

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**



LILIAN SOUZA LOUREDO

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO DA MAQUETE DE
FERROMODELISMO DO CENTRO DE ENGENHARIA
LOGÍSTICA DA VALE**

**VITÓRIA – ES
OUTUBRO/2016**

LILIAN SOUZA LOUREDO

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO DA MAQUETE DE
FERROMODELISMO DO CENTRO DE ENGENHARIA LOGÍSTICA
DA VALE**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna **Lilian Souza Louredo**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Mattedi

Coorientador: Prof. José Luíz Borba

VITÓRIA – ES
OUTUBRO/2016

Dedico este projeto primeiramente a Deus por agir
em meu favor todos os dias.
Aos meus pais pelo carinho e incentivo.
Ao meu esposo pelo amor e pela compreensão.
Ao meu irmão pela amizade e pelo auxílio.
Aos meus amigos e professores pela atenção,
ajuda e paciência.

Agradeço a Deus por me sustentar em todos os momentos, pela saúde e por toda condição que me deu de realizar este trabalho. Agradeço aos meus pais, meu esposo e meu irmão pelo amor, companheirismo e apoio infintos. Aos meus grandes amigos pela atenção, pelo auxílio e pela amizade. A todos os professores por terem contribuído de forma grandiosa para minha formação profissional. Agradeço também ao Dr. Alessandro Mattedi e ao Prof. José Luíz Borba pela orientação neste projeto e pela excelência como profissionais e pessoas. Agradeço também à equipe do CEL pela oportunidade e incentivo.

RESUMO

Neste trabalho é apresentado o projeto de um sistema de controle supervísório de uma maquete de trens, localizada no Centro de Engenharia Logística da Vale (Complexo de Tubarão / Vitória-ES). Para tanto, um *software* aplicativo programado em linguagem *Ladder* para o controlador do sistema (CLP) e uma tela de controle supervísório do sistema são propostos de acordo, em grande parte, com as diretrizes de sinalização ferroviária e regras empregadas pela Vale na EFVM. Este sistema de automação visa treinar pessoas para operar no Centro de Controle Operacional (CCO) ou Centro de Controle de Pátio (CCP) de trens. Os resultados obtidos por meio de simulações mostraram que o controle por meio do CLP é eficiente e eficaz, capaz de aumentar o nível de realismo do treinamento e ajudar a identificar com maior exatidão as dificuldades encontradas pelo treinando no processo de controle do tráfego. Concluiu-se que as vantagens adquiridas com o aperfeiçoamento do treinamento, frente aos custos de implementação, viabilizam o projeto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Maquete de ferromodelismo do CEL e seu painel de controle manual	12
Figura 2 – Simulador de operação da recuperadora de minério	12
Figura 3 – Laboratório de Automação do CEL	13
Figura 4 – Representação de um CDV livre.....	15
Figura 5 – Representação de um CDV um ocupado.....	16
Figura 6 – AMV e máquina de chave.....	17
Figura 7 – Seção Detectora de Chave.....	17
Figura 8 – Controle de velocidade: sistema de dois blocos.....	19
Figura 9 – Plano de vias sinalizadas e a nomenclatura de rotas	20
Figura 10 – Regras de prioridade de circulação	21
Figura 11 - Diagrama funcional do DLS	22
Figura 12 – Sistema de três trilhos	25
Figura 13 – Sistema de dois trilhos.....	25
Figura 14 – Representação da maquete e sua divisão em CDVs - Estrada de ferro.....	27
Figura 15 – Representação da maquete e sua divisão em CDVs - Pátio	28
Figura 16 – Diagrama de blocos de funcionamento de um CLP.....	32
Figura 17 – Tela inicial do <i>RSLogix 500</i>	34
Figura 18 – Tela do <i>RSLogix 5000</i>	35
Figura 19 – Tela de simulação <i>RSLogix Emulate 5000</i>	35
Figura 20 – Tela de programação do <i>CoDeSys</i>	37
Figura 21 – Tela de simulação do <i>CoDeSys</i>	38
Figura 22 – Fluxograma do processo.....	40
Figura 23 – Tela de cadastro e alarmes	51
Figura 24 – Overview CCO e CCP.....	52
Figura 25 – Tela do CCO.....	53
Figura 26 – Tela do CCP	54
Figura 27 – Fluxograma do funcionamento geral do <i>software</i> aplicativo.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Características dos CLPs quanto aos requisitos da aplicação.....	83
Quadro 2– Proposta financeira para o pacote <i>MicroLogix</i> 1400 com módulos <i>I/O</i> com 32 pontos/módulo	84
Quadro 3– Proposta financeira para o pacote <i>ControlLogix</i> com módulos <i>I/O</i> com 16 pontos/módulo	85
Quadro 4 – Proposta financeira para o pacote <i>ControlLogix</i> com módulos <i>I/O</i> com 32 pontos/módulo	85
Quadro 5– Proposta financeira para o pacote <i>CompacLogix</i> com módulos <i>I/O</i> com 16 pontos/módulo	86
Quadro 6 - Proposta financeira para o pacote <i>CompacLogix</i> com módulos <i>I/O</i> com 32 pontos/módulo	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMV	Aparelho de mudança de via
ANTF	Associação Nacional dos Transportes Ferroviários
ATC	<i>Automatic Train Control</i>
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CCO	Centro de Controle Operacional
CCP	Centro de Controle de Pátios
CDV	Circuito de via
CEL	Centro de Engenharia Logística
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Unidade de processamento
DLS	Detector de Linha Sinalizada
EA	Entrada Autorizada
EFVM	Estrada de Ferro Vitória a Minas
FBD	Blocos de Função
FOB	<i>Free on board</i>
FSM	<i>Finite State Machine</i>
I/O	<i>Inputs and Outputs</i>
LCI	Laboratório de Controle Instrumentação
PAE	Pedido de autorização de entrada
PAS	Pedido de autorização de saída
PE	Permissão de entrada
SA	Saída autorizada
SB	Seção de bloqueio
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
WDT	<i>Watchdog Timer</i>
WLK	Travamento de travessão compartilhado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Histórico	10
1.2	Motivação	11
1.3	Objetivo geral e específico	14
2	CONTROLE DE CIRCULAÇÃO NA EFVM	15
2.1	Conceitos básicos	15
2.2	Regras de circulação na EFVM	18
2.3	Controle de circulação no Pátio	22
3	MAQUETES DE FERROMODELISMO	24
3.1	Histórico e características	24
3.2	Adaptações feitas à maquete de ferromodelismo do CEL para possibilitar a implementação do projeto	26
4	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS	30
4.1	Controladores Lógicos Programáveis	30
4.2	Componentes de um CLP	30
4.3	Fonte de alimentação	30
4.4	CPU	31
4.5	Módulos de entrada e saída	31
4.6	Execução do software aplicativo	32
4.7	Softwares de programação	33
4.7.1	RSLogix 500	33
4.7.2	RSLogix 5000	34
4.7.3	CoDeSys	36
5	DESCRIÇÃO FUNCIONAL	39
5.1	Fluxograma de processo	39
5.2	Informações sobre os principais equipamentos	41
5.3	Descrição geral	43
5.4	Lógica de controle	44
5.4.1	Funcionamento em remoto semiautomático	44
5.4.1.1	Lógica de controle da ferrovia	44
5.4.1.2	Lógica de controle do pátio	47

5.5 Funcionamento em remoto automático	49
5.6 Alarmes.....	50
5.7 Indicações na sala de controle	50
5.8 Lista de I/O	55
6 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO	62
6.1 O programa principal.....	63
6.2 Inicialização.....	65
6.3 Lógica de programação da ferrovia.....	66
6.4 Lógica de programação do pátio	72
7 ESCOLHA DO CLP	79
7.1 Requisitos do sistema	79
7.2 Requisitos da aplicação	79
7.3 Requisitos elétricos.....	80
7.4 Outros requisitos.....	81
7.5 CLPs possíveis para uso na automação da maquete do CEL	82
7.6 A escolha do CLP para automação da maquete do CEL.....	84
8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

1 INTRODUÇÃO

1.1 Histórico

A evolução dos meios de transporte está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e social das cidades. A Revolução Industrial aumentou a necessidade de desenvolvimento na área de transportes de mercadorias e contribuiu para o surgimento do transporte público, visto que a partir de então os trabalhadores deveriam se deslocar diariamente para as fábricas.

O primeiro sistema de transporte a utilizar a linha férrea foi criado no século XVIII, substituindo os trilhos de madeira utilizados nas minas de carvão do norte da Inglaterra por trilhos de ferro. No século XIX surgiu a primeira locomotiva movida por um motor a vapor e, no final desse mesmo século, ocorreu o surgimento da locomotiva elétrica. (ANTF, [20--?])

Em 1832, surgiram os primeiros bondes. Moviam-se sobre trilhos e eram puxados por animais. No final do século XIX, surgiram os bondes com tração elétrica.

A partir do século XIX, ocorreram diversas melhorias técnicas no sistema ferroviário. A sinalização semafórica foi inserida no sistema ferroviário e, posteriormente, o sistema de sinalização elétrica de bloqueio foi aperfeiçoado. Assim, aumentou-se em muito a segurança das estradas de ferro, possibilitando também a operação com transporte de passageiros. (ANTF, [20--?])

Devido ao aumento da segurança e ao crescimento das cidades, o transporte de passageiros entre os subúrbios e a zona central das cidades tornou-se viável e, na segunda metade do século XIX, passou-se a utilizar trens convencionais para o transporte urbano.

Até o início do século XX não havia nenhum sistema que informasse ao maquinista as condições à frente, sejam estas relativas à via, da distância de separação em relação ao trem à frente ou de trem se movimentando em sentido contrário. O maquinista era o responsável por enxergar um trem à frente e promover a parada antes da colisão. Porém, era muito difícil parar um trem na distância permitida pelo campo visual do seu condutor. Mostrou-se necessário, portanto, empregar alguma forma de controle que impedisse a movimentação de trens em

condições inseguras ou perigosas. Com a evolução da eletrônica e dos meios de telecomunicações foi possível desenvolver um sistema de sinalização que permitisse controlar o processo de licenciamento de trens de forma segura, flexível e econômica. (GUEIRAL, 2008)

Atualmente, ferrovias modernas automatizadas devem ser confiáveis e eficientes, com um Centro de Controle Operacional (CCO), de forma a possibilitar o monitoramento e o controle da ferrovia de maneira centralizada.

1.2 Motivação

O crescimento acelerado do ramo ferroviário no século XIX levou ao surgimento do ferromodelismo. Ferromodelismo é a técnica de construção de modelos que procura reproduzir em escala o ambiente ferroviário real, desde equipamentos, como locomotivas e vagões, à reprodução da operação ferroviária como formação de composições, manobras, partidas e chegadas de composições de cargas e passageiros.

A Vale, por ser também uma operadora de logística que utiliza entre outros sistemas o ferroviário para o transporte de seus produtos e de seus clientes, possui várias maquetes de ferromodelismo para exibição aos visitantes. O CEL/VALE - Complexo de Tubarão - possui uma dessas maquetes e, além de ser um patrimônio de exposição, a maquete do Centro de Engenharia Logística (CEL) permite interação por meio de chaves alavanca que controlam manualmente os desvios e é utilizada para aplicação do regulamento de operação e sinalização ferroviária em treinamentos. Tal maquete pode ser vista na Figura 1.

O CEL é um espaço destinado ao fomento da produção de conhecimento. Nele são realizados treinamentos técnicos de ferrovia, porto e navegação para empregados que atuam nas áreas de automação e elétrica de máquinas e equipamentos de grande porte. (VALE, 2014)

Além da capacitação dos seus funcionários, a Vale oferece cursos em suas áreas de atuação para alunos de Instituições de Ensino Técnico e Superior da Grande Vitória. Para isso, o CEL possui uma estrutura com sala para treinamento em centros de controle, simuladores de operação ferroviária, biblioteca técnica, maquete para aplicação do regulamento de operação e

sinalização ferroviária, entre outros recursos. A Figura 2 apresenta um dos simuladores utilizados no curso “Fundamentos da Operação Portuária” e a Figura 3, o Laboratório de Automação. (VALE, 2015)

Figura 1 – Maquete de ferromodelismo do CEL e seu painel de controle manual



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 2 – Simulador de operação da recuperadora de minério



Fonte: VALE, (2016).

Figura 3 – Laboratório de Automação do CEL



Fonte: Produção do próprio autor.

A proposta desse projeto é automatizar a maquete com o uso de um Controlador Lógico Programável (CLP) de forma que ela possa ser operada por uma tela de supervisão semelhante à tela do CCO da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM). A maquete automatizada possibilitará um aperfeiçoamento na forma de aplicação do regulamento de operação e sinalização ferroviária, visto que se poderá controlar a circulação de mais de um trem simultaneamente de maneira independente. Além disso, será possível identificar com maior precisão os pontos de dificuldade encontrados pelo treinando, pois o sistema informará onde e quantas vezes os erros ocorreram. Tais melhorias conferem um maior nível de realismo para o treinamento e, conseqüentemente, melhor capacitação do treinando.

Com a implementação do projeto, a visitação à sala de simulação, que conterá a maquete, o CLP e as telas de operação do pátio e da ferrovia, será uma maneira de conhecer o funcionamento do CCO e do Centro de Controle de Pátios (CCP), tendo em vista que esses são locais de acesso restrito.

O projeto de automação da maquete de ferromodelismo do CEL é um dos projetos resultantes da parceria iniciada em agosto de 2015 entre o Departamento de Engenharia Elétrica da

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e a Vale. Este projeto é composto por três partes: eletrônica, desenvolvimento do programa do controle para o CLP e desenvolvimento das telas de supervisão. Este trabalho refere-se à parte de desenvolvimento do *software* aplicativo e propõe um modelo de telas de supervisão a serem produzidas posteriormente.

1.3 Objetivo geral e específico

Este projeto tem como objetivo geral o desenvolvimento de um *software* aplicativo em linguagem de programação de CLP capaz de promover a automação da maquete de ferromodelismo da Vale localizada no CEL, com base no regulamento de operação da EFVM.

