

# Sistema automático de medição de velocidade em limitadores de velocidade de elevadores

Marco Alexandre Sacramento Tomé<sup>1</sup>; Pedro Jorge Borges Fontes Negrão Beirão<sup>1</sup>; Luis Manuel Ferreira Roseiro<sup>1</sup>; Frederico Miguel do Céu Marques dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Mecânica (DEM); <sup>2</sup>Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE)

Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

## INTRODUÇÃO

Um elevador com casa de máquinas é um sistema complexo, que pode ser esquematizado de acordo com a Figura 1.

Este sistema de elevação inclui uma cabina, um contrapeso, uma máquina de tração, um quadro de comando, um sistema de guias (de cabina e de contrapeso) e ain-

da vários elementos de segurança (onde se destacam o limitador de velocidade, o paraquedas, o amortecedor e a célula de carga). Relativamente à classificação dos elevadores quanto ao tipo de tração e à localização da casa das máquinas existe uma infinidade de opções e de construções diferentes. No entanto, e no que diz respeito ao limitador de velocidade, este pouco muda.

Um limitador de velocidade de um elevador, cujo exemplo se pode visualizar na Figura 2, é um dispositivo de segurança que atua quando a velocidade da cabina do elevador ultrapassar um valor limite de segurança (velocidade de disparo).

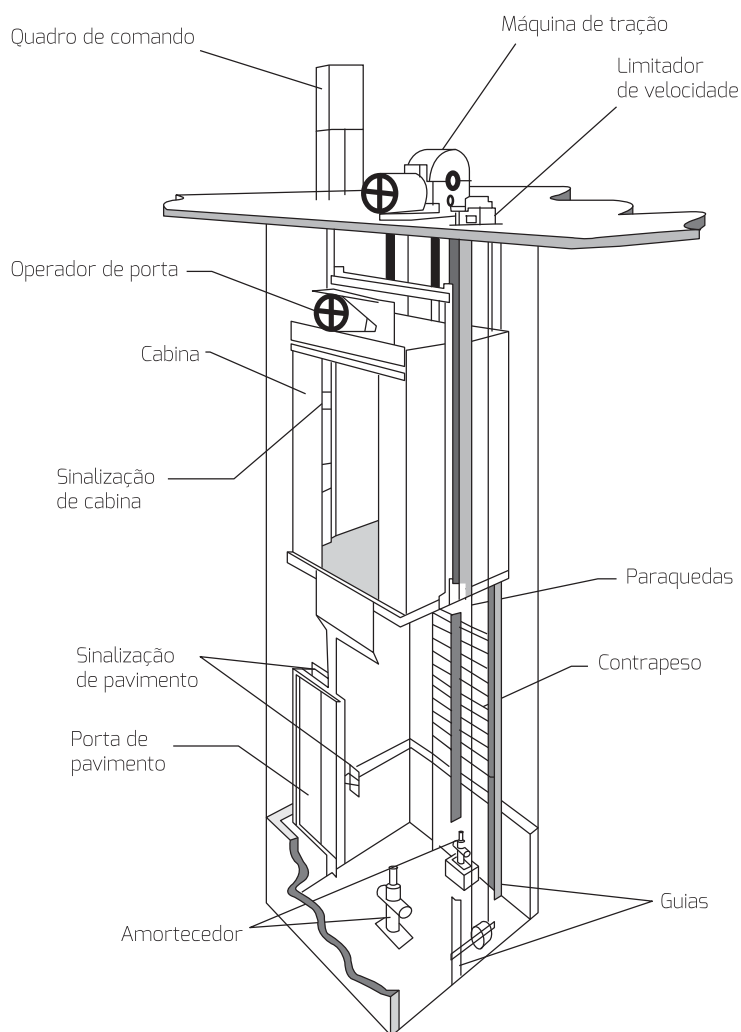
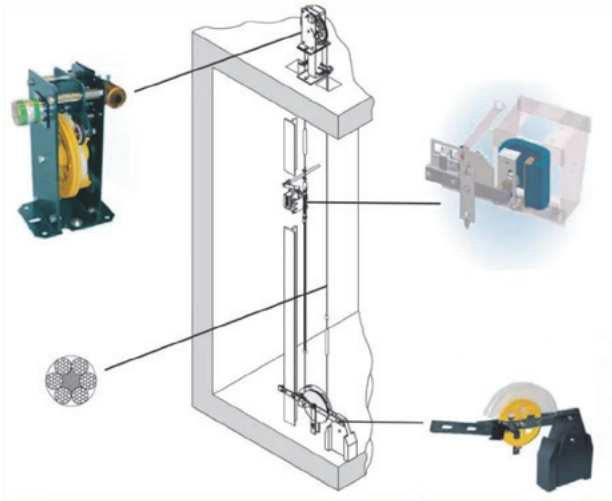


Figura 1. Esquema de elevador com casa das máquinas (baseado em Schindler, 2013).



