

## **ESTUDO DE ADEQUAÇÃO E NORMALIZAÇÃO DE ELEVADOR DE CARGA TIPO CREMALHEIRA**

**Henrique Arent Warmling<sup>1</sup>**

**Luiz Carlos de Cesaro Cavaler<sup>2</sup>**

**Resumo:** Para a utilização segura de elevadores de carga tipo cremalheira, os mesmos devem apresentar condições de trabalho e estar de acordo com as normas técnicas de segurança, que estabelecem informações sobre o uso e dimensionamento correto para sua utilização. Muitos destes equipamentos estão em operação e não atendem as devidas legislações competentes, trazendo risco para colaboradores. Comparando o equipamento deste estudo com as principais normas ABNT NBR 16200 e NR 18.14 fez-se necessária a investigação de questões sobre dimensionamento e segurança como: dimensionamento e adequação do sistema de tração, sistemas de frenagem, proteções e dispositivos de segurança. Através de consulta às normas regulamentadoras ABNT NBR 16200 e NR 18.14 os cálculos foram realizados, os coeficientes de segurança conhecidos e o projeto do elevador realizado para melhor entendimento. Com o auxílio do programa *Microsoft Excel™*, desenvolveu-se uma planilha de cálculo que facilitou os estudos apresentando assim resultados confiáveis e de excelente ajuda para este tipo de máquina de elevação de cargas. O resultado deste estudo quantifica e compara os valores das adequações em relação a aquisição de um novo equipamento de mesmas características.

**Palavras-chave:** Elevador cremalheira; NR 18.14; ABNT NBR 16200; adequações; segurança.

### **1. INTRODUÇÃO**

Os elevadores de carga utilizados na construção civil são equipamentos indispensáveis, pois contribuem direta e indiretamente para melhorar a qualidade da obra e aumentar sua eficiência. Se não houvesse elevadores de carga, os trabalhadores teriam que carregar os materiais utilizando somente a força física, o resultado seria cansaço e atraso na construção. Como existem os elevadores, transportar cargas pesadas transformou-se em uma tarefa muito mais ágil, acelerando

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica. E-mail:henriquearent@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr. Luiz Carlos de Cesaro Cavaler. E-mail:luiz.cavaler@satc.edu.br

o processo de construção, diretamente para acelerar a obra, facilitando a movimentação de cargas pesadas e diminuindo o custo (Rodrigues, 2013).

As normas específicas para instalação e uso dos elevadores são as NR 18.14 “Movimentação e Transporte de Materiais e Pessoas” e a ABNT NBR 16200 “Elevadores de canteiros de obras para pessoas e materiais com cabina guiada verticalmente — Requisitos de segurança para construção e instalação”. No entanto também são adotadas outras normas como NR 12 “ Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos” e NR 17 “Ergonomia”.

Os elevadores estão presentes em diversos empreendimentos, sendo essenciais para melhorar o desempenho no decorrer das atividades, principalmente no transporte vertical de materiais, possibilitando mais agilidade no processo e conseqüentemente contribuindo com os prazos a serem cumpridos.

O equipamento em estudo trata-se de um elevador de carga tipo cremalheira, equipamento mecânico utilizado por uma empresa construtora da área civil, que por sua vez encontra-se fora das normas, necessitando de uma manutenção e adequação para melhorar a segurança dos colaboradores. O equipamento encontra-se inadequado, permitindo a possibilidade de intervenção do elevador a qualquer momento tornando-o inoperante e dificultando a velocidade de execução da obra.

A adequação, além de importante para o mercado de trabalho, é necessária para o equipamento, que após realizada, apresentará mais segurança para os colaboradores, prevenindo acidentes de trabalho e inclusive evitando custos desnecessários com esse tipo de manutenibilidade. É um investimento essencial para a empresa, pois isso pode vir a apresentar um prejuízo em breve.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um estudo de modernização e adequação às normas NR 18.14 e ABNT NBR 16200 de um elevador cremalheira aplicado a construção civil, instalado na cidade de Criciúma/SC, aumentando mais a segurança aos colaboradores. Torna-se necessário o dimensionamento do sistema de acionamento, desenvolvimento de um projeto para cabine do operador, adequação do sistema de segurança e análise de viabilidade.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As bases teóricas abordadas na realização deste estudo são: a descrição dos componentes de um elevador à cremalheira, o princípio para a especificação do acionamento e as normas exigidas para elevadores.

### 2.1 ELEVADORES

Nos dias de hoje existem vários tipos de máquinas de elevação, onde pode-se citar os modelos como os guindastes, as gruas e mini gruas, os elevadores e os teleféricos, talhas, pontes rolantes, empilhadeiras e entre tantos outros tipos que elevam tanto pessoas como objetos e cargas (RUDENKO, 1976).

### 2.2 ELEVADOR DE CREMALHEIRA

Os elevadores têm como função transportar cargas e/ ou pessoas de um local para outro, de um nível mais baixo para um mais alto e vice-versa. Um dos elevadores mais utilizados na construção civil são os de carga, utilizado para transportar apenas cargas através de uma cabina semifechada. Os elevadores de cremalheira estão entrando no mercado da construção civil oferecendo alta segurança e qualidade, sendo considerados um dos equipamentos mais seguros. E há também os elevadores sociais que são os mais utilizados para o transporte de moradores prediais e/ ou residenciais (VIANA, SOUZA, 2001).

Os elevadores tracionados à cremalheira são equipamentos mecânicos para elevar e transportar cargas, com intuito de agilizar o processo na construção civil. Os principais componentes para a sua montagem e funcionamento são: sistema de tração, sistema de frenagem, estrutura de base da torre, módulos com cremalheira, sistema de ancoragem, fechamento de proteção, cabina, cabine do operador, cancela de pavimento, guarda corpo, módulo, porta da cabina, painel de comando. A Fig. 1 mostra as principais partes deste equipamento.

Figura 1: Respeetivo elevador do tipo cremalheira.



Fonte: Autor (2020).

A torre do elevador é formada pela união de vários módulos onde são fixadas as barras de cremalheira, onde realiza-se o movimento vertical do equipamento. A mesma é fixada na obra a ser montado através dos braços de ancoragem, mantendo a torre fixa para seu funcionamento adequado.

O guarda corpo é montado na parte superior da cabina, fazendo com que o usuário não caia de cima da cabina, garantindo mais segurança na manutenção e montagem do equipamento.

A cabina do elevador aloja a área onde a carga é transportada, por exemplo, cimento, pisos e azulejos, cerâmicas. Na cabine trabalha o operador do

elevador. Que tem acionamento através do painel de comando. O acesso é feito pelas portas.

A chamada proteção de base (montada na base do elevador), impede o acesso de pessoas não autorizadas ao elevador. A base onde está a torre dos elevadores, é construída em concreto, nivelada, rígida e dimensionada por profissional legalmente habilitado, de modo a suportar as cargas a que estará sujeita (ABNT NBR 16200, 2013).

## 2.3 COMPONENTES DO ELEVADOR

Os elevadores possuem alguns sistemas de segurança que iniciam desde a sua montagem até seu funcionamento. Para a instalação e o uso de tais equipamentos, consulta-se informações nas Normas Regulamentadoras, também chamadas de NR. Estas são normas que servem para prevenir acidentes e doenças profissionais, fazendo com que as empresas prestadoras desse serviço se adequem e cumpram as normas exigidas para o uso, oferecendo mais segurança para os colaboradores. Para o elevador cremalheira as normas que pertencem a esse equipamento e oferecem mais segurança aos colaboradores são as normas NR 12, NR 17, NR 18.14 e a norma ABNT NBR 16200 (SILVA, WESLEY, 2016).

