



ARTHUR PHILLIPE MARCONDES DE SOUZA

**PROJETO DE SEGURANÇA PARA ELEVADORES DE CARGA
EM CONFORMIDADE COM A NR 12 ABNT**

LAVRAS-MG

2023

ARTHUR PHILLIPE MARCONDES DE SOUZA

**PROJETO DE SEGURANÇA PARA ELEVADORES DE CARGA EM
CONFORMIDADE COM A NR 12 ABNT**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Domingues de Jesus

LAVRAS-MG

2023

ARTHUR PHILLIPE MARCONDES DE SOUZA

**PROJETO DE SEGURANÇA PARA ELEVADORES DE CARGA EM
CONFORMIDADE COM A NR 12 ABNT**

**SAFETY DESIGN FOR FREIGHT ELEVATORS IN COMPLIANCE WITH
REGULATORY STANDARD 12 OF THE BRAZILIAN ASSOCIATION OF
TECHNICAL STANDARDS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel

APROVADA em: 13 de março de 2023

Prof. Dr. Paulo Vitor Grillo de Souza

Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco

Prof. Dr. Fábio Domingues de Jesus
(Orientador)

LAVRAS-MG

2023

Dedico ao meu avô, Orlando Elias de Souza,
que não está mais entre nós, mas cujo legado
vai me acompanhar para sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus. Só por Ele é possível tudo que vivemos

A todos da minha Família, pela educação que me ofereceram e pela estrutura proporcionada durante todos estes anos. Em especial três pessoas que mais me motivam a fazer o que eu fiz e chegar a este ponto de concluir o curso: minha filha, Maitê Santana de Souza; minha mãe, Silvana Aparecida de Souza, que em momento algum desistiu de mim; e minha avó, Maria Aparecida Marcondes de Souza, que na ausência de minha mãe cuidou e ainda cuida de mim.

Ao Prof. Fábio Domingues de Jesus, orientador deste trabalho, e a todos os demais integrantes da UFLA: funcionários da administração e execução, gestores e professores, pela oportunidade de estudar e utilizar a estrutura da Instituição para minha formação acadêmico-profissional.

Pretendo de alguma forma devolver à sociedade todo o investimento despendido.

À empresa em que trabalho atualmente, Point Tecnologia, pelo suporte neste trabalho.

A todos os membros das repúblicas Último Gole e antiga Carandiru. Amigos que fiz durante esses anos de faculdade e que me auxiliaram e me acolheram em momentos difíceis longe da minha Família. Vocês também são minha família!

Obrigado a todos!

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um projeto de segurança para elevadores de carga orientado pela nova versão da NR12 - Norma Regulamentadora de Segurança de Máquinas e Equipamentos. Valendo-se de um CLP para controlar o equipamento, o projeto tem por objetivo oferecer máxima segurança aos trabalhadores que têm contato com o elevador. Trata-se de um projeto de elevador de carga o qual se utiliza de dispositivos de segurança como *reset*, botão de emergência e chaves de bloqueio de portas de acesso da máquina, com monitoração toda feita por um CLP de segurança capaz de garantir a incolumidade especialmente de quem opera a máquina, protegendo o trabalhador contra possíveis riscos à sua integridade física e psíquica. O estudo trafega por aspectos relacionados ao funcionamento, à segurança e à normalização sobre elevadores de carga. O trabalho teve como objetivo geral construir um projeto de segurança para elevador de carga que, valendo-se de recursos de automação e controle, tem por finalidade oferecer máxima segurança ao ascensorista e demais pessoas que tenham contato direto ou proximidade física com o equipamento. O estudo baseou-se na metodologia de um projeto-piloto, ideal para aplicação analógica a pesquisas que pretendem transmutar-se em prestação de serviço após o autor obter a qualificação e a habilitação para tanto, havendo uma simulação de mensuração dos riscos com base na literatura pertinente, especialmente nos conteúdos da NR 12, para que posteriormente fosse projetado o sistema de segurança para elevadores de carga. Os procedimentos para a efetivação do protótipo foram, basicamente, o esquema elétrico e a parametrização do CLP de segurança. Para a construção do sistema elétrico, foi utilizado o programa EPLAN e como ferramenta de controle dos processos automatizados foi utilizado o CLP Siemens (3sk2122-1aa10). A interface de programação que parametrizou o CLP foi o *Safety Es*. Entre os componentes materiais do protótipo, além do CLP de segurança, foram utilizados o botão de emergência, o botão *reset*, as chaves de segurança e os contadores de segurança. Uma vez que o protótipo apresentado como sistema de segurança em um elevador de carga de grande dimensão foi totalmente orientado pela normalização dada pela ABNT, notadamente pela NR 12, e, além dos dispositivos cuidadosamente eleitos, foi idealizada automação com o esquema elétrico adequado e o controle centralizado na inteligência de um CLP de segurança, acredita-se que o sistema automatizado construído, uma vez colocado em prática, seja capaz de diminuir e eliminar riscos à incolumidade do trabalhador que interage com o equipamento.

Palavras-chave: Elevador de Carga. Segurança de Máquinas e Equipamentos. Norma Regulamentadora 12 (NR 12). Controlador Lógico Programável. Incolumidade do Trabalhador.

ABSTRACT

This work describes the development of a security project for cargo elevators guided by the new version of NR12 - Regulatory Standard for Safety of Machines and Equipment. Using a PLC to control the equipment, the project aims to offer maximum safety to workers who come into contact with the elevator. It is a cargo elevator project that uses safety devices such as reset, emergency button, and locking keys for access doors of the machine, with monitoring all done by a safety PLC capable of ensuring the safety of the machine operator, protecting the worker against possible risks to their physical and psychological integrity. The study covers aspects related to the operation, safety, and standardization of cargo elevators. The overall objective of the work was to build a security project for a cargo elevator that, using automation and control resources, aims to offer maximum safety to the elevator operator and other people who have direct contact or physical proximity to the equipment. The study was based on the methodology of a pilot project, ideal for analogical application to research that intends to become a service after the author obtains the qualification and the authorization to do so, with a simulation of risk measurement based on relevant literature, especially the contents of NR 12, so that the security system for cargo elevators could be designed later. The procedures for the implementation of the prototype were basically the electrical schematic and the parameterization of the safety PLC. For the construction of the electrical system, the EPLAN program was used, and the Siemens PLC (3sk2122-1aa10) was used as the tool for controlling automated processes. The programming interface that parameterized the PLC was the Safety Es. Among the material components of the prototype, in addition to the safety PLC, the emergency button, reset button, safety keys, and safety contactors were used. Once the prototype presented as a security system in a large cargo elevator was fully guided by the standardization given by ABNT, notably by NR 12, and, in addition to the carefully selected devices, automation with the appropriate electrical schematic and centralized control in the intelligence of a safety PLC was designed, it is believed that the automated system built, once put into practice, is capable of reducing and eliminating risks to the safety of the worker who interacts with the equipment.

Keywords: Cargo Elevator. Safety of Machines and Equipment. Regulatory Standard 12 (NR 12). Programmable Logic Controller. Worker Safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Primeiras empresas fabricantes de elevadores no mundo..... | 16 |
| Figura 1 - Elevador de carga..... | 17 |
| Figura 2 – Projeto de elevador de carga do tipo cremalheira..... | 20 |
| Quadro 2 – Categorias numeradas da Categoria de Risco B. ABNT, 2013..... | 24 |
| Figura 3 - Possíveis categorias da Matriz de Seleção da categoria dos dispositivos de segurança | 26 |
| Figura 4 – Matriz de seleção da categoria dos dispositivos de segurança..... | 26 |
| Figura 5 – CLP Siemens 3sk2122-1aa10..... | 33 |
| Figura 6 – Botão padrão retentivo de emergência conforme NR 12..... | 34 |
| Figura 7 – Botão <i>reset</i> Schneider..... | 35 |
| Figura 8 – Chave de segurança D4NL-4EFA-B Omron..... | 35 |
| Figura 9 – Contator de segurança Weg..... | 36 |
| Figura 10 – Imagens do protótipo de elevador de carga..... | 37 |
| Figura 11 – Esquema elétrico do projeto de segurança para elevador de cargas..... | 38 |
| Figura 12 - <i>Slides</i> 2, 3 e 4 do esquema elétrico do projeto de segurança para elevador de cargas.. | 39 |
| Figura 13 - <i>Slides</i> 5 e 6 do esquema elétrico do projeto de segurança para elevador de cargas | 41 |
| Figura 14 - <i>Slides</i> 7, 8 e 9 do esquema elétrico do projeto de segurança para elevador de cargas.. | 43 |
| Figura 15 – Diagrama 1 da programação do CLP..... | 45 |
| Figura 16 – Diagramas 2 e 3 da programação do CLP..... | 46 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

| | |
|---------|---|
| Ø | zero cortado |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| a.C. | antes de Cristo |
| AC | Circuitos de corrente alternada |
| AND | operador booleano “E” |
| ART | Anotação de Responsabilidade Técnica |
| CLP | Controlador Lógico Programável |
| CONFEA | Conselho Federal de Engenharia e Agronomia |
| CPU | Unidade de Processamento Central |
| CREA | Conselho Regional de Engenharia e Agronomia |
| DC | Circuitos de corrente contínua |
| HRN | <i>Hazard Rating Number</i> |
| IESAB | Indústria de Elevadores e Sistemas do Brasil |
| NBR | Norma Brasileira Regulamentadora |
| NBR ISO | versão brasileira da International Organization for Standardization |
| NBR NM | Norma Brasileira Norma Mercosul |
| NEMA | <i>National Electrical Manufacturers Association</i> |
| NA | contatos normalmente abertos |
| NF | contatos normalmente fechados |
| NR | Norma Regulamentadora |
| PL | <i>Level Performance</i> |
| PLC | <i>Programmable Logic Controller</i> |
| TRIAC | <i>Triode for Alternating Current</i> |
| UFLA | Universidade Federal de Lavras |
| UFPE | Universidade Federal de Pernambuco |
| VAC | Tensão alternada |
| VCC | Tensão em corrente contínua |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1.1 Motivação..... | 11 |
| 1.2 Objetivos..... | 12 |
| 1.3 Estrutura do trabalho..... | 12 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 14 |
| 2.1 Elevadores de carga..... | 14 |
| 2.1.1 Composição e funcionamento..... | 17 |
| 2.2 Norma Regulamentadora (NR) 12: segurança de máquinas e equipamentos..... | 22 |
| 2.3 Automação em um projeto de segurança para elevadores de carga..... | 27 |
| 2.3.1 Controlador Lógico Programável (CLP)..... | 28 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 31 |
| 3.1 Tipo de pesquisa..... | 31 |
| 3.2 Aspectos éticos..... | 31 |
| 3.3 Procedimentos e materiais..... | 32 |
| 4 RESULTADO E DISCUSSÃO..... | 38 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 48 |
| REFERÊNCIAS | 49 |

1 INTRODUÇÃO

Promover segurança ao colaborador no ambiente de trabalho é uma obrigação constitucional do empregador (BRASIL, 1988). E quando aquele exerce seu ofício operando e/ou alimentando máquinas e equipamentos nos processos de produção de uma corporação, multiplicam-se os riscos, pois que o principal instrumento de trabalho possui componentes materiais metálicos, inexoráveis, maciços e automatizados, capazes de causar debilidades temporárias ou permanentes de membro, sentido ou função do corpo humano, o que também implica graves impactos na saúde mental do trabalhador.

Máquinas e equipamentos industriais são recursos utilizados no mercado produtivo para fabricação, montagem, recebimento ou movimentação de insumos. Podem ser compostos por um sistema mecânico, eletrônico, computadorizado, ou por todos esses componentes juntos, e realizam praticamente qualquer tipo de operação (KALATEC AUTOMAÇÃO, 2022).

Elevadores de carga são equipamentos muito utilizados nos setores da indústria e do comércio destinados à movimentação vertical de materiais diversos, veículos e até pessoas. Esses utilitários podem ser conceituados como “mecanismos que se utilizam de um motor elétrico ou hidráulico para realizar o deslocamento de cargas, com ou sem vida, no plano vertical ou inclinado” (LEONARDO, 2016, p. 12 *apud* MAIA NETO; FREITAS NETO; CATÃO, 2018).

Os elevadores de carga podem ser classificados como de grande ou de pequena dimensão. No caso dos primeiros, que são o objeto deste trabalho, diferem-se pelo fato de que, para o manejo das cargas, faz-se necessária a presença de pessoa(s) dentro da cabine, gerando, assim, maior necessidade de segurança (MAIA NETO; FREITAS NETO; CATÃO, 2018).

Os elevadores novos no mercado já contam com a tecnologia da eletrônica e microeletrônica, tanto para o controle lógico do sistema do elevador como para o sistema de acionamento de potência, porém, ainda existem muitos equipamentos com sistemas antigos os quais necessitam sofrer modernização em seu sistema (SILVA, 2017). E as inovações a serem implantadas devem ter em mente não só a modernidade, mas também e principalmente a sustentabilidade, o que implica o protagonismo da proteção das vidas envolvidas na operação do equipamento.

Nesse cenário, a Norma Regulamentadora 12 - de Segurança de Máquinas e Equipamentos - da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), remodelada em 2019 para garantir ainda maior segurança ao trabalhador que interage com produtos da automação, traz a normalização ideal para esses utilitários do mercado produtivo (ABNT, 2019). E, dentro

da mesma filosofia, o Controlador Lógico Programável (CLP) é o tipo de computador utilizado como um marco na apresentação de soluções mais confiáveis, rápidas e adaptáveis às demandas de segurança que se apresentam ao profissional responsável pelo controle e a automação (WEISS; GASPARIN; SCHLING, 2011).

Posto isso, este trabalho descreve o desenvolvimento de um projeto de segurança para elevadores de carga orientado pela nova versão da NR12 - Norma Regulamentadora de Segurança de Máquinas (ABNT, 2019). Valendo-se de um CLP para controlar o equipamento, o projeto tem por objetivo oferecer máxima segurança aos trabalhadores que têm contato com o elevador.

Trata-se de um projeto de elevador de carga que se utiliza de dispositivos de segurança como *reset*, botão de emergência e chaves de bloqueio de portas de acesso da máquina, com monitoração toda feita por um CLP de segurança capaz de garantir a incolumidade especialmente de quem opera a máquina, protegendo o trabalhador contra possíveis riscos à sua integridade física e psíquica. E, para isso, o estudo trafega por aspectos relacionados ao funcionamento, à segurança e à normalização sobre elevadores de carga.

