

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PAULO ANDRÉ LIMA SOUTO**

**INTEGRAÇÃO DE CLPS CLIC-02 DA WEG PARA  
CONTROLE COORDENADO DE DOIS ELEVADORES  
COMERCIAIS**

**VIÇOSA  
2015**

**PAULO ANDRÉ LIMA SOUTO**

**INTEGRAÇÃO DE CLPS CLIC-02 DA WEG PARA  
CONTROLE COORDENADO DE DOIS ELEVADORES  
COMERCIAIS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 - Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Santos Brandão

VIÇOSA  
2015



**PAULO ANDRÉ LIMA SOUTO**

**INTEGRAÇÃO DE CLPS CLIC-02 DA WEG PARA CONTROLE  
COORDENADO DE DOIS ELEVADORES COMERCIAIS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 - Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 03 de Julho de 2015.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Alexandre Santos Brandão - Orientador  
Universidade Federal de Viçosa

---

Prof. Daniel Khéde Dourado Villa - Membro  
Universidade Federal de Viçosa

---

Gerson Ovidio Luz Pedruzi - Membro  
Universidade Federal de Viçosa

*Esta monografia é dedicada à minha mãe Ângela, meu pai Pedro, minha irmã, namorada, demais familiares e amigos.*

# *Agradecimentos*

Agradeço primeiramente a Deus por assegurar minha saúde e disposição para continuamente superar obstáculos.

Aos meus familiares, em especial minha mãe Ângela e meu pai Pedro, pela confiança e apoio incondicional, e a minha avó Ana Lima pelas palavras de carinho. A minha namorada pela constante presença e conselhos oferecidos durante minha jornada.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica pelos ensinamentos repassados, em especial ao professor Alexandre Santos Brandão, pela sugestão do tema deste trabalho e orientação à distância, tornando-se essencial para a conclusão do mesmo.

A Johnson & Johnson Brasil, pelos dias em que me ausentei para comparecer à Universidade e dar continuidade a este trabalho.

Ao Daniel Khéde e Luís Otávio pelo suporte oferecido em minhas visitas ao departamento para construção do sistema.

Aos amigos que fizeram parte da minha graduação e a todos que direta ou indiretamente colaboraram na elaboração desse trabalho, o meu sincero agradecimento.

*“I am a great believer in luck.  
The harder I work, the more of it I seem to have.”*

***Thomas Jefferson***

# *Resumo*

Este trabalho detalha desde a concepção até a implementação de um sistema de controle de grupo de elevadores para que os mesmos distribuam entre si as chamadas visando otimizar o atendimento e prover alto fator de serviço.

Objetivou-se com este projeto a validação de um sistema confiável e de baixo custo que pudesse ser implementado em prédios comerciais sem que a segurança dos passageiros fosse comprometida.

Desenvolveu-se uma modelagem precisa sobre o princípio de funcionamento dos elevadores, sob a qual baseou-se a criação da lógica de programação para cada controlador, elaborada de maneira que os elevadores fossem independentes entre si e estabelecessem comunicação para delegação de responsabilidades. Criou-se um protocolo, adaptado às limitações do sistema, para troca de informação entre estações e definição de prioridades para alocação de chamadas. Para qualificação e validação do sistema desenvolvido, montou-se uma planta didática de dois elevadores de quatro andares destinados a implementação e testes.

O sistema aqui descrito satisfaz os requisitos de projeto e demonstrou-se eficaz no ordenamento do grupo de elevadores. Conforme proposto, este trabalho evidencia o projeto e construção de um sistema de controle robusto e de baixo custo para até oito elevadores comerciais em funcionamento ordenado para otimização do transporte vertical.

# *Abstract*

This paper presents, from conception to execution, a control system for elevators group that distribute received calls automatically between themselves, seeking optimize attendance and achieve maximum service factor.

On this project we aimed at developing a reliable and low cost elevator system for safe human transport that could be deployed in commercial buildings.

For creating the controller's programming was made a accurate modeling of its functioning logic, which insures self-sufficiency and communication between nodes. An appropriate communication protocol was developed for data sharing and priority settings. It was built two small sized elevators for tests and system validation.

The system described in this paper meets all project requirements and proves itself effective in elevators ordering. This paper presents how to build a reliable and low cost control system for up to eight commercial elevators working as group for proper scheduling in order to improve its services.

# *Sumário*

**Lista de Figuras**

**Lista de Tabelas**

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>12</b>
1.1	Elevadores . . . . .	13
1.1.1	História . . . . .	13
1.1.2	Estrutura e funcionamento . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>16</b>
2.1	Controlador Lógico Programável (CLP) . . . . .	16
2.1.1	Introdução . . . . .	16
2.1.2	Relé Programável Clic 02 3rd - WEG . . . . .	17
2.1.3	Linguagem de Programação - <i>Ladder</i> . . . . .	17
2.1.4	Rede de Comunicação - <i>Datalink</i> . . . . .	18
2.2	Máquina de Estados Finitos . . . . .	19
2.2.1	Definição . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Objetivos</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>22</b>
4.1	Hardware . . . . .	22
4.2	Software . . . . .	23
4.2.1	Sinalização de Responsabilização . . . . .	25

<b>5</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>30</b>
	<b>Referências</b>	<b>31</b>
	<b>Anexo A - Exemplo</b>	<b>32</b>
A.1	Função <i>Datalink</i> . . . . .	32
A.2	Operação . . . . .	33
	<b>Anexo B - Diagrama Elétrico</b>	<b>37</b>
	<b>Anexo C - Planta</b>	<b>41</b>
C.1	Elevador 1 . . . . .	41
C.2	Elevador 2 . . . . .	43

# *Lista de Figuras*

1	Elisha Otis apresentando seu novo sistema de segurança para elevadores em uma feira de Nova York. . . . .	14
2	Estrutura usual de um elevador. (1) . . . . .	15
3	Princípio de Funcionamento do CLP. . . . .	17
4	Visão geral do controlador Clic 02, WEG. . . . .	18
5	Ilustração da comunicação via função <i>Datalink</i> . . . . .	18
6	Requisitos de instalação para comunicação RS-485 com Clic-02, WEG. (2)	19
7	Planta de validação - Elevadores para funcionamento ordenado. . . . .	22
8	Modelagem em Máquina de Estados Finitos do sistema proposto. . . . .	23
9	Fluxograma - Ligação. . . . .	24
10	Fluxograma - Recebimento de chamada . . . . .	24
11	Fluxograma - Responsabilização por chamada. . . . .	26
12	Exemplo prático de priorização. . . . .	27
13	Fluxograma - Embarque/Desembarque. . . . .	27
14	Fluxograma - Desligamento. . . . .	28
15	Fluxograma - Contingência. . . . .	28
16	Disposição de informações nos bits compartilhados, por estação. . . . .	29
17	Configuração para escrita de variáveis compartilhadas na rede via <i>Datalink</i> . (2) . . . . .	32
18	Configuração para leitura de variáveis compartilhadas na rede via <i>Datalink</i> .	33
19	Níveis de prioridade para chamados externos - casos específicos. . . . .	34
20	Exemplo prático - Ciclo de <i>SCAN</i> 1. . . . .	34

21	Exemplo prático - Ciclo de <i>SCAN</i> 2. . . . .	35
22	Exemplo prático - Ciclo de <i>SCAN</i> n. . . . .	35
23	Exemplo prático - Ciclo de <i>SCAN</i> n+1. . . . .	35
24	Exemplo prático - Ciclo de <i>SCAN</i> n+2. . . . .	36
25	Exemplo prático - Ciclo de <i>SCAN</i> n+3. . . . .	36
26	Acionamento e Segurança. . . . .	37
27	Verificação de andar atual e posicionamento da cabine. . . . .	39
28	Gerenciamento de chamadas internas e controle das portas. . . . .	40
29	Gerenciamento de chamadas externas e responsabilização por chamadas, via Comunicação <i>DATALINK</i> . . . . .	40
30	Visão geral do Elevador 1. . . . .	41
31	Elevador 1 - Controlador. . . . .	41
32	Elevador 1 - Painel Interno. . . . .	42
33	Elevador 1 - Painel Externo. . . . .	42
34	Elevador 1 - Controle da porta. . . . .	42
35	Elevador 1 - Indicação de andar atual e chave geral. . . . .	42
36	Elevador 1 - Motor de tração e contrapeso. . . . .	43
37	Visão geral do Elevador 2. . . . .	43
38	Elevador 2 - Controlador. . . . .	43
39	Elevador 2 - Botoeira de emergência e chave geral. . . . .	44
40	Elevador 2 - Chamada interna. . . . .	44
41	Elevador 2 - Controle da porta. . . . .	44
42	Elevador 2 - Motor de tração e ponte-H. . . . .	44
43	Elevador 2 - Motor de tração e contrapeso. . . . .	45
44	Elevador 2 - Detecção e indicação de andar atual. . . . .	45

# *Lista de Tabelas*

1	Disposição das variáveis de rede conforme ID da estação. . . . .	19
2	Orçamento sistema de controle, por elevador instalado - valores de mercado.	22
3	Lista de Entradas do CLP. . . . .	38
4	Lista de Saídas do CLP. . . . .	39

# 1 *Introdução*

Os elevadores são os equipamentos destinados a viabilizar o transporte vertical, tornando viável a locomoção em edificações de altura elevada (3). Em adição, segundo a Norma ABNT NBR 13994 (2000) (4), todas as pessoas, independentemente de limitação de mobilidade ou percepção, têm direito à utilização autônoma e segura de edificações. A maneira mais usual de garantir tal acessibilidade é através de elevadores.

Apesar de fisicamente semelhantes, elevadores para aplicações residenciais e comerciais apresentam importantes distinções de funcionamento. Elevadores de prédios residenciais normalmente recebem chamadas que se originam ou se destinam ao andar térreo, não necessitando de uma lógica complexa de funcionamento. Enquanto que em prédios comerciais as chamadas são diversificadas, necessitando de definição de prioridades de direcionamento, visando garantir um alto nível de serviço.

A Norma ABNT NBR 5665 (1983) (5) estabelece os procedimentos para efetuar o Cálculo de Tráfego, uma sistemática que permite avaliar se a quantidade de elevadores será satisfatória para proporcionar um transporte vertical adequado ao fluxo de pessoas do edifício. Assim sendo, edifícios com elevada quantidade de andares ou alto fluxo de pessoas apresentam múltiplos elevadores, que atendem de maneira ordenada a todos os chamados dos usuários.

O planejamento de um elevador exige que o projetista tome diversas decisões relacionadas à concepção do sistema, dentre elas estão o método de alocação e chamada. Existem dois métodos principais de alocação de elevadores: alocação imediata e alocação contínua (6). A alocação imediata consiste em determinar no momento da chamada qual elevador compromete-se a atendê-la. No sistema de alocação contínua cada elevador responsabiliza-se por apenas uma chamada por vez, aquela com maior prioridade ou menor custo de atendimento. Quanto à chamada, o usuário pode ser requisitado, ainda no hall de espera, a definir seu andar de destino ou apenas definir sua direção (sobe-desce). Elevadores com botões de chamada externos do tipo sobe-desce lidam com diversas in-

certezas, como a quantidade de passageiros em espera e o andar de destino, dificultando a elaboração da lógica de atendimento (6).

A falta de um bom planejamento pode acarretar um fenômeno conhecido como *bunching*, onde mais de um elevador disputam o mesmo chamado, resultando em gasto de tempo e energia (7). Pode-se assim constatar que o controle de grupo de elevadores pode aumentar significativamente a eficiência do sistema, isto é feito distribuindo os chamados entre os elevadores disponíveis. Os principais critérios de otimização são a redução do tempo de espera dos passageiros e a redução do gasto de energia (6).

## 1.1 Elevadores

### 1.1.1 História

A necessidade de elevação de objetos e pessoas está presente desde os primórdios da humanidade. Os primeiros indícios de utilização de elevadores datam de 1500 a.C., época na qual egípcios elevavam grandes vasilhames de águas por meio de tração animal e humana.