Compreendem objetivos específicos deste trabalho:

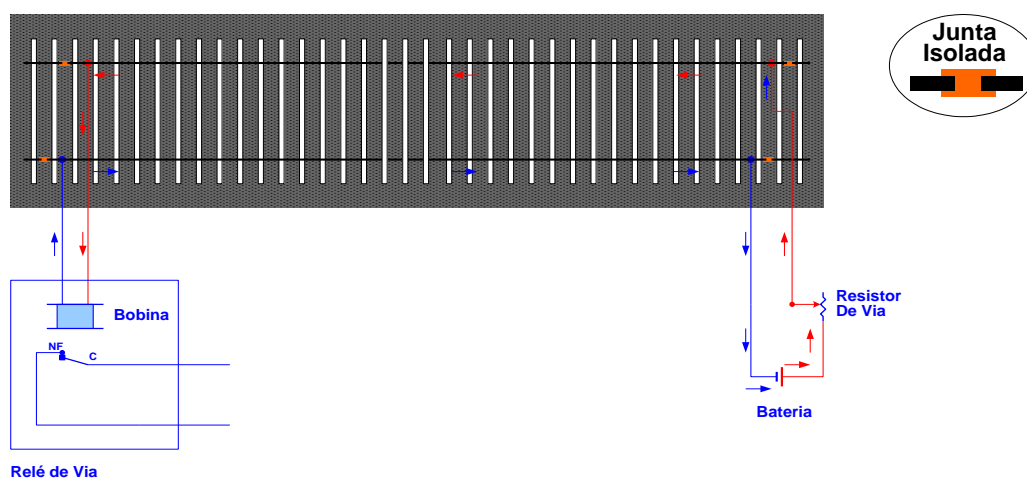
- Desenvolver uma descrição funcional para o projeto com base no regulamento de operação da EFVM que seja voltada para o uso da maquete em treinamentos;
- Desenvolver um *software* aplicativo que atenda à descrição funcional;
- Permitir melhor aplicação do regulamento de operação e sinalização ferroviária;
- Prover informações para auxiliar o tutor na avaliação do treinando;
- Propor modelos de telas para o sistema supervisão da sala de controle similares às telas do CCO e do CCP;
- Fazer a análise necessária para a escolha do CLP a ser utilizado na implementação do projeto.

2 CONTROLE DE CIRCULAÇÃO NA EFVM

2.1 Conceitos básicos

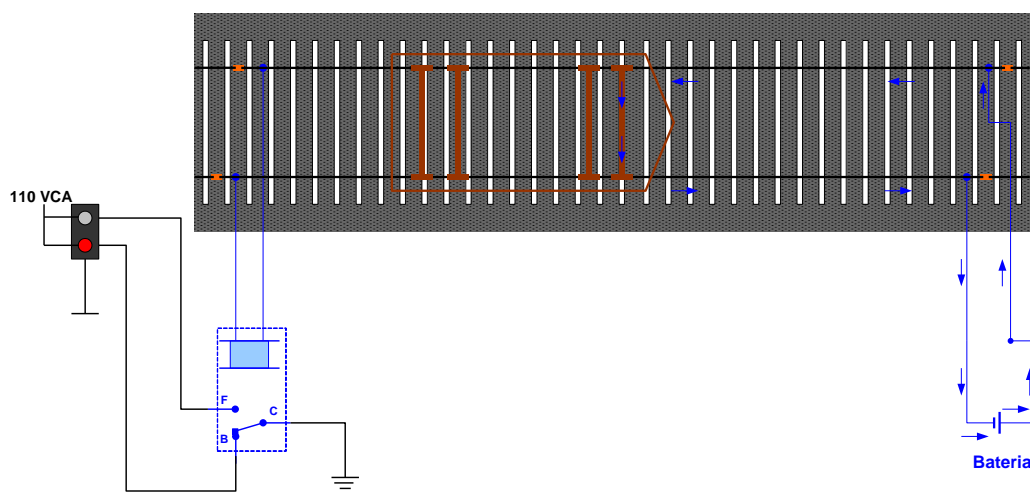
A aplicação dos sistemas de controle de circulação na EFVM permanece essencialmente a mesma no decorrer de sua história, apesar de ter sofrido modificações na forma e na tecnologia. Um conceito básico do sistema de sinalização é o circuito de via. Circuito de via (CDV) é um circuito elétrico, do qual os trilhos da via férrea fazem parte, aplicado em ferrovias na detecção da presença de trens e detecção de trilho quebrado. Um circuito de via é composto por uma fonte, CC ou CA, um resistor de via, trilhos e relé de via. O resistor de via limita a corrente do circuito, protegendo a fonte, e os trilhos, que por serem bons condutores, permitem o fluxo de corrente entre a transmissão e a recepção. Quando o CDV está livre, há corrente passando pela bobina do relé de via. Quando um trem ocupa o CDV, a corrente retorna pelo rodeiro e a bobina do relé é desenergizada, mudando assim o estado dos seus contatos. Quando um trilho quebra, há interrupção da corrente, provocando a mesma indicação que a ocupação do CDV pela presença de um trem. Os CDV são delimitados pelas juntas isolantes, que garantem o confinamento da corrente elétrica dentro de seus limites. Caso haja falha na isolação das juntas isolantes de separação de CDVs o funcionamento do sistema será perturbado gerando falhas de indicação, o que, se não tratado de forma adequada, pode levar o sistema de controle a uma condição insegura. A Figura 4 e a Figura 5 ilustram a atuação do relé em um CDV livre e ocupado respectivamente.

Figura 4 – Representação de um CDV livre



Fonte: GUEIRAL, (2008).

Figura 5 – Representação de um CDV um ocupado



Fonte: GUEIRAL, (2008).

Um trecho da via férrea com limites estabelecidos, onde é controlada a presença de um trem, é chamado de bloco. A entrada de um trem no bloco é autorizada ou não de acordo com o sinal de bloqueio instalado na extremidade de entrada do bloco. Um bloco pode ser composto por um ou mais circuitos de via.

Outra forma de detectar a presença de trens num trecho da via é o uso dos contadores de eixos. O sistema contador de eixo é composto por detectores de roda (*transducer*), circuitos condicionadores de sinal, módulos contadores de eixos e um módulo comparador. Um pulso é gerado para cada roda detectada. Se a sequência de pulsos se der no sentido de entrada no bloco, a contagem é incrementada. Se a mesma se der no sentido contrário a contagem é decrementada. Realiza-se a comparação das contagens dos contadores de cada extremidade do bloco. Se o saldo de eixos no interior do bloco for nulo, o bloco está livre. Caso contrário, o bloco está ocupado. Este método é mais utilizado em pátios. (GOULARTE, 2015)

O desvio de um trem de uma via para outra é realizado por meio do AMV. Ele é composto por duas lâminas móveis, as agulhas ou chaves, as quais podem se deslocar entre os dois trilhos da via. Quando as rodas do truque ferroviário entram no AMV, elas são direcionadas a dar continuidade ao movimento do trem pela linha principal, posição normal, ou a realizar o desvio do trem para a linha secundária, posição reversa. O conjunto mecânico, elétrico e/ou hidráulico, que comanda as agulhas do AMV é chamado máquina de chave. O CDV cuja

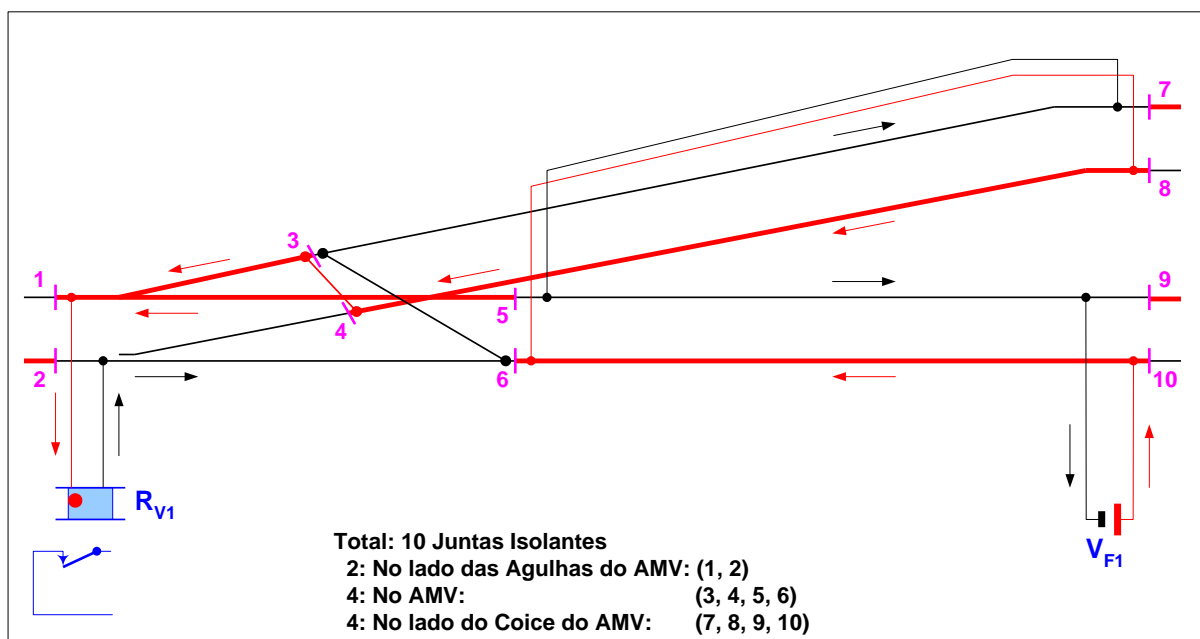
finalidade é proteger o desvio de trens na região dos AMVs, impedindo a sua movimentação enquanto ocupado pela presença de um trem, recebe a denominação de seção detectora de chave (SDC). Na Figura 6 é possível ver um AMV com suas agulhas e a máquina de chave que as comanda e na Figura 7 um exemplo de SDC.

Figura 6 – AMV e máquina de chave



Fonte: GUEIRAL, (2008).

Figura 7 – Seção Detectora de Chave



Fonte: GUEIRAL, (2008).

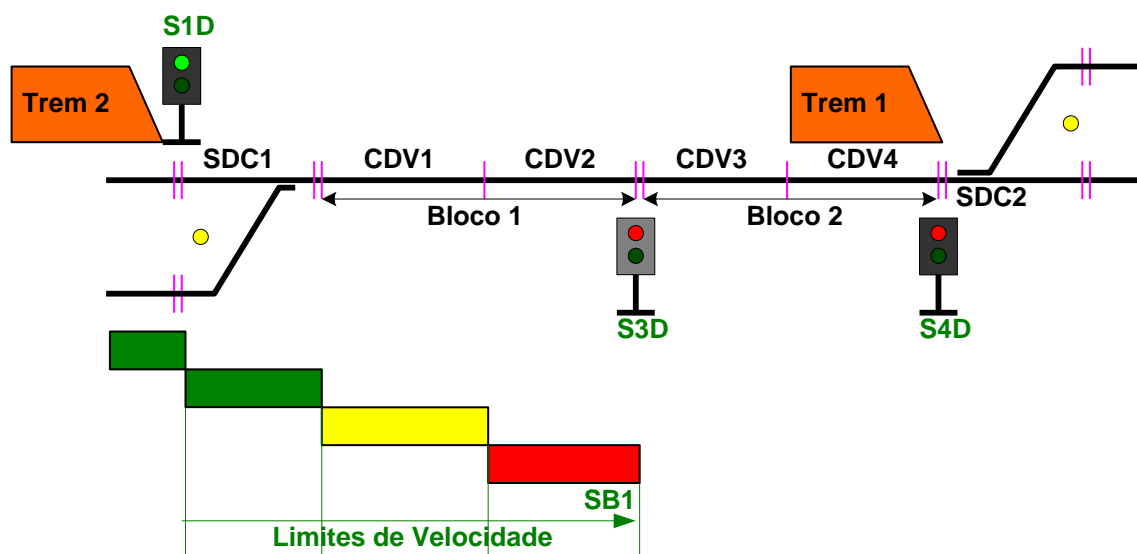
2.2 Regras de circulação na EFVM

A entrada de um trem no bloco é controlada por sinais presentes nas extremidades do bloco, denominados de sinais de bloqueio ou bloqueio. Se o bloqueio está aberto o trem está autorizado a entrar no bloco; se o bloqueio está fechado então o trem está proibido de entrar no bloco. Os primeiros métodos de licenciamento ou de controle de circulação de trens eram baseados no controle dos sinais de bloqueio e do espaçamento de separação entre trens. Este podia ser o espaçamento de tempo, em que a partida de um trem só é liberada um tempo após a partida do trem anterior, ou espaçamento de distância, em que a partida de um trem só é liberada depois de confirmada a chegada do outro trem num bloco à frente. A regra de intervalo de tempo mostrou-se insegura, pois não era possível assegurar que a velocidade fosse mantida durante o percurso do trecho. (UNIVERSITY, 2016)

A tabela de tempos foi substituída pelo método de divisão da via em secções ou blocos fixos e controle da presença de trens nesses blocos, regra ainda adotada atualmente, porém evoluída com a adoção do conceito de seção de bloqueio em sistemas de controle automático, em vez de bloco simples em sistemas de controle manual. Uma seção de bloqueio (SB) é definida como um trecho de via compreendido entre dois sinais de bloqueio controlado, quando percorrido no mesmo sentido de tráfego. Se a abertura do bloqueio depende de comando do operador, tem-se um sinal de bloqueio de abertura controlada; se a abertura depende apenas de condições da via, o sinal é denominado sinal de bloqueio de abertura automática. (BARWELL, 1973)

O sistema de sinalização adotado atualmente é o sistema de dois blocos, em que se empregam três aspectos para os sinais de bloqueio automático, indicando nos sinais distantes a preparação para a parada nos próximos dois sinais. O sinal vermelho indica bloqueio fechado, pois o bloco à frente está ocupado, e diante deste sinal o trem deve parar. O sinal amarelo indica aproximação, isto é, o bloco à frente está livre, mas o bloco seguinte está ocupado, e o trem deve ser preparado para parar no próximo sinal. Nesse caso o trem circula com velocidade restrita, 47 Km/h. Por sua vez, o sinal verde indica bloqueio aberto, os dois blocos à frente estão livres, e tem-se permissão para prosseguir com a velocidade máxima autorizada, 65 Km/h. Uma ilustração do sistema de dois blocos é apresentada na Figura 8.

Figura 8 – Controle de velocidade: sistema de dois blocos



Fonte: GUEIRAL, (2008).