### 2.3.1 Torre

De acordo com a ABNT NBR 16200 as torres dos elevadores devem ser montadas com uma distância máxima de seiscentos milímetros (600mm), entre a face da cabina e a da edificação. A mesma é fixada pelos braços de ancoragem para manter a torre rígida e suportar o trabalho contínuo da cabina com carga máxima e paradas precipitadas pelo acionamento do freio de emergência, quando necessário. A torre e o guincho do elevador devem possuir aterramento evitando acidentes elétricos.

As fixações de elementos de acionamento (por exemplo, cremalheira) à torre, deve garantir que o elemento de acionamento esteja na posição correta para que as cargas estipuladas e os esforços possam ser corretamente transmitidos e assegurando que as fixações estejam devidamente seguras. Também no item

18.14.21.6 da norma NR 18.14 os elementos estruturais componentes da torre do elevador devem estar em condições de utilização, sem apresentar estado de corrosão ou deformação que possam comprometer sua estabilidade.

### 2.3.2 Proteções

Um elevador quando instalado para uso deve ter fechamento da base, proteção da caixa de corrida da cabina e portas de pavimento a cada ponto de acesso.

A proteção de base é construída por painéis tubulares e telas de aço na altura de pelo menos 2,0 metros, na base onde para a cabine, com sinalização e proteção, que servem para isolar a torre do elevador do acesso de pessoas não autorizadas (ABNT NBR 16200, 2013).

Segundo a norma ABNT NBR 16200 quando o elevador estiver montado ele deve conter portas de pavimento nos mesmos materiais da proteção de base e estarem instaladas na proteção da caixa de corrida e, em cada ponto de entrada dos pavimentos cobrindo totalmente a abertura, incluindo o fechamento da base. A Fig. 2 mostra a fechadura do lado interno.

Figura 2: Lado interno da fechadura do Elevador.



Fonte: Catálogo grupo METAX (2016).

O destravamento da fechadura só ocorre quando o elevador estiver parado no nível do pavimento, liberando a cancela via sistema de controle automatizado. Em situação de emergência a cancela permite ser aberta por fora por uma outra pessoa.

De acordo com a norma NR 18.14 do item 18.14.22.2 e do item 18.14.23.2.2 é necessário a fixação de uma placa dentro do elevador de materiais, constando a carga máxima de transporte e advertindo o transporte de pessoas, somente o operador poderá ser transportado com materiais. A Fig. 3 mostra um exemplo de placa.

Figura 3: Placa segundo a norma exigida.



Fonte: Elevador de tração a cabo e cremalheiras GESEC (2016).

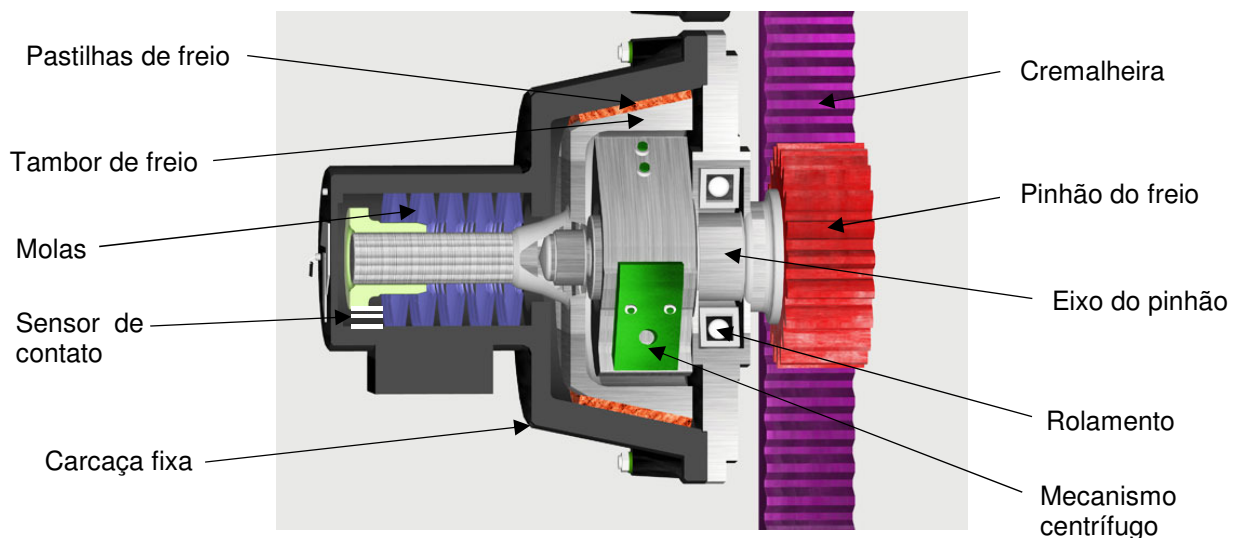
A norma exige uma placa de sinalização proibindo o transporte de materiais e pessoas durante o deslocamento, para evitar acidentes e proteger os colaboradores. Também deve conter na placa a carga nominal máxima a ser transportada para não exceder o peso, auxiliando ainda mais na segurança operacional.

### 2.3.3 Sistema de freio

O sistema de freio de emergência também chamado de freio centrífugo, ou trava-quedas (Fig. 4) é responsável por garantir a segurança total nas operações e serviços utilizando o elevador. Os freios de emergência devem se encontrar impreterivelmente em condições operacionais, inclusive na montagem e desmontagem da torre, em caso de desarmamento do sistema do freio

eletromagnético ou uma falha mecânica que aciona o freio de emergência. Segundo o item 5.6.2.1 da norma ABNT NBR 16200 o freio de emergência deve ser capaz de manter a cabina parada com fator de segurança 1,3 vezes a carga nominal e deve ser calculado atendendo o estabelecido em 5.2.2.8. As Fig. 4 e 5 mostram o funcionamento desse sistema de freio de emergência.

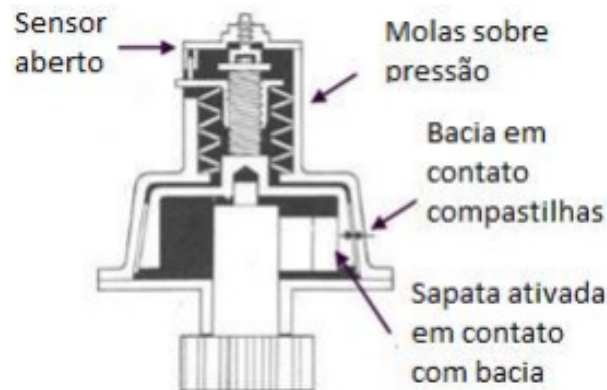
Figura 4: Vista detalhada do sistema de freio de emergência.



Fonte: (AGUILERA, 2011).

O sistema está desativado operando em modo livre, o movimento se dá apenas no pinhão, eixo do pinhão e no mecanismo centrífugo que funciona como limitador de velocidade do elevador. A medida em que a velocidade da cabina aumenta, o eixo do pinhão gira mais rápido, fazendo com que o mecanismo centrífugo se desloque em direção ao tambor do freio, no momento em que eles se tocam (Fig. 5), o tambor entra em movimento com o mesmo, neste momento está em contato com as sapatas e devido a força de atrito causa a ação imediata de frenagem. Simultaneamente, a essa ação o veio roscado ligado ao tambor comprime as anilhas e aciona o interruptor de segurança que corta a energia elétrica de tração do sistema (ELEVATORBOBS, 2010).

Figura 5: Sistema de freio de segurança ativado.



Fonte: (ELEVATORBOBS, 2010).

