https://www.weg.net/institutional/US/pt/search/downloadcenter>> Acesso em: 28 set. 2021.

- [13] WEG. **Motores elétricos trifásicos tipo Motofreio.** Disponível em: <<https://www.weg.net/institutional/US/pt/search/downloadcenter>> Acesso em: 28 set. 2021.
- [14] WEG. **Manutenção Motofreio.** Disponível em: <<https://www.weg.net/institutional/US/pt/search/downloadcenter>> Acesso em: 28 set. 2021.
- [15] PHILLIPS, J.W.; COSTELLO, G.A.: **Analysis of wire ropes with internal-wire-rope course**, J. Appl. Mech. Trans. ASME 52, (1985)
- [16] UTTING, W.S.; JONES, N.: **The Response of Wire Rope Strands to Axial Tensile Loads – Part II** : Comparison of experimental results and theoretical predictions. Int. J. Mech. Sci. (1987)
- [17] YUANPEI, C.; FANNING, M.; XIANSHENG, G.. **Full Contact Analysis of Wire Rope Strand Subjected to Varying Loads Based on Semi-Analytical Method.** Int. J. Solids Struct. (2017)
- [18] ELEVATOR BOOKS. **Traction for Field Personnel, Part Two.** Disponível em: <<https://www.elevatorbooks.com/wp-content/uploads/>> Acesso em: 28 set. 2021.
- [19] CIMA. **Manual Técnico de Cabos.** Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/aricabos/>> Acesso em: 28 set. 2021
- [20] JANOVSKY, Lubomir. **Elevator Mechanical Design.** 3ª edição. 1993.
- [21] ARBACHE, Rodrigo. **Conheça agora todos os tipos de elevadores para edifícios.** Disponível em: < <https://www.meuelevador.com>>. Acesso em: 28 set. 2021.
- [22] Revista Manutenção Predial. **Edição de Setembro de 2020.** Disponível em:<<https://manutencaopredial.net.br/revista-da-manutencao-predial-edicao-de-setembro/>> Acesso em: 27 dez. 2021.