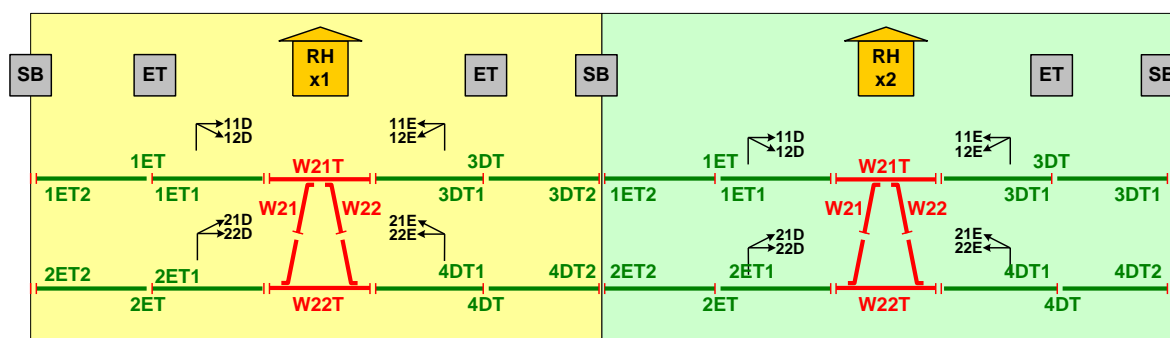
A locomotiva possui um equipamento instalado a bordo cujas funções principais são mostrar para o maquinista os aspectos dos sinais dos códigos de velocidade vigentes e controlar a obediência aos limites de velocidades, parando o trem imediatamente caso um deles seja ultrapassado. Esse equipamento é o *Automatic Train Control* (ATC). Os sinais associados aos códigos de velocidade são aplicados aos trilhos à frente da locomotiva e captados por indução eletromagnética por meio de antenas localizadas na frente do trem. A codificação destes sinais segue o padrão em que o código vermelho, pare, corresponde ao sinal de 60Hz sem modulação, o amarelo, limite de velocidade restrita, corresponde ao sinal de 60 Hz modulado por um sinal de onda quadrada com frequência de 2 Hz e o verde, velocidade máxima, corresponde ao sinal de 60 hz modulado por um sinal onda quadrada com frequência de 3 Hz. Esses sinais são recebidos e decodificados pelos blocos funcionais Receptor, Decodificador e Detector de Linha Sinalizada (DLS), que tem a função de detectar a presença de código na via, o que a caracteriza como via sinalizada, e impede a desativação do ATC nas mesmas. (GUEIRAL, 2008)

Uma rota de linha principal é definida por uma SB de origem, uma ou mais SDCs e uma SB de destino. A rota será aceita se, somente se, o sentido de tráfego na SB de destino for favorável à rota, não houver rota conflitante, não houver detector de descarrilamento atuado e

não inibido, se a SDC e a SB estiverem livres, impedindo colisão lateral nas SDCs com trem executando uma rota não conflitante, e se não houver interdição na SDC ou na SB. Com a rota aceita e as chaves pertencentes à rota posicionadas corretamente dá-se a abertura do bloqueio, que volta a fechar em caso de ocupação da SDC ou da SB de destino, perda de correspondência de qualquer máquina de chave da rota ou violação do perfil de espaço livre. Diz-se que uma máquina de chave está sem correspondência durante a sua movimentação ou caso haja divergência entre o último comando e a posição em que se encontra. O cancelamento da rota antes de iniciada sua execução pode ser feito por comando direto, originado pelo operador, ou indireto, em que o intertravamento recebe indicação de descarrilamento na origem ou destino da rota ou interdição na SB destino, e quando já iniciada sua execução ela será cancelada pela passagem do trem.

A Figura 9 exemplifica um plano de vias sinalizadas característico de uma região com via dupla. As *Houses* RH-x1 e RH-x2, as *cases* controladoras de CDV e as *cases* controladoras da seção de bloqueio intermediário abrigam equipamentos do intertravamento. As *cases* controladoras da seção de bloqueio intermediário controlam o bloqueio automático entre as SB das linhas 1 e 2 de forma que o bloqueio é aberto automaticamente se a SB a frente está livre e mantém-se fechado se a SB à frente está ocupada. Compreende uma rota o CDV de origem e de destino e a SDC com os AMVs nas devidas posições para o deslocamento pretendido. A nomenclatura de rotas considera o número das linhas origem e destino e sentido de tráfego. Assim, 12D é a rota que leva o trem do trilho 1 para o trilho 2 e o seu sentido de tráfego é da esquerda para a direita. (GUEIRAL, 2008)

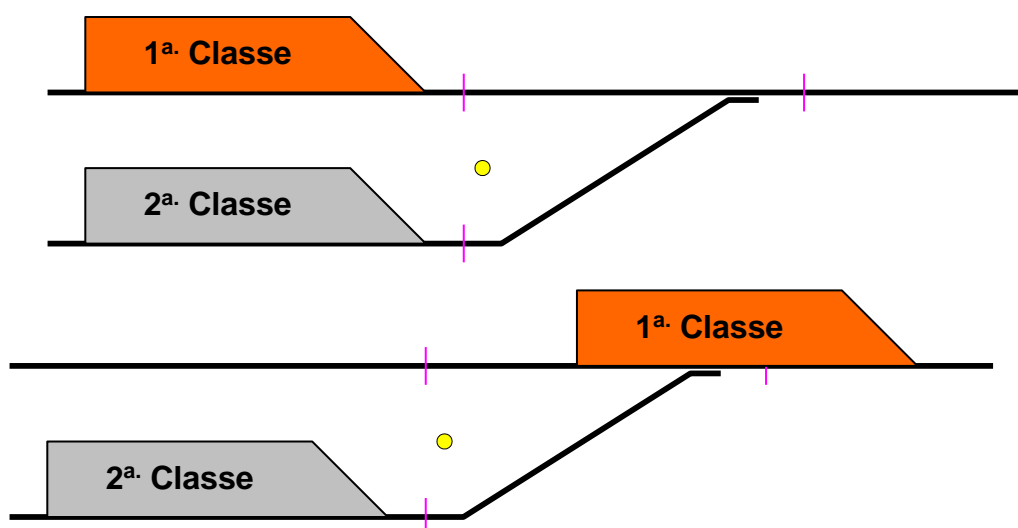
Figura 9 – Plano de vias sinalizadas e a nomenclatura de rotas



Fonte: GUEIRAL, (2008).

A EFVM possui regras de prioridade de circulação nas quais os trens são classificados em primeira-classe, à qual pertencem os trens de passageiros, segunda-classe, composta pelos trens de minério, terceira-classe e assim por diante, os chamados trens de carga geral, a fim de resolver os conflitos de circulação. Ao se encontrarem em situação em que necessitam circular por uma mesma via, a precedência é decidida em função da prioridade de cada trem; trens de classe superior tem preferência para a continuidade de movimento, tanto no mesmo sentido quanto em sentido contrário. Em caso de conflito de circulação de trens de mesma classe, mas em movimentos opostos, a precedência para a continuidade do movimento deve ser concedida em função da prioridade do sentido de tráfego. A Figura 10 mostra um exemplo de conflito de circulação e a resolução tomada com base na regra de prioridade de circulação. (GUEIRAL, 2008)

Figura 10 – Regras de prioridade de circulação



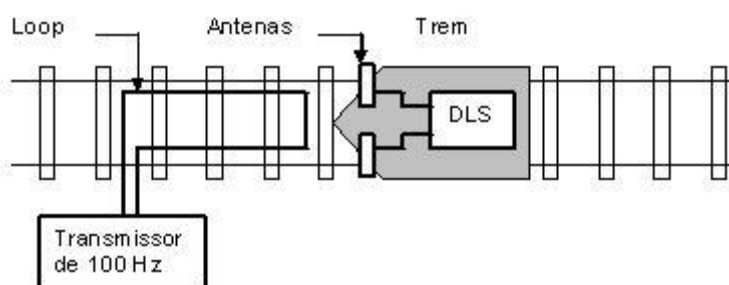
Fonte: GUEIRAL, (2008).

O sistema de sinalização tem um subsistema de intertravamento com a função de controlar o alinhamento e a execução de rotas, impedindo o comando de qualquer rota conflitante com a que estiver alinhada. O sistema de sinalização da EFVM atende ao Princípio da Falha Segura, isto é, detecta qualquer tipo de falha e, no caso de ocorrência de falha, o sistema é levado a um estado seguro, geralmente uma condição restritiva de circulação ou a parada total do trem.

2.3 Controle de circulação no Pátio

No pátio terminal de Tubarão os circuitos de via são de corrente alternada com sinal de frequência 60 Hz, o qual também corresponde ao código vermelho. Adotou-se no pátio, então, um sinal elétrico de corrente alternada de alta intensidade e de frequência 100 Hz aplicado num circuito fechado denominado *LOOP* DLS de maneira que havendo detecção deste sinal o estado do ATC é comutado de linha para pátio ou de pátio para linha. Isto permite que a locomotiva circule com ATC desligado. A Figura 11 ilustra o digrama funcional do equipamento *LOOP* DLS. (GUEIRAL, 2008)

Figura 11 - Diagrama funcional do DLS



Fonte: GUEIRAL, (2008).

Um travessão é definido como uma linha diagonal provida de chaves nas duas extremidades, ligadas a linhas paralelas, a fim de permitir a passagem de trens de uma das linhas paralelas para a outra. Os travessões pertencentes tanto à linha de circulação quanto à de pátio são denominados travessões compartilhados e são controlados pelo intertravamento de linha principal e pelo travamento adicional feito pelo pátio utilizando a função travamento de travessão compartilhado (WLK), ficando sempre na posição normal, travado fisicamente por um equipamento chamado travador elétrico. Para movimentação desse travessão de normal para reversa deverá existir uma permissão originada por um comando específico, uma permissão de entrada no pátio ou um comando de rota de saída do pátio executados pelo despachador do CCP e deverá atender aos seguintes requisitos: existir um pedido por parte do intertravamento da linha principal, estarem livres as SDCS que protegem o travessão, tanto no lado da linha principal, quanto no lado do pátio e não existir rota sobre a SDC que protege o travessão no lado do pátio.

O pedido de autorização de entrada (PAE) é controlado pelo intertravamento da linha principal, ativada e informada ao intertravamento do pátio para entrada nele. A permissão de entrada (PE) é uma função do intertravamento de pátio para controle do processo de autorização de entrada de trens no pátio e ao ser permitida a entrada o sinal WLK é ativado para destravamento do travessão compartilhado. A desativação é automática quando o PAE for desativado. Entrada autorizada (EA) é um sinal controlado pelo intertravamento do pátio e informado ao intertravamento da linha principal, sendo ativo se a função PE estiver ativa e o bloqueio da rota do pátio estiver aberto com SB de destino livre, após o posicionamento do travessão para reverso. (GUEIRAL, 2008)

Pedido de autorização de saída (PAS) é um sinal supervisionado pelo intertravamento do pátio e enviado para o da linha principal durante a execução de rota de saída do pátio. É ativado durante o processo de alinhamento de rota de saída do pátio, destravando o travessão compartilhado por meio da ativação da função WLK. Quando o travessão compartilhado voltar para a posição normal o sinal WLK é desativado novamente. O sinal controlado pelo intertravamento da linha principal que é enviado para o intertravamento do pátio para indicar que o bloqueio da rota da linha principal está aberto é denominado saída autorizada (SA). Tanto o PAE e o PAS quanto a EA e SA devem ser desativados por um comando de cancelamento de rota, antes da entrada do trem na SDC ou de forma automática pela passagem de trem com a liberação da última SDC. (GUEIRAL, 2008)

As rotas de linha do pátio são definidas por um sinal de origem, zero ou mais SDCs, um sinal destino e uma SB destino, podendo esta estar livre ou ocupada. Uma rota somente pode ser autorizada se não há outra rota conflitante e se as SDCs envolvidas e o CDV destino estiverem livres. A abertura do bloqueio de uma rota de pátio é percebida pelo maquinista pela mudança do sinal de origem, que inicialmente estava em vermelho, para vermelho pisca ou amarelo. Se a rota ainda não foi determinada ou se está determinada, porém sua SDC já estiver sendo utilizada, o sinal será vermelho, indicando que o trem deve estar parado. O aspecto vermelho pisca indica que o maquinista pode avançar com velocidade permissiva, atendo para parar imediatamente o trem caso encontre um trem estacionado ou em movimento contrário. Estes são casos em que para a rota definida sua SDC está livre, porém o CDV destino encontra-se ocupado. No aspecto amarelo a SB à frente está livre, o maquinista pode avançar em velocidade restrita de pátio, até 30 Km/h.

3 MAQUETES DE FERROMODELISMO

3.1 Histórico e características

Os primeiros trens em miniatura foram fabricados por artesãos alemães na década de 1830. Eles eram feitos de folha de flandres, frágeis e empurrados sobre os trilhos. Em 1891 foram criados trens movidos a mecanismos de relógio, catalogados até 1930 apenas. Logo em seguida vieram os trens de brinquedo, também chamados de tin plates. Estes, rodavam sobre trilhos que podiam ser montados livremente com diferentes cruzamentos, mudanças de via e com circuitos ovais, porém não prezavam pelo realismo. Destaca-se nesse meio a fabricante de brinquedos *Märklin*.

Na virada do século XIX para o século XX, surgiram os primeiros comandos elétricos e as miniaturas passaram a ser produzidas como modelos e não mais como brinquedos apenas, se tornaram mais realísticas, passaram a possuir motores potentes e uma construção resistente. A partir de então, surge o nome ferromodelismo, um hobby cujo primeiro clube foi o *The Model Railway Club* fundado em Londres em 1910. A popularização das miniaturas se deu também nos Estados Unidos, surgindo lá famosas fabricantes de miniaturas, como a *Lionel*.

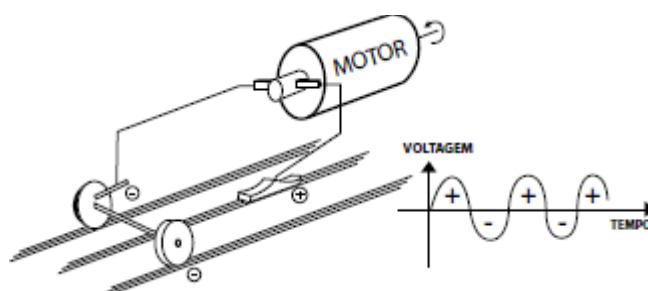
Em 1930 surgem os primeiros trilhos elétricos e depois da Segunda Guerra Mundial as réplicas se tornaram ainda mais detalhistas e funcionais, sendo muito estimada por colecionadores. Atualmente, as maquetes de ferromodelismo reproduzem cenários reais, períodos históricos e modelos de trens de forma cada vez mais fidedigna, com destaque para a fabricante brasileira Frateschi na América Latina.