Durante o século XIX, devido à Revolução Industrial, iniciou-se a utilização de energia a vapor como forma de tração, que evoluiu gradativamente para energia hidráulica e, por fim, elétrica. Entretanto, o transporte de pessoas nesta época era inseguro, afinal não haviam dispositivos de segurança para garantir a integridade dos passageiros caso os cabos de içamento se rompessem. Até que, em 1853, Elisha Otis faz uma demonstração pública de seu novo sistema que garantia a retenção da plataforma na ocorrência de um sinistro, ilustrado na Figura 1, fato que popularizou os elevadores de passageiros. (1)

Os primeiros elevadores brasileiros foram fabricados em 1918, contavam com um sistema de manivelas para controle da cabine e as portas eram manuais. Nos dias de hoje, cerca de um século depois, são produzidos elevadores totalmente automatizados, em média 45 vezes mais rápidos que seus antecessores e incomparavelmente mais seguros.

### 1.1.2 Estrutura e funcionamento

Os elevadores automatizados atuais contam com uma estrutura simples e compacta, conforme apresentado na Figura 2. A iniciar pelo controlador, que constitui o cérebro do sistema, sua função é, com base em sua lógica de funcionamento e a partir da leitura dos sensores instalados em campo, tomar as decisões convenientes para o devido funcionamento



Figura 1: Elisha Otis apresentando seu novo sistema de segurança para elevadores em uma feira de Nova York.

do sistema, garantindo sempre o conforto e a segurança dos usuários.

Estes elevadores contam com cabos fixados na parte superior da cabine, chamados de guias do carro, que passam por um par de polias e conectam-se na outra ponta a um contrapeso, que deve ter 45% do peso da cabine quando em sua carga máxima. Este contrapeso contribui com aceleração quando a cabine está subindo e retarda o movimento quando a cabine está descendo, diminuindo a potência requisitada do motor. (8)

Quando a cabine se aproxima do seu destino, sensores instalados em cada pavimento funcionam como referência para que o controlador central ordene a desaceleração do motor de tração e, conseqüentemente, da cabine. Assim que for atingido o andar de interesse, a cabine entra em repouso e é feita a abertura automática das portas para o embarque e desembarque de passageiros. As portas só voltarão a se fechar quando não houver mais trânsito de pessoas, verificado por sensores de obstáculos instalados nas mesmas.

Elevadores contam com diversos elementos de segurança para garantir a integridade física de seus usuários, são eles: botões de emergência internos, limitador de velocidade, limitador de percurso final e para-choque, além de redundância no *software* e *hardware*, de modo a deixá-los mais imunes a falhas elétricas.

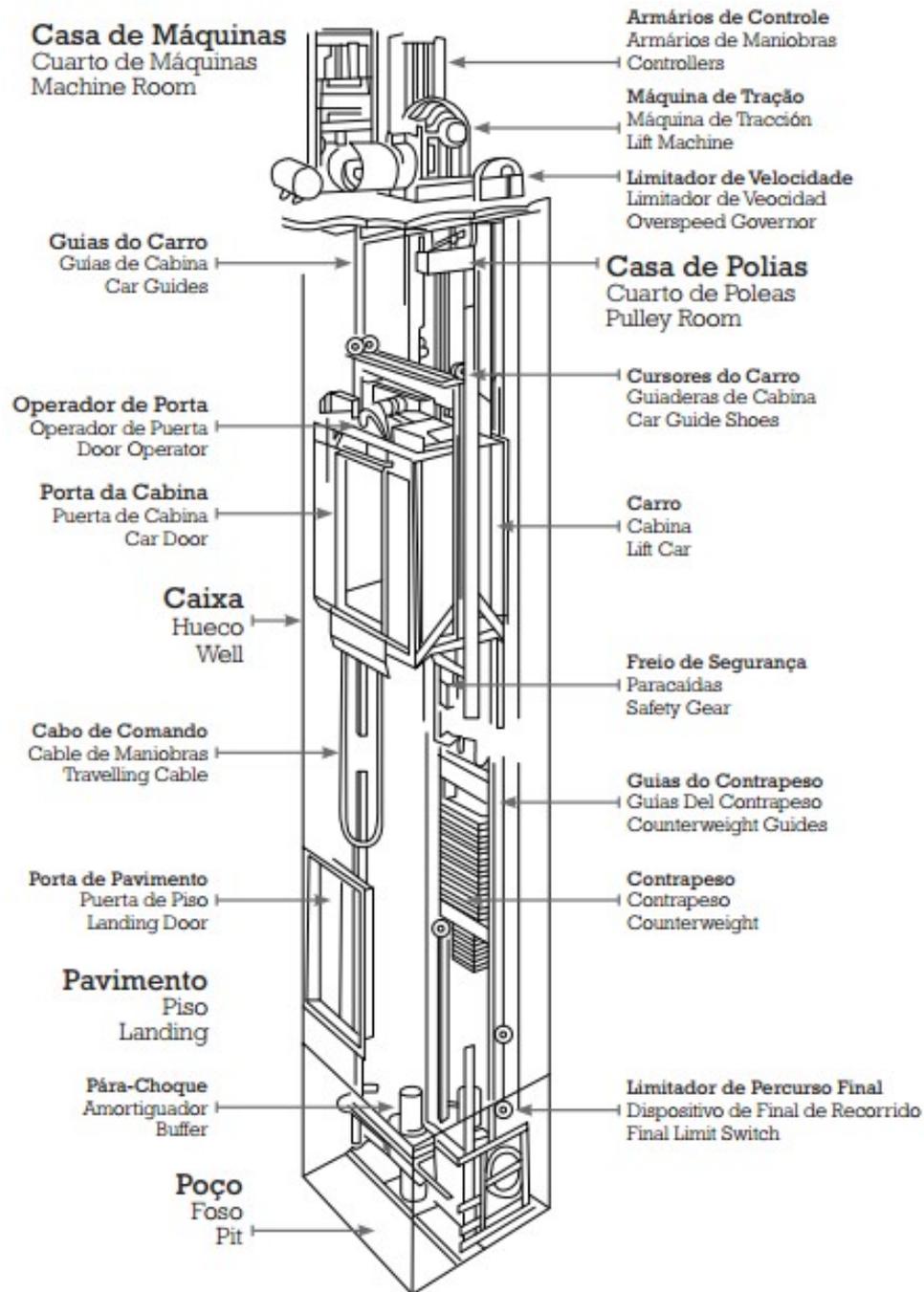


Figura 2: Estrutura usual de um elevador. (1)

## *2 Revisão Bibliográfica*

### **2.1 Controlador Lógico Programável (CLP)**

A automação de um sistema consiste em tornar automáticas atividades repetitivas, minimizando a necessidade da interferência humana e resultando em uma maior velocidade de operação e redução de erros. (9) (10)

#### **2.1.1 Introdução**

Os Controladores Lógico Programáveis (CLPs) consistem na evolução de imensos painéis elétricos, cuja estrutura tornava inviável qualquer modificação na lógica de funcionamento. O CLP é usado na área da automação como um marco na apresentação de soluções mais confiáveis, rápidas e adaptáveis aos problemas. (11) (12)

Segundo Kopelvski (2010) (13) um CLP nada mais é que um computador com uma construção física que atende os requisitos de operação em ambientes industriais e possui características como: flexibilidade, versatilidade, confiabilidade, modularidade e robustez. Apesar do CLP ser o elemento primordial na automação de processos, ele oferece preocupantes restrições ao projeto caso seja mal dimensionado, dentre elas, físicas (I/O) e de software (limitação de comandos).

Na Figura 3 é apresentado o fluxograma de funcionamento de um CLP. Note que ao início de seu ciclo de processamento ele lê as entradas e as transfere para uma região de memória chamada de Memória Imagem das Entradas. Em seguida, ele efetua o processamento do programa de usuário e define suas saídas, que serão alocadas na região de memória denominada Memória Imagem das Saídas. Somente ao fim do ciclo estas serão direcionadas para os terminais de saída. O processo descrito é comumente chamado de Ciclo de *SCAN*.

O tempo de *SCAN*, ou tempo de varredura, é o tempo requerido pelo processador

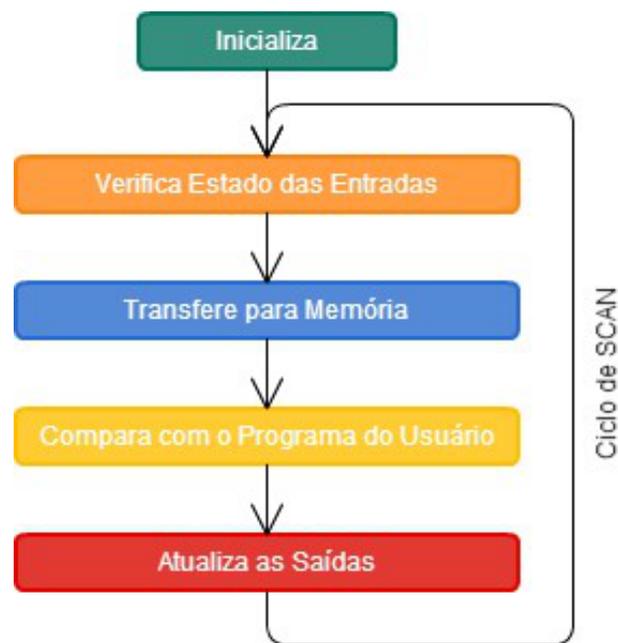


Figura 3: Princípio de Funcionamento do CLP.

para ler e processar as entradas e definir e atualizar as saídas. Este ciclo é executado de forma sequencial e cíclica durante toda a operação do controlador.

### 2.1.2 Relé Programável Clic 02 3rd - WEG

O Relé Programável Clic 02 3rd (Figura 4) é um controlador compacto e robusto, recomendado para aplicações de baixo e médio porte, devido à sua simplicidade e baixo custo. Possui funcionalidades como: intertravamento, temporização, PWM e operações matemáticas básicas. Em adição, ele permite a conexão de até três módulos de expansão, comunicação em rede com outros dispositivos e configuração em *ladder* com um limite máximo de 200 linhas de programação, e tempo de varredura (*SCAN*) entre 5 e 20ms. (14)

### 2.1.3 Linguagem de Programação - *Ladder*

*Ladder* é uma linguagem de programação gráfica baseada na lógica de relés e contatos elétricos para a realização de circuitos de comandos de acionamentos elétrico (15), bastante difundida em ambientes industriais pelo fato da mesma representar graficamente ligações físicas entre os componentes, tornando-a de fácil interpretação.

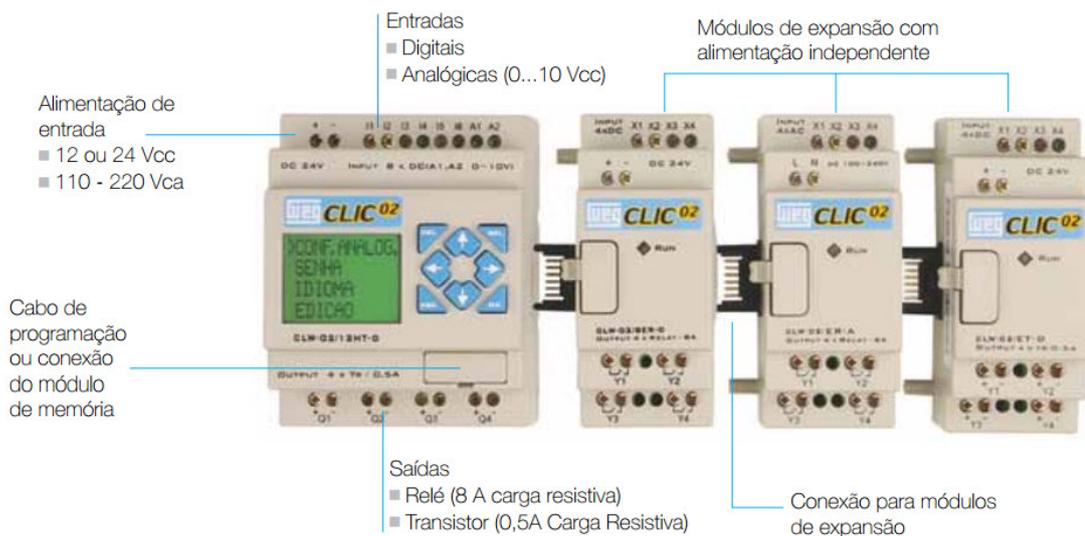


Figura 4: Visão geral do controlador Clic 02, WEG.