Figura 2. Limitador de velocidade (Gervall, s.d.).

Está ligado, por intermédio de um cabo, à cabina do elevador, bem como ao paraquedas e à roda tensora, tal como esquematizado na Figura 3. Este cabo é animado pelo movimento da cabina do elevador e transmite esse movimento à roda do limitador de velocidade. Por intermédio de um sistema de roda oscilante, idêntico ao da Figura 3, ou por qualquer outro tipo de sistema (como por exemplo centrífugo), faz uma comparação contínua e mecânica



**Figura 3.** Sistema completo de limitador de velocidade com paraquedas e roda tensora (Wittur, s.d.).

da velocidade da cabina com a velocidade de disparo.

Através da Norma Portuguesa NP EN 81-1:2000 para fabrico e montagem de elevadores (Instituto Português da Qualidade, 2000) a velocidade de disparo é, para a maioria dos elevadores, no máximo 40% superior à velocidade nominal do elevador. Quando atingida a velocidade de disparo, o limitador de velocidade é trancado mecanicamente e faz parar o cabo, que por sua vez, atua o paraquedas fazendo assim com que a cabina pare.

### ENQUADRAMENTO

Os limitadores de velocidade existentes nos elevadores são responsáveis pela redução do risco de acidentes derivados da velocidade excessiva que, eventualmente, os elevadores possam atingir. Para determinar o seu bom funcionamento e devido à sua importância, são submetidos a inspeções periódicas por parte de entidades certificadas para o efeito. Essas inspeções incluem a medição da velocidade de disparo do limitador de velocidade, sendo ainda avaliado o seu estado de conservação.

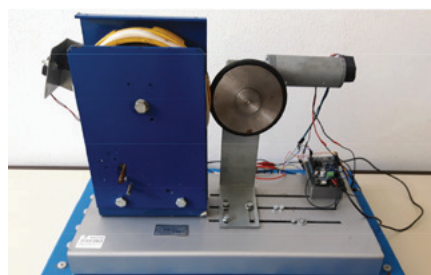
Após esta breve introdução percebe-se a extrema importância da correta medição da velocidade de disparo do limitador de velocidade. No entanto, o método geralmente utilizado para a realização destas inspeções é pouco rigoroso e os equipamentos atualmente empregues para esse efeito podem não ser os mais adequados, sendo baseados na excitação da roda do limitador de veloci-

dade e consequente medição da sua velocidade (por exemplo através de um tacómetro). Além disso, o procedimento habitual coloca os operadores muito próximos do limitador de velocidade (o qual está desprovido de proteção) durante o ensaio, não garantindo assim a segurança dos mesmos. Adicionalmente, a correta leitura da velocidade de disparo não é garantida devido a vários fatores, como por exemplo:

- > Dificuldade no controlo da velocidade que anima a roda do limitador de velocidade;
- > Caso seja induzido um pico de rotação instantâneo na roda do limitador de velocidade esta poderá trancar sem que seja possível medir a correspondente velocidade de disparo.

### DESENVOLVIMENTO

Identificou-se assim uma oportunidade de inovação e, neste contexto, foi projetado e desenvolvido um protótipo, visível na Figura 4, de um sistema automático de medição da velocidade linear em limitadores de velocidade de elevadores. Este pode dividir-se em duas componentes – mecânica e eletrónica.