O funcionamento de uma maquete de ferromodelismo pode ser feito pelo sistema de três trilhos ou pelo sistema de dois trilhos. No sistema de três trilhos, utilizado no início do ferromodelismo, os motores das locomotivas eram alimentados com corrente alternada, sendo o trilho central um polo positivo e os dois trilhos laterais polos negativos. Este sistema proporciona uma alimentação elétrica simples, porém o recuo é complicado de se realizar, o realismo da via permanente é prejudicado pelo trilho central e por questão de espaço a complexidade construtiva é grande. (FRATESCHI, 2016)

Atualmente, quase totalidade dos fabricantes utiliza o sistema de corrente contínua com dois trilhos devido às várias vantagens que ele proporciona. São elas: maior realismo da linha, maior facilidade em promover o recuo dos trens, maior facilidade no controle de velocidade e aplicação de tecnologia eletrônica sobre o comando e operação dos trens, menor custo de fabricação e compatibilidade entre todos os fabricantes. Entretanto, esse sistema apresenta desvantagem na ligação das peras e dos triângulos, usadas para realização de manobras, cuja geometria implica em curto-circuito. A solução para estas situações é o uso de duas chaves reversoras e quatro pontos de isolamento na linha. Em uma maquete de ferromodelismo que utiliza o sistema de dois trilhos o controle do módulo da velocidade é feito por meio da tensão aplicada nas extremidades de cada CDV e o sentido de movimento está relacionado à polaridade desta tensão. (FRATESCHI, 2016)

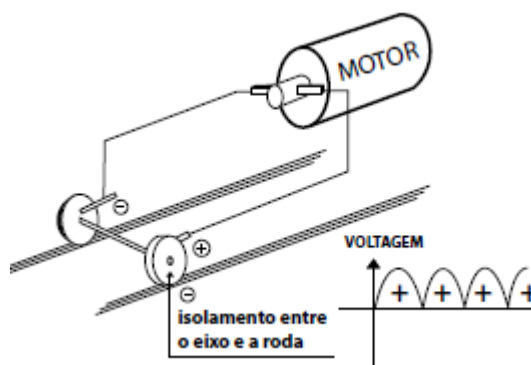
A Figura 12 e a Figura 13 a seguir ilustram o sistema de três trilhos e o sistema de dois trilhos, respectivamente:

Figura 12 – Sistema de três trilhos



Fonte: FRATESCHI, (2016).

Figura 13 – Sistema de dois trilhos



Fonte: FRATESCHI, (2016).

A circulação de duas locomotivas na mesma linha pode acontecer em duas circunstâncias distintas: ambas movimentando-se independentemente uma da outra ou as duas com movimentos iguais e simultâneos. O comando independente para cada locomotiva só é possível com o isolamento de trechos da linha e com dois ou mais controladores de velocidade, de maneira que cada um tenha sua região de atuação específica. Não havendo essas regiões de controle independente de velocidades ou no caso de duas locomotivas em uma mesma região, o comando será o mesmo para ambas, que irão acelerar, parar ou recuar simultaneamente.

3.2 Adaptações feitas à maquete de ferromodelismo do CEL para possibilitar a implementação do projeto

A maquete em questão funciona segundo o sistema de dois trilhos alimentada por uma tensão de 12V. Para tornar possível a circulação de duas ou mais locomotivas de forma independente, a linha foi dividida em trechos eletricamente isolados, sendo a junta isolante o espaçamento gerado ao serrar os trilhos para obter o isolamento e cada trecho isolado um circuito de via, conforme conceitos utilizados na EFVM.

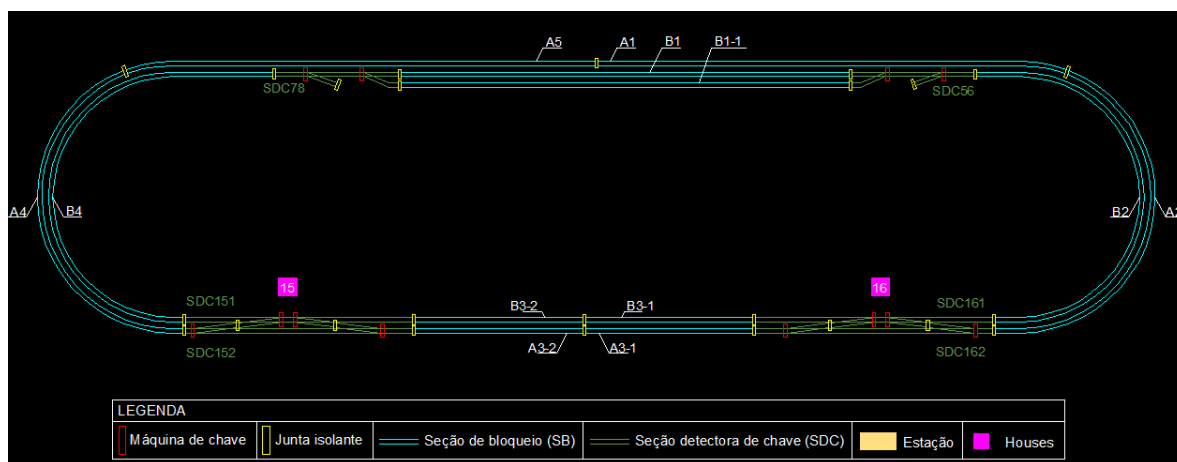
As seções detectoras de chave tiveram seus comprimentos baseados na distância de proteção do Ponto de Marco e na distância de proteção das pontas das agulhas a fim de que o cruzamento de trens seja feito de forma segura. Entende-se por Ponto de Marco o ponto a partir do qual não há mais risco de colisão lateral entre um trem circulando na linha principal e um trem estacionado na linha secundária. Com o propósito de promover a circulação concomitante de dois trens pela SDC da *House* 15 em sentidos opostos, uma junção isolante deve ser feita em seus travessões para tornar o controle de velocidade da parte pertencente ao trilho mais externo (SDC152) e da parte pertencente ao outro trilho (SDC151) independentes. Do mesmo modo deve ser feito para a SDC da *House* 16.

A quantidade e os tamanhos dos CDVs foram definidos de forma a possibilitar o controle de tráfego pelo sistema de dois blocos. No anel A, anel mais externo, a parte superior foi dividida em quatro CDVs a fim de proporcionar maior quantidade de trechos de controle de velocidade independentes, não havendo necessidade de divisão em trechos menores para o controle de tráfego pelo sistema adotado. Em A4, o relevo do terreno por onde passa o trilho possui uma

inclinação positiva quando percorrido no sentido anti-horário a fim de simular uma situação em que o trem não deve parar por questões de economia de combustível. A junta isolante entre A4 e A5 é posicionada no início da curva de maneira a proporcionar paradas de trens no sentido anti-horário mais próximas da SDC sem que o trem comece a subir a elevação.

Na parte inferior dos anéis externos, os CDVs A3 e B3 foram divididos para que se tivesse o número mínimo de CDVs entre SDCs exigido pelo sistema de dois blocos. O conceito desse sistema, que não podia ser aplicado antes da automação devido à possibilidade de uma única velocidade para a circulação dos trens, pode ser aplicado em todo o anel A e no trecho ente as SDC das *Houses* 15 e 16, considerado o suficiente para o objetivo do treinamento. Assim sendo, no segundo anel mais externo, denominado anel B, os limites das SDCs foram suficientes para determinar os CDVs adequados. Esses dois anéis compreendem a ferrovia em si, representando a EFVM. A Figura 14 apresenta a ferrovia e sua divisão em CDVs.

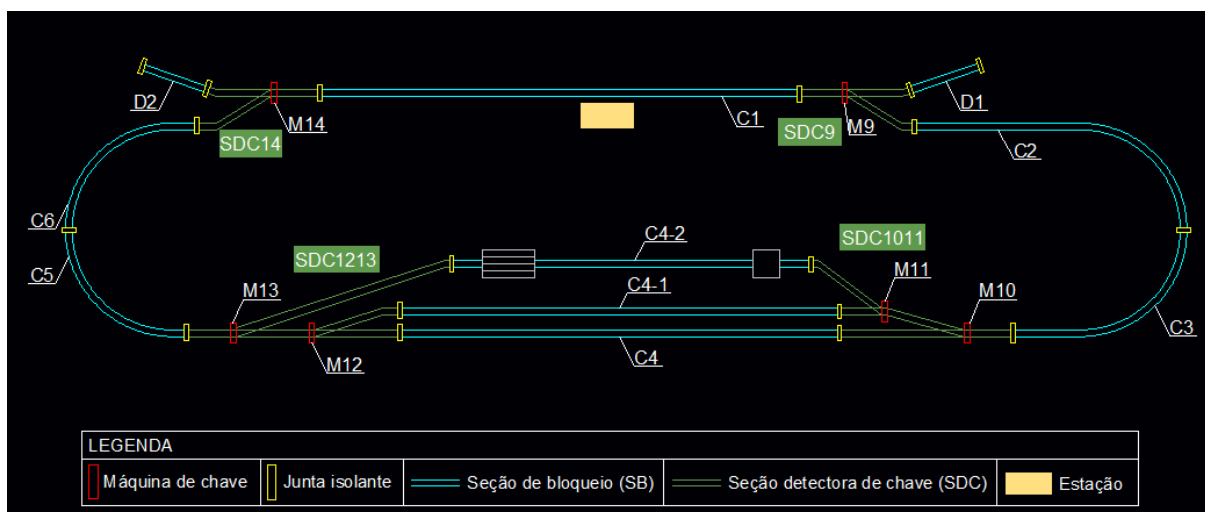
Figura 14 – Representação da maquete e sua divisão em CDVs - Estrada de ferro



Fonte: Produção do próprio autor.

O anel C, anel interno, retrata o Pátio de Tubarão, sendo o controle de tráfego adotado nele similar ao real utilizado no pátio. Seus CDVs foram delimitados pelas juntas isolantes que limitam as SDC, necessitando de divisão apenas nas suas curvas para aumentar a mobilidade dos trens e assim facilitar a realização de manobras. A Figura 15 mostra a linha que representa o pátio e sua divisão CDVs.

Figura 15 – Representação da maquete e sua divisão em CDVs - Pátio



Fonte: Produção do próprio autor.

O tamanho do maior trem foi definido com base na distância entre as seções detectoras de chave das *Houses* 15 e 16, tendo em vista a proibição de paradas nessas SDCs por causar o bloqueio de várias rotas, o que dificulta a circulação. Assim, o comprimento do maior trem é 1,80m. Como o aumento do número de blocos automáticos permite aumentar a quantidade de trens na malha, estabeleceu-se que cada bloco corresponderia a um único CDV, possibilitando a circulação de até cinco trens na maquete simultaneamente.

Baseado nas nomenclaturas da EFVM, o anel B é o trilho 1, o anel A é o trilho 2, o desvio do anel B é o trilho 3, o anel C é o trilho 4 e os desvios C4-1 e C4-2 no anel C são os trilhos 5 e 6, respectivamente. Essa numeração será usada para identificação das rotas, assim como na EFVM.

Cada CDV irá receber dois sensores para monitorar a passagem dos trens e determinar a ocupação dos CDVs. Estes sensores devem ser posicionados um em cada extremidade do CDV de maneira que quando uma locomotiva saindo dele ao passar pelo sensor gere um pulso e seja possível a ela parar antes de chegar à junta isolante. Os CDVs D1 e D2 por se tratarem de circuitos de entrada no pátio e serem de curto comprimento não necessitam de sensores. Dentre as seções de detecção de chave apenas as SDC151, SDC152, SDC161 e SDC162 possuirão sensores devido à sua importância para a circulação. Desta forma, são economizados vinte e dois sensores e dispensado o uso em mesma quantidade de entradas

digitais no CLP. Serão colocados sinaleiros com *led* vermelho e amarelo no pátio na entrada de cada CDV para tornar a maquete mais fiel ao ambiente real.

4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

4.1 Controladores Lógicos Programáveis

Os controladores lógicos programáveis (CLPs) são dispositivos utilizados em plantas industriais que promovem o controle de processos. Em 1968 a *General Motors* desenvolveu o CLP para substituir o controle de processos industriais via painéis de relé, conferindo maior flexibilidade e rapidez em alterações no controle desse tipo de processos, pois as modificações podem ser realizadas por programação e não por recabeamento. Além dessas vantagens, os CLPs apresentam vantagens no que diz respeito ao custo, devido ao menor número de componentes necessários para um sistema de controle e à facilidade quanto a modificações, e à comunicação, pois CLPs permitem o uso de diversos protocolos para a comunicação com dispositivos de campo e com dispositivos das estações de operação e de engenharia, possibilitando a supervisão e a operação remota do processo. (PETRUZELLA, 2010)

4.2 Componentes de um CLP

Os componentes básicos de um CLP são: fonte de alimentação, unidade de processamento (CPU), memória, módulo de comunicação e dispositivos de entrada e saída. A esses componentes podem ser acrescentados periféricos como monitores, display LCD, teclado de programação, etc. Dependendo do tamanho e do fabricante, os componentes básicos podem estar em um único bloco, caracterizando um CLP compacto, ou em módulos separados, caracterizando um CLP Modular, que podem estar juntos no mesmo rack ou separados.

4.3 Fonte de alimentação

A fonte de alimentação é responsável pela conversão da tensão alternada 110/220 Vac para uma tensão contínua, geralmente de 5 Vdc, 12 Vdc ou 24 Vdc. A fonte também é responsável por garantir uma operação normal do CLP diante de flutuações de tensão e de sobrecorrentes.

4.4 CPU

A CPU é onde fica o(s) microprocessador(es), as memórias e os registradores responsáveis pela execução das operações lógicas do *software* aplicativo, alocação de memória, entre outras funções. O módulo da CPU possui uma chave seletora do modo de operação em:

- a) Modo *PROG*: desenergiza todas as saídas a fim de permitir a edição do programa com segurança. Quando neste modo de operação, não é possível trocá-lo remotamente.
- b) Modo *RUN*: é o modo de execução do programa gravado. Nesse modo, não é possível a edição do *software* aplicativo.
- c) Modo *REM*: permite alteração do modo de operação através da posição da chave seletora ou mudando de uma interface de programação ou operação. Nessa posição é possível editar o programa on-line, isto é, durante a execução do projeto, que tem por vantagem principal evitar a perda dos estados das saídas, não necessitando de um *startup* do processo controlado.
- d) Em sistemas críticos pode-se usar CPUs redundantes. Em caso de falha do processador principal, o segundo entra em operação de controle.