1.1 Motivação

A automação é a tecnologia que dispõe da utilização de sistemas mecânicos, eletroeletrônicos e computacionais na operação e controle de processos (ARAÚJO, 2022). Essa tecnologia não veio para substituir o homem nas relações de produção, e sim para auxiliá-lo nos processos produtivos, notadamente no que se refere ao seu bem-estar no ambiente laboral.

O ser humano continua, portanto, como principal elemento do processo produtivo, razão pela qual máquinas e equipamentos devem ser projetados visando à máxima segurança de quem de alguma forma terá contato com eles, especialmente as pessoas que se encarregarão de operá-los.

Sendo assim, um projeto de elevador de cargas de grande dimensão exige a proatividade no sentido de se pensar quais riscos podem ser abortados ou ao menos minimizados, como pode ser otimizado um projeto nesse sentido e o porquê de utilizar esses ou aqueles dispositivos. A automação é indissociável do controle, uma vez que as máquinas devam ser integralmente conduzidas e orientadas pelo homem, mas também devem ser pensadas para além da tecnologia de meios, sendo a humanização dos processos a finalidade de toda e qualquer ideia científica e/ou tecnológica. Nesse sentido, mostra-se relevante um projeto de desenvolvimento de um

projeto para cabine do operador e a adequação do seu sistema de segurança (WARMLING; CAVALER, 2020).

Além disso, a compreensão de funcionamento do sistema de elevador e a integração das disciplinas ministradas em cursos que envolvem automação industrial e máquinas de elevação e transporte podem ser de grande valia para o desenvolvimento de outros trabalhos semelhantes, especialmente quando se fornece aos leitores um protótipo configurável, em que as condições básicas fornecidas são suficientes como paradigma (Cf. SILVA, 2017)

A proposta, portanto, tem como norte a busca de “soluções que não sejam apenas tecnicamente corretas, mas que consideram os problemas em sua totalidade, em sua inserção numa cadeia de causas e efeitos de múltiplas dimensões” (UFLA, 2020). Nesse sentido, acredita-se na relevância de um projeto de automação em que os meios (os instrumentos de automação e controle) tenham por finalidade a suprema segurança da pessoa humana, no caso o trabalhador.

1.2 Objetivo

Construir um projeto de segurança para elevador de carga que, valendo-se de recursos de automação e controle, tem por finalidade oferecer máxima segurança ao ascensorista e demais pessoas que tenham contato direto ou proximidade física com o equipamento.

1.3 Estrutura do trabalho

Visando à finalidade didática de um trabalho acadêmico-científico, após esta apresentação, o trabalho ordena os seguintes elementos textuais:

- a) o referencial teórico, que traz os conceitos e as considerações necessárias à compreensão do recorte de pesquisa e tem como descritores elevadores de carga; segurança de máquinas (NR 12) e Controlador Lógico Programável (CLP);
- b) a metodologia da pesquisa e do projeto, apresentando-se o tipo de estudo, os materiais e o procedimento que levaram à formulação do protótipo;
- c) o resultado e a discussão, consistentes no detalhamento e na demonstração do projeto de segurança;

- d) as considerações finais, assim delimitadas em substituição ao título “Conclusão” devido à natureza de projeto análogo a projeto-piloto, pelas razões apresentadas na seção Materiais e Métodos.

Como elemento pós-textual segue-se a seção Referências, nas quais, considerando-se especialmente as ilustrações do trabalho, foram listados, além dos referenciais teóricos que deram o embasamento científico ao trabalho, documentos de caráter publicitário que forneceram as imagens dos componentes utilizados no protótipo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Elevadores de carga

Máquinas e equipamentos costumam ser tomados como sinônimos, no entanto há uma sutil diferença entre ambos. Enquanto as primeiras são o objeto que, após iniciação faz um ou mais processos automáticos ou semiautomáticos; os últimos não necessariamente precisam ser automatizados e/ou necessitam de energia para funcionar, tornando a maior parte de sua utilização manual. Exemplos dados por Nascimento (2011) é o torno industrial, no qual o ser humano regula todos os processos de produção de determinada peça desejada, liga-o e ele se encarrega do restante; enquanto na guilhotina manual industrial é preciso empregar a força manual, seja ela hidráulica ou não.

Na literatura de revista, os utilitários que se servem a pequenos deslocamentos de cargas com ou sem vida são conceituados como equipamentos. Estes podem ser categorizados em três modalidades: equipamento de transporte; equipamento de elevação; equipamento de superfície e elevado. Equipamentos de transporte são responsáveis por mover cargas continuamente, não necessariamente com elevação, como esteiras, por exemplo; equipamentos de elevação são responsáveis por mover cargas em lotes, como elevadores e guindastes; equipamentos de superfície e elevado manuseiam a carga em lotes, e podem não ter capacidade de elevação, como o caso das empilhadeiras (RUDENKO, 1976).

Os elevadores de carga enquadram-se na modalidade equipamento de elevação e se destinam ao transporte vertical de pessoas, animais e objetos. E, embora esses equipamentos possam parecer uma invenção dos últimos tempos, a literatura registra que a utilização de dispositivos para o transporte vertical de cargas remonta a milhares de anos.

A técnica rudimentar foi desenvolvida por volta de 2.700 a.C., quando datam os primeiros registros de deslocamentos verticais ascendentes no Egito. Nessa mesma época, o faraó Zoser determinou em Dah-chur a construção da primeira pirâmide de pedra conhecida, revestida de grés de Tura; assim como primitivos aparelhos já eram utilizados pelos sumérios na Mesopotâmia para a construção de *ziggourats* (torres gigantescas de andares) e templos (SILVA, 2017).

Em 1500 a.C., os egípcios já utilizavam equipamentos movidos através de tração animal, que foram evoluindo através dos tempos e, a partir da revolução industrial, passaram a ser substituídos por máquinas a vapor (MAIA NETO; FREITAS NETO; CATÃO, 2018).

Consoante os escritos de Vitruvius, o matemático grego Arquimedes criou um elevador primitivo em 236 a.C., o qual era acionado por cabos de içamento enrolados em um tambor e girados por mão de obra aplicada a um cabrestante (SCHUMM, 2014).

Na Roma antiga um complexo subterrâneo de salas, currais e túneis ficava sob o Coliseu e, em vários intervalos, elevadores movidos por centenas de homens usando guinchos e contrapesos alçavam gladiadores e grandes animais através de poços verticais para a arena de batalha (SCHUMM, 2014).

No ano 64 Nero instalou um requintado elevador no palácio imperial, com cabina confeccionada em madeira de sândalo de odor, suspensa por um cabo e composta de quatro guias de madeira de lei para garantir movimento adequado e, para oferecer a segurança, foi fixada sob a cabina uma almofada de couro com a espessura de 1 metro. O fundo do poço tinha uma construção cuneiforme e, na hipótese de ruptura ou soltura do cabo, gerado por acidentes ou atentado, ocorria um efeito de frenagem que permitiria a sobrevivência dos passageiros sem grandes consequências além do susto. A tração da cabina era manual, executada por escravos que obedeciam ao comando por código em campainha. Para orientação de posição foram feitas marcas coloridas no cabo de tração de modo que a cabina parasse em um determinado andar (SILVA, 2017).

Em 1743, o rei Luís XV mandou construir o que foi chamado de “cadeira voadora” para permitir que uma de suas amantes acessasse seus aposentos no terceiro andar do Palácio de Versalhes. Utilizando-se da mesma técnica, uma “mesa voadora” em seu retiro *château de Choisy* permitia que ele e seus convidados jantassem sem a intrusão de criados (SCHUMM, 2014)

Em 1830 foi construído o primeiro elevador com acionamento mecânico em Derby na Inglaterra; em 1845 William Thompson (1824-1907) desenvolveu o primeiro elevador hidráulico; e em 1850 elevadores de carga movidos a vapor foram introduzidos nos Estados Unidos e, neste mesmo ano, é criado um sistema de coroa e sem fim para movimentar o tambor que enrolava a corda de tração. Esses elevadores movidos a vapor ou água já estavam disponíveis para venda em meados do século XIX. Porém, o desgaste e a deterioração das cordas em que esses equipamentos pendiam comprometia a segurança do transporte, especialmente de pessoas, porque, na hipótese de ruptura das cordas que tracionavam as plataformas, a queda era geralmente fatal para os usuários (SILVA, 2017).

Em 1851-1852, Elisha Graves Otis inventou um freio de segurança que revolucionou a indústria de transporte vertical: no caso de a corda de elevação quebrar, uma mola acionaria as

linguetas do carro do elevador, forçando-as a se posicionarem com *racks* nas laterais do poço e suspendendo o carro no lugar (SCHUMM, 2014).

O invento patenteado por Otis foi o primeiro que pôde, de fato, garantir a incolumidade no transporte de cargas verticais, por apresentar sistema de segurança em caso de falha do cabo (ALVES, 2022). Por ser o precursor do atual freio de segurança que é acionado pelo limitador de velocidade sempre que a cabina exceder a velocidade nominal em um pré-estabelecido percentual, é considerado o primeiro elevador de segurança (SILVA, 2017).

Em 1880 foi apresentado na Feira de Indústria da Alemanha o primeiro elevador movido a motor elétrico, construído por Werner Von Siemens (SILVA, 2017).

No Brasil, a construção de elevadores iniciou-se em 1918, quando os primeiros equipamentos eram movidos a “cabineiros” que giravam uma manivela para fazer subir e descer o elevador. Com a construção de edifícios mais altos, o sistema a manivela foi substituído por sistemas elétricos, com a utilização de botões para acionar o elevador. Depois dos botões vieram os relés, os circuitos elétricos e finalmente os controladores lógicos programáveis (WEISS; GASPARIN; SCHLING, 2011).

O Quadro 1 apresenta as primeiras empresas de fabricação de elevadores, data de instituição e país:

Quadro 1 – Primeiras empresas fabricantes de elevadores no mundo

| Empresa | Ano da instituição | País |
|------------------|---------------------------|---------------------------|
| Otis | 1853 | Estados Unidos da América |
| Schindler | 1874 | Suíça |
| Kone | 1910 | Finlândia |
| Atlas (Villares) | 1918 | Brasil |

Fonte: adaptado de Silva (2017)

Em 1977 a NBR 5666 define elevador como sendo “Aparelho estacionário provido de cabina que se move aproximadamente na vertical entre guias, servindo a níveis distintos e destinados ao transporte de pessoas e carga”. E em 2000 a Associação de Elevadores do Mercosul define esse utilitário como “Equipamento de levantamento permanente que serve níveis de pavimento definidos, compreendendo um carro, cujas dimensões e meios de construção claramente permitem o acesso de pessoas, viajando, pelo menos parcialmente, entre

guias verticais rígidas ou guias cuja inclinação com a vertical é inferior a 15°” (SILVA, 2017, p. 15).

Em sua feição tecnológica atual, um elevador pode ser conceituado como um conjunto de mecanismos interligados e articulados entre si, com a finalidade de transportar em segurança pessoas e/ou cargas numa trajetória vertical ou inclinada (ÂNGELO, 2016).

Por esse prisma, a classificação básica que resulta do transporte vertical em edificações decorre de que os elevadores podem se destinar ao deslocamento de cargas com vida ou de cargas sem vida, denominados, respectivamente, elevadores de passageiros e elevadores de carga. Mais detalhadamente, entre os primeiros estão elevadores de passageiros, elevadores para residências unifamiliares e elevadores panorâmicos de passageiros; e, entre os últimos, os elevadores de carga, monta-cargas, elevadores de carga-automóveis e elevadores de maca (ATLAS SCHINDLER, 2023).

Os elevadores de passageiros consistem em um sistema fundamental que dá suporte e viabiliza a locomoção dos usuários de um edifício, cujo mecanismo de ação baseia-se em um acionamento hidráulico ou elétrico, que varia conforme as necessidades de cada projeto (BERARDI; SANTOS; CASTRO, 2020)

E a denominação elevador de carga, em linhas gerais, engloba todos os demais equipamentos destinados ao transporte vertical ou inclinado de cargas materiais; sendo que, de acordo com a NBR 14712, o elevador de carga é destinado principalmente ao transporte de insumos e mercadorias e o monta-cargas é o mecanismo de transporte com carro de capacidade e tamanho limitados, que se move em guias de direção substancialmente vertical e que é usado exclusivamente para transportar pequenas cargas (ABNT, 2001).

Abrem-se parênteses para a situação peculiar dos elevadores de maca que, conforme o modelo, podem se encarregar do transporte vertical tanto de pacientes com restrição de mobilidade quanto de materiais diversos utilizados no ambiente hospitalar.

Assim, o elevador de carga pode ser conceituado como o equipamento utilizado para a movimentação vertical de cargas materiais entre, no mínimo, dois níveis (VIEIRA; BERNUY, 2004).

2.1.1 Composição e funcionamento

Os equipamentos de elevação são necessários para auxiliar os trabalhadores a executar o serviço com segurança. Por isso os elevadores de carga estão presentes em diversos empreendimentos, sendo essenciais para melhorar o desempenho das atividades no transporte

de materiais, possibilitando mais agilidade no processo e conseqüentemente contribuindo para a máxima eficiência dos processos produtivos, em uma equação ideal entre o modo e o tempo da produção e/ou destinação de produtos.

Segundo a NBR 14712, elevadores de carga são mecanismos de transporte os quais possuem um carro para ascensão de pequenas cargas, que se move em guias de direção vertical e que é usado exclusivamente para essa finalidade (ABNT, 2001).

Esses elevadores são utilizados sobretudo para trabalhos descontínuos, suportando capacidades diversas que vão desde poucos quilogramas até dezenas de toneladas. Para a sua concepção, devem ser construídas estruturas em forma de poço, as quais sustentam vigas verticais que servem de trilhos-guia. A plataforma que contém a carga executa o movimento ascensão, guiado pelas vigas e puxado por um conjunto de talhas, cremalheiras ou outros mecanismos (MOURA, 1983).

A Figura 1 traz a imagem de um elevador de carga de grande dimensão:

Figura 1 - Elevador de carga



Fonte: IESAB (2023)

Conforme disposto nas NBR NM 267 e NBR 14712, os elevadores de carga são agrupados em três categorias, levando-se em conta a respectiva capacidade de carga. Na Classe A estão os equipamentos também conhecidos como elevadores de serviço e que nunca ultrapassam $\frac{1}{4}$ de sua capacidade, pelo que o carregamento e a descarga comum são feitos manualmente ou por empilhadeiras manuais. A Classe B comporta os elevadores de carga utilizados para transporte de veículos, passageiros e caminhões frequentemente usados em

estacionamentos e sua carga deve ser calculada com base de 150 kg/m². Por fim, na Classe C estão os equipamentos cujo carregamento é realizado por uma empilhadeira motorizada, que não pode exceder 50% da carga nominal do elevador e, da mesma forma, a plataforma não deve exceder 150% da carga. Esta última tipologia comporta subdivisão em três espécies: C-1: são os elevadores utilizados para carregamento de caminhões em indústrias quando o veículo pode ser movimentado com a carga sem exceder a capacidade do elevador; C-2: nele o caminhão não pode entrar junto com a carga; C-3: os elevadores também são carregados e descarregados com veículos industriais e a carga não pode ultrapassar 100% da sua capacidade (ABNT, 2001).