**Figura 4.** Protótipo de sistema automático de medição da velocidade linear em limitadores de velocidade.

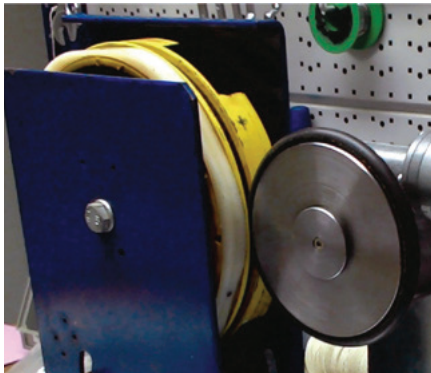
O objetivo principal deste sistema inovador consiste em testar, de forma rigorosa, o funcionamento de limitadores de velocidade. Para tal recorre a uma combinação entre um inovador equipamento mecânico e dispositivos eletrónicos disponíveis comercialmente, nomeadamente sensores ligados a um sistema de aquisição de dados. O sistema garante a execução do teste, de forma automática, em várias situações anómalas de funcionamento, permitindo assim que o utilizador tenha acesso, em tempo real aos dados dos ensaios, mediante uma interface gráfica disponibilizada num dispositivo eletrónico móvel (*smartphone* ou *tablet*).

O princípio de funcionamento deste protótipo e, consequentemente, do sistema de medição da velocidade em limitadores de velocidade de elevadores baseia-se na medição da velocidade linear da roda do limitador de velocidade. Para isso foi necessário desenvolver um meio capaz de movimentar a roda do limitador de velocidade usado no protótipo. Foram abordadas várias hipóteses:

- > Utilização de transmissão flexível por cabo;
- > Utilização de transmissão flexível por correia trapezoidal;
- > Utilização de transmissão por contacto/atrito por uma roda com *o-ring*.

As duas primeiras hipóteses eram as melhores, desde que fosse assegurada uma correta montagem e ainda o não escorregamento da correia ou do cabo. No entanto, devido à construção do limitador de velocidade usado neste protótipo, foram descartadas, pois eram demasiado complexas de montar (seria necessário desmontar o limitador para passar o cabo ou a correia até à roda do limitador) e, consequentemente, a medição tornar-se-ia muito dispendiosa. A última hipótese baseia-se na utilização de transmissão por contacto, através de uma roda. Esta hipótese pode também originar a mesma situação de escorregamento. Este problema pode ser eliminado desde que exista uma força de atrito entre ambas as rodas. Verificou-se que a aplicação de um *o-ring* (devido ao tipo material de que é feito) permite ultrapassar este problema e reduzir o ruído e as vibrações de contacto entre os componentes. Deste modo é apenas necessário encostar a roda com *o-ring*

à roda do limitador de velocidade, tal como a Figura 5 mostra.

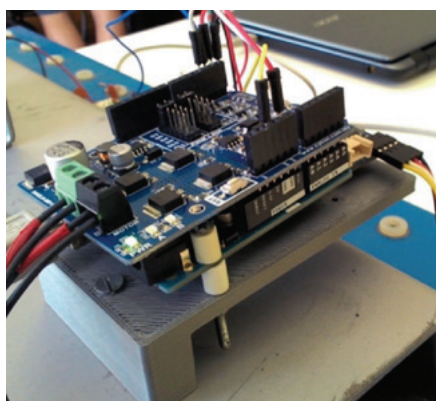


**Figura 5.** Contacto da roda do limitador de velocidade (esquerda) com a roda com *o-ring* (direita).

Esta última hipótese contribui ainda para a simplificação do cálculo da velocidade linear. Se for garantido que não existe escorregamento, a velocidade linear da roda do limitador de velocidade é igual à velocidade linear da roda com *o-ring*.

O protótipo inclui vários componentes mecânicos e eletrónicos para medir a velocidade linear da roda com *o-ring*, nomeadamente:

- > Transmissão por contacto/atrito mediante roda com *o-ring*;
- > Motorreductor elétrico para movimentar a roda com *o-ring*;
- > Placa *Arduino* para aquisição e processamento de dados do protótipo;
- > Placa *Bluetooth* para comunicação entre a placa *Arduino* e um *tablet* ou um *smartphone* com sistema *Android*, usados como *interface* homem-máquina de comunicação entre o utilizador e o protótipo;
- > Placa de potência (também designada ponte H) para controlar o motorre-



**Figura 6.** Componentes eletrónicos.

tor (e porque a tensão e intensidade de corrente deste componente é superior à que a placa *Arduino* suporta). Este componente eletrónico permite, respetivamente, controlar a velocidade do motorreductor utilizando uma saída *pulse with modulation* (PWM) e a direção de rotação do motorreductor recorrendo a uma saída digital;

- > *Encoder*, montado no eixo do motorreductor, para efetuar a medição da velocidade da roda do limitador de velocidade.