Segundo a norma NR 18.14, deve ser realizado teste dos freios de emergência dos elevadores na entrega para início de operação e, no máximo, a cada noventa dias por técnicos responsáveis pela manutenção do equipamento com laudos assinados por eles. Segundo o item 5.5.2.11 da norma ABNT NBR 16200 o freio de emergência aciona independente de falha mecânica ou elétrica, com intervenção automática do equipamento e parada do elevador mecanicamente que não pode ultrapassar a velocidade nominal de 0,4 m/s. Quando o sistema de freio é acionado, ao mesmo tempo envia um sinal elétrico a chave de ruptura, que desarma o sistema de tração. Depois de utilizado, o freio só poderá ser destravado por uma pessoa habilitada.

#### **2.3.4 Dispositivo de sobrecarga e chave de ruptura positiva**

De acordo com a norma ABNT NBR 16200 do item 5.6.3 o equipamento deve possuir um dispositivo de detecção de sobrecarga que dê um sinal claro na cabina e evite a partida normal com sobrecarga. A sobrecarga ocorre quando a carga nominal é excedida e a cabina estiver estacionada. A advertência de detecção de sobrecarga não pode ser cancelada pelo operador. Segundo o item 18.14.25.4 da norma NR 18.14 os elevadores também devem possuir intertravamento das proteções com o sistema elétrico, através de chaves de segurança com ruptura positiva, que permite o deslocamento do equipamento somente quando as portas, painéis, cancelas estiverem fechadas e paradas no nível do pavimento.

### **2.3.5 Cabine do operador**

Nos elevadores de transporte de materiais é proibido o transporte simultâneo de pessoas e materiais exceto no tipo cremalheira onde somente o operador é responsável pelo material a ser transportado e pode subir junto com a carga, desde que fisicamente isolados. Segundo a norma NR 18.14 do item 18.14.22.1.1 é proibido:

- a) transportar materiais com dimensões maiores que as dimensões internas da cabine no elevador tipo cremalheira;*
- b) transportar materiais apoiados nas portas da cabine;*
- c) transportar materiais do lado externo da cabine, exceto nas operações de montagem e desmontagem do elevador;*
- d) transportar material a granel sem acondicionamento apropriado;*
- e) adaptar a instalação de qualquer equipamento ou dispositivo para içamento de materiais em qualquer parte da cabina ou da torre do elevador, salvo se houver projeto específico do fabricante que, neste caso deve estar à disposição da fiscalização no local da utilização do equipamento.*

No item 18.14.22.3 a cabine do operador deve isolar o operador dos materiais, possuir proteção segura contra queda de materiais e os assentos utilizados devem atender a norma NR 17 no item 17.3.3, devem ter altura ajustável à estatura do trabalhador e à natureza da função exercida, características de pouca ou nenhuma conformação na base do assento, borda frontal arredondada, encosto com forma levemente adaptada ao corpo para proteção da região lombar.

### **2.3.6 Motorreductor**

Motorreductor é o conjunto motor acoplado diretamente no reductor, tem como função principal o aumento de torque, alterando a razão entre a velocidade de rotação de entrada e saída. Existem diferentes tipos de redutores, com suas vantagens e desvantagens, variando de acordo com sua aplicação. Para os elevadores devido à redução necessária e considerando o desempenho para a maioria dos casos, será pretendida a utilização de motorredutores de engrenagens helicoidais. Esse modelo de reductor de velocidade é o mais utilizado no mercado, por

apresentar mais eficiência, pois a concepção construtiva do tipo de engrenamento reduz os níveis de vibrações e ruídos, devido aos dentes helicoidais que realizam a transmissão de potência de forma mais homogênea. (NORTON, 2013).

### **2.3.6.1 Dimensionamento e seleção do motorreductor**

Os elevadores com acionamento do tipo pinhão e cremalheira devem possuir no mínimo duas unidades de acionamento próprias, se uma das unidades falhar, a(s) outra(s) deve(m) ser capaz(es) de manter parada a carga estática do elevador.

Para determinação do fator de segurança a ser considerado no cálculo da carga estática nominal deve-se consultar a tabela casos de carga contidos na norma ABNT NBR 16200. De acordo com a norma, o efeito de cargas móveis deve ser determinado considerando os pesos de todas as cargas reais (cabina, carga nominal, contrapeso, etc.) e multiplicando-os por um fator  $\mu = (1,1 + 0,264v)$ , onde  $v$  é a velocidade nominal Eq. (1).

$$\mu = (1,1 + 0,264v) \quad (1)$$

Onde:

$\mu$  = fator de segurança (adimensional)

$v$  = velocidade nominal (m/s)

A seleção do motorreductor é realizada através do catálogo do respectivo fabricante, que oferece em suas tabelas informações como potência nominal do motor, número de rotações de saída do reductor, torque de saída, fator de serviço, entre outros.

Para dimensionamento do motorreductor inicia-se com a Segunda Lei de Newton; a relação de força resultante que atua sobre um corpo é proporcional ao produto da massa pela aceleração por ele adquirida, que neste caso de força peso, a aceleração considerada a força gravitacional sendo descrita pela Eq. (2) (HALLIDAY, 2008).

$$F = m * a \quad (2)$$

Onde:

$F$  = Força resultante (N)

$m$  = Massa (kg)

$a$  = Aceleração (m/s<sup>2</sup>)

Obtém-se o diâmetro primitivo através do produto entre o módulo do engrenamento e o número de dentes, conforme a Eq. (3) (LOPES; GALDINO, 2013).

$$dp = m . Z \quad (3)$$

Onde:

$dp$  = diâmetro primitivo (mm)

$m$  = módulo (adimensional)

$Z$  = número de dentes (adimensional)

Para a seleção é necessário o cálculo do momento (torque) que é dado pelo produto vetorial entre os vetores  $\vec{F}$  e  $\vec{r}$  Eq. (4) (HALLIDAY, 2008).

$$T = \vec{F} * \vec{r} \quad (4)$$

Onde:

$T$  = Torque (N.m)

$\vec{F}$  = Força aplicada (N)

$\vec{r}$  = Raio (m)

Para determinar a velocidade de subida do elevador pode-se encontrar através da Eq. (5) (HALLIDAY, 2008).

$$V = \omega * r \quad (5)$$

Onde:

$V$  = Velocidade (m/s)

$\omega$  = Velocidade angular (rad/s)

$r$  = Raio (m)

A potência determina a quantidade de energia que uma fonte concede ao longo do tempo. Potência pode ser entendida também como sendo a força multiplicada pela velocidade. Também pode ser compreendida como o momento multiplicado pela velocidade angular, como mostrado na Eq. (6) (HALLIDAY, 2008).

$$P = M * \omega \quad (6)$$

Onde:

$P$  = Potência (W)

$M$  = Momento (N.m)

$\omega$  = velocidade angular (rad/s)

### **2.3.7 Pinhão e cremalheira**

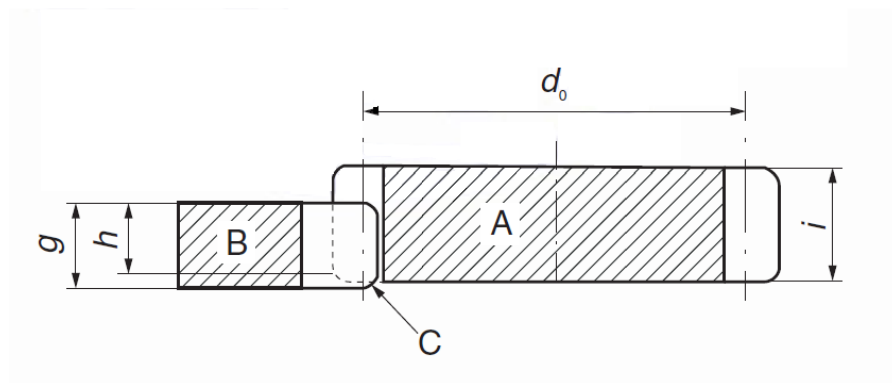
Para a transmissão do torque necessário envolvido nesse mecanismo, serão admitidos o pinhão e cremalheira comerciais. De acordo com a norma ABNT NBR 16200 do item 5.7.3.1.2.1 cada pinhão deve ser projetado em conformidade com as ISO 6336-1, ISO 6336-2, ISO 6336-3 e ISO 6336-5 com relação à resistência e desgaste dos dentes. Cada pinhão deve possuir coeficiente de segurança mínimo de 2,0 com base no limite de fadiga quanto à resistência dos dentes, e coeficiente de segurança mínimo de 1,4 com base no limite de fadiga ao desgaste.