Embora possuam todos os dispositivos de segurança para a elevação de pessoas, os elevadores de carga não são homologados para transporte de passageiros e não devem ser instalados em locais com acesso ao público. Obrigatoriamente devem ficar isolados em áreas de produção e/ou com acesso exclusivo de pessoal treinado, sendo permitidos no elevador apenas um ascensorista e quantas pessoas forem necessárias para acompanhar a carga que está sendo transportada, desde que o total, carga + pessoas, não ultrapasse a capacidade do elevador (SILVA, 2017).

Os principais componentes para a sua montagem e funcionamento são: sistema de tração, sistema de frenagem, estrutura de base da torre, módulos com cabos ou cremalheiras, sistema de ancoragem, fechamento de proteção, cabina, cabine do operador, cancela de pavimento, guarda corpo, módulo, porta da cabina, painel de comando (WARMLING; CAVALER, 2020).

Elevadores elétricos costumam se utilizar de um motor, que fornece um torque a um eixo, apoiado em dois mancais que move uma polia. Nos elevadores sem contrapeso, os cabos de sustentação têm uma das extremidades presa à cabine e a outra presa a um tambor, que é aquele que, neste caso, recebe o torque do motor, e nos demais uma está presa à cabine e a outra ao contrapeso (MACHADO, 2016).

A Figura 2 traz a imagem de um protótipo de elevador a cremalheira com todos os macro e microcomponentes:

Figura 2 – Projeto de elevador de carga do tipo cremalheira



Fonte: Warmling e Cavaler (2020)

Analisando-se a Figura 2, observa um exemplo de composição macro de um elevador de carga por torre, guarda corpo, cabina e proteção de base. A torre do elevador é formada pela união de vários módulos onde são fixadas as barras, realizando-se o movimento vertical do equipamento, mantendo-a fixa para seu funcionamento adequado. O guarda corpo é montado na parte superior da cabina, impedindo a queda do usuário. A cabina aloja a área onde a carga é transportada, nela trabalhando o operador do elevador, e o acionamento é feito através do painel de comando. A proteção de base impede o acesso de pessoas não autorizadas ao elevador (WARMLING; CAVALER, 2020)

O carro consiste do conjunto cabine-gaiola e dos equipamentos de segurança. Ele se desloca tracionado por cabos de aço, preso a guias que impedem o deslocamento horizontal,

evitando assim que a viagem seja turbulenta e que haja impacto com as paredes e/ou o contrapeso (MACHADO, 2016). Cremalheiras também têm sido utilizadas em substituição aos cabos, especialmente para o carregamento de cargas em obras de grandes edifícios, considerando que neste caso a elevação ocorre em número extenso de patamares (WARMLING; CAVALER, 2020).

A cabine é a parte da estrutura onde a carga é colocada para o transporte. O acesso a ela se dá através de uma porta, sendo que a NBR 14712 limita o espaço entre a soleira da cabine e a soleira da parede. Trata-se basicamente de uma caixa formada por um paralelepípedo de vigas e chapas, sendo que há limitação em uma flecha máxima da parede em no máximo 10mm para 10% da carga aplicada em uma área de qualquer formato ou posição de 25 cm². Essa conta representa o caso de a carga tombar sobre a parede, não podendo interferir nos equipamentos de segurança ou nas guias (MACHADO, 2016).

As portas que franqueiam a entrada das cargas apresentam estilos variados. As automáticas deslizantes na horizontal são ágeis nas operações e não requerem intervenção humana, porém exigem um alto investimento; as portas de eixo vertical são semelhantes às portas convencionais com dobradiças e são instaladas nos pavimentos, e não nas cabines do elevador; as portas de guilhotina deslizantes na vertical são ideais para cargas pesadas, por serem robustas e resistentes para amenizar colisões ou danos de outros equipamentos; e, por fim, as portas pantográficas com hastes articuladas são as opções mais populares e baratas, permitindo a abertura total, mas são mais sensíveis e necessitam de mais manutenção que as demais (CREL ELEVADORES, 2023).

A gaiola funciona como o suporte da cabine e dos mecanismos presos a ela como: limitador de velocidade, rodas ou encaixe das guias, freio de segurança, além dos próprios cabos de elevação que são presos à parte superior da gaiola. Esta sofre os mesmos esforços da cabine acrescidos do peso da própria cabine e dos mecanismos (MACHADO, 2016).

Os mecanismos de elevação, responsáveis por promover o deslocamento do carro, são os cabos, as polias, o motor, o contrapeso, as guias, o eixo do motor e o redutor e, em caso de um elevador sem contrapeso, também o tambor. Os cabos recebem a tração do peso da cabine; o motor é o equipamento que fornece o torque necessário para a rotação da polia e seu controle é dado por um painel de controle eletrônico, a transmissão da rotação do motor para a polia é intermediada por um redutor, pois a velocidade de rotação do motor é muito superior à que a polia deve ter para que a velocidade de translação do carro seja a desejada; o redutor geralmente possui engrenamentos de diferentes diâmetros para que as velocidades angulares de entrada e de saída sejam diferentes (MACHADO, 2016).

Entre os mecanismos de segurança estão os trilhos, os freios e os limitadores de velocidade. Os trilhos são os responsáveis por manter o carro sem movimento horizontal e também sofrem a ação dos freios de segurança; o deslocamento da cabine sobre os trilhos se dá com um encaixe do tipo U ou através de rodas. O freio de segurança é acionado em emergência, tratando-se de um dispositivo fixado na armação da cabine, à gaiola, e quando acionado prende-se à guia travando progressiva ou instantaneamente a cabine. Seu acionamento é dado por limitadores de velocidade, que consiste em uma polia no teto da casa das máquinas apoiando um cabo preso à base da cabine, e a outra polia no poço do elevador, com isso, quando a cabine ultrapassa a velocidade estipulada, o movimento de rotação de uma das polias faz com que pesos por ela rotacionados se afastem por força centrífuga, acionando um interruptor que por sua vez corta a energia do motor e aciona os freios de emergência. O torque do motor é dependente da corrente enviada a ele, com isso a redução da velocidade é dada por redução na corrente enviada ao motor, e a sua parada é dada por um freio mecânico que segura a rotação do eixo (MACHADO, 2016).

2.2 Norma Regulamentadora (NR) 12: segurança de máquinas e equipamentos

Os sistemas de segurança dos elevadores de carga operam desde a sua montagem até seu funcionamento. Para a instalação e o uso de tais equipamentos, consultam-se informações nas Normas Regulamentadoras (NR). Estas são regras de normalização que servem para prevenir acidentes e doenças profissionais, fazendo com que as empresas promovam as adequações e cumpram as normas exigidas para o uso, oferecendo mais segurança para os colaboradores (SILVA, 2016).

Dentre as normas que regem o sistema de movimentação de carga vertical no Brasil estão a NBR 14712, a NR 11 e a NR 12. Esta última se destaca no presente trabalho por discorrer sobre segurança no trabalho de máquinas e equipamentos, enquadrando nessa categoria os elevadores de carga, por serem equipamentos utilizados para o trabalho.

A normativa em questão se caracteriza por ser uma norma regulamentadora especial e que traz como princípio básico a proteção no ambiente de trabalho. As normas especiais regulamentam a execução do trabalho, considerando as atividades, as instalações ou os equipamentos empregados, sem estarem condicionadas a setores ou atividades econômicas específicos. O princípio que rege a NR 12: o de proteção, congrega medidas de proteção coletiva, administrativas ou de organização do trabalho e de proteção individual e consideram

a interação dos trabalhadores com a máquina para estabelecer as normas de segurança (SANTOS JUNIOR; ZANGIROLAMI, 2020).

A conformidade de uma máquina ou equipamento à NR 12 passa por cinco etapas, quais sejam: a relação de máquinas, a apreciação dos riscos, o projeto de adequações, a implantação das adequações e a validação da segurança (SANTOS JUNIOR; ZANGIROLAMI, 2020). Somente após a mensuração dos riscos (2ª fase) pelo profissional de segurança do trabalho é que será possível oferecer à máquina um projeto de adequação para eliminar ou neutralizar os riscos e, conseqüentemente, serem implantadas e finalmente validadas as adequações projetadas.

Portanto, os dispositivos eletroeletrônicos de promoção da segurança somente serão oferecidos às máquinas e aos equipamentos depois que forem relacionados e mensurados os riscos que estes oferecem aos colaboradores. E, em havendo a implantação das adequações relacionadas no projeto, que corresponde à fase das adequações, haverá seguidamente uma nova análise da máquina, para validar ou não as adequações promovidas (ABNT, 2019).

A propósito, o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) promoveu alterações significativas na NR 12 no ano de 2019, visando justamente a assegurar maximamente a incolumidade física do trabalhador, flexibilizando ações de acordo com a apreciação de risco elaborada por profissional habilitado (SANTOS JUNIOR; ZANGIROLAMI, 2020). Com essa reformulação, a apreciação do risco de máquinas e equipamentos ganhou significativa relevância entre as etapas do cumprimento da NR 12.

A apreciação de risco é uma etapa que se subdivide: ela tanto antecede e orienta a formulação do projeto de segurança para máquinas e equipamentos quanto, posteriormente, valida ou não os dispositivos de segurança aplicados ao utilitário. Corresponde, na verdade, a duas fases distintas do processo de segurança das máquinas: à mensuração dos riscos (análise e avaliação) e à validação da segurança (SANTOS JUNIOR; ZANGIROLAMI, 2020).

Neste trabalho será considerada apenas a primeira fase da etapa: a determinação da categoria de risco, porquanto seu percurso é que se mostra necessário para orientar e direcionar um projeto de segurança tendente a neutralizar, eliminar ou ao menos diminuir os riscos mensurados.

A determinação da categoria de risco é dada com base na NBR 14153 (ABNT, 2013), utilizando-se de princípios básicos de segurança para a aplicação específica de tal forma que o sistema resista à fadiga operacional prevista para a máquina, à influência do material processado ou utilizado no processo de funcionamento da máquina (ex.: detergente na máquina de lavar);

e a outras influências externas relevantes, tais como vibrações mecânicas, campos externos e interrupção do fornecimento de energia (SANTOS JUNIOR; ZANGIROLAMI, 2020).

Essa categoria de risco é denominada Categoria B pela NBR 14153. Referida categoria exige que o projetista selecione os dispositivos elétricos que atendam as especificações básicas do sistema onde serão instalados, como, por exemplo: condições ambientais, compatibilidade com tensão e corrente de trabalho, ligações conforme recomendações dos fabricantes, princípio de desenergização, aterramento elétrico. Ou seja, essa categoria não exige monitoramento por relé de segurança, redundância em sensores e botoeiras de emergência, muito menos duplo contator, mas apenas exige que todos os componentes elétricos utilizados sejam projetados e montados de acordo com normas técnicas existentes (KÜNZEL; SILVA, 2023).

Os princípios da Categoria B para atingir a segurança se caracterizam principalmente pela seleção dos componentes; e seus requisitos devem ser aplicados a 4 categorias numeradas, cujos princípios para atingir a segurança são caracterizados principalmente pela estrutura. Elas estão descritas no Quadro 2, abaixo:

Quadro 2 – Categorias numeradas da Categoria de Risco B. ABNT, 2013.

| Categoria | Resumo dos requisitos | Comportamento do sistema |
|-----------|---|--|
| 1 | Aplicam-se os requisitos da Categoria B, princípios comprovados e componentes de segurança bem testados | A ocorrência de um defeito pode levar à perda da função de segurança, porém a probabilidade de ocorrência é menor do que para a Categoria B |
| 2 | Aplicam-se os requisitos da Categoria B e princípios de segurança comprovados. A função de segurança deve ser verificada em intervalos adequados pelo sistema de comando da máquina | A ocorrência de um defeito pode levar à perda da função de segurança entre as verificações. A perda de função de segurança é detectada pela verificação. |
| 3 | Aplicam-se os requisitos da Categoria B e princípios de segurança comprovados. As partes relacionadas com segurança devem ser projetadas de forma que um defeito isolado não leve à perda das funções de segurança; sempre que razoavelmente praticável, o defeito isolado deve ser detectado durante ou antes da próxima solicitação da função de segurança. | A função de segurança é sempre cumprida quando da ocorrência de um defeito isolado; porém nem todos os defeitos poderão ser detectados. |

| | | |
|---|--|--|
| 4 | <p>Aplicam-se os requisitos da Categoria B e princípios de segurança comprovados.</p> <p>As partes relacionadas com segurança devem ser projetadas de forma que um defeito isolado não leve à perda das funções de segurança; o defeito isolado deve ser detectado durante ou antes da próxima demanda da função de segurança e, se isto não for possível, ao menos que o acúmulo de defeitos não leve à perda da função de segurança.</p> | <p>A função de segurança é cumprida sempre que os defeitos ocorrem.</p> <p>Os defeitos serão detectados a tempo de impedir a perda da função de segurança.</p> |
|---|--|--|

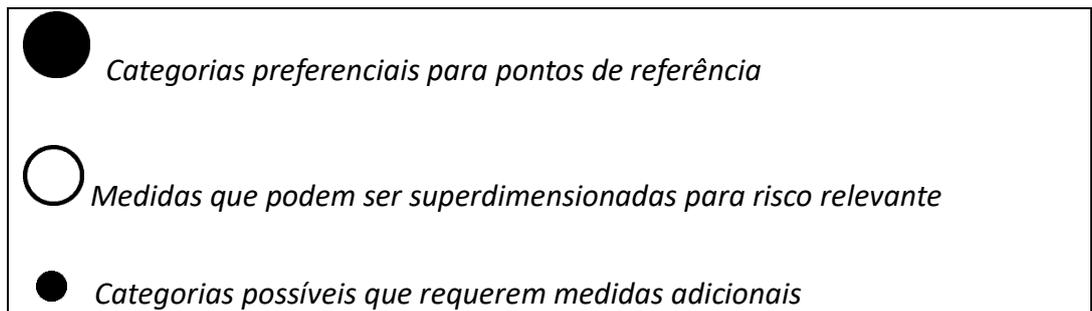
Fonte: adaptado de Santos Junior e Zangirolami (2020)

Entre os parâmetros para a mensuração dos riscos, segundo Santos Junior e Zangirolami (2020), estão:

- a) a severidade de eventuais ferimentos, classificados como S1 os leves e normalmente reversíveis e S2 os sérios e normalmente irreversíveis, incluindo-se a morte;
- b) a frequência da exposição ao perigo, sendo F1 para exposição esporádica (2 vezes ou menos por turno de trabalho ou inferior a 15 minutos de exposição acumulados por turno de trabalho) e F2 para exposição frequente (mais de 2 vezes por turno de trabalho ou superior a 15 minutos de exposição acumulados por turno de trabalho). Observa-se a irrelevância, para a classificação, da exposição sucessiva, como é o caso do uso de elevadores;
- c) a possibilidade de evitar o perigo, em que P1 corresponde à chance real de se evitar um acidente ou de reduzir significativamente o seu efeito (possibilidade de evitar o perigo sob condições específica) e P2 à impossibilidade ou quase impossibilidade de se evitar o perigo.