Quando um CLP é ligado, são realizados testes de inicialização como limpeza das memórias imagens de entradas e saídas, testes de escrita e leitura da memória e teste de executabilidade do programa do usuário. Após esses testes o *software* aplicativo é executado.

4.5 Módulos de entrada e saída

Os módulos de entrada e saída são os terminais conectados no CLP que formam a interface pela qual este se comunique com os dispositivos de campo. Essa conexão é feita de forma a isolar eletricamente os componentes internos dos terminais por meio de um isolamento óptico, isto é, as tensões e correntes dos atuadores e sensores são convertidas por acopladores ópticos para o nível de tensão utilizado pelos equipamentos lógicos.

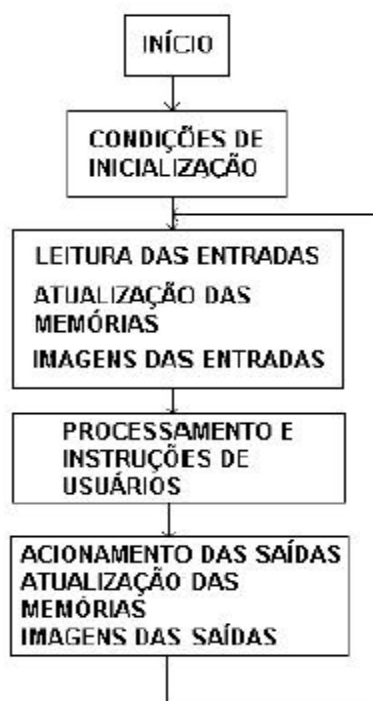
Os sinais recebidos e enviados pelos módulos de entrada e de saída, respectivamente, podem ser digitais ou analógicos. Geralmente, sinais de entrada digitais usam tensões de 120 Vca ou de 24 Vdc e vêm de botões, chaves de fim de curso e sensores discretos. Quando os sinais de

entrada são analógicos são convertidos normalmente em sinais de 0 à 10 Vdc ou de 4 à 20 mA. As saídas podem ser do tipo CA ou CC (NPN ou PNP - saídas a transistor), TRIACs, relés, etc.

4.6 Execução do software aplicativo

A execução do *software* aplicativo é denominada ciclo de *scan* e é composta por quatro etapas: atualização/leitura das entradas, execução do *software* aplicativo, atualização/escrita das saídas e realização de diagnósticos. O tempo em que esse ciclo é executado, denominado tempo de *scan*, é fundamental para o controle adequado do processo. O tempo de *scan* depende do modelo de processador utilizado, do número e do status das instruções do programa e da complexidade das funções executadas.

Figura 16 – Diagrama de blocos de funcionamento de um CLP



Fonte: CORETTI, (1998).

Após a inicialização, faz-se a leitura do estado das entradas do controlador, que é transferido para um arquivo “imagem”. O programa é, então, executado e as decisões lógicas tomadas com base no estado das entradas. Depois da execução do *software* aplicativo, atualiza-se o arquivo de dados referente às saídas, alterando seus respectivos circuitos. Ao final de cada

ciclo de *scan*, a CPU verifica as condições do CLP, isto é, se houve falha em algum de seus componentes internos e calcula o *Scan Time* (Tempo de Varredura). A Figura 16 apresenta um diagrama de blocos do ciclo de *scan* de um CLP.

Um dispositivo de proteção denominado Watchdog Timer (WDT) monitora o tempo de ciclo de *scan*. Caso este tempo ultrapasse o valor determinado pelo WDT, o processamento é interrompido e a saída vai para o estado de maior segurança para o processo.

4.7 Softwares de programação

Em [GUZZO, 2016] há definição de *software* de programação como a ferramenta usada pelo programador para desenvolver o programa que vai rodar em um CLP/Controlador. Os *softwares* de desenvolvimento de programas dos CLPs da *Rockwell Automation*, fabricante do CLP a ser adquirido para implementação deste projeto, são o *RSLogix 500* e o *RSLogix 5000* e o *software* de programação a ser utilizado no desenvolvimento do *software* aplicativo é o *CoDeSys*. Ambos atendem à norma IEC 61131-3. A seguir serão descritas algumas características relevantes desses *softwares*.

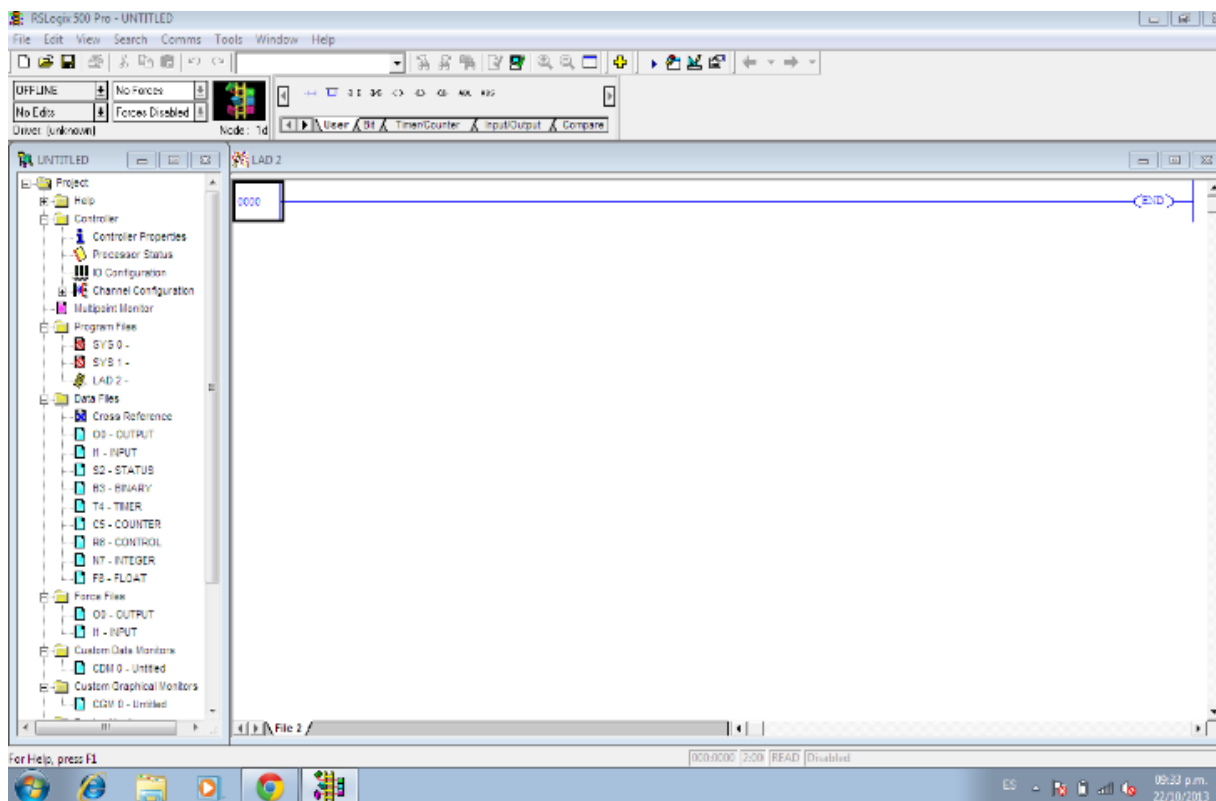
4.7.1 RSLogix 500

O *RSLogix 500* é o *software* utilizado para o desenvolvimento de programas dos controladores SLC 500 e *Micrologix* da *Allen-Bradley*. O *RSLogix 500* permite a programação em linguagem *Ladder* e conta com blocos de funções definidos para implementação da sequência lógica do programa. Além do editor *Ladder*, o *software* contém uma ferramenta de pesquisa de defeito e diagnóstico.

Pela tela principal do programa é possível acessar todas as funções e configurações do programa. Esta tela é apresentada na Figura 17. Dentre as instruções disponíveis no *RSLogix 500*, encontram-se as instruções baseadas em relés, contadores e temporizadores, instruções matemáticas, instruções de comparação, instruções de controle de programa, etc.

A simulação de um programa compilado no *RSLogix 500* é feita no *software RSLogix Emulate 500*. Nele é possível testar o projeto simulando condições próximas da situação real na qual o controlador irá atuar.

Figura 17 – Tela inicial do *RSLogix 500*



Fonte: Produção do próprio autor.

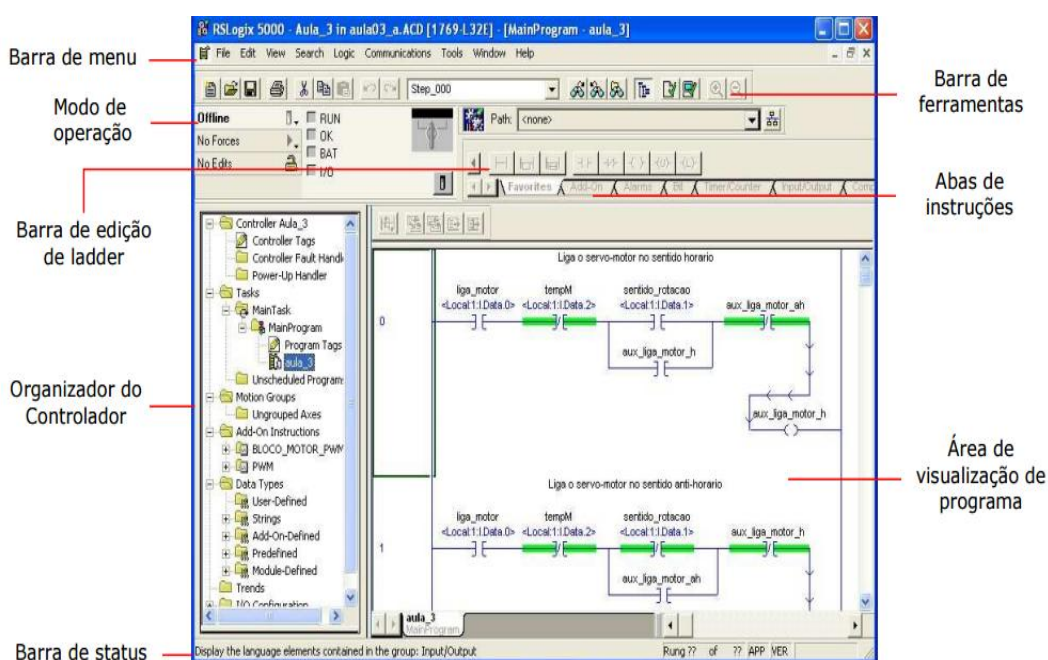
4.7.2 RSLogix 5000

O *RSLogix 5000* é o *software* de programação para as famílias CLP *Logix* mais recentes. Esta ferramenta permite programar nas linguagens *Ladder*, Texto Estruturado, Diagrama de Bloco de Função e *Sequential Function Chart* (SFC), possibilitando um melhor desempenho ao projeto do que o *RSLogix 500*.

Diferentemente do *RSLogix 500*, em que o programador trabalha com registradores, no *RSLogix 5000* trabalha-se com as *tags* e permite escolher o tipo da *tag* (BOOL, INT, etc). O *RSLogix 5000* possui instruções relativas a linguagem *Ladder* e às outras linguagens.

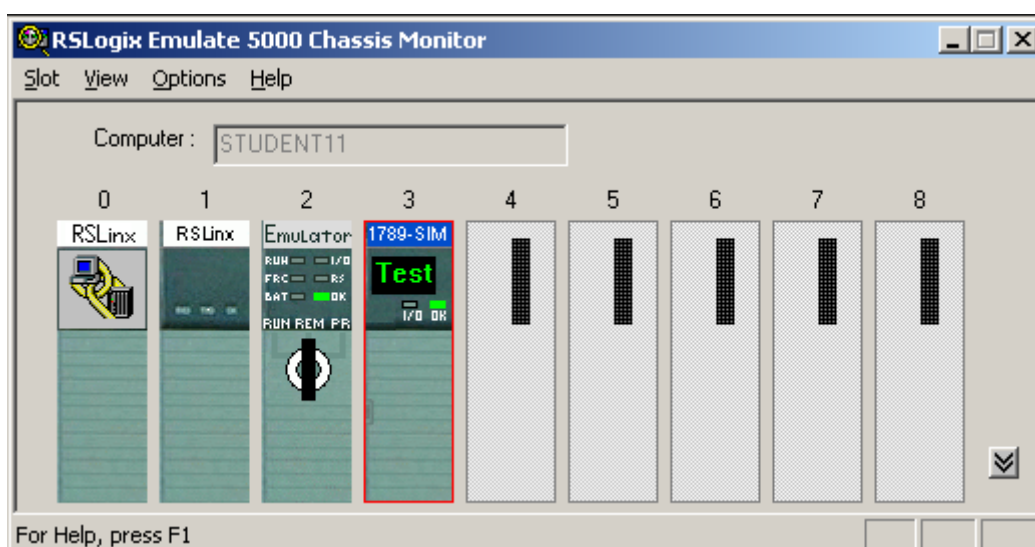
O *RSLogix Emulate 5000* é o software utilizado para realizar a simulação de um programa desenvolvido no *RSLogix 5000*. O seu objetivo é emular a função de um CLP sem o hardware real e, assim, fazer uma depuração avançada, testando o projeto em situações que reproduzam a realidade. Em termos de apresentação, as telas do *RSLogix Emulate 500* e do *RSLogix Emulate 5000* são similares. A Figura 18 mostra a tela de programação do *RSLogix 5000* e a Figura 19, uma das telas de simulação do *RSLogix Emulate 5000*.

Figura 18 – Tela do *RSLogix 5000*



Fonte: MENDES, (2016).

Figura 19 – Tela de simulação *RSLogix Emulate 5000*



Fonte: PLC DEV, (2016).