De acordo com a norma ABNT NBR 16200 do item 5.7.3.1.2.2 a cremalheira deve ser fabricada com materiais que possuam propriedades que se ajustem àquelas dos pinhões em termos de desgaste e deve ser projetada atendendo às ISO 6336-1, ISO 6336-2, ISO 6336-3 e ISO 6336-5 com relação à resistência e desgaste dos dentes.

A cremalheira deve possuir coeficiente de segurança mínimo de 2,0 considerando o limite estático da resistência dos dentes, considerando o desgaste máximo estabelecido no manual de instruções do fabricante.

A norma ABNT NBR 16200 do item 5.7.3.1.4.4 exige que no mínimo 90% de contato da largura calculada do engrenamento entre os dentes do pinhão e cremalheira. A Fig. 6 representa o engrenamento mínimo entre as peças.

Figura 6: Engrenamento mínimo dos dentes.



Fonte: Norma ABNT NBR 16200 (2013)

A Fig. 6 representa o engrenamento mínimo entre os dentes do pinhão (A) e da cremalheira (B), onde mostra o contato entre a largura da cremalheira (g) e a largura do pinhão (i). Além dessas informações a figura mostra o diâmetro primitivo do pinhão ( $d_0$ ), chanfro (C) e a porcentagem de 90% do engrenamento entre os dentes (h).

### 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesta seção estão descritas as etapas do estudo de um equipamento de transportes vertical de carga mista do tipo cremalheira, instalado em uma obra civil na cidade de Criciúma/SC.

### **3.1 Descrição do equipamento**

O elevador tipo cremalheira mencionado nesse estudo, compõem-se por módulos ao longo dos 10 (dez) pavimentos da obra, que formam a torre. A torre é fixada na estrutura do prédio através dos braços de ancoragem. A cada pavimento utiliza-se um braço de ancoragem para ligar a estrutura vertical de sustentação do equipamento. A torre é construída com o auxílio do próprio elevador, onde os módulos são encaixados e montados uns sobre os outros, na sequência que o elevador é instalado na lateral da obra. O último elemento da torre (último módulo) é geralmente instalado com a cremalheira de forma invertida ou sem a cremalheira, de modo a evitar o lançamento da cabina para fora da torre, mantendo um fim de curso de barreira mecânica além do elétrico instalado no penúltimo módulo, evitando possíveis acidentes.

Cada pavimento possui uma cancela, com o intuito de criar uma barreira de proteção durante o deslocamento da cabina. Para a segurança dos trabalhadores, a abertura da cancela só é liberada quando o elevador estiver parado no pavimento correspondente.

A cabina possui capacidade nominal de carga de 1.000 kg. As cabinas normalmente compõem-se pela cabine do operador anexada na lateral pelo lado externo e com entradas por duas portas de acesso, possibilitando o fluxo de entrada e saída de materiais pelo piso térreo da obra, tanto pela porta de dentro quanto pelo lado de fora. Nesse caso, a porta do lado externo encontra-se bloqueada e desativada por questão de espaço, pois ficava muito próximo ao muro da obra (Fig. 7).

O local onde o elevador estava instalado na obra impossibilitava o uso da outra porta externa, estando a porta desativada para manter a segurança dos colaboradores. Além disso, a cabina móvel não possui cabine do operador, chave de ruptura positiva e, nem dispositivo de sobrecarga.

Figura 7: Elevador tipo cremalheira na obra.



Fonte: Autor (2019)

### 3.2 Adequação da cabine interna

Para adequação da cabine interna ao item 18.14.22.1 da norma NR 18.14 projetou-se uma estrutura metálica para isolar o operador da carga. Pois a cabina apresenta-se sem proteção alguma para o operador conforme a Fig. 8.

Figura 8: Cabina do elevador.



Fonte: Autor (2019).

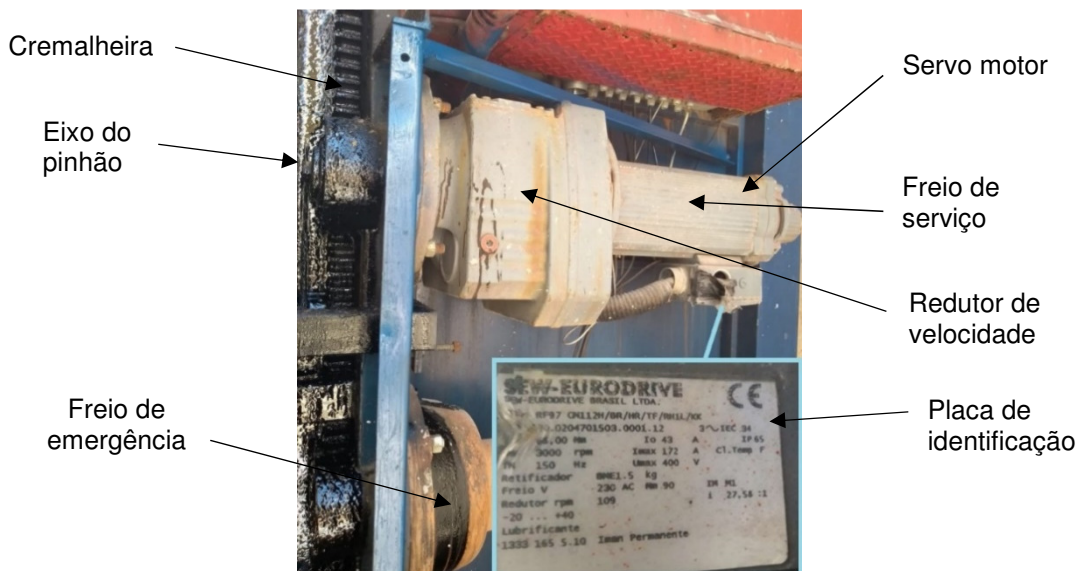
Toda a área útil da cabina está destinada simultaneamente para a carga e o operador, sem proteção para o mesmo. A cabina não encontra-se adequada.

Como a norma exige que o operador fique separado da carga, devidamente seguro, será projetada e sugerida a instalação da cabine do operador.

### 3.3 Adequação do sistema de tração

O sistema de tração instalado, compõem-se por um servo motor, que diferente dos outros motores (tanto corrente contínua quanto alternada) possui incorporado neles um encoder (sensor de velocidade) e um controlador. Nesse caso ele atua de forma rotativa, fazendo com que o pinhão engrene na cremalheira e garantindo o controle da velocidade e precisão no giro. O servo motor possui valor elevado, porém tem alto torque em relação ao seu tamanho dimensional e baixo peso. A Fig. 9 mostra o sistema de tração instalado no elevador.

Figura 9: Servo motor e placa identificação.



Fonte: Autor (2019).

O sistema de tração era composto por um servo motor acoplado num reductor de velocidade. Conforme verificado na placa de identificação sua redução é de 27,58:1 (Fig. 9).