### 2.1.4 Rede de Comunicação - *Datalink*

A função *Datalink* permite a troca de dados em alta velocidade entre até oito estações CLIC 02 3rd através do protocolo de comunicação RS-485. Ao habilitar este recurso são criadas variáveis de rede 'W', sendo que cada estação tem acesso de escrita a uma faixa de endereços da rede e acesso de leitura aos demais. Veja que cada estação tem total independência, executando seu próprio programa e com suas próprias expansões. Assim sendo, cada nó tem direito a compartilhar oito bits de dados na rede e conseguirá ler os oito bits de qualquer outro nó interconectado, conforme sugerido na Figura 5 confrontada com os dados da Tabela 1. (14)

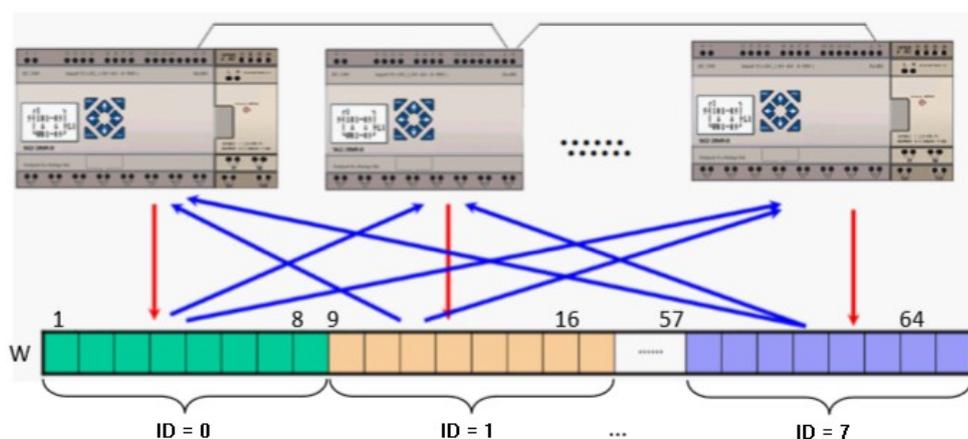


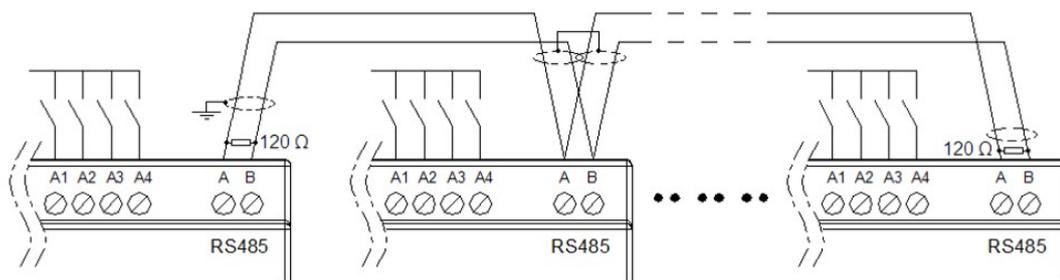
Figura 5: Ilustração da comunicação via função *Datalink*.

É de suma importância que os endereços de rede das estações sigam a sequência

Tabela 1: Disposição das variáveis de rede conforme ID da estação.

Endereço(ID)	Variáveis de Rede Controladas
0	W01 ~ W08
1	W09 ~ W16
2	W17 ~ W24
3	W25 ~ W32
4	W33 ~ W40
5	W41 ~ W48
6	W49 ~ W56
7	W57 ~ W64

0–7, sem saltar endereços, caso contrário a comunicação com as estações de endereços posteriores ao omitido ficará comprometida. Em adição, a colocação de terminadores nos extremos da rede é imprescindível para que ecos não prejudiquem a comunicação, conforme ilustrado na Figura 6. (2)

**AVISO!**

Utilizar cabo blindado, aterrando a malha apenas em uma das extremidades da rede.

Conectar resistores de 120 Ω entre A e B nas extremidades da rede.

A distância máxima para a fiação da rede RS-485 do CLIC-02 é de 100m.

Figura 6: Requisitos de instalação para comunicação RS-485 com Clic-02, WEG. (2)

## 2.2 Máquina de Estados Finitos

Visando a automatização do sistema e dada sua complexidade, torna-se necessário uma modelagem adequada que permita verificar a dinâmica do processo para elaboração precisa do algoritmo de funcionamento (16).

### 2.2.1 Definição

A Máquina de Estados Finitos consiste em um modelo matemático de um comportamento composto por estados, ações e transições, que realiza processos bem definidos em um tempo discreto: recebe uma entrada, faz um processo e entrega uma saída (17). Basicamente o sistema modelado deve estar sempre em algum de seus estados bem definidos, os quais armazenam informações sobre o passado, refletindo mudanças até o momento atual.

Será útil para a modelagem de elevadores, pois permite ao projetista prever eventualidades e definir funcionalidades. Servirá de pilar na criação da lógica de funcionamento.

## 3 *Objetivos*

Este trabalho propõe o projeto, o desenvolvimento e a implementação de um sistema automatizado de elevadores comerciais independentes que funcionem de maneira ordenada para o atendimento rápido e eficiente dos usuários. O sistema segue o método de alocação contínua, com chamadas externas do tipo sobe-desce.

Para validação do sistema serão confeccionados em laboratórios dois protótipos de elevadores de quatro andares, controlados por Relés Programáveis Clic-02 3rd da WEG, os quais se comunicarão em rede para garantir a harmonia no atendimento às chamadas externas. De modo a garantir a comunicação entre estações, será usada a função *Datalink*, que se faz necessária no atual contexto para que um elevador sinalize aos demais que ele se responsabiliza por atender determinada chamada.

Visando o atendimento eficiente dos passageiros, o sistema deve contar com um mecanismo de priorização, para que os elevadores tenham parâmetros para definição do chamado de menor custo de atendimento, e por ele responsabilizar-se. Note que um elevador não tem ciência do posicionamento dos demais, portanto a garantia de que aquele que tenha menor custo de atendimento se prontifique para responsabilização consiste num dos maiores desafios deste trabalho. De maneira geral, todos os esforços devem se concentrar para que seja eliminado o efeito *bunching* e haja otimização do transporte vertical, garantindo um serviço rápido e seguro aos usuários.

Será elaborada uma rotina de programação, em *Ladder*, padronizada que atenderá a qualquer elevador do sistema, bastando um ajuste de parâmetros. O sistema funcionará independentemente da quantidade de elevadores integrados, restrito apenas às limitações físicas da rede.

O diferencial deste trabalho consiste em elaborar um sistema robusto e seguro para o transporte vertical de pessoas que tenha um método de controle simples, porém otimizado, efetuado por um controlador de pequeno porte e baixo custo. Portanto, deve-se implementar uma lógica de funcionamento confiável e redundante, que se adeque às limitações do sistema e garanta alto fator de serviço para os usuários.

## 4 *Desenvolvimento*

### 4.1 Hardware

Foi montada em laboratório uma planta de dois elevadores didáticos de quatro andares com estruturas semelhantes a elevadores reais, interconectados via RS-485 e com sistemas de potência independentes. Visando garantir a repetibilidade do trabalho e possíveis aperfeiçoamentos montou-se um diagrama elétrico que documenta com exatidão todas as conexões feitas entre componentes do sistema, este desenho é apresentado na íntegra no Anexo B. A Figura 7 apresenta a planta de validação do sistema, imagens adicionais podem ser encontradas no Anexo C.

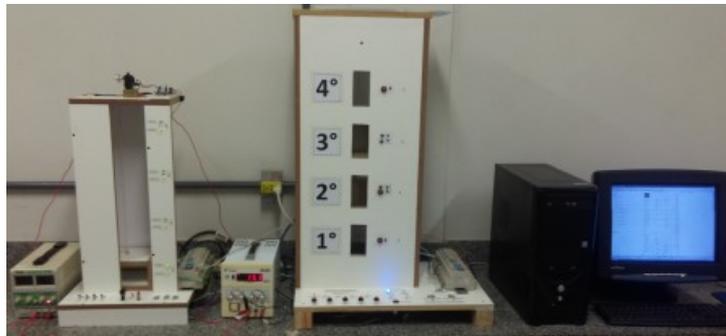


Figura 7: Planta de validação - Elevadores para funcionamento ordenado.

O sistema de controle desenvolvido neste trabalho requer o investimento apresentado na Tabela 2, desconsiderando-se a fiação que variará com a aplicação, portanto apresenta um valor significativamente inferior aos sistemas de controle atuais.

Tabela 2: Orçamento sistema de controle, por elevador instalado - valores de mercado.

Item	Valor
Relé Programável WEG Modelo CLW-02/20VT-D 3RD	R\$ 978,73
Expansão Controlador Programável CLW02	3 x R\$ 571,33
<b>TOTAL</b>	R\$ 2.692,72

## 4.2 Software

Conforme escopo do projeto, desenvolveu-se uma modelagem do funcionamento do sistema utilizando Máquina de Estados Finitos, fiel aos pré-requisitos de projeto e de fácil interpretação, apresentada na Figura 8. Como complementação elaborou-se fluxogramas que garantem uma modelagem detalhista e aprofundada do sistema.

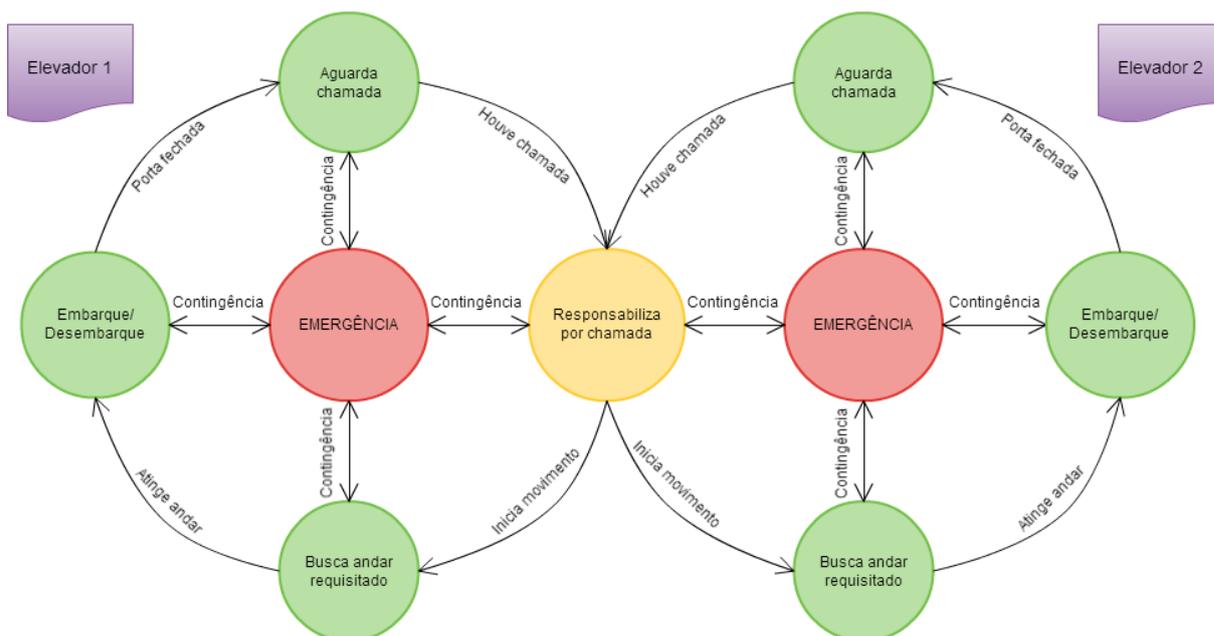


Figura 8: Modelagem em Máquina de Estados Finitos do sistema proposto.