Esses parâmetros devem ser manejados em uma matriz de seleção que irá determinar de forma direta a categoria correta dos dispositivos de segurança. Além das categorias numeradas e dos parâmetros, para a mensuração dos riscos ainda é preciso considerar a *layout* dos círculos de marcação, cujas correspondências estão descritas na Figura 3:

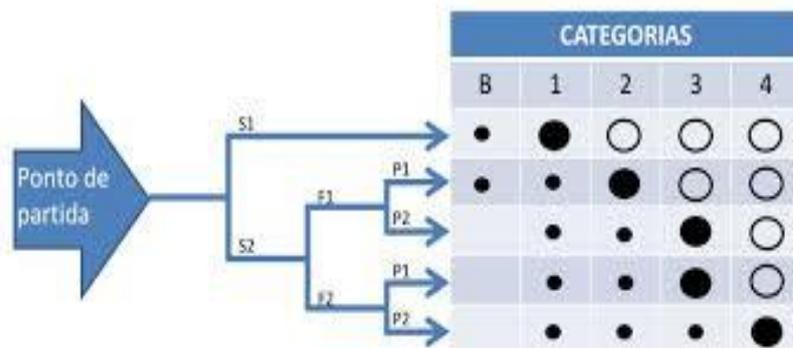
Figura 3 – Possíveis categorias na Matriz de Seleção da categoria dos dispositivos de segurança.



Fonte: Simon Safety (2017)

A Figura 4 traz um exemplo da Matriz de Seleção:

Figura 4 – Matriz de Seleção da categoria dos dispositivos de segurança.



Fonte: Simon Safety (2017)

Informam Künzel e Silva (2023) que, em geral, os profissionais que selecionam a categoria dos sistemas de segurança numa adequação de máquina e equipamento, acabam utilizando as premissas da categoria 4 ou 3, com monitoramento e redundância. Porém, muitos equipamentos podem ser categorizados no nível 2 de segurança devido às condições de contorno existentes como danos aos operadores, frequência de acesso à região de perigo, probabilidade de evento perigoso e probabilidade de anulação do dano, e, assim, a seleção correta da categoria acaba exigindo uma menor preocupação com o arranjo da instalação a ser efetivada, o que na prática reduz também o custo de implantação do projeto

Uma vez catalogados os riscos na matriz de seleção, passa-se à determinação da categoria de risco. Para determinar o *Level Performance* (PL), em português “nível de

desempenho”, é utilizada a NBR ISO 13849-1 (ABNT, 2019). O PL tem seus princípios amparados na estrutura de segurança e é recomendado para segurança elétrica, pneumática, hidráulica e mecânica (SANTOS JUNIOR; ZANGIROLAMI, 2020).

Anteriormente à reformulação da NR 12, tinha-se apenas a necessidade de elaborar uma forma qualitativa de determinar o quão perigosa era uma máquina, para depois saber a quantidade de recursos que seriam necessários para torná-la mais segura, configurando-se, portanto, apenas um conceito de intensidade que consistia na verificação da exposição ao risco e à quantidade de pessoas que se dispunham a esse risco ocupacional. Porém, com a nova redação dada à referida norma, a utilização do PL, embora considere toda a parte qualitativa já citada, transforma isso em um conceito quantitativo, agregando-se à intensidade o conceito de extensão (EDGE, 2023).

Para fazer a classificação de risco segundo o PL, é preciso utilizar uma ferramenta chamada HRN (*Hazard Rating Number*), metodologia quantitativa cujo resultado é a combinação dos seguintes itens: grau máximo de lesão, frequência de exposição, probabilidade de ocorrência, número de pessoas envolvidas (SANTOS JUNIOR; ZANGIROLAMI, 2020).

Portanto, para mensurar a probabilidade de uma falha perigosa da máquina, a NR 12 em sua versão atual conjuga, às diretrizes qualitativas que já eram contempladas na versão anterior, ferramentas quantitativas, com isso oferecendo mais objetividade à categorização dos riscos de uma máquina ou equipamento.

2.3 Automação em um projeto de segurança para elevador de carga

De posse da mensuração dos riscos é que o projetista se encarregará do sistema de segurança específico para a máquina ou equipamento.

Em geral, o funcionamento de elevadores de carga envolve grandes riscos, principalmente devido à elevada massa que esses equipamentos podem carregar. O dimensionamento incorreto pode acarretar em sérias consequências para os usuários e quem trabalha próximo. Devido a esse e outros fatores que o projeto de uma máquina de elevação só deve ser feito por um profissional com conhecimentos de resistência dos materiais e elementos de máquinas (ALVES, 2022).

O engenheiro de controle e automação possui Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) tanto na área de mecânica quanto de elétrica e informática, posto que a mecatrônica, sua área de conhecimento, combina conhecimentos dessas três áreas para criar máquinas inteligentes controladas por computadores. A automação ocorre quando um conceito e um

conjunto de técnicas são unidos e constroem sistemas ativos capazes de atuar com eficiência ótima em determinados processos, nos quais as informações provenientes do próprio sistema servem como parâmetros para efetuar o controle (SILVA, 2017).

A NR 12 descreve três tipos de sistemas de segurança conforme item 12.38: Proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados ou intertravados (ABNT, 2019). Os sistemas de segurança eletroeletrônicos, como chaves de segurança, sensor magnético, relé de segurança, cortinas de luz, botões de emergência e diversos outros dispositivos eletroeletrônicos disponíveis no mercado, são instalados em conjunto com proteções físicas (KÜNZEL; SILVA, 2023).

O sistema de segurança se caracteriza como eletroeletrônico quando acionado e condicionado por um computador. Nesse caso, o projetista pode se valer de duas opções: o CLP ou o Arduino. O Arduino vem sendo muito utilizado na área de automação pelo seu baixo custo no projeto e por ser muito funcional na sua lógica de programação, podendo se comunicar com outras novas tecnologias tipo *wireless*, *bluetooth*, aplicativos de celulares, *chips*, dentre outras. Mas a automação com CLP na indústria é bem comum devido a sua praticidade, apesar de o equipamento ter um custo mais elevado (SILVA, 2017).

Para o presente “projeto-piloto” se optou pelo CLP de segurança. Primeiro, porque quando se faz automação de segurança têm de ser oferecidos alguns pré-requisitos que não são atendidos pelo Arduino, como, por exemplo, entradas digitais monitoradas, controle em uma faixa de 24 *volts* em que são operados os dispositivos de segurança (botões de emergência, *reset*, bi manual); segundo, porque o Arduino trabalha na faixa dos 5 *volts* e também não tem a confiabilidade necessária para projetos comerciais e principalmente industriais, pois se degrada facilmente diante de condições adversas, como altas temperaturas e umidade.

Ademais, o CLP de segurança conta com um ambiente de programação próprio para automação de segurança, além de oferecer entradas digitais monitoradas e custo mais baixo que o CLP de processo na maioria dos casos e fornecer a redundância, que é elemento fundamental na segurança de máquinas.

2.3.1 Controlador Lógico Programável (CLP)

O Controlador Lógico Programável (CLP), do inglês *Programmable Logic Controller* (PLC), é um computador, ou seja, equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software*, compatíveis com aplicações industriais. Conforme o *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma

memória programável para armazenar internamente instruções e implementar funções específicas, como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas analógicas e digitais, vários tipos de máquinas ou processos (SILVA *et al.*, 2015).

Trata-se de um dos principais equipamentos eletrônicos utilizados em automação, sendo formado por circuitos capazes de realizar funções lógicas e aritméticas com os sinais de entrada, gerando sinais de saídas, de acordo com a lógica pré-definida. O princípio de funcionamento dos CLPs baseia-se na sua programação, uma sequência de comandos organizada de forma lógica que define as ações a serem realizadas de acordo com o algoritmo criado previamente (WEISS; GASPARIN; SCHLING, 2011).

A unidade de processamento central (CPU) é a responsável por interpretar os sinais de entrada e tomar decisões de controle de acordo com o programa gravado na memória, comunicando-as por meio de sinais de saída. A unidade de memória, com armazenamentos voláteis e não voláteis, é responsável por armazenar o programa que contém as decisões de controle a serem exercidas pelo processador e os dados das variáveis controladas/manipuladas (BOLTON, 2009 *apud* ZANZOTI, 2019).

A fonte de alimentação se encarrega de converter a tensão de entrada para um valor DC de 5 *volts* ou 24 *volts*, para alimentar o CLP e seus componentes. No caso de uma tensão de entrada de corrente alternada (AC), a fonte de alimentação é responsável pela sua redução por um transformador, convertida em corrente contínua (DC) por um retificador de onda completa e filtrada e estabilizada por filtros RC, assim chamados porque operam sobre o divisor de tensão entre o resistor (R) e a reatância do capacitor (C). As interfaces de comunicação são usadas para receber e transmitir dados entre outros sistemas como outros CLPs, interfaces homem-máquina, aplicações de programação, monitoramento, teste e *debug*, entre outros (ZANZOTI, 2019).

O programa desenvolvido é compilado e enviado pelo dispositivo de programação, para a unidade de memória do CLP. A respectiva programação é feita através de programas próprios das fabricantes. As interfaces de entrada e saída são por onde o processador recebe e comunica as informações aos dispositivos externos (também chamados de dispositivos de campo) que podem ser identificados como dispositivos de entrada (sensores) e dispositivos de saída (atuadores), os quais podem trabalhar com sinais discretos, digitais ou analógicos (ZANZOTI, 2019).

Os dispositivos de campo trabalham com sinais digitais de diferentes valores de tensões. Para permitir a conexão direta desses dispositivos nas entradas digitais do CLP sem a necessidade de um circuito externo, as interfaces de entrada podem ser eletricamente

segregadas por isoladores ópticos (optoacopladores). Esse isolamento elétrico nas entradas do CLP permite que os optoacopladores recebam sinais de entrada com níveis de tensão diferentes dos usados internamente (ZANZOTI, 2019)

As saídas digitais do CLP são do tipo relé, transistor ou TRIAC. Na saída do tipo relé, o sinal de saída do controlador é usado para operar um relé que permite o chaveamento em um circuito externo de corrente mais elevada. Além de isolar o CLP do circuito externo, o relé pode ser usado para o chaveamento tanto em circuitos de corrente contínua (DC) quanto de corrente alternada (AC). A par disso, os relés apresentam desvantagem pela lenta operação de comutação e vida útil relativamente menor por apresentar deslocamentos mecânicos (ZANZOTI, 2019). A saída do tipo transistor usa transistores para chavear corrente em circuitos externos DC. Esses transistores permitem comutações mais ágeis que relés e uma vida útil superior, por serem dispositivos semicondutores, porém transistores apresentam correntes de fuga quando “desligados” e não suportam sobrecargas, pelo que são facilmente destruídos por correntes superiores à corrente máxima nominal (BOLTON, 2009).

A saída do tipo TRIAC (*Triode for Alternating Current*) é usada para controlar cargas em circuitos externos AC, através de tiristores triodo bidirecionais feitos à base de material semicondutor. Comparada com a saída do tipo relé, aquele tipo de saída consegue frequências de chaveamento superiores e maior vida útil por não conter deslocamentos mecânicos, porém só pode ser usada em circuitos AC e, assim como as saídas do tipo transistor, apresenta correntes de fuga quando “desligada” e também não suporta sobrecargas (ZANZOTI, 2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Tipo de pesquisa

Este estudo se baseia na metodologia de um projeto-piloto, o qual consiste em um esforço temporário empreendido para testar a viabilidade de uma exclusiva solução de sistema apresentada. No contexto de implementação de processo e de ferramentas, significa experimentar novos processos e novas ferramentas, pelo que é possível incluir recursos adicionais, utilizar pessoas-chave e ajustar o orçamento e os planos apropriadamente. Também se subentende maior cautela no monitoramento do projeto, porque é com base na avaliação e no aprendizado do projeto-piloto que o novo processo e as novas ferramentas começarão a ser utilizados em projetos reais (UFPE, 2023).

Essa tipologia metodológica é ideal para aplicação analógica a pesquisas que pretendem transmutar-se em prestação de serviço após o autor obter a qualificação e a habilitação para tanto. Ou seja, permite-se a idealização de projetos no decorrer da graduação ou do curso técnico ou tecnológico, os quais somente poderão ser executados após obtida a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).

Importante consignar que a ART é o documento que define, para os efeitos legais, os responsáveis técnicos pelo desenvolvimento de atividade técnica no âmbito das profissões abrangidas pelo Sistema CONFEA/CREA. A Lei n. 6.496/1977 estabeleceu sua obrigatoriedade em todo contrato para execução de obra ou prestação de serviço de Engenharia, Agronomia, Geologia, Geografia e Meteorologia; bem como para o desempenho de cargo ou função para a qual sejam necessários habilitação legal e conhecimentos técnicos nas profissões abrangidas pelo Sistema CONFEA/CREA (CONFEA, 2023).

3.2 Aspectos éticos

O projeto apresentado foi orientado pela NR 12 desde o planejamento até a efetivação do protótipo. Em seus aspectos técnicos, logísticos e científicos, o projeto foi integralmente supervisionado pelo Professor-Orientador do trabalho de conclusão de curso de que resultaram os esforços empreendidos.

Como se trata de uma analogia ao projeto-piloto, realizado em nível acadêmico, houve uma simulação de mensuração dos riscos com base na literatura pertinente, especialmente nos

conteúdos da NR 12, para que posteriormente fosse projetado o sistema de segurança para elevadores de carga.