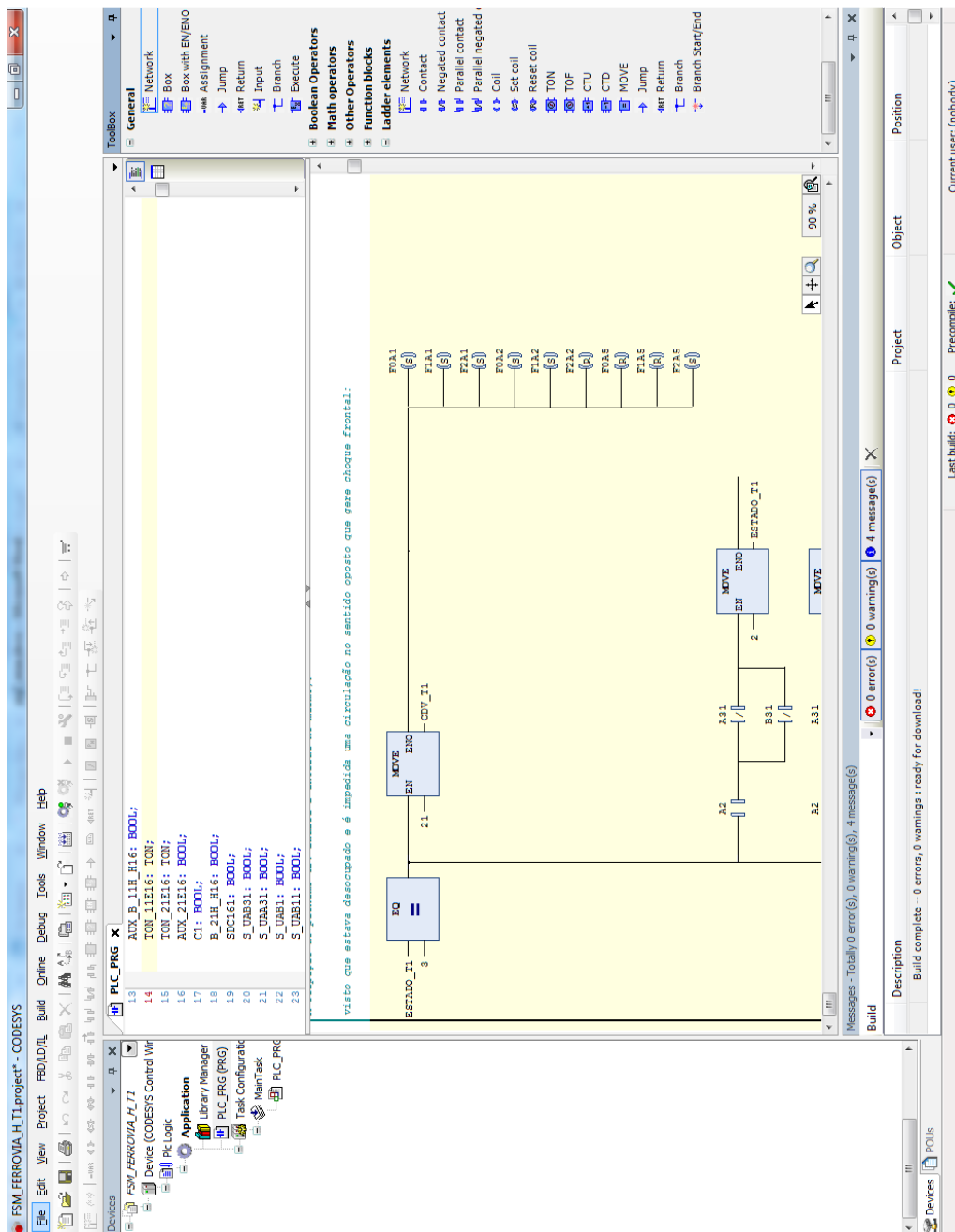
4.7.3 CoDeSys

CoDeSys Development System é um aplicativo para a programação de projetos de controle e automação no ambiente da norma IEC 61131-3. O *CoDeSys* contém as cinco linguagens de programação definidas na norma IEC 61131-3, Texto Estruturado, Lista de Instruções, *Ladder*, Diagramas de Blocos Funcionais e SFC.

O *CoDeSys* contém as instruções do *RSLogix 5000* mais as instruções específicas das linguagem SFC. Ao contrário do *RSLogix*, o *software* de programação e o simulador encontram-se no mesmo aplicativo. O simulador permite manipular as variáveis de maneira simples e possibilita a visualização do estado das variáveis no *software* aplicativo à medida que a simulação é realizada. A Figura 20 e a Figura 21 mostram a tela de programação e a tela de simulação, respectivamente.

Por possuir uma versão gratuita e completa para estudantes, o *CoDeSys* é bastante utilizado em Instituições de Ensino Superior em disciplinas relacionadas à informática industrial.

Figura 20 – Tela de programação do CoDeSys



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 21 – Tela de simulação do CoDeSys

The screenshot displays the CoDeSys simulation environment. The main window shows a ladder logic diagram with three parallel branches, each containing a normally open contact (A3.2, A3.1, A3.2) and a coil (B2.1). The diagram is connected to a motor control system with three states: ESTADO_1, ESTADO_2, and ESTADO_3. The status bar at the bottom indicates 'Program loaded - Force active' and 'Simulation' mode.

The variable declaration table is as follows:

Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
ESTADO_T1	INT	103			ESTADO = ESTADO D... AQUINA DE ESTADOS
CDV_M	INT	0			
ESTADO_M	INT	0			
AUX_B_11H_H16	BOOL	FALSE			
TON_11E16	TON				

Below the table, a warning message reads: "Atenção: Este sistema não possui uma configuração de rede adequada para a comunicação com o PLC. Verifique a configuração de rede do sistema." (Warning: This system does not have a suitable network configuration for communication with the PLC. Check the network configuration of the system.)

Fonte: Produção do próprio autor.

5 DESCRIÇÃO FUNCIONAL

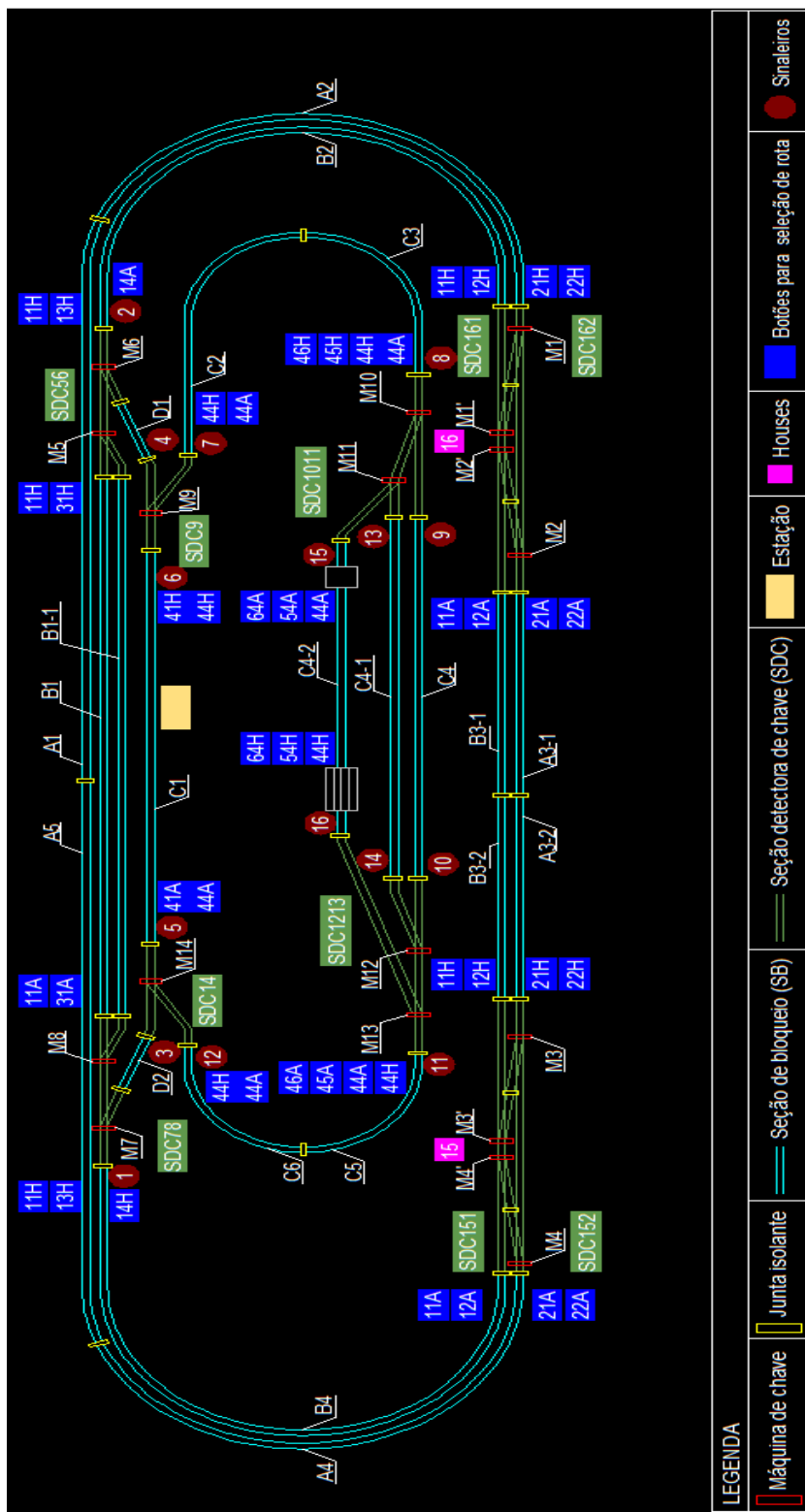
A descrição funcional é o documento em que é detalhado o comportamento de um processo a partir do momento em que o novo sistema de automação entra em operação. A descrição funcional deve ser feita em casos de alterações no processo ou substituição de um sistema de automação já existente e em casos de uma nova planta. Este documento deve ser tomado como base para o desenvolvimento do programa aplicativo dos CLPs. (GUZZO, 2016)

Neste capítulo será apresentada a descrição funcional desenvolvida para este projeto, que se trata de uma nova planta. Constituem essa descrição funcional: o fluxograma do processo; as informações sobre os equipamentos envolvidos; a descrição geral e a lógica de controle do processo; a descrição dos alarmes emitidos; e as informações que devem aparecer nas telas das estações de operação na sala de controle.

5.1 Fluxograma de processo

A Figura 22 apresenta o fluxograma do processo de controle de tráfego de trens na maquete.

Figura 22 – Fluxograma do processo



Fonte: Produção do próprio autor.

5.2 Informações sobre os principais equipamentos

Os principais equipamentos envolvidos são os CDVs, SDC e as AMVs. Os circuitos de via são os seguintes:

- A1: CDV do anel mais externo, A. Pertencente à ferrovia.
- A2: CDV do anel mais externo, A. Pertencente à ferrovia.
- A3-1: CDV do anel mais externo, A. Pertencente à ferrovia.
- A3-2: CDV do anel mais externo, A. Pertencente à ferrovia.
- A4: CDV do anel mais externo, A. Pertencente à ferrovia.
- A5: CDV do anel mais externo, A. Pertencente à ferrovia.
- B1: CDV do segundo anel mais externo, B. Pertencente à ferrovia.
- B1-1: CDV do segundo anel mais externo, B. Pertencente à ferrovia.
- B2: CDV do segundo anel mais externo, B. Pertencente à ferrovia.
- B3-1: CDV do segundo anel mais externo, B. Pertencente à ferrovia.
- B3-2: CDV do segundo anel mais externo, B. Pertencente à ferrovia.
- B4: CDV do segundo anel mais externo, B. Pertencente à ferrovia.
- C1: CDV do pátio.
- C2: CDV do pátio.
- C3: CDV do pátio.
- C4: CDV do pátio.
- C4-1: CDV do pátio.
- C4-2: CDV do pátio.
- C5: CDV do pátio.
- C6: CDV do pátio.
- D1: CDV do pátio.
- D2: CDV do pátio.

As seções de detecção de chave são:

- SDC151: SDC da *House* 15 composta principalmente por parte do trilho 1. Pertencente à ferrovia.
- SDC152: SDC da *House* 15 composta principalmente por parte do trilho 2. Pertencente à ferrovia.

- SDC161: SDC da *House* 16 composta principalmente por parte do trilho 1. Pertencente à ferrovia.
- SDC162: SDC da *House* 16 composta principalmente por parte do trilho 2. Pertencente à ferrovia.
- SDC56: SDC que contém as máquinas de chave M5 e M6. Pertencente à ferrovia.
- SDC78: SDC que contém as máquinas de chave M7 e M8. Pertencente à ferrovia.
- SDC9: SDC que contém a máquina de chave M9. Pertencente ao pátio.
- SDC1011: SDC que contém as máquinas de chave M10 e M11. Pertencente ao pátio.
- SDC1213: SDC que contém as máquinas de chave M12 e M13. Pertencente ao pátio.
- SDC14: SDC que contém a máquina de chave M14. Pertencente ao pátio.

As máquinas de chave são:

- M1: máquina de chave que na posição normal permite continuidade de movimento nos trilhos 1 e 2 pela SDC161 e SDC162, respectivamente, e que na posição reversa possibilita mudança de via entre os trilho 1 e 2.
- M2: máquina de chave que na posição normal permite continuidade de movimento nos trilhos 1 e 2 pela SDC161 e S162, respectivamente, e que na posição reversa possibilita mudança de via entre os trilho 1 e 2, em conjunto com M1.
- M3: máquina de chave que na posição normal permite continuidade de movimento nos trilhos 1 e 2 pela SDC151 e SDC152, respectivamente, e que na posição reversa possibilita mudança de via entre os trilho 1 e 2.
- M4: máquina de chave que na posição normal permite continuidade de movimento nos trilhos 1 e 2 pela SDC151 e S152, respectivamente, e que na posição reversa possibilita mudança de via entre os trilho 1 e 2, em conjunto com M1.
- M5: máquina de chave que na posição normal permite continuidade de movimento no trilho 1 e que na posição reversa possibilita mudança de via entre os trilho 1 e 3.
- M6: máquina de chave que na posição normal permite continuidade de movimento no trilho 1 e que na posição reversa possibilita o acesso ao pátio.
- M7: máquina de chave que na posição normal permite continuidade de movimento no trilho 1 e que na posição reversa possibilita mudança de via entre os trilho 1 e 3.
- M8: máquina de chave que na posição normal permite continuidade de movimento no trilho 1 e que na posição reversa possibilita o acesso ao pátio.