Segundo evidenciado na Figura 9, ao ligar o sistema ou retomar sua situação normal de funcionamento, sua primeira função é se referenciar, portanto caso a cabine esteja posicionada entre andares, ela descera até atingir o próximo andar. Feito isto, o elevador estará apto a receber chamadas externas. Note que caso esteja ocioso por 20 minutos e nenhuma outra cabine esteja situada no térreo, ele efetuará sua descida até este andar.

Quanto ao recebimento de chamadas, fluxograma da Figura 10, nota-se que ordens internas são instantaneamente responsabilizadas, enquanto que chamadas externas originadas em outros andares passarão por um critério de prioridades. A estratégia adotada para priorizar chamadas com menor custo de atendimento é apresentada na Figura 11 e consiste em dividi-las em cinco níveis, de modo que só é verificado o nível posterior depois de um ciclo de *SCAN*, caso permaneça sem responsabilizações. Um exemplo é apresentado na sequência.

Na Figura 12 é apresentado um exemplo no qual são feitos dois chamados externos simultâneos nos andares 1 e 3, ambos de subida, enquanto os elevadores encontram-se

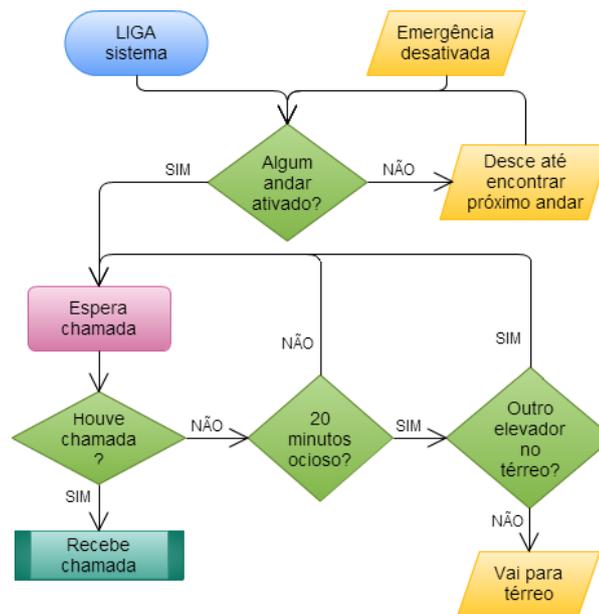


Figura 9: Fluxograma - Ligação.

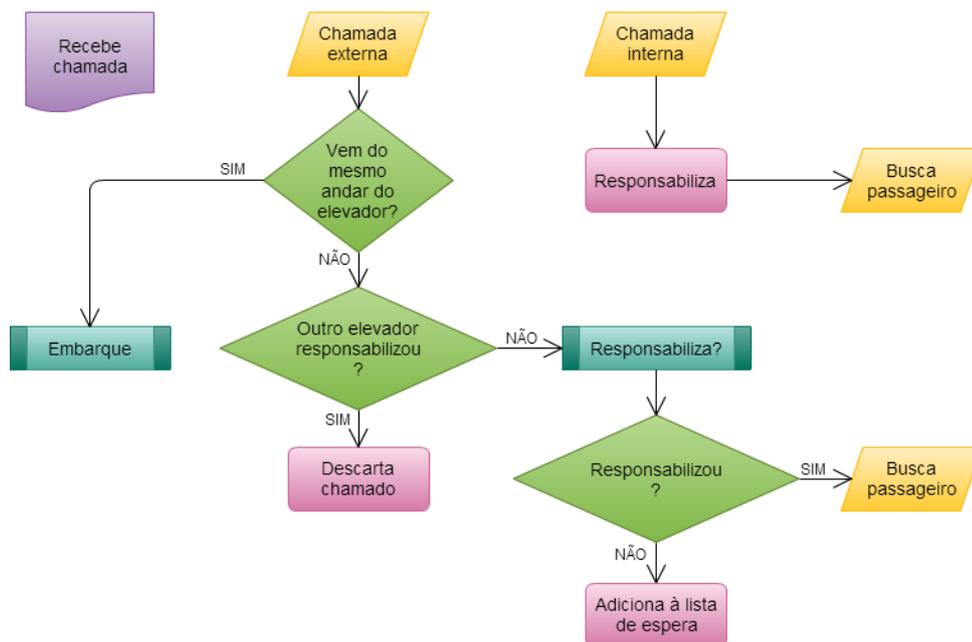


Figura 10: Fluxograma - Recebimento de chamada

ociosos nos andares 2 e 4, com prioridade de subida e descida, respectivamente. Atente-se que para o primeiro elevador a chamada do terceiro andar tem um baixo custo de atendimento, afinal encontra-se em seu percurso, portanto possui prioridade 1 (máxima), enquanto que a chamada do primeiro andar se encontra fora de seu percurso inicial e gerará determinado custo de atendimento, esta chamada possui prioridade 3. Da ótica do elevador 2, a chamada originada no primeiro andar possui prioridade 3, enquanto a chamada do terceiro está totalmente contrária a seu intento, portanto possui prioridade

5 (mínima). Estas informações podem ser confrontadas com a Figura 11, cujos princípios de definição de prioridade foram apresentados.

Veja que o elevador 1, com prioridade de subida, irá se responsabilizar instantaneamente pelo chamado do andar 3, feito isto, ele não se responsabilizará por outro chamado até que seja efetuado este embarque. Enquanto que o elevador 2, com prioridade de descida, se responsabilizará, depois de dois ciclos de *SCAN*, pelo chamado do andar 1. Desta maneira garante-se um sistema de alocação contínua, no qual o elevador com menor custo de atendimento se responsabilizará pela chamada pendente, otimizando o atendimento aos clientes.

Na Figura 13 é representada a lógica de controle das portas para embarque e desembarque de passageiros, sempre assegurando a segurança e conforto dos mesmos. Assim como o procedimento de desligamento do sistema, que garante a continuidade de seu movimento inicial, mesmo após desligado, para que faça o desembarque de passageiros no andar posterior, conforme Figura 14. Por fim, destaca-se toda precaução e datahismo inerente ao sistema de emergência na Figura 15, elaborado de forma a garantir a integridade e o bem-estar dos usuários.

Com base nos diagramas apresentados nesta seção, elaborou-se um código fonte padronizado, que possa ser utilizado em todos os CLPs da rede de elevadores descrita neste trabalho, bastando um ajuste de parâmetros.

### 4.2.1 Sinalização de Responsabilização

Sabe-se que os elevadores devem se comunicar para sinalizar aos demais que se responsabilizaram por determinada chamada externa, além do mais, é necessário ser de conhecimento de todos controladores se há alguma cabine no térreo, para que eventualmente um elevador ocioso saiba se há necessidade de dirigir-se a este andar. A disposição destas informações nos restritos 8 bits/estação do sistema desenvolvido é mostrada na Figura 16.

Visto que é representada a estação  $ID=0$ , estão disponíveis para escrita as variáveis  $W1 \sim W8$ , das quais seis simbolizarão as possíveis chamadas externas e uma indicará a presença no andar térreo. Para cada chamada responsabilizada será dado um pulso positivo com duração de um ciclo de *SCAN* no bit correspondente, e isso será interpretado pelos demais como uma sinalização para retirar a respectiva chamada de sua lista de pendências.

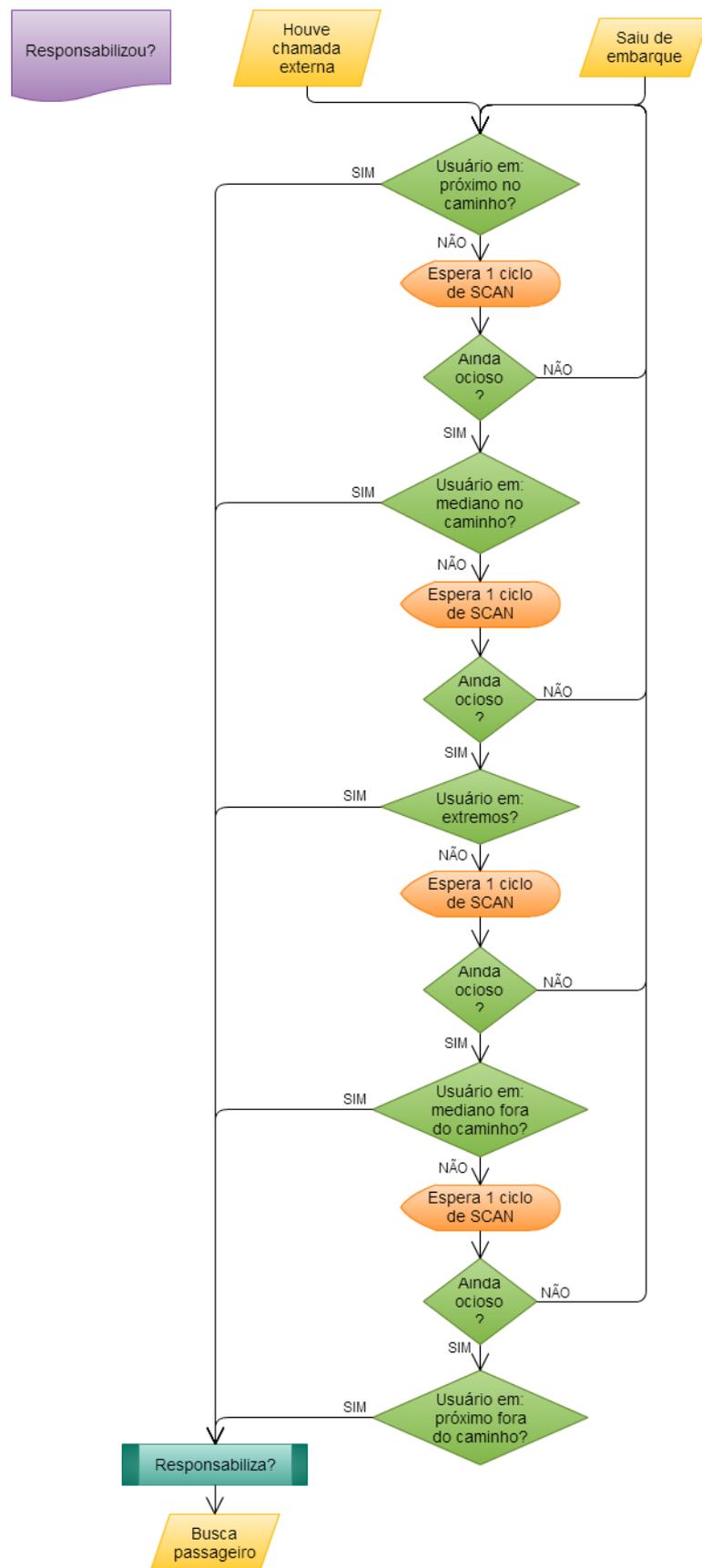


Figura 11: Fluxograma - Responsabilização por chamada.