O sistema de frenagem estava composto por dois tipos de freio, sendo um freio de serviço no servo motor que é responsável pela parada do equipamento em

seu funcionamento normal em operação, e o outro, freio de emergência, do tipo centrífugo para travar qualquer indício de queda caso venha acontecer algum problema com o freio de serviço.

Para adequação do sistema de tração de acordo com o item 5.7.1.1 da norma ABNT NBR 16200, dimensionou-se um motorreductor através de princípios físicos de mecânica presentes no funcionamento do sistema de elevador de cargas tipo cremalheira, visto fatores de segurança Eq. (1) para a massa máxima a ser considerada para cálculo, a força resultante Eq. (2), o diâmetro primitivo Eq. (3), para determinar o torque mínimo necessário Eq. (4), a velocidade de subida Eq. (5) e na sequência o cálculo da potência motora mínima necessária Eq.(6).

Visando futuros estudos semelhantes, realizou-se uma planilha de cálculo no programa *Microsoft Excel™*, onde é possível inserir os dados de entrada (carga nominal, peso da cabina completa, contrapeso, número de dentes e módulo do pinhão), de acordo com os fatores de segurança da norma e como resultado instantâneo os dados de saída obtidos: (carga nominal corrigida, torque mínimo necessário para elevação e potência motora mínima necessária), com isso poderá ser usado para outros elevadores do tipo cremalheira e com diferentes cargas.

### **3.4 Adequação do sistema de segurança**

Para adequação do sistema de segurança ao item 18.14.25.4 da norma NR 18.14, propõem-se à instalação de chaves de ruptura positiva nas portas, no alçapão de emergência, nas cancelas e no freio de emergência, pois não possuía nenhuma chave.

Além disso, para adequação ao item 5.6.3 da norma ABNT NBR 16200, será proposto à instalação do dispositivo de detecção de sobrecarga na base do elevador.

### **3.5 Livro de inspeção**

Para identificar possíveis defeitos no equipamento junto com a inspeção visual sugeriu-se a implantação imediata do livro de inspeção diário conforme o item 18.14.2 da norma NR 18.14 que consiste:

- 1- Qualificar o operador, com são atribuições de manter o equipamento limpo e organizado;
- 2- Instruir e verificar a carga e descarga de material dentro da cabina;
- 3- Comunicar e registrar ao engenheiro responsável da obra sobre qualquer anomalia no equipamento registrando no livro;
- 4- Acompanhar todos os serviços de manutenção realizados no equipamento.

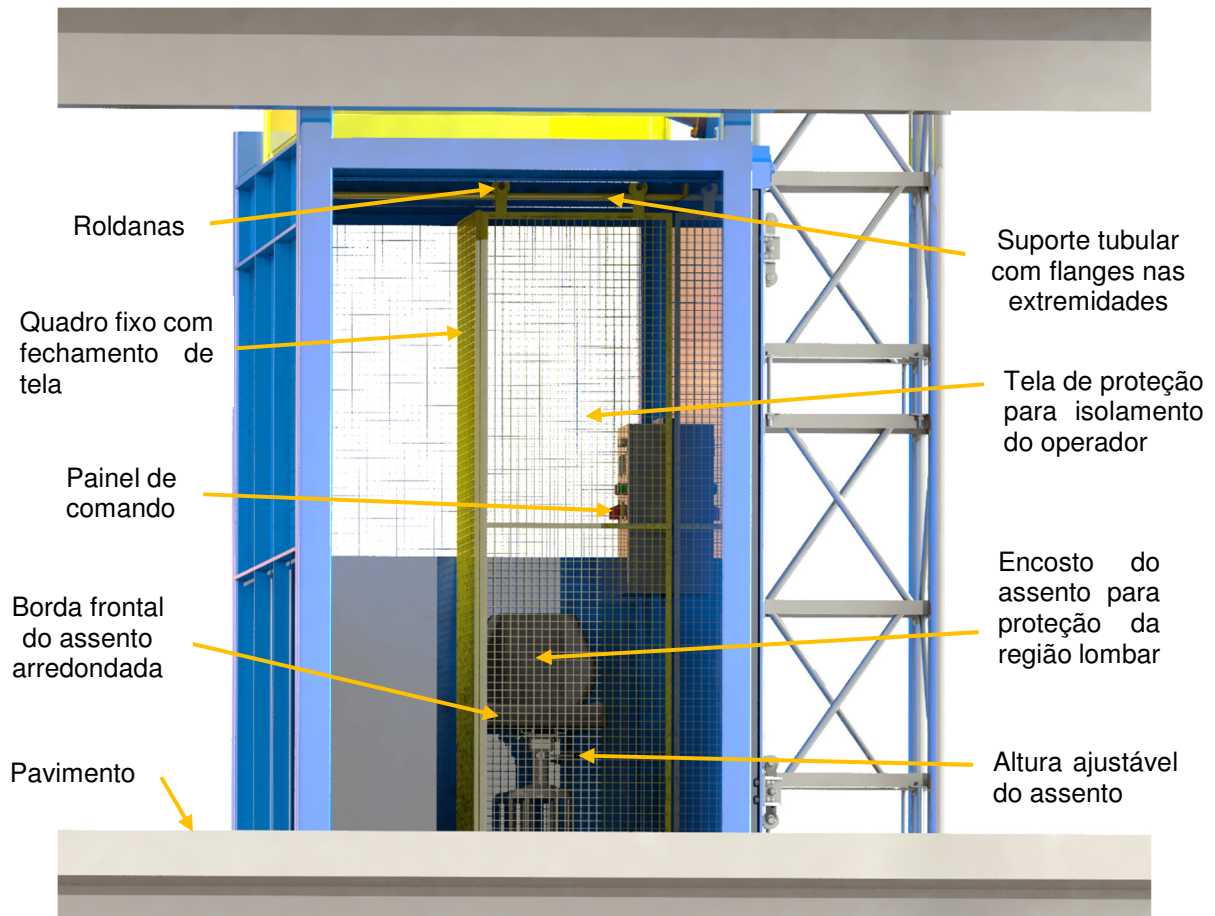
## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Inicialmente realizou-se uma inspeção no elevador de cremalheira para diagnosticar problemas operacionais do equipamento. Foram identificados problemas que necessitavam de manutenção e adequação as normas NR 18.14 e ABNT NBR 16200.

### **4.1 Cabine do operador**

Conforme o item 18.14.22.1 da norma NR 18.14 que somente elevadores do tipo cremalheira, o operador pode subir junto com a carga, desde que fisicamente isolados, portanto projetou-se a cabine do operador para proteção segura contra queda de materiais durante as movimentações. Conforme a Fig. 10 apresenta o projeto 3D da cabine do operador, montada na parte interna da cabina.

Figura 10: Projeto 3D cabine operador fechado.



Fonte: Autor (2020).

Tem-se o projeto em conformidade com a norma NR 18.14 isolando o operador da carga, protegendo contra queda de materiais e respeitando a norma NR 17 de ergonomia com assento ajustável a estatura do operador e encosto adaptado ao corpo.

Projetou-se essa cabine com quadro de perfis laminados em aço estrutural SAE 1020 e com porta móvel para otimização da mobilidade do operador e das cargas na cabina. Tem fixação por flanges parafusados nas paredes laterais da cabina e possui o fechamento com telas de proteção no quadro fixo e na porta móvel.

A maioria dos equipamentos desse tipo possuem cabine do operador externa, porem por questão de custo, discutiu-se *in loco* e decidiu-se em conjunto projetar uma separação interna da cabine com uma divisória separando o operador da carga, sendo mais viável, financeiramente, pois outro modelo do lado externo teria

que redimensionar toda a cabina, tendo um custo muito mais elevado. Em anexo está o desenho EC-001-000-000 da montagem da cabine detalhado para fabricação.