Para que fosse possível realizar o protótipo, o pesquisador recebeu o apoio da empresa onde trabalha atualmente, que, para fins exclusivamente acadêmicos, permitiu-lhe o acesso a documentos, *hardwares* e *softwares*. Também contou com o auxílio voluntário de um colaborador da empresa, qualificado e habilitado para projetos de segurança em máquinas e equipamentos.

3.3 Procedimentos e materiais

Os procedimentos para a efetivação do protótipo foram, basicamente, o esquema elétrico e a parametrização do CLP de segurança. Para a construção do sistema elétrico, foi utilizado o programa EPLAN, cujos projetos permitem projetar sensores, sinais, controles e atuadores digitais e analógicos (EPLAN, 2023). Como ferramenta de controle dos processos automatizados foi utilizado o CLP Siemens (3sk2122-1aa10). A interface de programação que parametrizou o CLP foi o *Safety Es, software* distribuído também pela empresa Siemens (SIEMENS, 2023).

Entre os componentes materiais do protótipo, além do CLP de segurança, foram utilizados o botão de emergência, o botão *reset*, as chaves de segurança e os contatores de segurança. Neste projeto foram utilizados o botão de emergência Schneider; o botão *reset* Schneider luminoso $\varnothing 22\text{mm}$ plástico, retorno por mola, azul, NA, 24vca/cc xa2ew36b1; as chaves de segurança D4NL-4EFA-B Omron e os contatores de segurança aux 24Vcc 8NA+1NF CAWBS8100C03-Weg.

O esquema elétrico foi montado com o auxílio do *software* EPLAN, programa de engenharia para planejamento e processos integrados em engenharia elétrica, tecnologia de automação, dentre outras disciplinas. O programa permite a reutilização dos dados dos documentos esquemáticos para a programação de CLP, bem como para sistemas de CLP e rede (EPLAN, 2023).

Pelas métricas da NR 12 constantes nas categorias de risco 3 e 4, máquinas devem oferecer redundância em seus dispositivos e monitoração quanto aos dispositivos de segurança instalados (ABNT, 2019). Assim, para que a monitoração do sistema de automação pudesse ser realizada, foi eleito o dispositivo CLP. E, devido à natureza do trabalho, fez-se necessário um CLP de segurança, conforme demonstrado na Figura 5:

Figura 5 – CLP Siemens 3sk2122-1aa10



Fonte: Siemens (2023)

O modelo escolhido para o projeto oferece 20 entradas de segurança e 6 saídas de segurança, 4 destas monitoradas e 2 sem monitoração, ideais para botões luminosos de *status*.

O botão de emergência é a interface do homem com a máquina que, uma vez acionado, realiza a parada de ciclo desta em qualquer momento, conforme a necessidade de segurança. Esses dispositivos devem operar com 24 *volts*, em tensão contínua. Isso porque é estritamente proibido pela NR12, item 12.36, que esses botões operem em 110VAC ou 220VAC, pois há contato manual com o operador.

Por ser um dispositivo de segurança que encerra o ciclo da máquina, o botão de emergência deve ser de livre acesso e estar em lugar visível a quem está nas proximidades da máquina, pois só assim estará garantido o uso emergencial a que se propõe em caso de ameaça de dano ou de dano efetivo. É imposto pela NR12 no item 12.37 redundância em dispositivos de parada relacionada à segurança. Portanto foi planejado neste trabalho um botão de emergência que atenda esse requisito da norma.

O botão de emergência neste projeto será monitorado pelo CLP *Siemens*, podendo-se monitorar seus dois contatos através das entradas digitais do computador. A botoeira pode ser retentiva ou não. Se não houver a necessidade de um contato selo nessa botoeira, de qualquer forma deverá ser executado outro movimento pelo operador como forma de segurança ao acionar novamente a máquina, além de “resetar” a máquina após esses movimentos.

A Figura 6 traz a imagem de um botão padrão retentivo de emergência, em conformidade com a NR 12.

Figura 6 - Botão padrão retentivo de emergência conforme NR 12



Fonte: Schneider (2023)

A NR 12 não delimita propriamente as características do botão, mas dela se pode extrair que a característica fundamental é que o dispositivo de segurança possua uma certificação própria para esta finalidade. Além disso, a sinalização com base amarela deve ser escrita na língua nacional: “emergência”, para imediata compreensão da função do dispositivo (BLOG NR 12 DIGITAL, 2021)

O botão de *reset* também faz parte do sistema em questão, funcionando como forma de garantir a segurança do operador ao reiniciar o ciclo de uma máquina. Caso o operador retorne o botão de emergência ao seu estado inicial de máquina habilitada, ainda assim deve-se acionar esse *reset* como forma de consentimento do reinício de energização do sistema.

O *reset* também tem de estar visível ao local em que o trabalho será realizado, sem que haja obstáculos ao seu acionamento. Ele será monitorado também por uma entrada digital do CLP de segurança e em alguns modelos poderá oferecer *status* de “resetado” ou não ao operador. Neste trabalho esse *status* é oferecido, sendo alterado por uma saída digital do CLP não monitorada que pode ser realizado devido à natureza do acionamento, que é apenas a alteração do *status* da lâmpada do *reset*.

Neste protótipo foi utilizado o botão *reset* Schneider luminoso $\varnothing 22\text{mm}$ plástico, retorno por mola, azul, NA, 24vca/cc xa2ew36b1, conforme demonstra a Figura 7:

Figura 7 – Botão *reset* Schneider



Fonte: Schneider (2023)

As chaves de segurança controlam a entrada dos operadores e demais pessoas no elevador de carga. Essas chaves devem oferecer redundância e seu funcionamento também, devido à NR12, e podem ser apenas de monitoração ou de bloqueio.

Neste trabalho foi utilizada a chave de bloqueio (Figura 8), objetivando o impedimento da abertura das portas quando iniciado o ciclo do elevador. Utiliza-se uma saída monitorada do CLP para mudar o estado lógico dessa chave, podendo abrir apenas quando não há movimento no elevador e o operador estiver no andar de parada deste. A monitoração ocorre por meio de seus dois contatos NF (normalmente fechados). Caso ocorra mudança nesse estado, o CLP não habilita movimento no elevador.

Figura 8 – Chave de segurança D4NL-4EFA-B Omron



Fonte: Pyrotec (2023)

Por fim os contatores de segurança, demonstrados na Figura 9, objetivam realizar o intertravamento do sistema, o que é imposto pela NR12 no item 12.5.7, segundo o qual somente se pode operar quando as proteções estiverem fechadas, o que é verificado neste projeto com a presença das chaves de bloqueio habilitando ou não este sistema de intertravamento.

Figura 9 – Contator de segurança Weg



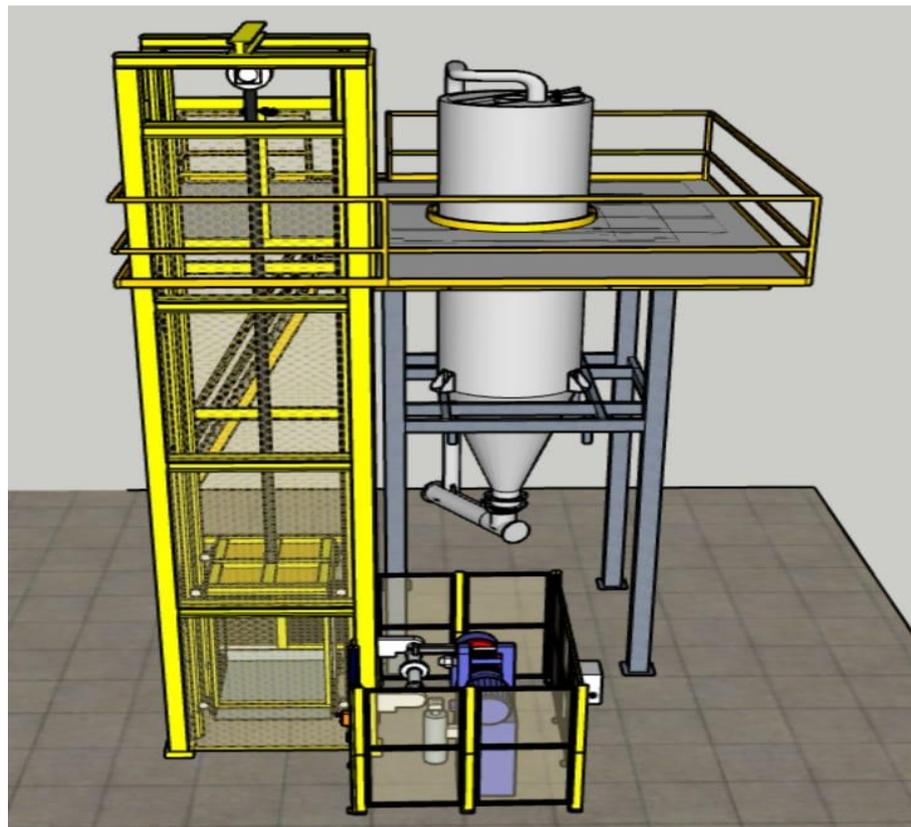
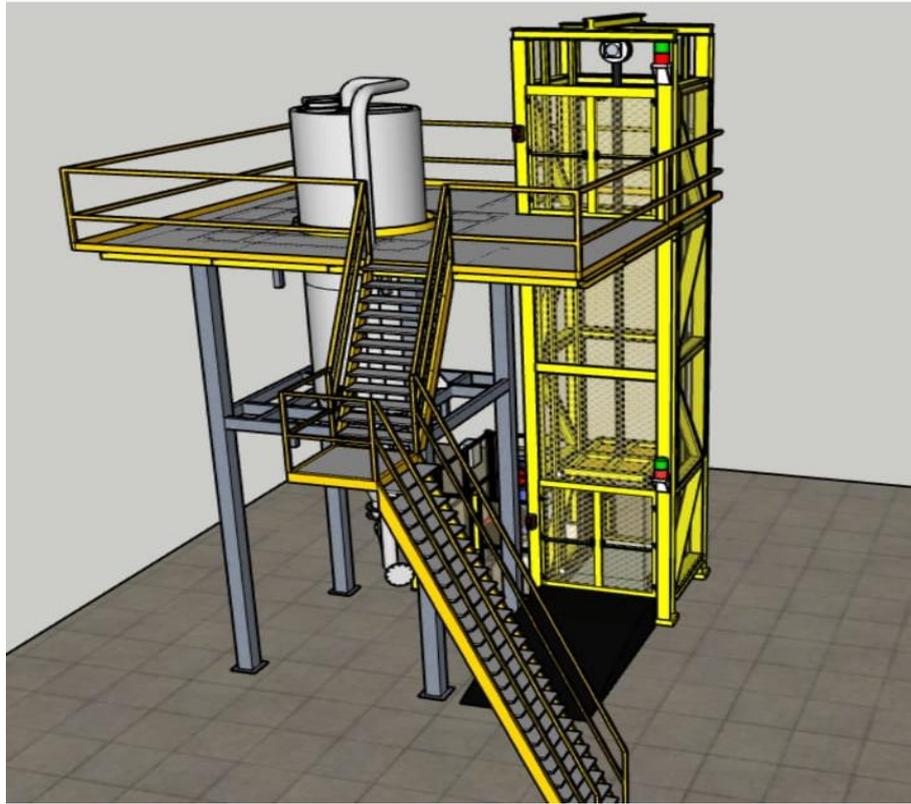
Fonte: Dimensional (2023)

Todo circuito da potência do motor que executa o movimento da máquina só será habilitado via contatores de segurança, que por sua vez são acionados pelo CLP através de suas saídas digitais.

Conforme previsto pela NR 12, há redundância também nos contatores. No caso, como há o movimento de subida e descida, são utilizados três contatores para inversão de movimento, um contator em comum e outros dois que invertem conforme a lógica do sistema. Importante ressaltar que a potência dos motores só poderá ser habilitada se todos os dispositivos de segurança estiverem em conformidade com o acionamento.

Com esses componentes foi possível fornecer um protótipo de um elevador de carga com sistema de segurança orientado por um CLP, conforme ilustrado nas imagens da Figura 10:

Figura 10 – Imagens do protótipo de elevador de carga



Fonte: do autor (2023)

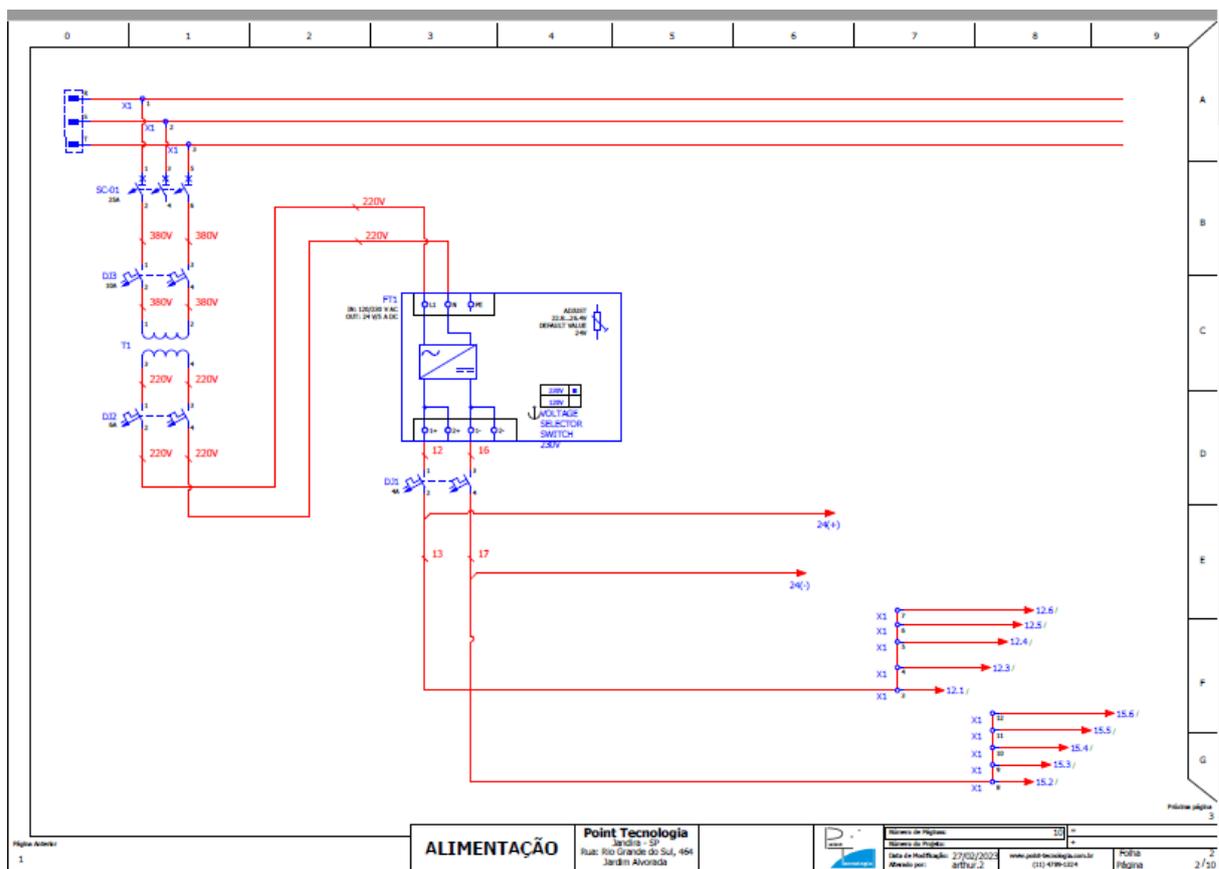
4 RESULTADO E DISCUSSÃO

A compreensão dos conceitos em segurança de elevadores de carga extraídos da NR 12 e a interpretação e exploração das ferramentas de controle e automação utilizadas no projeto resultaram em um protótipo de sistema de segurança específico para elevadores de carga de grande dimensão, movimentados com materiais e pessoa(s) em seu interior.