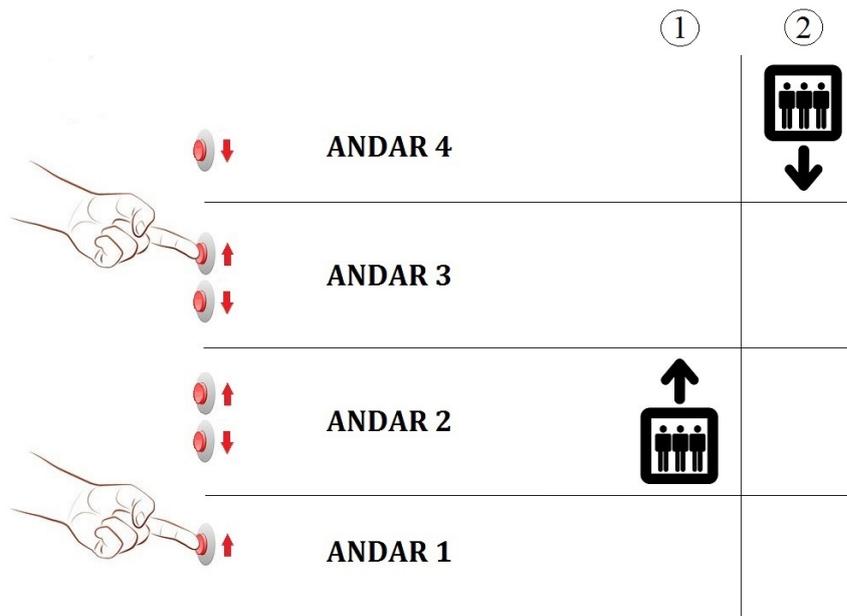


Figura 12: Exemplo prático de priorização.

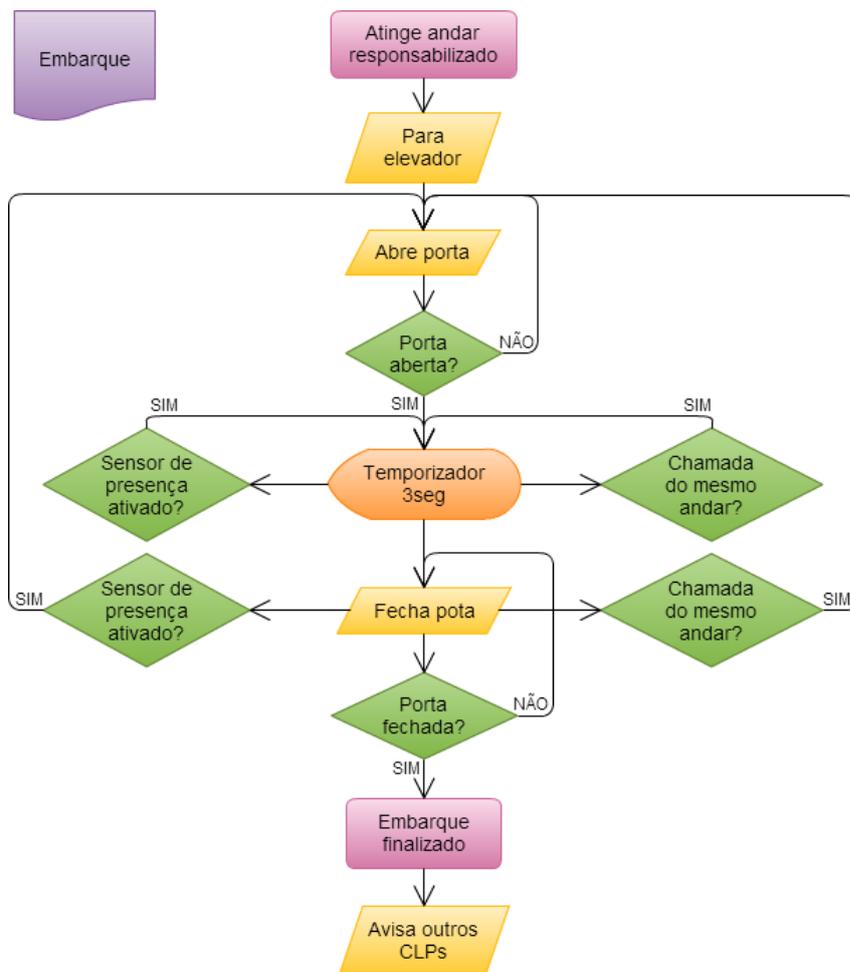


Figura 13: Fluxograma - Embarque/Desembarque.

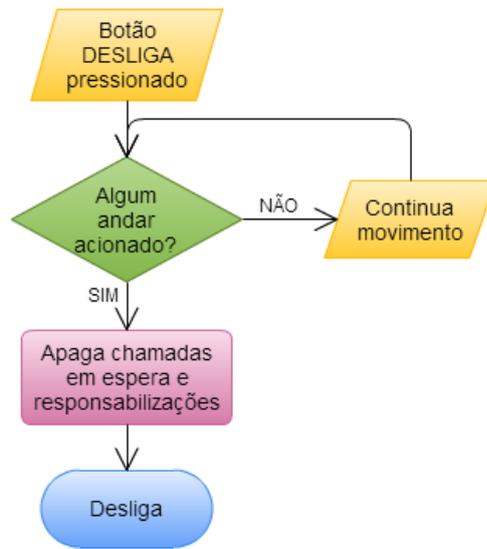


Figura 14: Fluxograma - Desligamento.

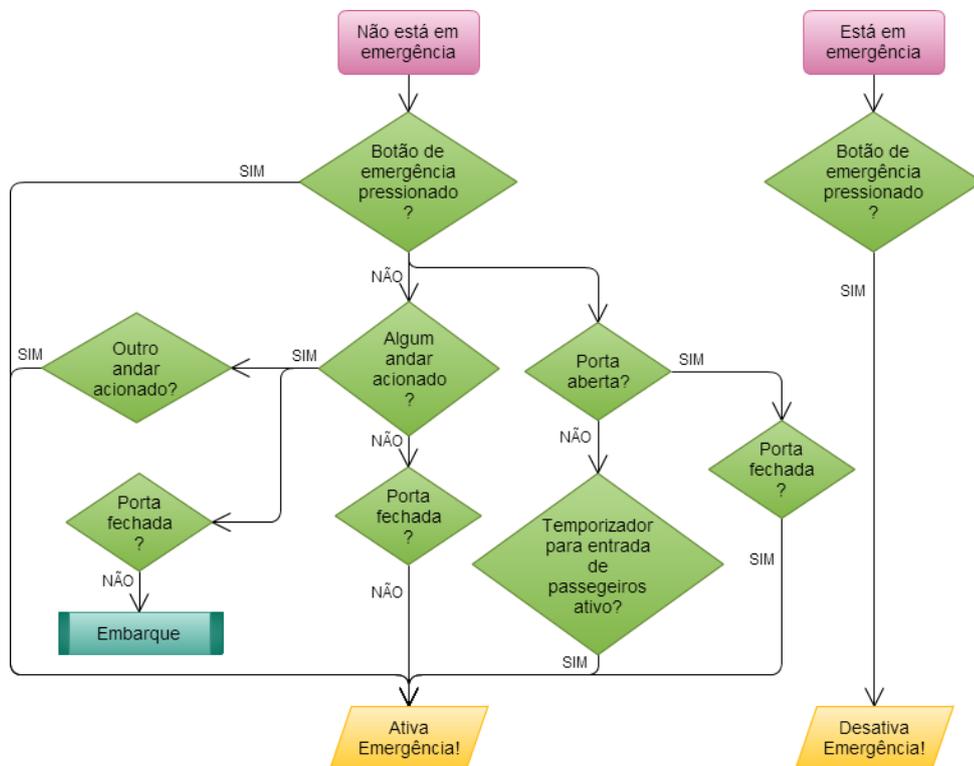


Figura 15: Fluxograma - Contingência.



**ID=0**

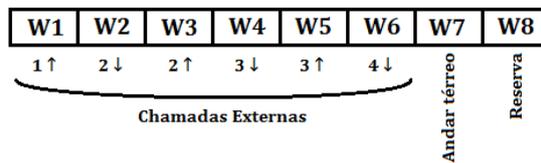


Figura 16: Disposição de informações nos bits compartilhados, por estação.

## 5 *Considerações Finais*

Apesar das dificuldades de implementação enfrentadas, como limitações do CLP (restrição de I/Os e comunicação em rede) e limitação do software de programação (apenas 200 linhas de código, simplista e de poucos recursos), desenvolveu-se um sistema de controle de grupo de elevadores robusto, enxuto, seguro e de baixo custo, conforme a proposta do projeto.

De modo a incentivar a melhoria contínua do sistema, serão expostos nesta seção oportunidade de melhora do sistema e possíveis iniciativas que solucionarão cada questão. A iniciar pela possibilidade de se garantir a um operador uma maior autonomia sobre o sistema, para tanto pode-se implementar um Sistema Supervisório que permita supervisão e atuação sobre o sistema como um todo. Em adição a isto, note que ao ser desligado, o elevador descarta todas as suas responsabilizações, deixando estas chamadas sem atendimento, portanto deverá ser reformulado todo o método de comunicação em rede, de modo que essa informação adicional seja enviada às outras estações.

Veja que o sistema conforme disposto atualmente não está imune ao fenômeno *bunching*, retorne ao exemplo da Figura 12 e verifique que caso apenas a chamada do primeiro andar houvesse ocorrido, ambos elevadores se responsabilizariam por ela depois de dois ciclos de *SCAN*, isto se dá pois a chamada assume a mesma prioridade para os dois elevadores. Uma maneira de solucionar esta questão seria a implementação de mais níveis de prioridade, que inevitavelmente entrará em conflito com a limitação de linhas de comando do controlador utilizado.

O trabalho aqui descrito atende a todos os requisitos de projeto e funciona conforme previsto, portanto pode ser considerado realizado com sucesso. Isto evidencia que todas as etapas do projeto e tomadas de decisões no decorrer de seu desenvolvimento foram efetuadas com excelência, caracterizando um planejamento minucioso e bem estruturado.

A todo momento prezou-se pela garantia da repetibilidade do sistema, de modo que esforços foram concentrados na documentação do planejamento e montagem, para que novas pesquisas possam ser desenvolvidas baseadas no projeto aqui descrito, dando continuidade ao trabalho iniciado.

# Referências

- 1 CREA-MG. Cartilha do elevador. Belo Horizonte - MG, Brasil, 2013.
- 2 WEG. Manual do usuário - micro controlador programável clic-02. Jaraguá do Sul - SC, Brasil.
- 3 ELIAS, J. C. M. e. a. *Construção de um Mini-Elevador Predial: Uma Bancada Didática para o Ensino de Engenharia*. Joinville - SC, Brasil.
- 4 ABNT. Nbr 13994 - elevadores para transporte de pessoa portadora de deficiência. Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 2000.
- 5 ABNT. Nbr 5665 - cálculo do tráfego nos elevadores. Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 1983.
- 6 SOBRAL, T. O. *Estudo e Análise de Desempenho de Algoritmos para Elevadores Inteligentes*. Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 2011.
- 7 RONG, A.; HAKONEN, H.; LAHDELMA, R. *Estimated Time of Arrival (ETA) Based Elevator Group Control Algorithm with More Accurate Estimation*. Turku, Finlândia, 2013.
- 8 BELLIS, M. *The History of the Elevator I*. [S.l.].
- 9 STEFANI, I. M. *Uma Solução de Projeto de Automação da Montanha Russa Zyklon 40*. [S.l.], 2012.
- 10 VILLA, D. K. D. *Comunicação Modbus RTU no Clic02-WEG para Criação de Interfaces Gráficas*. [S.l.], 2010.
- 11 VIEIRA, F. *Protótipo de um Transportador Industrial Utilizando um Sistema Analógico de Controle de Velocidade Programado e um CLP da  $\mu$ DX*. [S.l.], 2010.
- 12 WEISS, C.; GASPARIN, D. D.; SCHLING, E. P. *Automação de um Protótipo de Elevador Industrial Didático*. Medianeira - PR, Brasil, 2011.
- 13 KOPELVSKI, M. M. *Teoria de CLP*. São Paulo - SP, Brasil, 2010.
- 14 WEG. Controladores lógicos programáveis - clps. Jaraguá do Sul - SC, Brasil.
- 15 FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. *Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos*. São Paulo - SP, Brasil, 2008.
- 16 GUSTIN, G. D. B. *Aplicação de Redes de Petri Interpretadas na Modelagem de Sistema de Elevadores em Edifícios Inteligentes*. São Paulo - SP, Brasil, 1999.
- 17 OROZCO, J. A. G. *Máquinas de Estados Finitos - Breve Introducción*. [S.l.], 2008.