A Figura 6 mostra alguns dos componentes eletrónicos já montados (placa *Arduino*, placa de potência e placa *Bluetooth*) no suporte impresso em 3D. De notar que a placa de potência é montada diretamente na placa *Arduino*, logo todas as ligações que têm de ser feitas na placa *Arduino* passam a ser feitas na placa de potência. Deste modo consegue-se um acoplamento mais compacto.

O sistema proposto para o cálculo da velocidade da roda do limitador de velocidade é visível na Figura 7.

Este sistema é constituído pela roda com *o-ring*, pelo motorreductor e pelo *encoder* (localizado o mais à direita na Figura 7), responsável pela obtenção dos valores a usar no cálculo da velocidade.

Considera-se que não existe escorregamento entre a roda do limitador de velocidade e a roda com *o-ring*. Deste modo pode-se admitir que vão ter ambas a mesma velocidade linear e, sendo assim, torna-se desnecessário obter dados relativos à roda do limitador de velocidade (à exceção da velocidade de disparo, definida pelo fabricante).



**Figura 7.** Sistema para o cálculo de velocidade.

$$Vel_{\text{limitador}} = Vel_{\text{roda}} \quad (1)$$

Seguidamente é necessário calcular a velocidade da roda com *o-ring*. No entanto é necessário definir todo o sistema até chegar à roda com *o-ring*. Primeiro é necessário obter o número de rotações por segundo da roda com *o-ring*:

$$\text{sinal do encoder} = \frac{\text{número de impulsos}}{10 \text{ milissegundos}} \quad (2)$$

É necessário extrapolar o valor de impulsos para impulsos por segundo. Para tal calcula-se previamente o fator de conversão de tempo  $Ft$  (1 s corresponde a 1000 ms):

$$Ft = \frac{1000 \text{ milissegundos}}{\text{intervalo entre medições}} = \quad (3)$$

$$= \frac{1000 \text{ milissegundos}}{10 \text{ milissegundos}} = 100$$

Substituindo (2) em (1) obtém-se o valor de impulsos por segundo:

$$\text{sinal encoder} \times Ft = \frac{\text{número de impulsos}}{10 \text{ milissegundos}} \times 100 \quad (4)$$

De seguida é necessário aplicar um fator de conversão de interrupção  $Fa$  que corresponde à programação da placa *Arduino*:

$$\text{sinal encoder} \times Ft \times \frac{1}{Fa} = \quad (5)$$

$$= \frac{\text{número de impulsos}}{10 \text{ milissegundos}} \times 100 \times \frac{1}{2}$$

É necessário converter este valor em rotações por segundo. Para tal recorre-se à resolução do *encoder*, expressa em impulsos por rotação:

$$\text{sinal encoder} \times Ft \times \frac{1}{\text{resolução encoder} \times Fa} = \quad (6)$$

$$= \frac{\text{n.º rotações encoder}}{\text{segundo}}$$

Como se pode observar na Figura 7, o motorreductor também influencia este cálculo:

$$\text{sinal encoder} \times Ft \times \frac{1}{\text{resolução encoder} \times Fa \times \text{redução motor}} = \frac{\text{n.º rotações roda o-ring}}{\text{segundo}} \quad (7)$$

Finalmente é necessário converter o valor de rotações por segundo para velocidade linear:

$$\text{Vel}_{\text{limitador}} = \frac{\pi \times \text{diâmetro roda com o-ring} \text{ [mm]} \times \frac{\text{n.º rotroda o-ring}}{\text{segundo}}}{1000} \quad (8)$$

Obtendo-se:

$$\text{Vel limitador [m/s]} = \text{sinal encoder} \times Ft \times \frac{\pi \times \text{diâmetro roda o-ring [mm]}}{\text{resolução encoder} \times Fa \times \text{redução motor} \times 1000} \quad (9)$$

Para que o utilizador possa interagir com o protótipo criado e ainda obter, em tempo real, o gráfico da velocidade linear em função do tempo, desenvolveu-se uma aplicação – sob a forma de uma interface gráfica – para um dispositivo *Android*, recorrendo ao *software open-source App Inventor* (Massachusetts Institute of Technology, 2017).

O código desenvolvido e posteriormente inserido no dispositivo *Android* inclui todo este cálculo. Há também uma parte do código dedicada ao controlo da velocidade do motorreductor, sendo que no caso des-

te protótipo foram feitos quatro mapas de controlo:

- > Ensaio com cenário em que o elevador se encontra em escorregamento linear e lento;
- > Ensaio com cenário em que o elevador se encontra em queda livre;
- > Desencravar o limitador de velocidade após o ensaio;
- > Desligar o motorreductor elétrico.