## 4.2 Motorreductor

Conforme o item 5.7.1.1 da norma ABNT NBR 16200, os elevadores com acionamento do tipo pinhão e cremalheira devem ter no mínimo duas unidades de acionamento próprias, se uma das unidades falhar, a(s) outra(s) deve(m) ser capaz(es) de manter parada a carga estática do elevador. A norma obriga o uso de um sistema redundante para garantir mais segurança.

Conforme a norma ABNT NBR 16200 do item 5.2.2.7, os valores dos pesos de todas as cargas (cabina, carga nominal, contrapeso, etc.) são multiplicados por um determinado fator de segurança  $\mu$ .

Considerou-se como valores de entrada a carga nominal de 1.000 kg, o peso da cabina de 1.200 kg e fator de segurança necessário conforme a norma ABNT NBR 16200 do item 5.2.2.7 Eq. (1). A partir dessas informações, o valor da força vertical considerada para os cálculos foi de 2.653,55 kg Eq. (2).

Como utilizou-se pinhão comercial de 15 dentes de módulo 8, encontrou-se o diâmetro primitivo ( $dp$ ) pelo produto do módulo ( $m$ ) e número de dentes ( $Z$ ) Eq. (3).

Definido o valor da força vertical a ser considerada e do diâmetro primitivo, é possível calcular o toque ( $T$ ) mínimo necessário para conseguir elevar carga desejada Eq. (4).

Com ajuda de um catálogo de fabricante de motorreductor, nesse caso considerado SEW, selecionou-se um motorreductor que atende o torque mínimo necessário. Em conjunto a esta seleção, observa-se qual é a rotação de saída do respectivo motorreductor, disponível em rotações por minuto (rpm), que seja adequada para definir a velocidade de subida do equipamento. Normalmente as velocidades de trabalho destes elevadores devem estar entre 20 e 30 m/min. A Fig. 11 mostra a planilha de cálculos para dimensionamento e seleção dos motorredutores.

Figura 11: Planilha de cálculos.

<b>DADOS DE ENTRADA</b>	<b>AMARELO</b>		
<b>DADOS DE SAÍDA</b>	<b>VERDE</b>		

CARGAS		
FATOR DE SEGURANÇA (Fs)	1,206	$\mu = 1,1 + 0,264v$
PESO CABINA (kg)	1200	
CONTRAPESO (kg)	0	
CARGA NOMINAL (kg)	1000	
CARGA NOMINAL * Fs (kg)	2653,55	

FORÇA VERTICAL CONSIDERADA			
F (N)	26031,36	$Fr = m * a$	a (m/s <sup>2</sup> ) 9,81

DADOS DO ENGRENAMENTO		
DENTES	15	
MÓDULO	8	
DIAMETRO PINHÃO (mm)	120	$Dp = m * Z$
RAIO (m)	0,06	

TORQUE MÍNIMO NECESSÁRIO		
TORQUE min (N.m)	1561,88	$T = F * r$
FORÇA (N)	26031,36	

VELOCIDADE DESEJADA		
RPM CATÁLOGO	64	
Velocidade Final (mm/min)	24127,432	
Velocidade Final (m/min)	24	$V = \omega * r$
Velocidade Final (m/s)	0,4021239	

POTÊNCIA NECESSÁRIA		
POTÊNCIA (cv)	14,23	$P = M * \omega$

Fonte: Autor (2020).

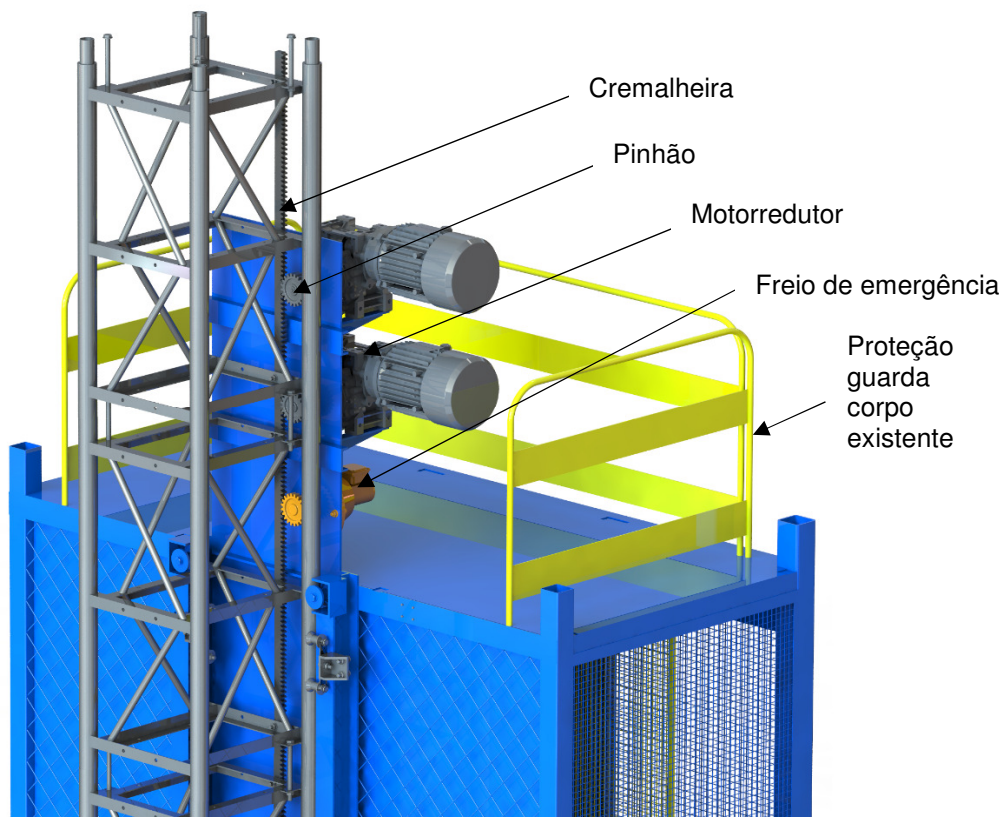
Após conhecida a rotação do eixo de saída (rpm) necessária, diretamente proporcional a redução ( $i$ ), tem-se conseqüentemente o modelo do motorreductor a ser selecionado. Para adequação do item 5.7.1.1 da norma ABNT NBR 16200, dimensionou-se a potência motora mínima necessária para a realização do trabalho, através do momento multiplicado pela velocidade angular, respectivamente 14,23 cv Eq. (6).

A partir desses valores definidos, consultou-se novamente o catálogo do fabricante e selecionou-se a potência necessária para o modelo já escolhido. Os motorreductores selecionados (dois modelos iguais) que atendem com segurança a necessidade de trabalho do equipamento foi do modelo RF97 DRN132LP4/BE20 da marca SEW com uma potência de 11 KW (14,75 cv) e torque de saída de 1.640 N.m.

De acordo com (NORTON, 2013), sugeriu-se o motorreductor de engrenagem helicoidal por evitar solavancos, suavizando o movimento do equipamento e aumentando a vida útil da cremalheira.

Com os motorreductores definidos fez-se a projeção de como ficaria instalado no elevador. A Fig. 12 mostra uma imagem do projeto 3D realizado para este estudo. Percebe-se a adequação e a montagem do novo sistema de tração a ser instalado no elevador.

Figura 12: Projeto 3D do novo sistema de tração.



Fonte: Autor (2020).