## ANEXO A – Exemplo

### A.1 Função *Datalink*

Neste seção é apresentada um exemplo simples de comunicação entre CLPs CLIC-02 via Função *Datalink*. O controlador de ID=1 será configurado, via programação em *Ladder*, para compartilhar algumas de suas variáveis de entrada entre os CLPs da rede, os quais deverão ser configurados para leitura e alocação interna destes dados.

Inicialmente deve-se escrever os bits, cujo compartilhamento é desejável, nas variáveis de rede controladas pelo CLIC-02. Para isto será utilizada a Função ‘L’ em modo envio, função de programação *Ladder* para configuração da rede *Datalink*, que fará a escrita dos dados de entrada I03 ~ I07 nas variáveis de rede W09 ~ W13, dado seu endereço na rede, conforme apresentado na Figura 17.

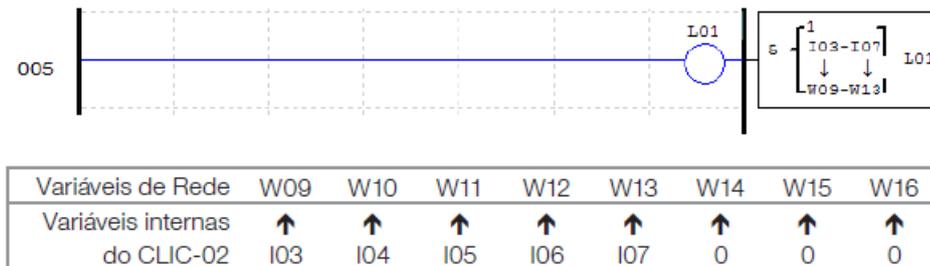


Figura 17: Configuração para escrita de variáveis compartilhadas na rede via *Datalink*.  
(2)

Note que não é necessário que todos os dados da rede sejam referenciados, mas apenas uma função *Datalink* (L) pode ser utilizada no modo envio em cada controlador.

Em outro dispositivo da rede em que se deseja ler os dados enviados pelo CLP descrito acima, deve-se utilizar a Função ‘L’ em modo recebimento, que fará a leitura dos dados compartilhados W09 ~ W13 e irá escrevê-los nas variáveis internas M03 ~ M07. Visto que a função foi definida para leitura de apenas cinco variáveis, os endereços compartilhados

W22, W23 e W24 restantes não serão lidos, o que não afetará os marcadores M08, M09 e M0A. Conforme apresentado na Figura 18.

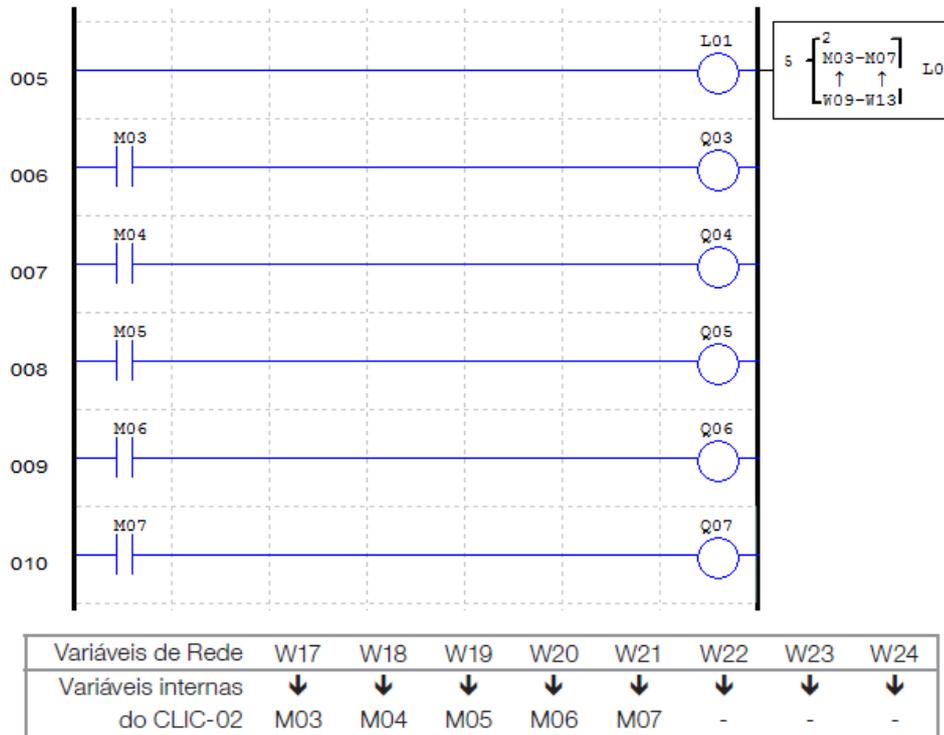


Figura 18: Configuração para leitura de variáveis compartilhadas na rede via *Datalink*.

Com o sistema configurado conforme descrito, ao setar uma das entradas I03 ~ I07 do CPL ID=1, haverá o acionamento da respectiva saída Q03 ~ Q07 do outro CLP na rede, por intermédio de uma variável interna do mesmo.

## A.2 Operação

Considere o cenário no qual um elevador encontra-se no andar térreo, com prioridade de subida, e outro encontra-se no terceiro andar, com prioridade de descida. As chamadas externas necessitam ser categorizadas quanto a seu custo de atendimento para que sejam priorizadas entre os elevadores disponíveis, assim sendo a Figura 19 apresenta as prioridades das chamadas externas para casos específicos, dados os posicionamento dos elevadores.

Considerando o cenário exposto, suponha que houve uma chamada externa de descida no segundo andar, Figura 20. Veja que para o elevador 1 esta chamada é de prioridade 5 e para o elevador 2 ela é de prioridade 1, conforme apresentado na Figura 19. Chamadas

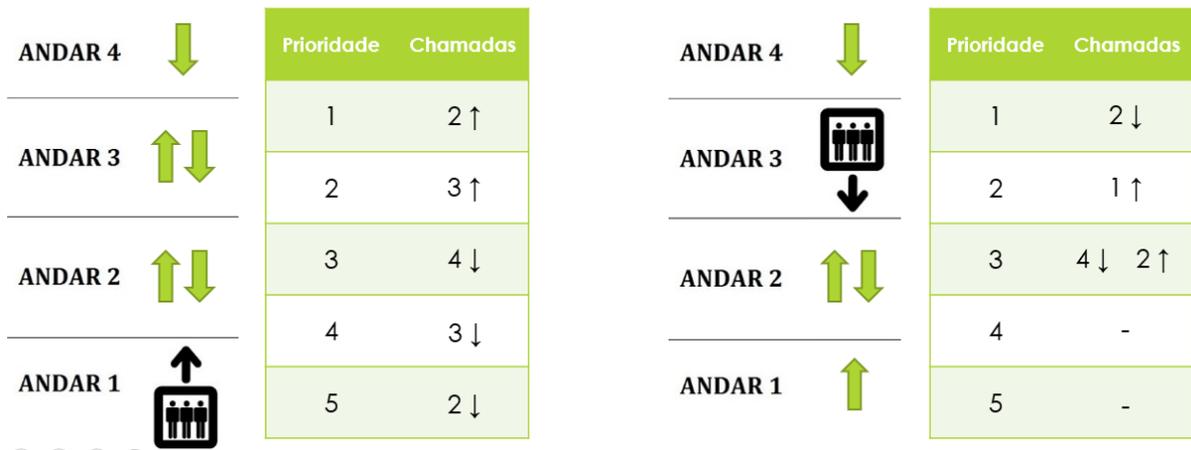


Figura 19: Níveis de prioridade para chamados externos - casos específicos.

de prioridade 1 são instantaneamente responsabilizadas, afinal são chamadas de pouco ou nenhum custo de atendimento. Assim sendo, o elevador 2 irá responsabilizar-se pela atual chamada chamada, sinalizando aos demais para retirá-la de suas respectivas listas de pendências, através de um pulso positivo no bit compartilhado W10, conforme protocolo de comunicação da Figura 16. Na sequência o elevador 2 irá se direcionar ao andar do qual se originou a chamada para embarque do usuário, Figura 21. Note que W7 mantém-se acionado pois ele representa a presença do elevador 1 no andar térreo.

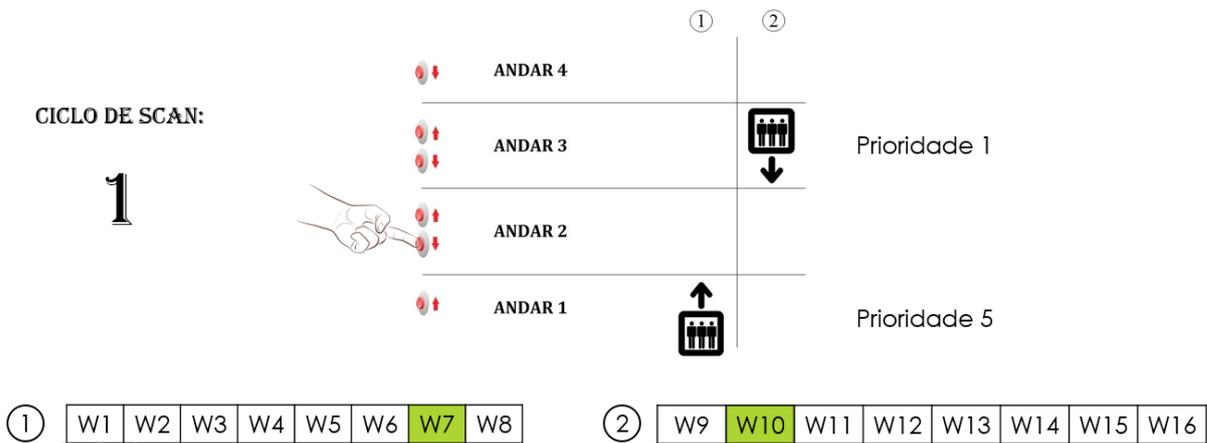


Figura 20: Exemplo prático - Ciclo de SCAN 1.

Algum tempo depois, é realizado um chamado externo de descida no andar 4, apresentado na Figura 22. Note que este chamado possui prioridade 3 para o elevador 1 e prioridade 4 para o elevador 2, portanto não há responsabilizações instantâneas. Após um ciclo de SCAN as prioridades se elevam, Figura 23, mas apenas no ciclo posterior é que o chamado atinge prioridade 1 e é então responsabilizado, Figura 24. Note que ocorre o acionamento da variável compartilhada W6 para indicação aos demais elevadores do

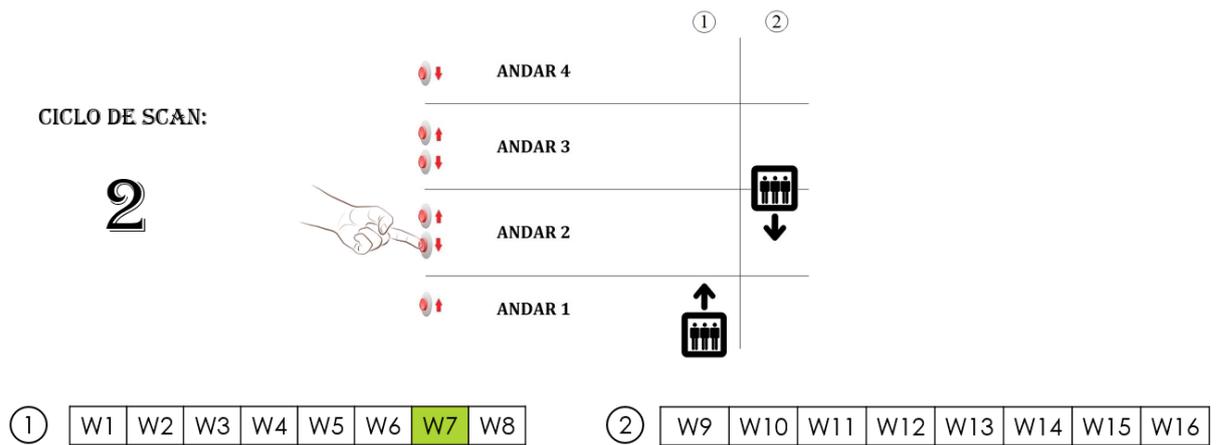


Figura 21: Exemplo prático - Ciclo de *SCAN* 2.

atendimento. Na sequência o elevador 1 irá se direcionar ao andar do qual se originou a chamada para embarque do usuário, Figura 25.