Como consequência de toda a programação do dispositivo *Android* e da placa *Arduino*, após o ensaio terminar obtém-se um relatório final. A Figura 8 é um exemplo para um cenário de escorregamento.

*"Os limitadores de velocidade existentes nos elevadores são responsáveis pela redução do risco de acidentes derivados da velocidade excessiva que, eventualmente, os elevadores possam atingir".*

#### VERSÃO FINAL

O protótipo desenvolvido poderá servir de base para a construção de uma possível versão final do sistema para medição de velocidade de limitadores de velocidade de elevadores.

Os principais requisitos a observar são:

- > Portabilidade: instalação direta deste sistema no limitador de velocidade para que não seja necessário retirar o limitador de velocidade do elevador para realizar o ensaio;
- > Compacidade: devido ao local específico, de difícil acesso, onde se encontra montado o limitador de velocidade no elevador;
- > Facilidade de instalação: reduzir ao máximo o tempo de ensaio e com isso o seu custo.

Da análise destes requisitos projetou-se uma versão final do sistema. Na Figura 9 observa-se um modelo tridimensional (3D) do sistema completo e instalado num limitador de velocidade genérico.

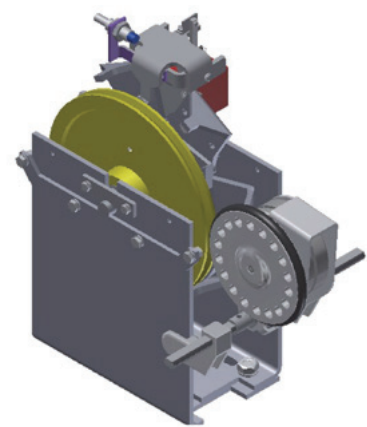


Figura 9. Versão final do equipamento (modelo 3D).

O princípio de funcionamento dos componentes mecânicos do sistema é visível na Figura 10. Foi idealizado com o intuito da roda com *o-ring* girar num pino fixo com uma mola de torção. A mola de torção e o pino fixo são usados para garantir que a roda com *o-ring* do encoste à roda do limitador de velocidade e exerça a força necessária para que não haja escorregamento entre ambas.

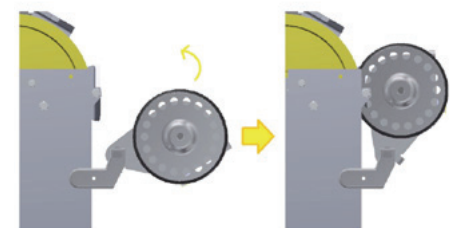


Figura 10. Princípio de funcionamento.

É necessário ter em consideração que o suporte dos componentes mecânicos do sistema tem de conter o pino de rotação e



Figura 8. Exemplo de relatório final obtido após ensaio de escorregamento.

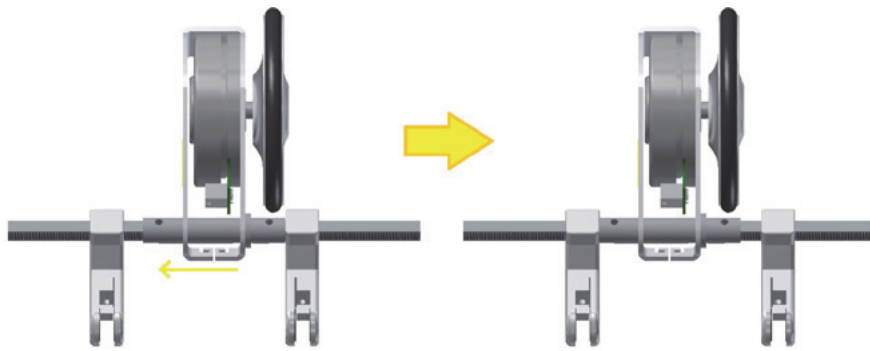


Figura 12. Ajuste longitudinal.

ainda efetuar a ligação ao limitador de velocidade. Assim, projetou-se o sistema visível na Figura 11.



Figura 11. Suporte dos componentes mecânicos do sistema.