- M9: máquina de chave que na posição normal possibilita o acesso ao pátio e que na posição reversa permite continuidade de movimento no trilho pátio.
- M10: máquina de chave que na posição normal permite continuidade de movimento no trilho 4 e que na posição reversa possibilita o acesso aos trilhos 5 e 6.
- M11: máquina de chave que na posição normal direciona o trem para o trilho 5 e na posição reversa para o trilho 6.
- M12: máquina de chave que na posição normal direciona o trem para o trilho 4 e na posição reversa para o trilho 5.
- M13: máquina de chave que na posição normal direciona o trem para o trilho 4 e na posição reversa para o trilho 6.
- M14: máquina de chave que na posição normal possibilita o acesso ao pátio e que na posição reversa permite continuidade de movimento no trilho pátio.

5.3 Descrição geral

Antes de começar a operação é necessário que o operador posicione os trens na maquete que deverão circular inicialmente. Para o correto funcionamento, um trem deverá ter tamanho máximo de 1.8m, posicionamento inicial que garanta a não ocupação de uma SDC e em sua composição a existência de apenas uma locomotiva. Esta deve estar localizada em uma das extremidades e posicionada de forma a puxar os vagões ao se mover para frente, com pelo menos um vagão na composição do trem, em que tanto a locomotiva como o último vagão devem ser os limites do trem demarcados por ímã para acionamento dos sensores.

Após os trens estarem posicionados faz-se o cadastro dos mesmos informando o nome, o sentido de circulação gerado por um movimento para frente da locomotiva e o CDV em que ela se encontra. É importante indicar também quais são os CDVs inicialmente ocupados para os casos em que um trem ocupa mais de um CDV.

Registradas as informações iniciais, escolhe-se o modo de operação: remoto semiautomático ou remoto automático, e pode-se então iniciar a operação clicando no botão de início. Para inserir ou remover trens, o botão de pausa deverá ser pressionado, e então todos os trens irão parar a fim de que se coloque outro trem na maquete ou de que se retire algum, devendo assim ser realizado o cadastro do novo trem ou excluído o cadastro do trem removido. A operação é

retomada ao clicar no início novamente. Ao pressionar o botão relativo ao término da operação, todos os trens serão parados, os registros apagados e a maquete será desenergizada.

O sistema comporta um número de até cinco trens circulando simultaneamente e o controle de tráfego é baseado nas regras de circulação da EFVM. O método de controle adotado para a ferrovia é fundamentado no sistema de dois blocos e a regra de prioridade de circulação deve ser atendida. A rota é dada pela indicação do trilho de origem, do trilho destino e do sentido de deslocamento do trem a fim de movimentar os AMVs necessários para a posição que permita o movimento desejado; e a validação da rota determinada depende das condições dos CDVs à frente. No pátio, é possível realizar engates e manobras e os sinaleiros nas entradas das SDCs informam se há uma rota definida para a SDC e, havendo, indicam a situação da SDC e do CDV destino.

5.4 Lógica de controle

5.4.1 Funcionamento em remoto semiautomático

Este modo deverá ser usado em caso de treinamento de funcionários para atuarem como operadores do CCO ou do CCP e em disciplinas oferecidas às instituições de educação com a finalidade de apresentar aos treinandos uma sala de controle e simular o controle da EFVM e do Pátio de Tubarão. Neste modo o operador pode atuar sobre a maquete por meio da interface implementada em um sistema supervisor que o permitirá escolher a rota para cada trem e também pará-los por meio de botões, além de acompanhar as informações fornecidas pelo sistema.

O sistema de automação em modo em remoto semiautomático desta maquete é projetado para permitir comandos incorretos por parte do operador, como comandos que provoquem conflito de circulação ou deem a preferência a um trem de menor prioridade, por exemplo. Entretanto, eles não serão executados, sendo impedidos pela lógica de programação.

5.4.1.1 Lógica de controle da ferrovia

A principal grandeza a ser controlada na automação desta maquete é a velocidade dos trens - o módulo e o sentido. O controle de velocidade é feito segundo o sistema de dois blocos, ou

seja, um trem cujos dois próximos CDVs encontram-se livres irá seguir com a velocidade máxima autorizada, um trem que tenha à sua frente o primeiro CDV livre e o segundo ocupado deverá ter sua velocidade reduzida à velocidade intermediária e um trem que esteja no CDV imediatamente anterior à entrada de um CDV ocupado deverá ter velocidade nula. Assim, o CDV deve ser energizado com a tensão máxima, energizado com uma tensão intermediária e desenergizado, respectivamente. Ao ingressar em um novo CDV, o anterior é desenergizado e a nova velocidade é determinada. O sentido do trem, informado pelo operador, é utilizado para identificar quais são os CDVs à frente e indicar a polarização da alimentação dos CDVs.

O monitoramento da localização dos trens é feito utilizando-se dois sensores por CDV, um em cada extremidade, sensibilizados por ímãs situados na locomotiva e no último vagão de cada trem, de forma a gerar pulsos ao entrar e sair de um CDV. Logo, a verificação da ocupação de um CDV deverá ser implementada com contadores, porém, em vez de contadores de eixos como na EFVM, contadores dos pulsos gerados a partir da passagem da locomotiva e do último vagão pelos sensores.

Escolhida uma rota em que não haja conflito de circulação, o CDV em que se encontra a locomotiva e a SDC são energizados com a devida tensão, o CDV posterior à SDC com tensão máxima ou intermediária e os bits referentes às máquinas de chave em questão são levados à posição normal ou posição reversa, de acordo com a rota estabelecida. Os AMVs permanecem na posição determinada pela rota até que todo o trem passe pela SDC. O CDV anterior à uma SDCs é desenergizado somente após a entrada no CDV posterior a ela e não ao entrar na SDC.

O trem, ao entrar em um CDV que antecede uma SDC, aguarda o comando de rota por parte do operador, obedecendo à lógica do controle de velocidade, e caso o comando não seja dado até que a locomotiva passe pelo segundo sensor, o CDV em questão é desenergizado. Tal desenergização impede o trem de entrar na SDC e, por conseguinte, um possível choque entre dois trens de mesmo sentido, pois, se permitida sua entrada na SDC, ao se determinar uma rota por essa SDC para outro trem, o primeiro se movimentaria ainda que as máquinas de chave não estivessem em posição favorável, provocando um descarrilamento, e com a entrada do trem autorizado na SDC, ocorreria o choque.

Na tela do supervisor todos os botões estarão habilitados para pressionamento, não havendo distinção entre botões que acarretam rotas conflitantes e botões de rotas válidas. Ocorrendo um *click* em um botão de escolha de rota, ela será ativada somente se o CDV de origem estiver ocupado, se já não houver uma rota estabelecida pela mesma SDC e se ela não provocar conflito de circulação. Assim, diante de uma SDC, a rota a ser traçada será a primeira rota válida escolhida e caso o comando do operador leve à uma condição insegura, o trem irá permanecer em movimento até o final do CDV em que se encontra, podendo durante esse percurso atender a um novo comando que não gere rota conflitante. Para realização deste intertravamento, a rota definida deve permanecer indicada na tela e na programação até que o trem desocupe a SDC ao passar por ela. Uma vez escolhida uma rota válida não é possível cancelá-la. Se um trem chegar ao final do CDV sem um comando de possível execução diante de qualquer SDC, irá aguardar parado a desocupação necessária para permitir uma rota sem conflitos e um novo comando de rota, antes de adentrar à SDC, evitando qualquer possibilidade de choque. A escolha da rota deve obedecer às regras de prioridade, caso contrário o trem não atenderá ao comando e será gerado um alarme de erro de prioridade.

Uma das condições em que podem ocorrer choques entre trens em sentidos opostos se dá ao entrar um trem no CDV A4 no sentido horário e, em seguida ou simultaneamente, outro no CDV A2 no sentido anti-horário, ou vice-versa. Há possibilidade de choques frontais no anel B quando há solicitação simultânea de rotas da SDC15 e da SDC78 ou da SDC14 cujo destino é B4 e, analogamente, da SDC16 e da SDC56 ou da SDC9 para B2 e quando B31 e B32 estão livres e solicita-se a rota 11A da SDC da *House* 15 e a rota 11H da SDC da *House* 16 simultaneamente, e vice-versa. A mesma situação é possível no trecho em paralelo no trilho 2, anel A. Deve haver um intertravamento que bloqueie o acionamento simultâneo dessas rotas e que ative somente a primeira rota válida requerida a fim de evitar os choques.

Não são permitidas paradas de trens em locais que provoquem a ocupação das SDCs da *Houses* 15 e 16 devido à sua importância para manter uma boa circulação, isto é, com maior possibilidade de rotas e menor quantidade de trens parados. Por isso, rotas para o trecho entre as duas seções só serão autorizadas se ambos os CDVs destino estiverem livres. Entretanto, são permitidas paradas que causem a ocupação da SDC56 e SDC78, onde a quantidade de trajetórias resultantes da combinação de rotas é menor. É proibida também a parada de trens nas curvas A4 e B4 para um trem que circule em sentido anti-horário, isto porque o relevo da

maquete possui ali uma elevação nesse sentido que simula um caso de um trem subindo um morro e nessas condições ele não deve parar devido às orientações da empresa acerca de economia de combustível. Portanto, nos casos em que os trens vêm dos CDVs A4 e B4 em direção à SDC 15, a condição de rota livre deve ser verificada antes de entrar nesses CDVs, quando estiverem ainda nos CDVs A5 e B1 ou B11 ou C1.

Quando o operador do CCO solicita uma rota de entrada no pátio, é gerado um pedido de autorização de entrada (PAE) e abre-se uma janela de pedido de autorização na tela do CCP para que o operador do CCP autorize a rota, sob a condição de o CDV destino da entrada no pátio, C1, estar livre e de não haver rota traçada para o mesmo. Um *click* nessa janela autoriza a entrada e a janela é fechada, isto se atendidos os requisitos para a entrada, caso contrário a autorização não será validada e a janela permanecerá aberta, fechando somente quando houver um *click* de autorização dentro das circunstâncias exigidas. O PAE e a autorização de entrada (EA) devem ser cancelados quando o trem desocupar a SDC imediatamente anterior ao CDV destino. Caso a entrada não seja autorizada até que o trem chegue ao final do CDV de origem ele deve parar e aguardar a autorização.

Dado o comando de parada de um trem específico este deve atendê-lo, a menos que esteja em uma das situações de parada proibida. Nesses casos, se o botão continuar pressionado solicitando a parada do trem, ele irá parar assim que sair da condição de proibição; se o operador clicar novamente neste botão desabilitando a função de parar antes que o trem saia da condição de proibição ele irá permanecer em movimento.

5.4.1.2 Lógica de controle do pátio

O pátio é o local onde ocorrem as manobras e, portanto, é necessário o movimento de recuo dos trens, além do deslocamento para frente, ambos nos sentidos horário e anti-horário. Aqui, a verificação da ocupação do próximo CDV não pode ser usada como modo de controle de velocidade, visto que para realizar engates o CDV já deve estar ocupado com alguns vagões, fato que na ferrovia impediria a entrada do trem no próximo CDV. No pátio são utilizadas duas velocidades apenas, a nula e uma velocidade menor do que as permitidas na ferrovia, e a entrada no pátio se dará somente quando houver a autorização do operador do pátio e o CDV C1 estiver desocupado.

O deslocamento do trem no pátio é visto de duas formas. Na primeira, o trem está posicionado de forma que o movimento no sentido horário é realizado para frente, com a locomotiva puxando os vagões, e no sentido anti-horário o movimento é executado em recuo, com a locomotiva empurrando os vagões. Na segunda, o trem encontra-se em posicionamento contrário ao anterior, o movimento no sentido horário é o de recuo. Desta forma, o sentido informado no supervisório pelo operador deve referir-se à colocação do trem na maquete, independentemente de o trem estar se movendo em sentido horário ou anti-horário.

O sentido de deslocamento do trem, horário ou anti-horário, deve ser determinado pelo operador por meio dos botões de controle de rota relativos aos CDVs em que se encontram as extremidades do trem. Para um trem circulando em um determinado sentido, seja em recuo ou não, rotas para o mesmo sentido podem ser utilizadas para dar continuidade ao movimento. Porém, se deseja alterar o sentido de movimento do trem é necessário pará-lo antes de escolher uma rota para o sentido oposto. É possível parar o trem em qualquer momento.

Se para deslocar-se no sentido estabelecido o movimento é para frente, energiza-se a SDC e o CDV à frente e posicionam-se os AMVs corretamente para que o trem prossiga até encontrar a próxima SDC, parando ao passar pelo último sensor do CDV imediatamente anterior a ela até que a nova rota seja escolhida. Durante este percurso é possível definir a rota à frente, mantendo o sentido de movimento, parar o trem ou alterar o seu sentido após pará-lo. Caso a locomoção desejada deva ser realizada em recuo, energiza-se o CDV atual, a SDC anterior e o CDV anterior com polaridade invertida até que o último vagão acione o segundo sensor do CDV antecedente a uma SDC ou que o trem seja parado pelo operador.

A escolha de rotas em sentidos opostos com o mesmo CDV destino implica em comandos concomitantes de polarizações opostas no CDV, prevalecendo aquela representada pelo nível lógico baixo. Assim, o trem em sentido contrário não conseguiria entrar e permanecer no CDV destino num contexto em que a locomotiva puxa os vagões. Num cenário em que a locomotiva se encontra na condição de empurrar os vagões, o mesmo objetivo, que é colocar o último vagão de cada trem ou o último vagão de um e a locomotiva do outro em um mesmo CDV, pode ser alcançado traçando-se uma rota de cada vez. Logo, a determinação de rotas em sentidos opostos para o mesmo CDV destino simultaneamente não é necessária e não deve ser permitida.

O CDV de origem e a SDC somente serão desenergizados quando o trem chegar no CDV destino, se eles estiverem livres a fim de evitar a parada de trens que vêm em sequência. Em casos de ocupação do CDV por mais de um trem, a rota determinada irá atuar sobre o trem mais próximo da SDC, sendo desativada quando a esta for liberada. Assim, dá-se oportunidade de escolha de rota para os trens que vêm em sequência e, caso o trem chegue ao final do CDV sem que a SDC à frente seja liberada, ele irá parar, aguardar a liberação e um novo comando de rota.