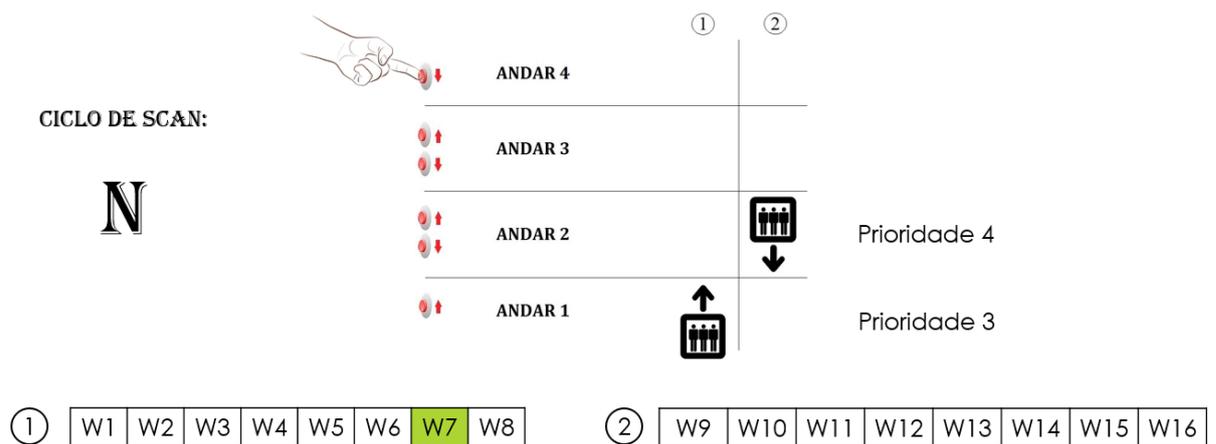


Figura 22: Exemplo prático - Ciclo de *SCAN* n.

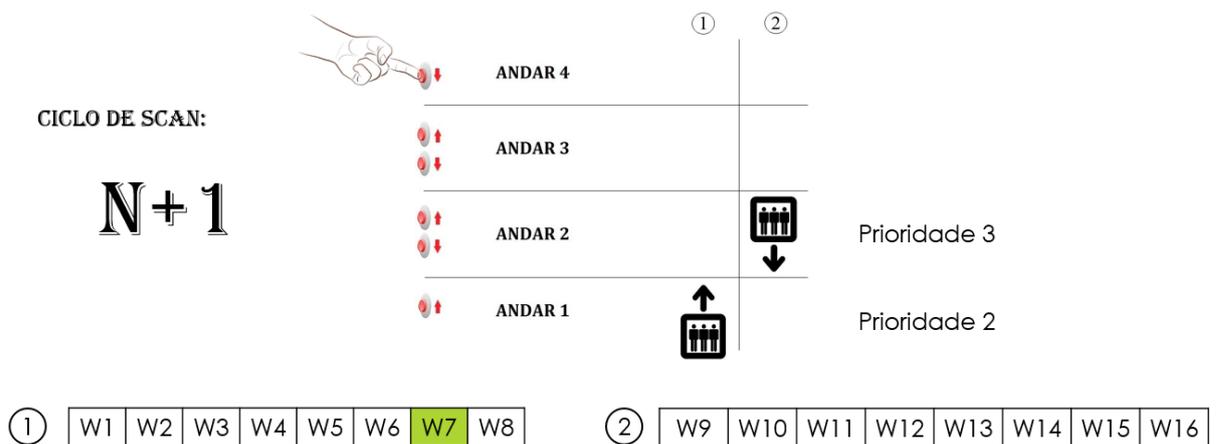


Figura 23: Exemplo prático - Ciclo de *SCAN* n+1.

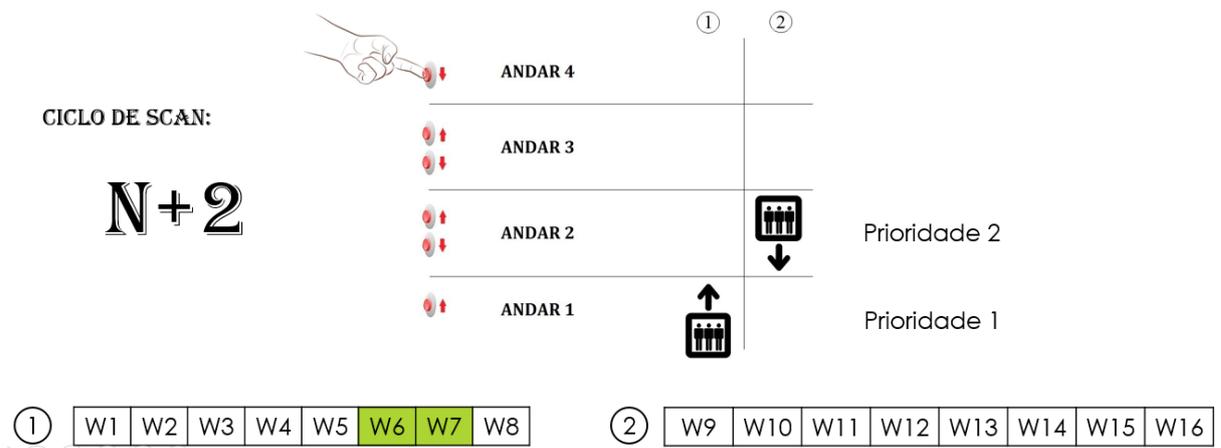


Figura 24: Exemplo prático - Ciclo de *SCAN* n+2.

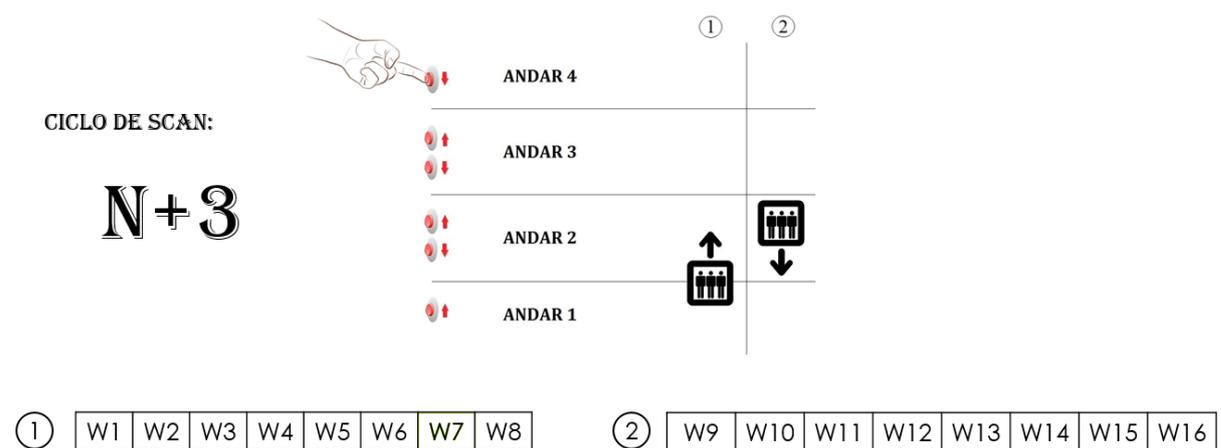


Figura 25: Exemplo prático - Ciclo de *SCAN* n+3.

## ANEXO B – Diagrama Elétrico

Este Anexo apresenta informações detalhadas sobre as ligações elétricas feitas entre os componentes do sistema, são eles: controladores, botoeiras, sensores, motores e leds. Tem-se como principal objetivo garantir a repetibilidade do sistema.

São apresentadas na sequência as Tabelas 3 e 4 que descrevem com fidelidade a relação entre as entradas e saídas, respectivamente, do CLP.

Visto que os I/Os dos controladores foram definidos, pode-se então confrontar seus dados com as Figuras 26 a 29 para total conhecimento das ligações físicas do sistema.

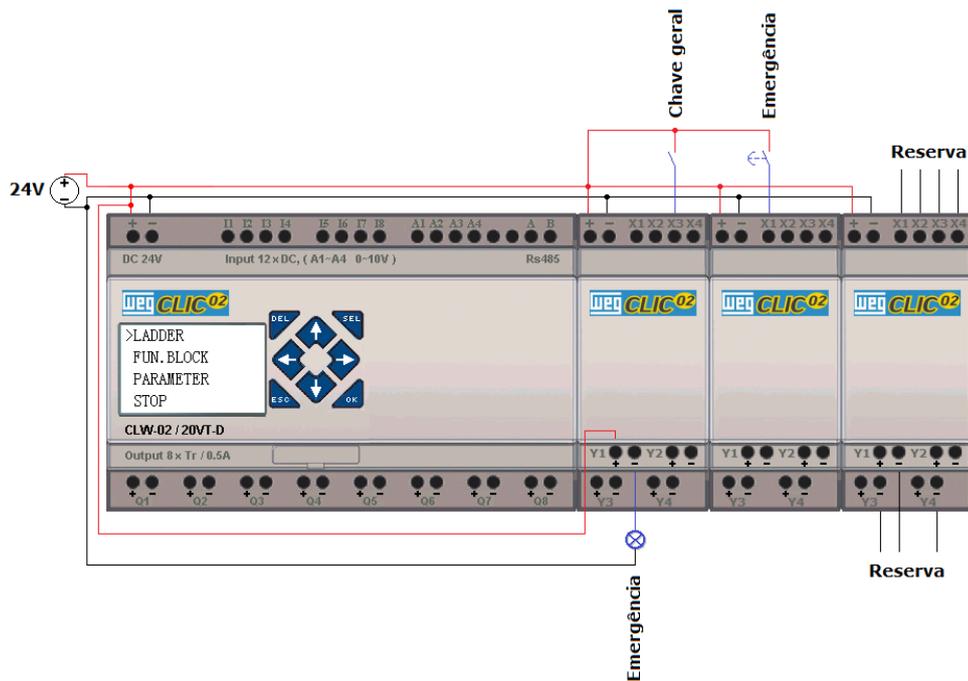


Figura 26: Acionamento e Segurança.

Tabela 3: Lista de Entradas do CLP.

<b>Localização</b>	<b>Sensoriamento</b>		<b>Conexão</b>
Painel de Controle	Liga/Desliga		X5
Painel Interno	Emergência		X3
	Chamadas Internas	Andar 1	I7
		Andar 2	I8
		Andar 3	I9
		Andar 4	IA
Painel Externo	Andar 1	Subir	I1
	Andar 2	Descer	I2
		Subir	I3
	Andar 3	Descer	I4
		Subir	I5
	Andar 4	Descer	I6
Sensores	Detecção de Andar	Andar 1	IB
		Andar 2	IC
		Andar 3	X1
		Andar 4	X2
	Porta	Aberta	X7
		Fechada	X6
		Preença	X4

Tabela 4: Lista de Saídas do CLP.