O sistema de segurança foi construído com os materiais acima mencionados utilizados em dois processos de controle e automação: a formação do esquema elétrico e a parametrização do CLP.

A seguir, demonstra-se o esquema elétrico do projeto de segurança em elevador de cargas. Percebe-se pelo sistema de força que há mudança na tensão de 220VAC (Tensão Alternada) para 24VDC (Tensão Contínua) realizada por uma fonte de tensão para se alimentar o sistema de controle e respectivamente seus comandos feitos pelo operador.

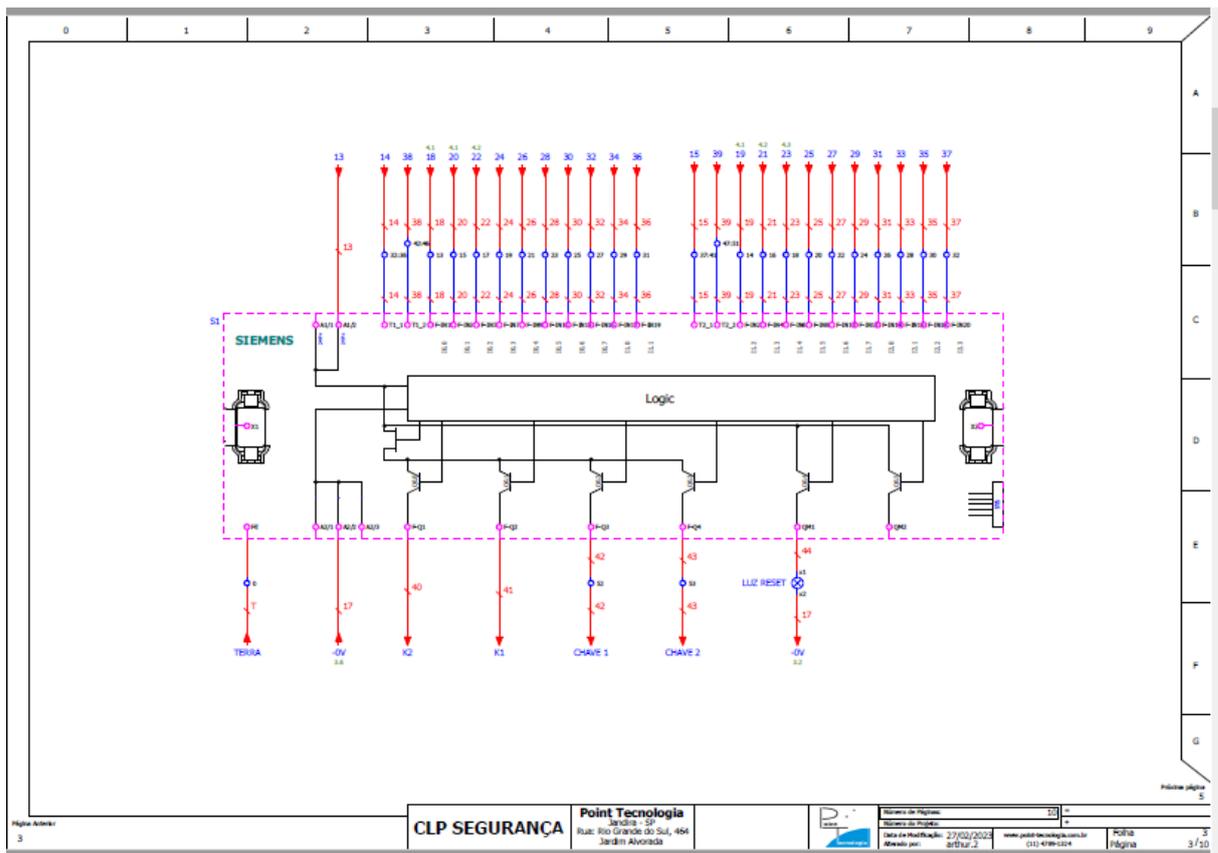
Figura 11 – *Slide* 1 do esquema elétrico do projeto de segurança para elevador de cargas

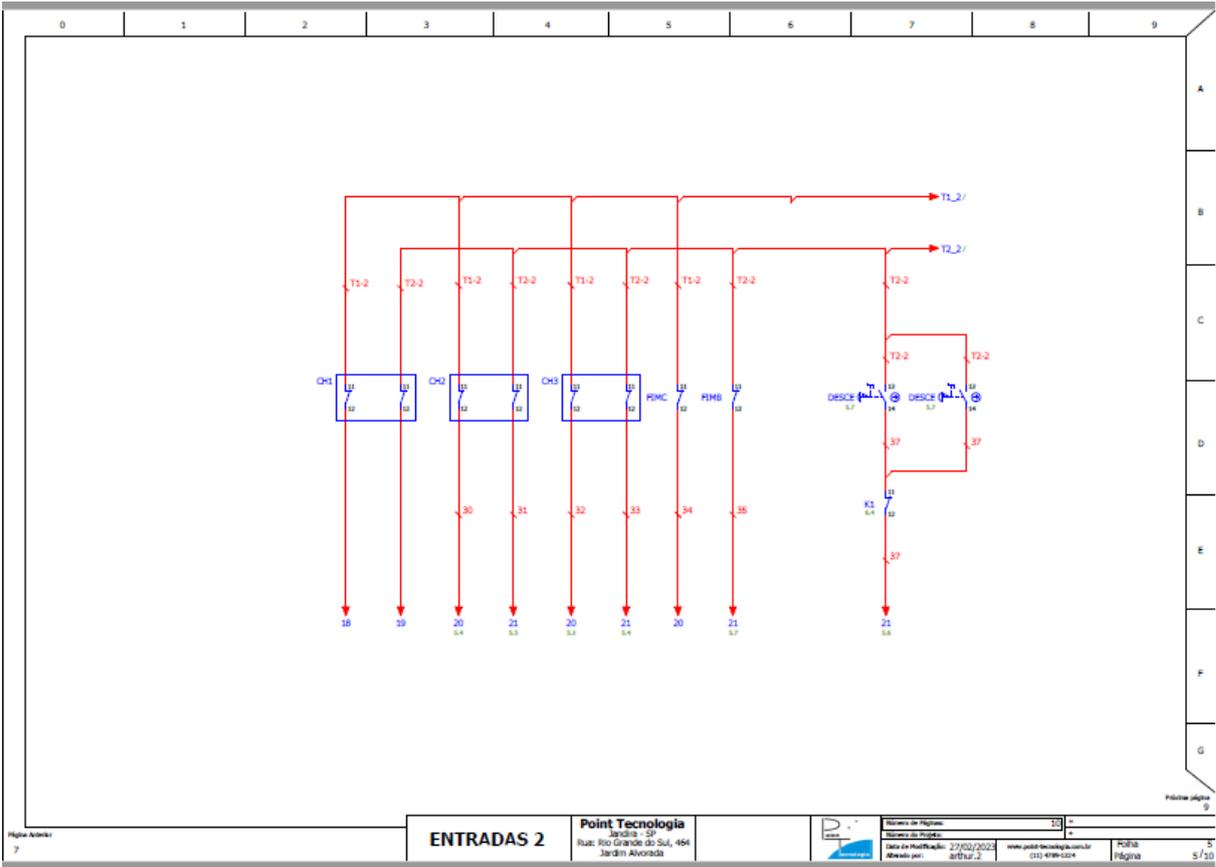
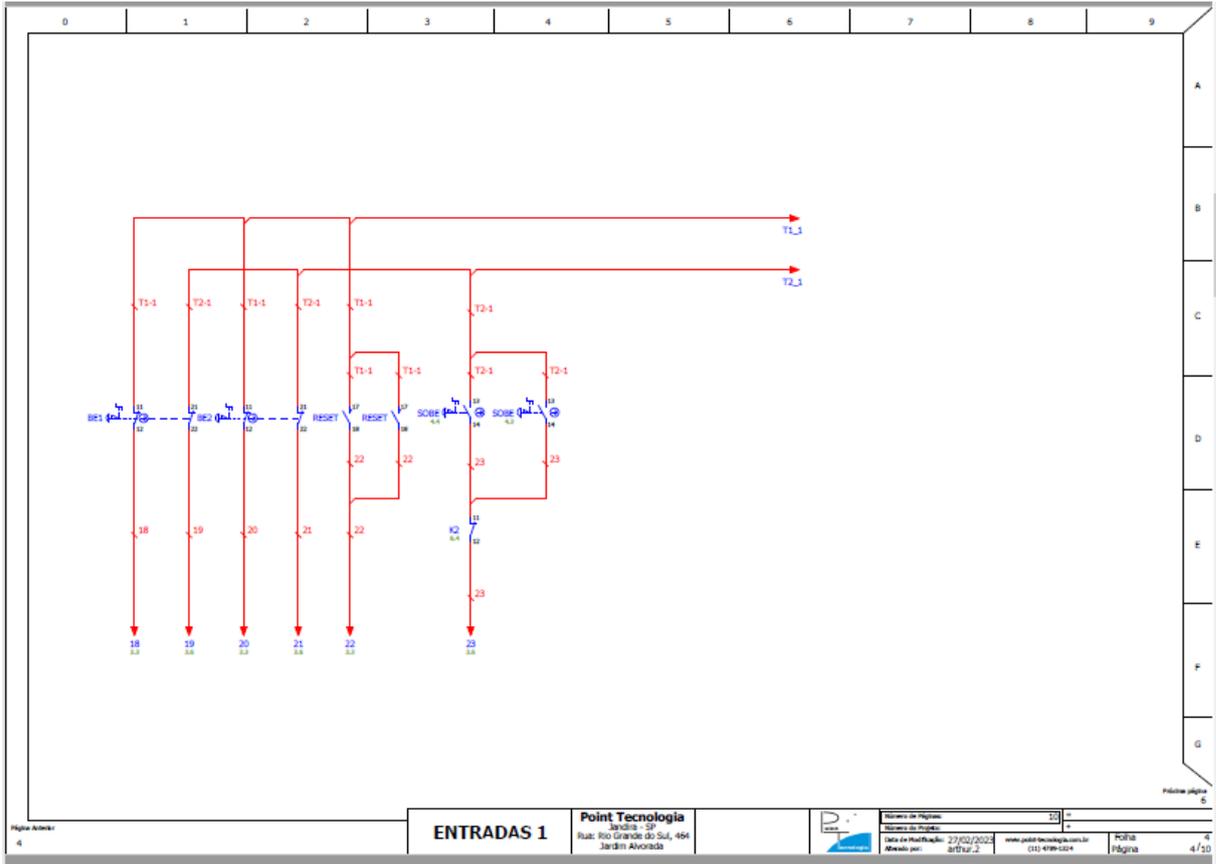


Fonte: do autor (2023)

Como proposto e implementado no projeto, há utilização dos dispositivos de segurança para aferir em qual estado estes estão, nas figuras (CLP de segurança, entrada 1 e entrada 2). A seguir, mostra-se o esquema elétrico desses dispositivos em comunicação com o CLP pelos seus sinais elétricos em suas entradas monitoradas. Observa-se também a natureza desses contatos no esquema, se é NF ou NA, influenciando diretamente na lógica de programação.

Figura 12 - Slides 2, 3 e 4 do esquema elétrico do projeto de segurança para elevador de cargas.





Fonte: do autor (2023)

Com a finalidade de utilizar um intertravamento do sistema de potência e assim garantir que apenas haverá ciclo com o consentimento dele, foi realizada uma lógica em que serão acionados esses contatores pelas saídas do CLP de segurança: zero *speed* e intertravamento. A lógica elétrica desenvolvida é apresentada na Figura 13:

Figura 13 - Slides 5 e 6 do esquema elétrico do projeto de segurança para elevador de cargas.