O projeto mostra como ficaria a instalação do novo sistema de tração, assim como o sistema do freio de emergência em novo local. O sistema de tração funciona

com transformação da energia elétrica em energia magnética, e conseqüentemente em energia mecânica. Por sua vez, a potência elétrica instalada ativa o campo magnético e faz com que o eixo induzido do motor transforme em energia mecânica forçando-o a girar acoplado na entrada do redutor de velocidade. Após a redução, no eixo de saída tem-se diminuição da velocidade e aumento do torque e força suficiente para que o pinhão possa engrenar nos dentes da cremalheira e tendendo fazê-la girar, porém como a cremalheira está estática, fixada na torre e dimensionada para resistir a estes esforços, o torque transmitido pelo eixo e pinhão faz com que a cabina do elevador se desloque com a mobilidade necessária.

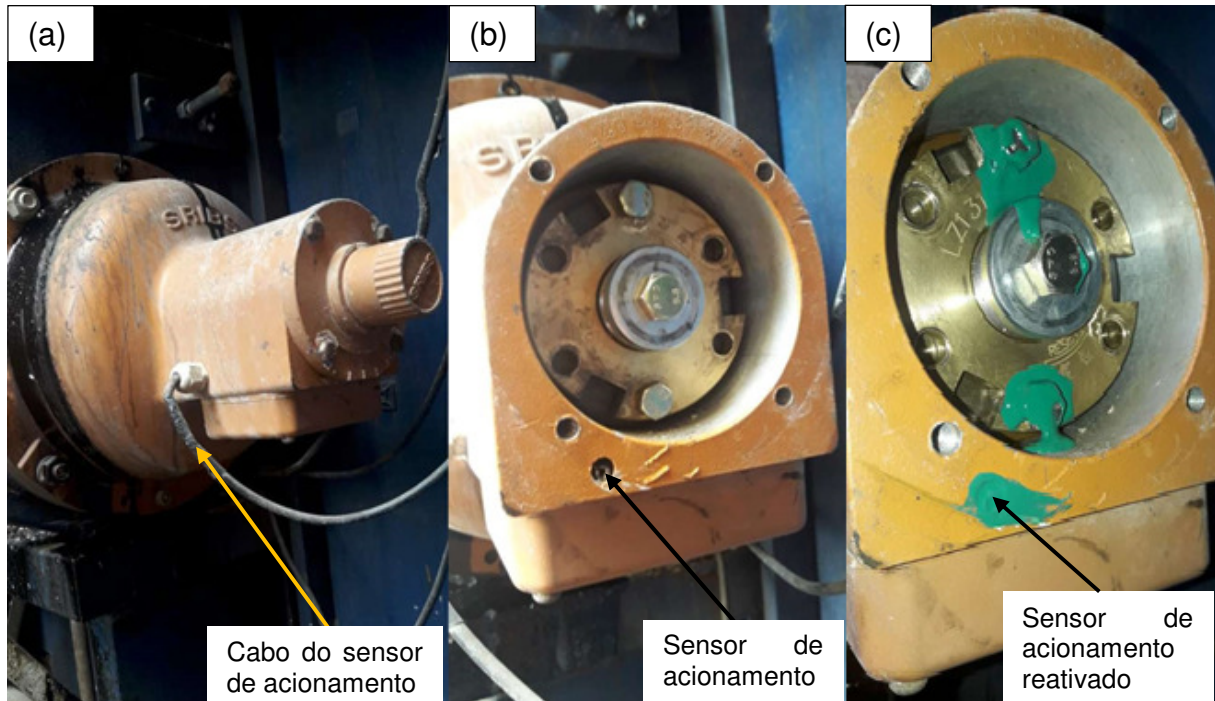
Com o novo sistema de tração será proposto a troca das cremalheiras e do pinhão de acordo com a norma ABNT NBR 16200 em conformidade com as ISO 6336-1, ISO 6336-2, ISO 6336-3 e ISO 6336-5, para garantia da resistência mecânica do novo torque.

### **4.3 Freio de emergência**

Durante a inspeção analisou-se o freio de emergência, avaliando suas condições e funcionamento, deslocando o elevador de forma a examinar a movimentação da engrenagem do sistema de freio, junto ao sistema de cremalheira instalado na torre. Após, com o auxílio de um paquímetro, conferiu-se o desgaste do pinhão, medindo a distância pelo lado externo de dois dentes, onde o valor da medida para um pinhão novo 37,1mm e o valor mínimo admissível é 35,8 mm (desgaste máximo). O valor medido foi admissível, 36,5 mm.

De acordo com a norma NR 18.14 do item 18.14.1.13 deve ser realizado teste dos freios de emergência dos elevadores antes do início de operação e, no máximo, a cada noventa dias. Todos esses testes devem apresentar laudo assinado pelo responsável técnico pela manutenção do equipamento e os parâmetros utilizados devem ser anexados ao Livro de Inspeção do Equipamento encontrado na obra. No elevador estava instalado o freio de emergência tipo centrífugo, conforme Fig. 13.

Figura 13: Montagem do freio de emergência tipo centrífugo: (a) fechada, (b) aberta, (c) revisada, porém aberta.



Fonte: Autor (2019).

Para realização do teste de freio deslocou-se o equipamento ao segundo pavimento. Logo fez-se o registro por meio de vídeo onde contemplam-se informações relativas a: data, marca, modelo do equipamento. Em seguida libera-se o freio do sistema de motorização do equipamento deixando o elevador em queda livre. O elevador com toda energia potencial gravitacional, disponível, começa a ganhar velocidade em queda livre, ao atingir em torno de 1,2 m/s, o freio recebe energia suficiente oriunda da velocidade centrífuga do mecanismo ligado entre a engrenagem do freio e a cremalheira fixa, realizando o acionamento do sistema, contendo o processo de queda e travando o elevador. No instante em que o freio está em movimento comprimindo as arruelas, é ativado o sensor (b), que corta o sistema elétrico de acionamento. Após realizado o teste o equipamento desloca-se até a base da torre onde o sistema do freio é reativado.

Realizou-se a verificação do sistema de frenagem, verificando o recuo do sensor do acionamento da habilitação de freio, fez-se o rearmamento do sistema retornando o mecanismo centrífugo com o auxílio de chaves especiais, realizando a

ativação do freio (c). Após a revisão sinaliza-se com um marcador a manutenção do freio de emergência e retorno do sensor de contato.

Como descrito, realizou-se o teste de acionamento do sistema de freio de emergência. O equipamento teve deslocamento de 0,6 metros em relação ao momento inicial da queda, onde atingiu a velocidade centrífuga suficiente para o acionamento do freio, travando o equipamento. O freio de emergência funcionou perfeitamente, com segurança evitando a queda do elevador, não havendo a necessidade de troca do sistema de freio.

Qualquer anomalia constatada no equipamento deve ser informada ao profissional competente, em caso de acionamento do freio de emergência, o equipamento deve ser inabilitado para uso até a chegada e diagnóstico de verificação do profissional responsável.

#### **4.4 Chave de ruptura positiva e dispositivo de sobrecarga**

Verificou-se a inexistência do dispositivo de sobrecarga e da chave de ruptura positiva, assim para adequação a norma NR 18.14 sugeriu-se a instalação desses componentes. A instalação do dispositivo de sobrecarga é necessária para evitar danos ao equipamento pelo excesso de carga e garantir a segurança dos colaboradores. A chave de ruptura positiva é necessária para realizar a parada imediata do equipamento caso seja identificada uma abertura indevida de portas, alçapão de emergência, cancelas e freio de emergência durante deslocamento do equipamento.

#### **4.5 Viabilidade do estudo**

Para realizar toda a adequação com base nas normas NR 12, NR 17, NR 18.14, ABNT NBR 16200 realizou-se o levantamento de custo, vendo se é viável adequar ou comprar um equipamento novo. A Tab. 1 apresenta o custo para adequação conforme o estudo.