Localização	Atuação		Conexão
Cabine	Controle do Motor	Sobe	Y4
		Desce	Y7
	Controle da Porta	Abre	Y2
		Fecha	Y6
Painel Interno	Led de Emergência		Y1
	Andar Atual	Led Andar 1	Q5
		Led Andar 2	Q6
		Led Andar 3	Q7
		Led Andar 4	Q8
	Chamadas Internas	Led Andar 1	Q1
		Led Andar 2	Q2
		Led Andar 3	Q3
Led Andar 4		Q4	
Painel Externo	Led de Chamadas Externas		Andar 1
			Andar 2
			Andar 3
			Andar 4

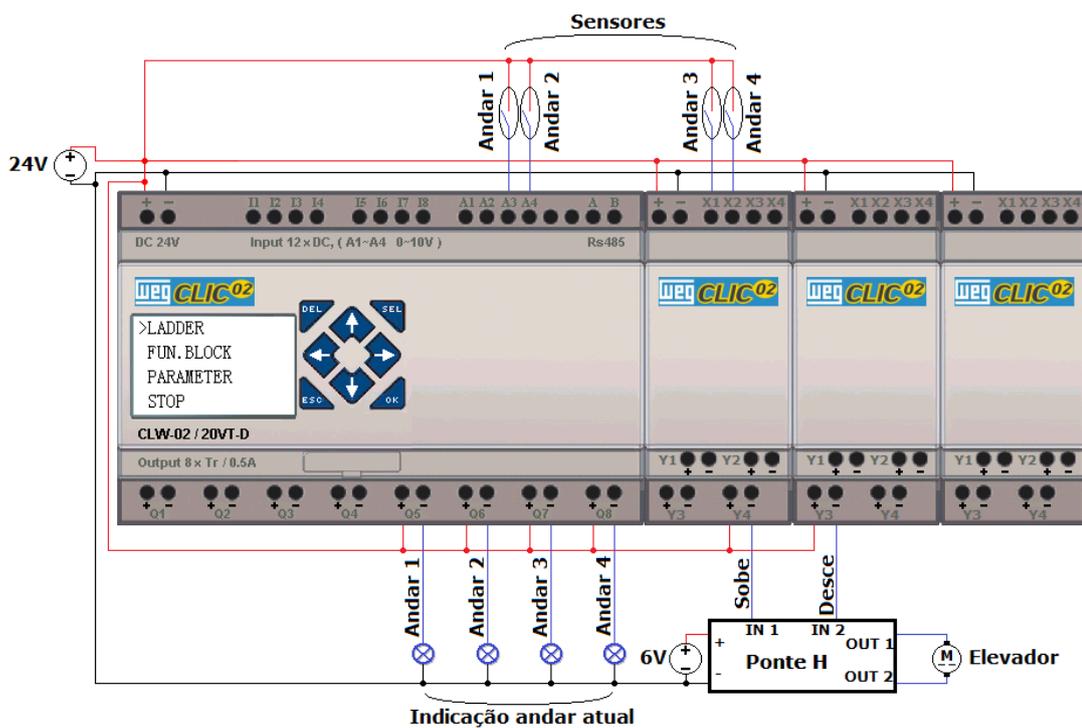


Figura 27: Verificação de andar atual e posicionamento da cabine.

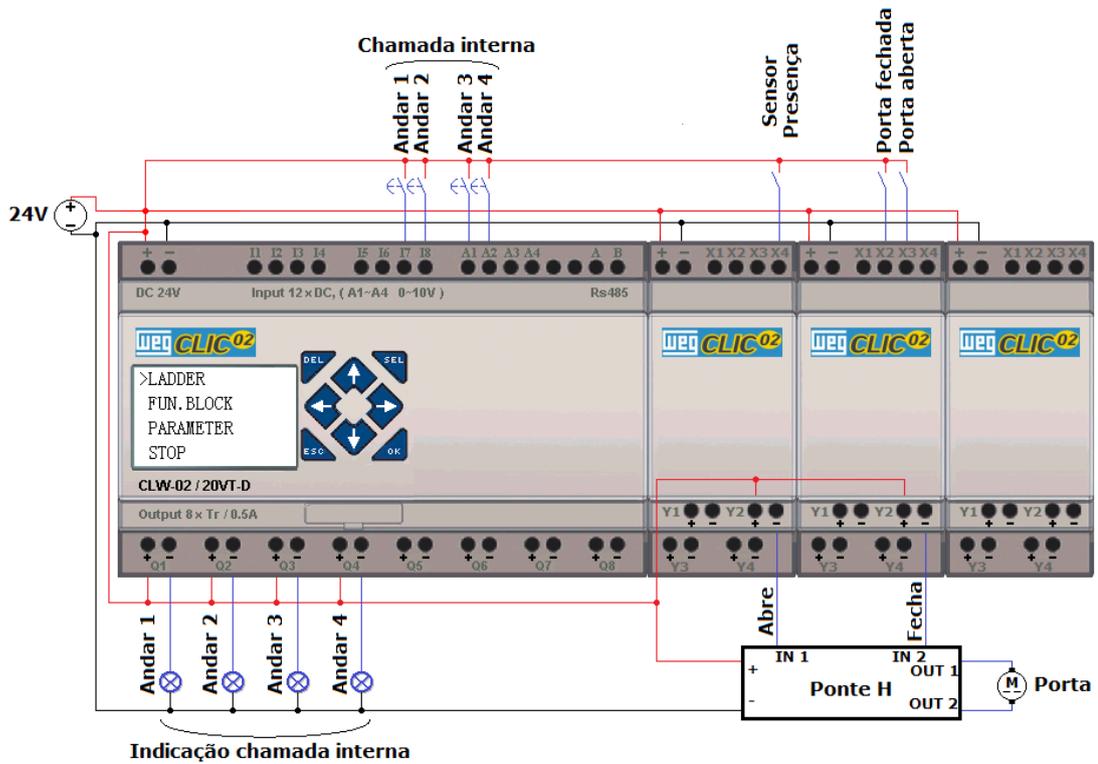


Figura 28: Gerenciamento de chamadas internas e controle das portas.

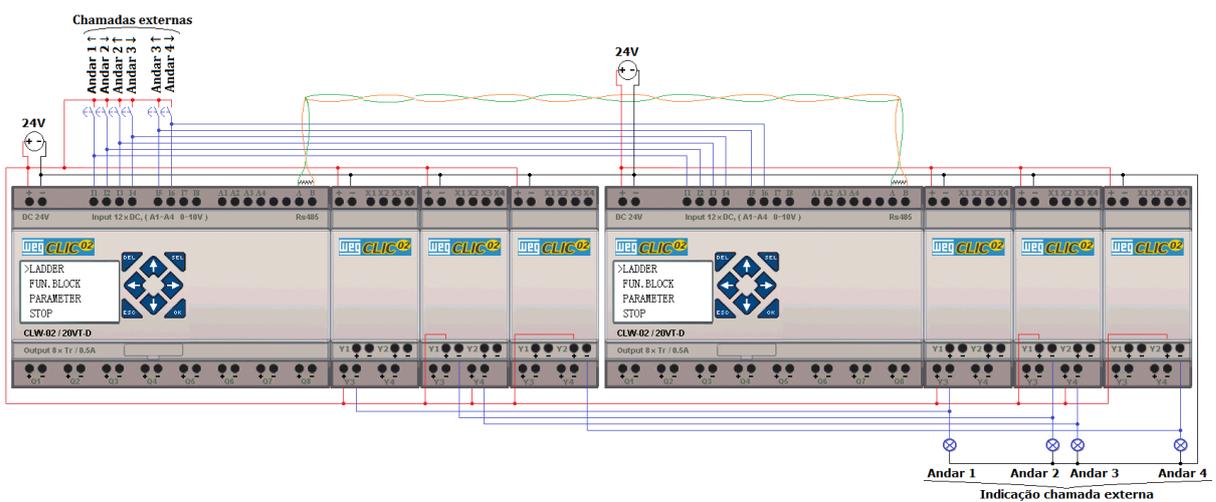


Figura 29: Gerenciamento de chamadas externas e responsabilização por chamadas, via Comunicação *DATALINK*.

## *ANEXO C – Planta*

Este Anexo dedica-se à apresentação de imagens da estrutura montada para implementação e validação do sistema descrito neste trabalho, e tem por objetivo garantir a repetibilidade do sistema desenvolvido.

### C.1 Elevador 1



Figura 30: Visão geral do Elevador 1.

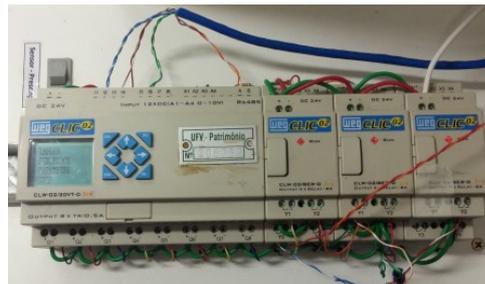


Figura 31: Elevador 1 - Controlador.



Figura 32: Elevador 1 - Painel Interno.



Figura 33: Elevador 1 - Painel Externo.



Figura 34: Elevador 1 - Controle da porta.

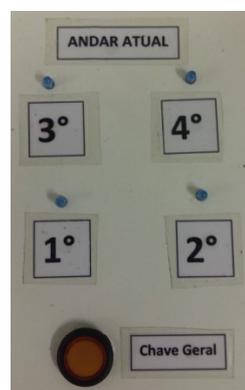


Figura 35: Elevador 1 - Indicação de andar atual e chave geral.



Figura 36: Elevador 1 - Motor de tração e contrapeso.

## C.2 Elevador 2

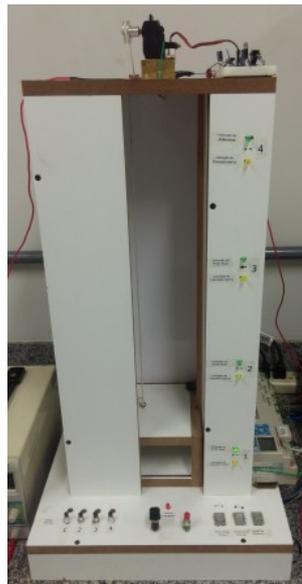


Figura 37: Visão geral do Elevador 2.

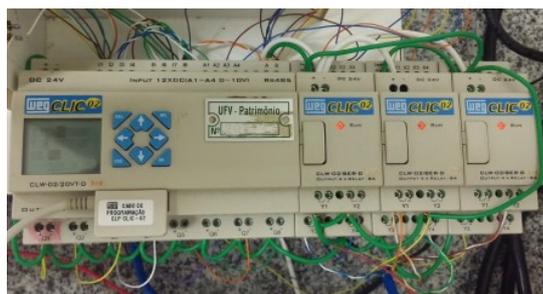


Figura 38: Elevador 2 - Controlador.



Figura 39: Elevador 2 - Botoeira de emergência e chave geral.



Figura 40: Elevador 2 - Chamada interna.



Figura 41: Elevador 2 - Controle da porta.

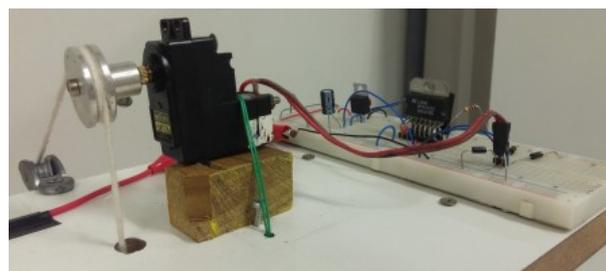


Figura 42: Elevador 2 - Motor de tração e ponte-H.



Figura 43: Elevador 2 - Motor de tração e contrapeso.



Figura 44: Elevador 2 - Detecção e indicação de andar atual.