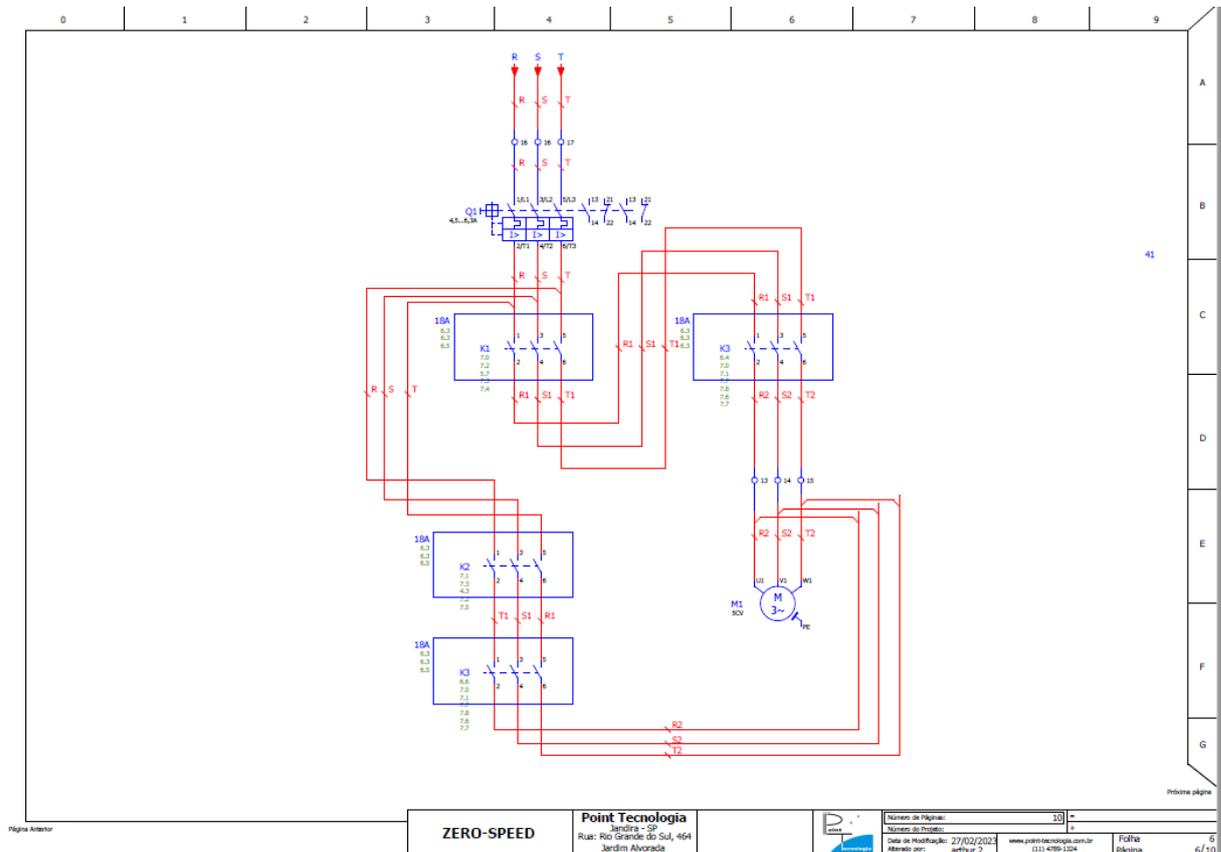
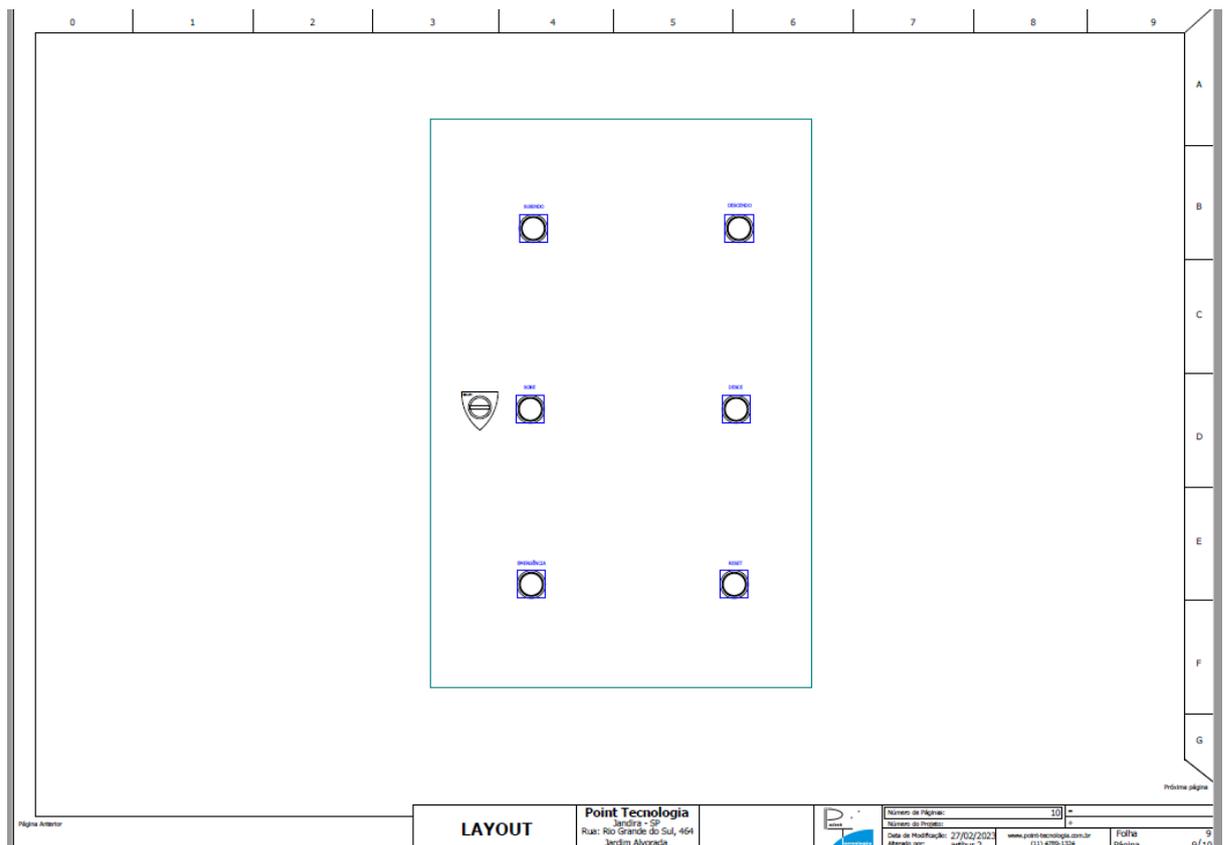
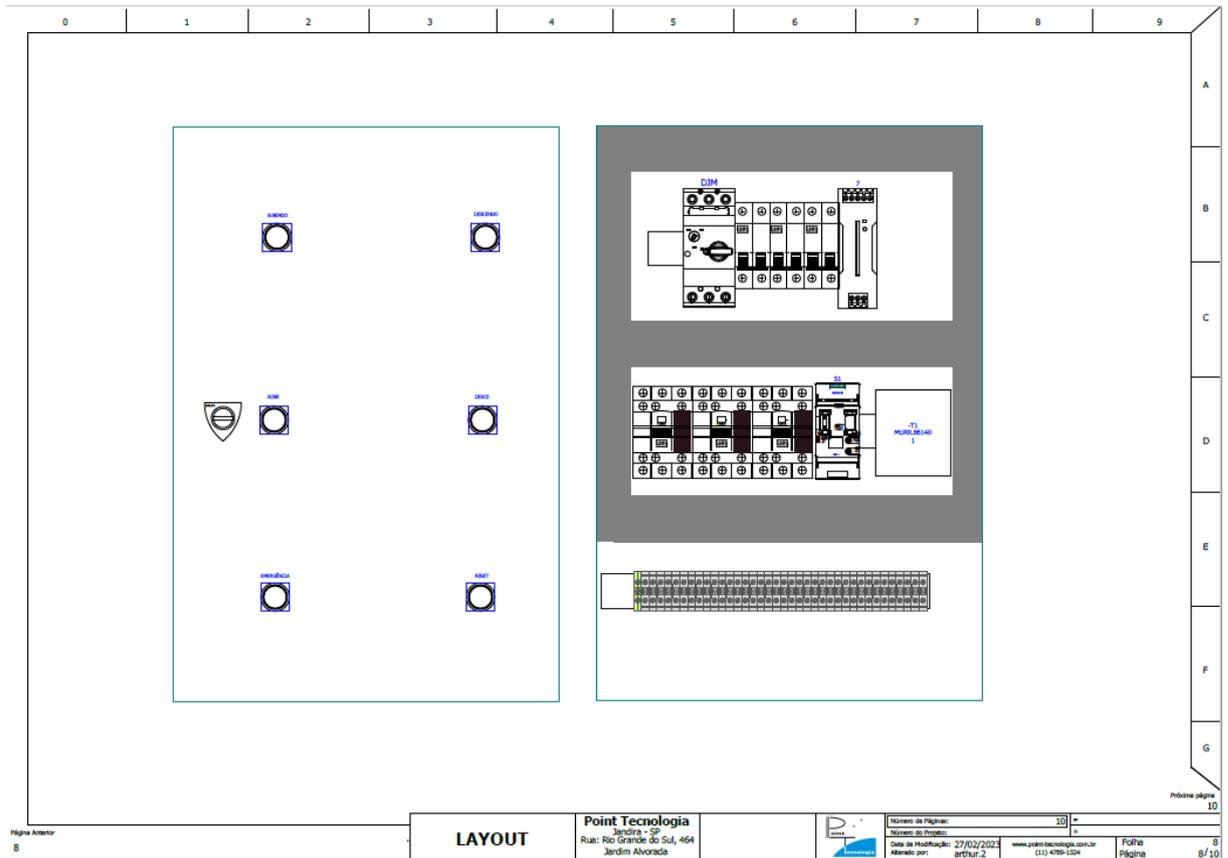
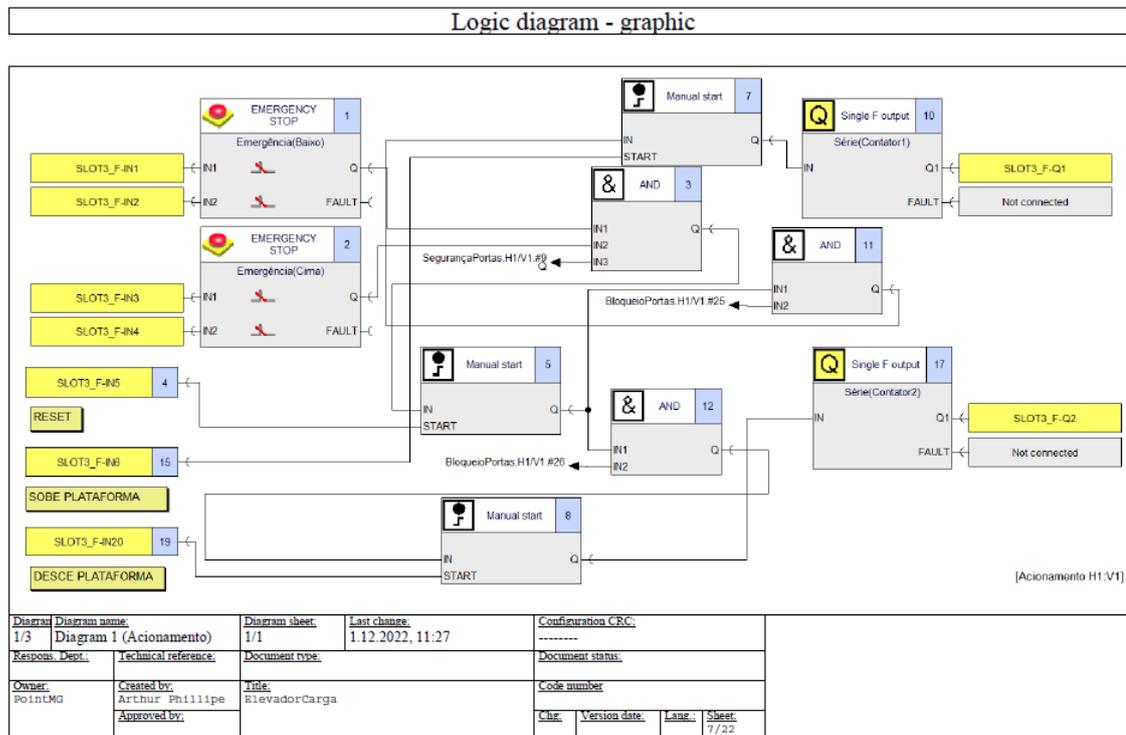


Figura 14 - Slides 7, 8 e 9 do esquema elétrico do projeto de segurança para elevador de cargas.



referentes à segurança dos outros diagramas que serão discutidos posteriormente. Importante ressaltar que, embora não mencionados na NR 12, os botões de subida e descida foram utilizados nesta lógica.

Figura 15 – Diagrama 1 da programação do CLP

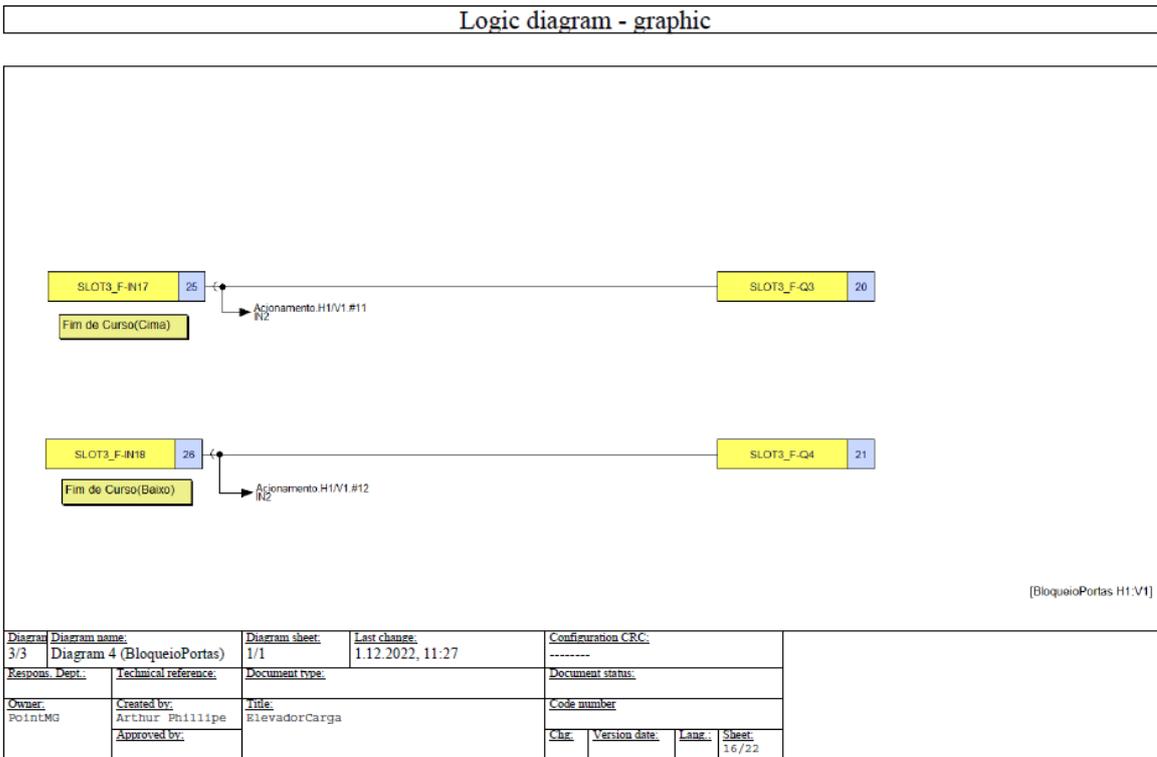
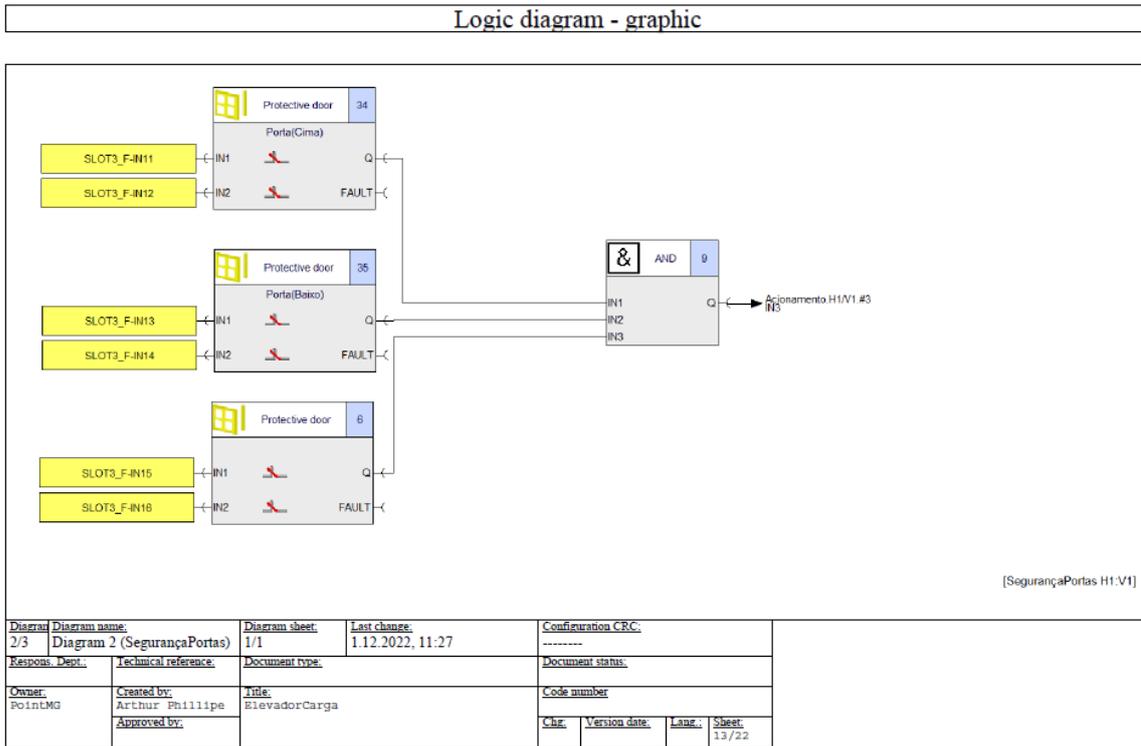