O pino de rotação é acoplado a duas peças rosçadas que possibilitam um ajuste longitudinal. Este ajuste longitudinal permite a deslocação em ambos os sentidos, como esquematizado na Figura 12.

### TRABALHO FUTURO

Numa possível versão final do sistema para medição de velocidade de limitadores de velocidade de elevadores poder-se-ão efetuar também algumas melhorias.

Ao nível do código da programação, tanto em *Arduino* como em *Android*, será possível resolver alguns erros que eventualmente subsistam e melhorar a interface gráfica, introduzindo novas funcionalidades, como por exemplo:

- > Incluir novos mapas de ensaio;
- > Incluir mapas para permitir o ensaio nos dois sentidos de rotação (ensaiar descida/subida do elevador pois já existem limitadores de velocidade que disparam nos dois sentidos);
- > Elaborar relatórios que poderiam ser enviados automaticamente para a en-

tidade responsável pelo ensaio e para a entidade certificadora do elevador (agilizando todo o processo burocrático);

- > Incorporar, no programa *Android*, um tutorial relativo à instalação do sistema nos vários limitadores existentes nos elevadores;
- > Criar, no programa *Android*, uma base de dados com as características dos limitadores de velocidade (desta forma o limitador de velocidade é aprovado ou reprovado sem intervenção do operador, evitando erros de leitura).

Poder-se-ão ainda reduzir erros de medição inerentes à componente mecânica do sistema, como por exemplo:

- > Inserir um coeficiente que reflita a força aplicada entre as rodas em contacto (obtida pela mola de torção), passível de afetar a velocidade obtida;
- > O motorreductor elétrico deverá ter uma relação de redução o mais eficiente possível ou até não ter redução

(e assim eliminar possíveis erros devido a folgas entre o motor e a roda com *o-ring*).

### CONCLUSÃO

Constituíram as principais preocupações desta invenção a determinação, com maior rigor, da velocidade linear do limitador de velocidade de um elevador. O conceito do dispositivo desenvolvido – compacto, portátil e de fácil acoplamento (devido aos locais específicos e de difícil acesso onde se encontram habitualmente instalados os limitadores de velocidade) – possibilita a sua instalação direta no limitador de velocidade de forma a evitar retirá-lo do seu local de funcionamento para realizar o ensaio. Refira-se ainda a possibilidade de adaptação deste sistema inovador à maioria dos limitadores de velocidade já existentes.

Esta invenção foi publicada no Boletim da Propriedade Industrial n.º 173/2017, de 6/9/2017, do Instituto Nacional da Propriedade Industrial – Modelo de Utilidade Nacional n.º 11402 – referente a um “*Sistema automático de medição de velocidade em limitadores de velocidade de elevadores*”.

### BIBLIOGRAFIA

- Schindler (2013). Manual de Transporte Vertical em Edifícios. Acedido em 02 de Novembro de 2017 - <http://www.schindler.com/content/dam/web/br/PDFs/NI/manual-transporte-vertical.pdf>
- Gervall (s.d.). Overspeed governors Type 60/63. Acedido em 02 de Novembro de 2017 - <http://www.gervall.com/pdf/productos/int/limitador60.pdf>
- Wittur (s.d.). System Solution S-Pack 01. Acedido em 02 de Novembro de 2017 - [https://www.wittur.com/pt/especializados/modernizacao-de-elevadores-existentes-\(en8180-snel\)/s-pack.aspx](https://www.wittur.com/pt/especializados/modernizacao-de-elevadores-existentes-(en8180-snel)/s-pack.aspx)
- Instituto Português da Qualidade (2000). Norma Portuguesa NP EN 81-1:2000: Regras de segurança para o fabrico e instalação de ascensores eléctricos – Parte 1. Acedido em 02 de Novembro de 2017 - [http://www.thyssenkrupp-elevadores.pt/pdf/pt/en81\\_1\\_2000ascensoreselectricos.pdf](http://www.thyssenkrupp-elevadores.pt/pdf/pt/en81_1_2000ascensoreselectricos.pdf)
- Massachusetts Institute of Technology (2017). MIT App Inventor Public Open Source. Acedido em 02 de Novembro de 2017 - <http://appinventor.mit.edu/appinventor-sources> ▲

*"O princípio de funcionamento deste protótipo e, conseqüentemente, do sistema de medição da velocidade em limitadores de velocidade de elevadores baseia-se na medição da velocidade linear da roda do limitador de velocidade".*