Com o estudo constatou-se que é possível realizar adequação do elevador de carga tipo cremalheira e mantê-lo operando com segurança sem a necessidade de comprar um novo equipamento, porém trata-se de uma modernização e adequação

do equipamento. A Tab. 2 descreve o valor de um equipamento novo comparado com as adequações e manutenções necessárias no mesmo.

Com a adequação proposta tem-se uma economia considerável em relação a compra de um elevador novo com características semelhantes. O mesmo poderá ser utilizado futuramente em novas obras e atendendo os requisitos de segurança para os trabalhadores.

Tabela 1: Custo de adequação.

<b>Qtd</b>	<b>Descrição</b>	<b>Custo (Reais)</b>
01	Cabine do operador desenho EC-001-000-000	R\$ 3.780,00
01	Quadro cancela de pavimento elevador cremalheira	R\$ 2.800,00
10	Botoeira de pavimento elevador cremalheira	R\$ 1.700,00
12	Fechadura elétrica para elevador cremalheira	R\$ 3.300,00
01	Painel digital de chamada para elevadores	R\$ 1.080,00
10	Botão de chamada de andar para elevadores	R\$ 930,00
01	Display célula de carga ALC 5000-C	R\$ 1.080,00
02	Sensor célula de carga tipo pino 2500 Kg	R\$ 1.760,00
01	35 m Cabo PP 4 x 16 mm chato	R\$ 2.940,00
02	Motorreductores SEW RF97 RN132LP4/BE20	R\$ 18.550,00
02	Engrenagem M8 Z15 ISO 6336-1, ISO 6336-2, ISO 6336-3 e ISO 6336-5	R\$ 900,00
28	Cremalheira MOD 8 (60X40X1508MM) ISO 6336-1, ISO 6336-2, ISO 6336-3 e ISO 6336-5	R\$ 15.760,00
01	Serviço mão de obra (Mecânica)	R\$ 8.600,00
01	Serviço mão de obra (Elétrica)	R\$ 4.700,00
<b>Valor Total:</b>		<b>R\$ 67.880,00</b>

Fonte: Autor (2020).

Tabela 2: Descrição dos valores do equipamento novo comparado com o estudo.

<b>Descrição</b>	<b>Valores</b>
Elevador novo com características semelhantes	R\$ 148.050,90
Investimento adequação e manutenção do elevador	R\$ 67.880,00
<b>Economia financeira direta</b>	<b>R\$ 80.170,90</b>

Fonte: Autor (2020).

## 5. CONCLUSÃO

O estudo mostra a importância dos cálculos da mecânica clássica empregados na engenharia para seleção e dimensionamento de equipamentos.

Com o auxílio da planilha de cálculo desenvolvida será mais rápido e prático para novas manutenções e adequações desse mesmo tipo de segmento. Percebeu-se a importância do Engenheiro Mecânico presente na indústria, pois efetuando cálculos, conhecendo os esforços atuantes e as legislações competentes torna-se possível realizar o dimensionamento, permitindo o desenvolvimento de novas obras e trabalhos com um menor custo e principalmente mantendo a segurança para os trabalhadores.

Realizou-se o dimensionamento encontrando o fator de segurança da carga estática de 1,2, o valor do torque de 1561,88 N.m e potência de 14,23 cv para seleção do motorreductor que atenda aos requisitos mínimos para elevação da carga. Selecionou-se o motorreductor da marca SEW com torque de saída mínimo de 1640 N.m e potência de 11 kW (14,75 cv).

Com o estudo e a realização do projeto da cabine tornou-se possível visualizar as adequações na cabine de operação. Também foi necessário a implementação de chaves de ruptura positiva, para proteção de todas as portas do equipamento, pois o mesmo não possuía nenhuma trava elétrica, e mesmo que seja violado mecanicamente existirão proteções eletroeletrônicas, atendendo os requisitos exigidos, aumentando a segurança dos colaboradores, evitando a possibilidade de intervenções e paralisação da obra.

Os valores calculados comparados ao catálogo do fabricante atendem de forma satisfatória a adequação do equipamento e dentro das respectivas normas. Com a adequação é possível utilizar o equipamento novamente em novas obras da construção civil. As adequações no elevador apresentaram uma economia de 54% para empresa em relação a compra de um novo elevador pinhão e cremalheira.

Como sugestão para estudos futuros relacionados a elevação de carga utilizando elevador deste tipo construtivo, pode-se dimensionar um novo sistema de freio diferente do comercial usado e que atenda as devidas normas de segurança. Também com o auxílio da planilha de cálculo desenvolvida, serve de apoio, por exemplo, para um projeto especial de dimensionamento de pinhão e cremalheira.

## Agradecimentos

Agradeço a Deus, por me fornecer energia suficiente diante das dificuldades, a empresa RIAL ELEVADORES pela oportunidade, ao professor Luiz Carlos de Cesaro Cavaler pelas valiosas orientações e a todos os amigos e familiares que me apoiaram durante o desenvolvimento desse trabalho.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) **ABNT NBR 16200:2013** - Elevadores de canteiros de obras para pessoas e materiais com cabina guiada verticalmente - Requisitos de segurança para construção e instalação.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, Normas Regulamentadoras **NR 17:** Ergonomia (2018).

Associação Brasileira de Normas Técnicas, Normas Regulamentadoras **NR 18.14:2011** Movimentação e Transporte de Materiais e Pessoas.

AGUILERA, H. (2011). **Elevadores cremalheira**. Disponível em AGEU - Elevadores: <http://ageuelevadores.webnode.com.br/elevador-cremalheira/> Acesso em Maio 2020.

ELEVATORBOBS. (2010). **Construction Hoists**. Disponível em Elevatorbobs: [http://www.elevatorbobs-elevator-pics.com/hoists\\_p1.html](http://www.elevatorbobs-elevator-pics.com/hoists_p1.html) Acesso: Maio 2020.

GESEC. Elevador de Tração a Cabo e Cremalheira. 2016.

HALLIDAY, David, RESNIK Robert, KRANE, Denneth S. Física 1, volume 1, 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6336-1:** Calculation of load capacity of spur and helical gears — Part 1: Basic principles, introduction and general influence factors. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6336-2:** Calculation of load capacity of spur and helical gears — Part 2: Calculation of surface durability (pitting). 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6336-3:** Calculation of load capacity of spur and helical gears — Part 3: Calculation of tooth bending strength. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6336-5:** Calculation of load capacity of spur and helical gears — Part 5: Strength and quality of materials. 2003.

LOPES, José Carlos Leite; GALDINO, Luciano. **Dimensionamento do sistema cremalheira pinhão de dentes retos**. Revista Augusto Guzzo. São Paulo, n. 12, p. 127-139, 2013.

METAX, E. Sobre a empresa: **Elevadores Metax**. Site da Elevadores Metax, 2019. Disponível em: <http://www.metax.com.br/aluguel-de-elevador-de-cremalheira-id-88>. Acesso em: Outubro 2019.

Ministério do trabalho e emprego. **NR 12**: NR-12 - Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. São Paulo, 2019.

NORTON, R.L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. Tradução João Batista de Aguiar et al. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 20'3.

Rodrigues, Ricardo. Importância dos elevadores de carga na construção civil, 2013. Disponível em: <https://engiobra.com/elevadores-de-carga/>. Acesso: Setembro 2019.

RUDENKO, N, **Máquinas de Elevação e Transporte**, Rio de Janeiro, 1976.

SILVA, WESLEY. Proposta De Melhoria Da Segurança Em Elevadores Na Construção Civil De Guarulhos Através De Normas Técnicas. São Paulo: Faculdade Eniac 2016.

VIANA, SOUZA. Movimentação e Transporte de Materiais e Pessoas – Elevadores de Obra. Brasil. 2001.