Fonte: do autor (2023)

Nós próximos diagramas são inseridos elementos de programação para garantir a segurança das portas do elevador. No Diagrama 2 é demonstrada essa lógica: recebem-se os *status* das chaves de bloqueio nas entradas do CLP (FIN11,FIN12,FIN13,FIN14,FIN15,FIN16), quando todas as portas estiverem fechadas, o bloco AND repassa a informação para o Diagrama 1 de que é possível executar o ciclo do elevador com segurança.

No Diagrama 3 apenas é realizada a lógica com fim de curso, se este no andar de cima repassar informação à entrada digital (FIN17) ao CLP de contato mecânico com o elevador, apenas poderá ser aberta a porta do andar de cima. Essa habilitação ocorre na chave de bloqueio pela saída digital (FQ3), pelo que também é realizada essa lógica no andar de baixo respectivamente com entrada digital (FN19) e saída digital (FQ4) com os mesmos elementos mencionados, fim de curso e chave de bloqueio, garantindo a abertura do elevador apenas no mesmo andar deste.

Figura 16 – Diagramas 2 e 3 da programação do CLP



Fonte: do autor (2023)

Sendo assim, uma vez apresentados os componentes materiais, o esquema elétrico e a programação do CLP, encontra-se formulado o projeto de segurança para elevadores de carga que se movimentam com pessoa(s) em seu interior.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se propôs a construir um projeto de segurança para elevador de carga que, valendo-se de recursos de automação e controle, pudesse oferecer máxima segurança ao ascensorista e demais pessoas em contato direto ou proximidade física com o equipamento.

Uma vez que o protótipo apresentado como sistema de segurança em um elevador de carga de grande dimensão foi totalmente orientado pela normalização dada pela ABNT, notadamente pela NR 12, que dispõe sobre segurança de máquinas e equipamentos; e que além dos dispositivos cuidadosamente eleitos foi idealizada automação com o esquema elétrico adequado e o controle centralizado na inteligência de um CLP de segurança, acredita-se que o sistema automatizado construído, uma vez colocado em prática, seja capaz de diminuir e eliminar riscos à incolumidade do trabalhador que interage com o equipamento.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Rafael Eduardo Saturno. **Projeto de elevador monta-cargas para indústria alimentícia**. 2022. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/48958/1/TCC_RAFAEL_ELEVADOR_FINAL.pdf. Acesso em: 18 fev. 2023.
- ÂNGELO, Nuno Tiago Proença. **Projecto e Concepção de um Sistema Elevador Monta-cargas Industrial**. 2016. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2016.
- ARAÚJO, Wecio Pinheiro. Marx e a indústria 4.0: trabalho, tecnologia e valor na era digital. **Revista Katálysis** [on line], v. 25, n. 1, jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-0259.2022.e82591>. Acesso em: 26 jan. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NR12 - Norma Regulamentadora de Segurança de Máquinas**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-12.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2023.
- _____. **NBR NM 267**. Elevadores hidráulicos de passageiros - Requisitos de segurança para construção e instalação. 2001. Disponível em: https://www.amn.org.br/Content/Arquivos/normasEprojetos/NM%20267_2001.pdf. Acesso em: 1 mar. 2023.
- _____. **NBR 14712**. Elevadores elétricos - Elevadores de carga, monta-cargas e elevadores de maca - Requisitos de segurança para projeto, fabricação e instalação. 2001. Disponível em: <https://vdocuments.mx/norma-nbr-14712-elevadores-de-carga.html?page=2>. Acesso em: 24 fev. 2023.
- _____. **NBR 14153**. Segurança de máquinas Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança - Classificação por categorias de segurança. Disponível em: <https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/10908/identificar/visitante>. Acesso em: 25 fev. 2023.
- ATLAS SCHINDLER. **Elevadores**. Disponível em: <https://www.schindler.com.br/pt/elevadores.html>. Acesso em: 28 fev. 2023.
- BERARDI, Filipe Pereira; SANTOS, Tharles Cardoso dos. Projeto de um elevador eletromecânico residencial para um prédio de 4 andares com capacidade de 450kg localizado no Município de Miracema/RJ. **Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico - REINPEC** [on line], v. 6, n. 1, p. 10-262, jan./jun. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v6n1a2> ISSN: 2446-6778. Acesso em: 21 fev. 2023.
- BLOG NR 12 DIGITAL. **Botão de emergência NR 12**. 28 jan. 2021. Disponível em: <https://blog.nr12digital.com.br/2021/01/28/botao-de-emergencia-nr12/>. Acesso em: 25 fev. 2023.

BOLTON, W. **Programmable Logic Controllers**. EUA: Newnes, 2009

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 26 jan. 2023.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA). **Anotação de Responsabilidade Técnica (ART)**. Disponível em: <https://www.confea.org.br/servicos-prestados/anotacao-de-responsabilidade-tecnica-art>. Acesso em: 23 fev. 2023.

CREL ELEVADORES. **Saiba mais sobre os elevadores de carga**. Disponível em: <https://crel.com.br/>. Acesso em: 25 fev. 2023.

DIMENSIONAL. **Contator**. Disponível em: https://www.dimensional.com.br/contator-aux-24vcc-8na-1nf-cawbs8100c03---weg/p?idsku=1035500&gclid=Cj0KCQiAo-yfBhD_ARIsANr56g71PMdDZHISR6T6OhMf70xrNZkITRigXYPEQvRtidJtyAyVbQ6xWa0aAmqLEALw_wcB. Acesso em: 2 mar. 2023.

EDGE. **Performance Level**: saiba como funciona a evolução da NBR 14153. Disponível em: <https://edgeglobal.com.br/blog/performance-level/>. Acesso em: 21 fev. 2023

EPLAN. Disciplinas. Disponível em: <https://www.eplan.com.br/disciplinas/>. Acesso em: 25 fev. 2023.

INDÚSTRIA DE ELEVADORES E SISTEMAS DO BRASIL (IESAB). **Elevadores de carga**. Disponível em: <https://iesab.com.br/elevadores-de-carga/>. Acesso em: 21 fev. 2023.

KALATEC AUTOMAÇÃO. **Equipamentos industriais: o que são, tipos e como escolher**. 2022. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/equipamentos-industriais/>. Acesso em: 26 jan. 2023.

KÜNZEL, Walter Luís; SILVA, Guilherme Manoel da. **Norma NR-12: Como aplicar sistemas e dispositivos eletroeletrônicos de segurança em máquinas e equipamentos**. Disponível em: http://www.crea-sc.org.br/portal/arquivosSGC/Artigo_walter.pdf. Acesso em: 18 fev. 2023.

MACHADO, Leonardo Cardoso. **Elevador para deslocamento de pequenas cargas**. 2016. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2016. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/1785/LeonardoCardosoMachadoSemAssinatura.pdf;jsessionid=7BB79350EA8BC039EAB3DA0A870386A8?sequence=1>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MAIA NETO, José Ary; FREITAS NETO, Otacílio Pires de; CATÃO, Anderson Thiago Teles. Dimensionamento de um sistema de elevação de um elevador monta-cargas para uso comercial. **III CONAPESC**. *Anais ...* Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em:

https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2018/TRABALHO_EV107_MD1_SA28_ID1175_29052018000539.pdf. Acesso em: 26 jan. 2023.

MOURA, Reinaldo Aparecido. **Sistemas e técnicas de movimentação e armazenagem de materiais**. São Paulo: Instituto IMAM, 1983.

NASCIMENTO, Felipe B. Conta contábil máquinas e equipamento. **Contábeis**. 2011. Disponível em: <https://www.contabeis.com.br/forum/contabilidade/62646/conta-contabil-maquinas-e-equipamentos/#:~:text=A%20id%C3%A9ia%20inicial%20de%20m%C3%A1quina,parte%20de%20sua%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20manual>. Acesso em: 2 mar. 2023.

PYROTEC. **Chave de segurança D4NL-4EFA-B Omron**. Disponível em: <https://pyrotec.com.br/produto/chaves-de-seguranca-d4nl-4efa-b-omron/>. Acesso em: 2 mar. 2023.

RUDENKO, N. **Máquinas de Elevação e Transporte**. Tradução João Plaza. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976.

SANTOS JUNIOR, Joubert Rodrigues dos; ZANGIROLAMI, Márcio José. **NR-12 Segurança em máquinas e equipamentos: conceitos em aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020.

SCHNEIDER ELETRIC. **Loja**. Disponível em: https://loja.se.com/?gclid=CjwKCAiAr4GgBhBFEiwAgwORrdBg2ONzxULvgexIr9Eek2rG-CwH7s86k3yM4yRM9ei4-PEcJ7EV8RoC2owQAvD_BwE. Acesso em: 2 mar. 2023.

SCHUMM, Laura. Who invented the Elevator? **History**. 22 ago. 2018. Disponível em: <https://www.history.com/news/who-invented-the-elevator#:~:text=According%20to%20the%20writings%20of,manpower%20applied%>. Acesso em: 21 fev. 2023.

SIEMENS. **Loja**. Disponível em: https://www.siemens.com/br/pt.html?gclid=CjwKCAiAr4GgBhBFEiwAgwORrdf_4eoRk3V Da0JuW-uAX5Sw_7rt7oBJtAkD0wxcNtKZuy8vc39ubxoC-LoQAvD_BwE&acz=1. Acesso em: 16 jan. 2023.

SILVA, Reginaldo Barboza da *et al*. Desenvolvimento, automação e desempenho de um consolidômetro com interface homem-máquina. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. Viçosa, v. 39, n. 2, p. 416-427, abr. 2015. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000200416&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 fev. 2023.

SILVA, Wanderson Veras da. **Protótipo de um elevador de carga utilizando um sistema embarcado de baixo custo**. 2017. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento Acadêmico de Processos Industriais do Campus Manaus do Centro do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. Manaus, 2017. Disponível em: http://repositorio.ifam.edu.br/jspui/bitstream/4321/711/1/Prot%C3%B3tipo%20de%20um%20elevador%20de%20carga%20utilizando%20um%20sistema%20embarcado%20de%20baixo%20custo_Silva_2017.pdf. Acesso em: 18 fev. 2023.

SILVA, Wesley. **Proposta de melhoria da segurança em elevadores na construção civil de Guarulhos através de normas técnicas**. São Paulo: Faculdade Eniac, 2016

SIMON SAFETY. **Análise de Risco**. 2017. Disponível em: <http://simonsafety.com.br/imagens/geral/analise-risco.PDF>. Acesso em: 18 fev. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA). Escola de Engenharia (EENG). **Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação**. 2020. Disponível em: <https://eeng.ufla.br/graduacao/engenharia-controle-automacao-bacharelado>. Acesso em: 26 jan. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE). **Conceito: Projeto-piloto**. Disponível em: https://www.cin.ufpe.br/~gta/rup-vc/core.base_rup/guidances/concepts/pilot_project_AE852816.html#:~:text=Um%20projeto%20piloto%20%C3%A9%20um,outras%20solu%C3%A7%C3%B5es%20de%20sistema%20sugeridas. Acesso em: 23 fev. 2023.

VIEIRA, Kleber José Rodrigues; BERNUY, Miguel Angel Chincaro. Comando microcontrolado para elevador de carga. **UNOPAR Ciênc Exatas Tecnol**. Londrina, v. 2/3, n. 1, p. 29-41, nov. 2003-2004.

WARMLING, Henrique Arent; CAVALER, Luiz Carlos de Cesaro. Estudo de adequação e normalização de elevador de carga tipo cremalheira. **SATC Educação e Tecnologia**. 2020. Disponível em: <http://repositorio.satc.edu.br/handle/satc/411>. Acesso em: 18 fev. 2023.

WEISS, Charles; GASPARIN, Deizi Daiane; SCHLING, Eder Perin. **Automação de um protótipo de elevador industrial didático**. 2011. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Manutenção Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011 Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13698/2/MD_COMIN_2011_2_09.pdf. Acesso em: 25 fev. 2023.

ZANZOTI, Fernando Henrique Oliveira. **Desenvolvimento do protótipo de hardware de um micro PLC**. 2019. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26392/1/DesenvolvimentoPrototipoHardware.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2023.