Solicitada uma rota de saída do pátio, um pedido de autorização de saída (PAS) é gerado e deve ser autorizado pelo operador do CCO. Assim como na solicitação de entrada no pátio, as condições para autorização são o CDV destino estar livre e não haver rota traçada para o mesmo. O PAS e a autorização de saída (SA) serão cancelados automaticamente quando o trem liberar a SDC imediatamente anterior ao CDV destino. Não é permitida a saída do pátio com o trem em recuo.

Os sinaleiros nas entradas das SDCs e dos CDVs destino indicam a situação dos mesmos com relação à rota estabelecida e até mesmo o fato de não haver uma rota determinada naquela SDC. Se a rota ainda não foi determinada o sinaleiro estará em vermelho. Se definida a rota e o CDV destino estiver ocupado, o sinaleiro deverá piscar em vermelho. Se para a rota determinada a SDC e o CDV destino estiverem livres, o sinaleiro estará na cor amarela.

5.5 Funcionamento em remoto automático

O funcionamento em remoto automático consiste no controle de tráfego sem a intervenção do operador, isto é, o operador apenas inicializará o sistema, posicionando os trens, cadastrando-os, escolhendo o modo de operação e clicando no botão de início. A partir de então as rotas serão definidas automaticamente com base na ocupação dos possíveis CDVs destino e nas regras de prioridade de circulação.

O desenvolvimento do *software* aplicativo para este modo de operação não é escopo deste trabalho, apesar de ser um requisito do projeto completo de automação da maquete.

5.6 Alarmes

Por ser um modo de operação voltado para treinamentos, o modo semiautomático é projetado para permitir que o operador tome as decisões sem a intervenção do sistema, ou seja, todos os botões ficam habilitados até mesmo os que acarretam um comando errôneo. Contudo, é interessante identificar os erros e conhecer a frequência de suas ocorrências.

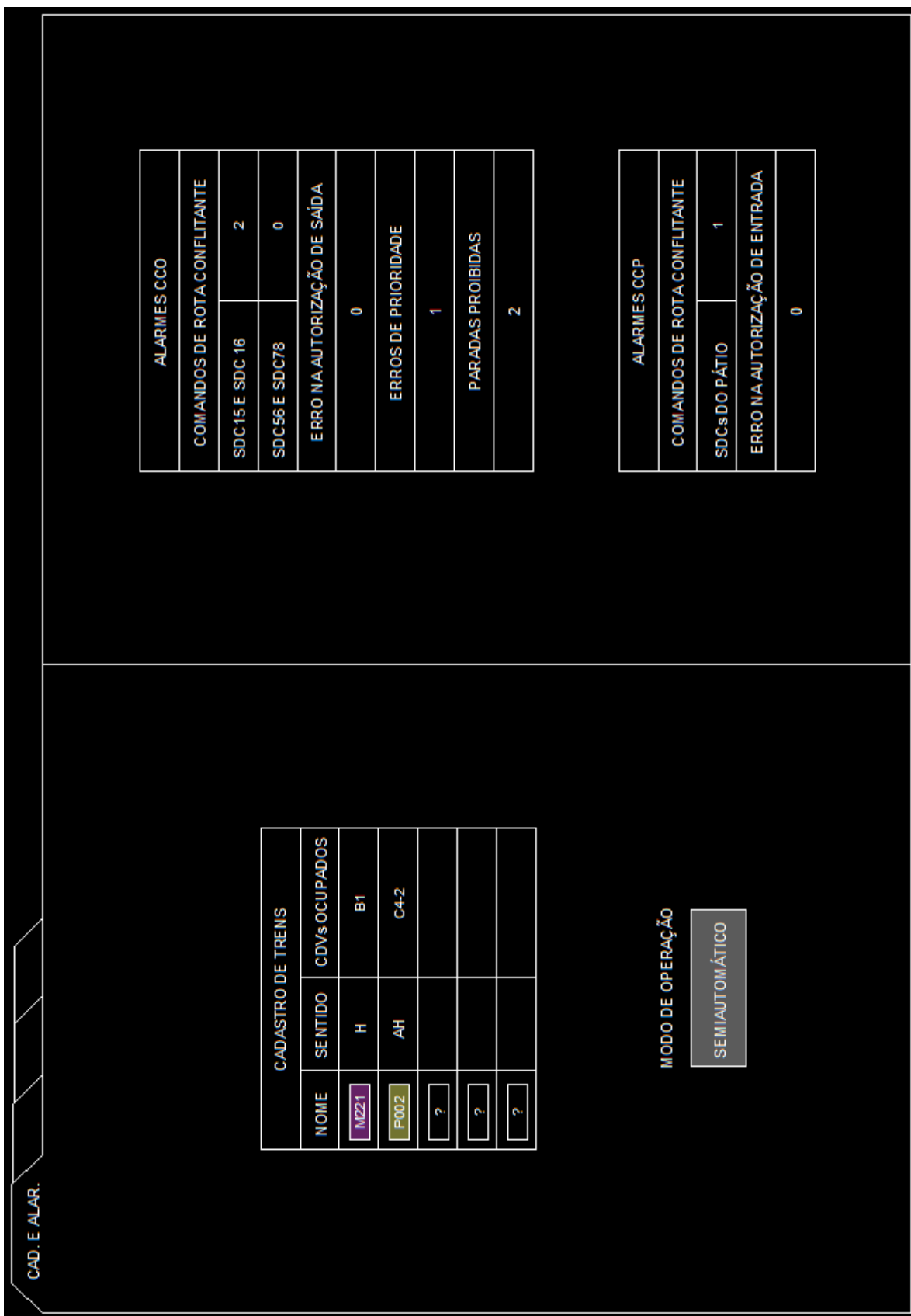
Considerando isto, foram selecionados os principais erros que podem ser cometidos pelo operador e estabelecido um alarme para cada um deles. São eles: comando de uma rota conflitante, comando de parada em situação proibida, autorização de entrada no pátio ou saída do pátio em condições não permitidas e preferência concedida a um trem de menor prioridade. O tipo de erro e sua respectiva frequência serão apresentados em uma tela separados por erros cometidos pelo operador do CCO e pelo operador do CCP para auxiliar o tutor na avaliação dos treinandos. A contagem de erros é zerada somente ao finalizar a operação.

O reconhecimento de cada alarme será constatado quando houver um *click* na linha do alarme, o que leva o operador a conhecer o motivo pelo qual seu comando foi ignorado e se atentar para não cometer esse erro novamente. Como alarmes, devem ser reconhecidos em um tempo menor do que trinta minutos.

5.7 Indicações na sala de controle

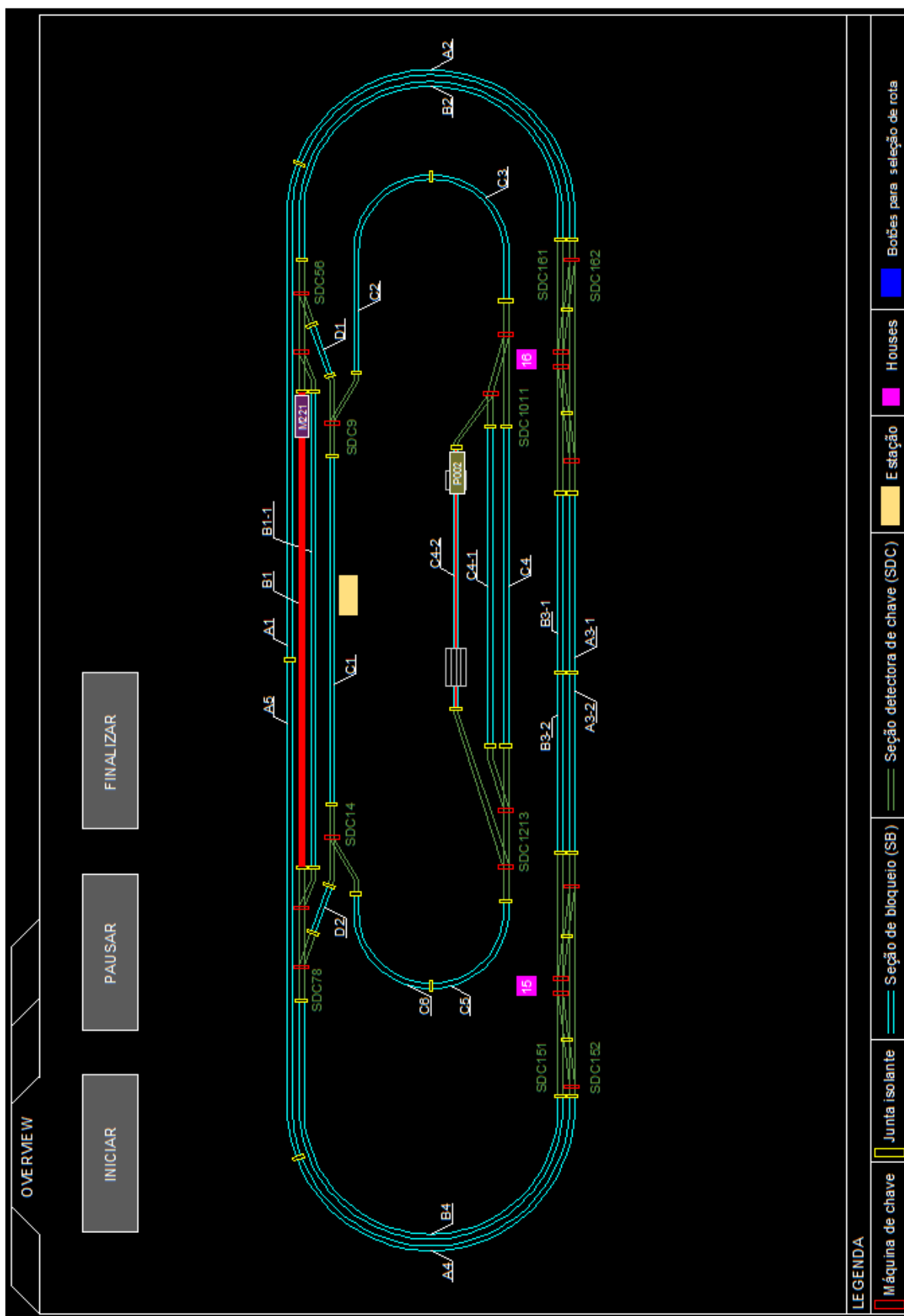
As informações indicadas na sala de controle podem ser vistas nas telas de operação apresentadas na Figura 23, Figura 24, Figura 25 e Figura 26. Os botões referentes às rotas em execução têm sua cor alterada.

Figura 23 – Tela de cadastro e alarmes



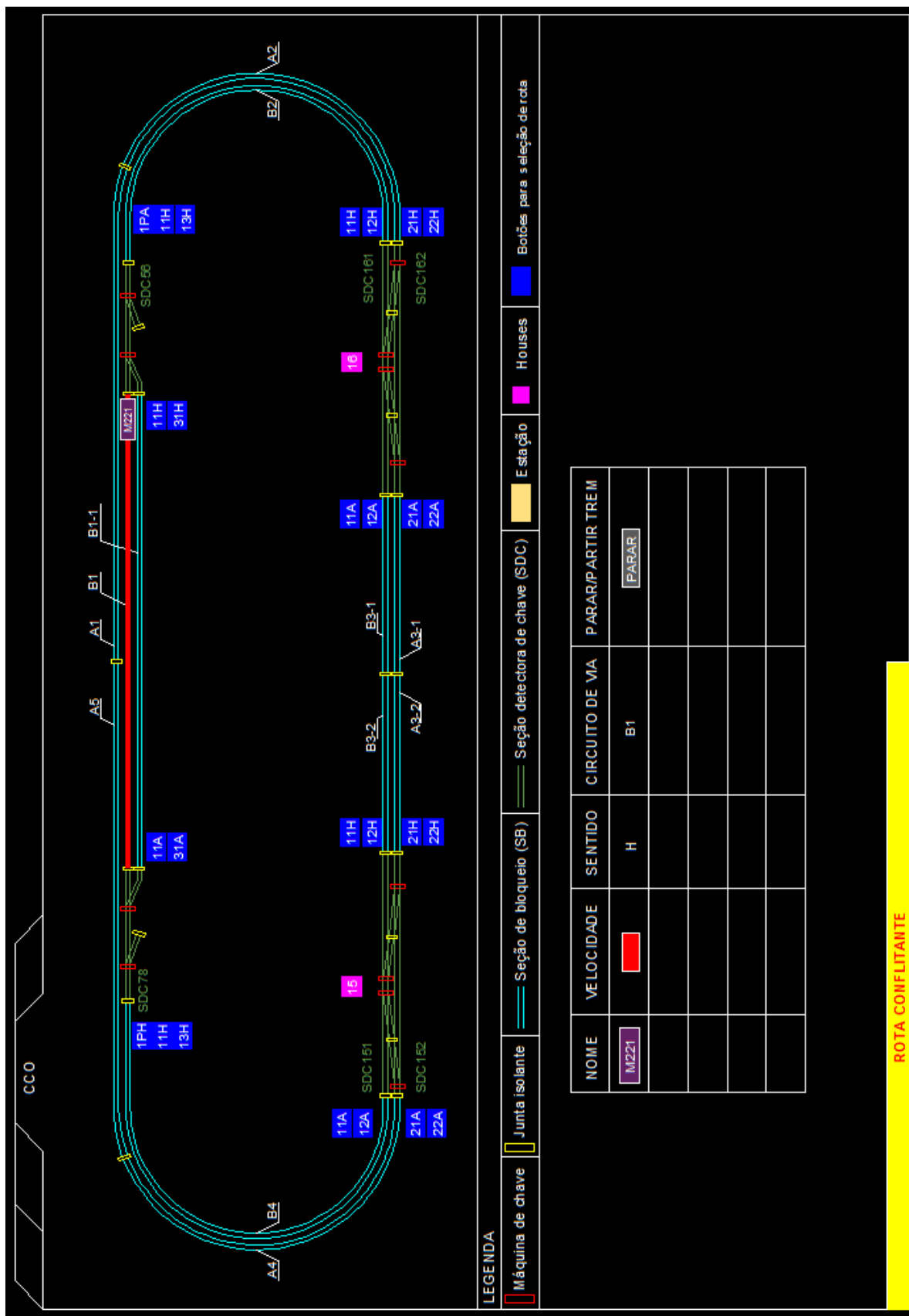
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 24 – Overview CCO e CCP



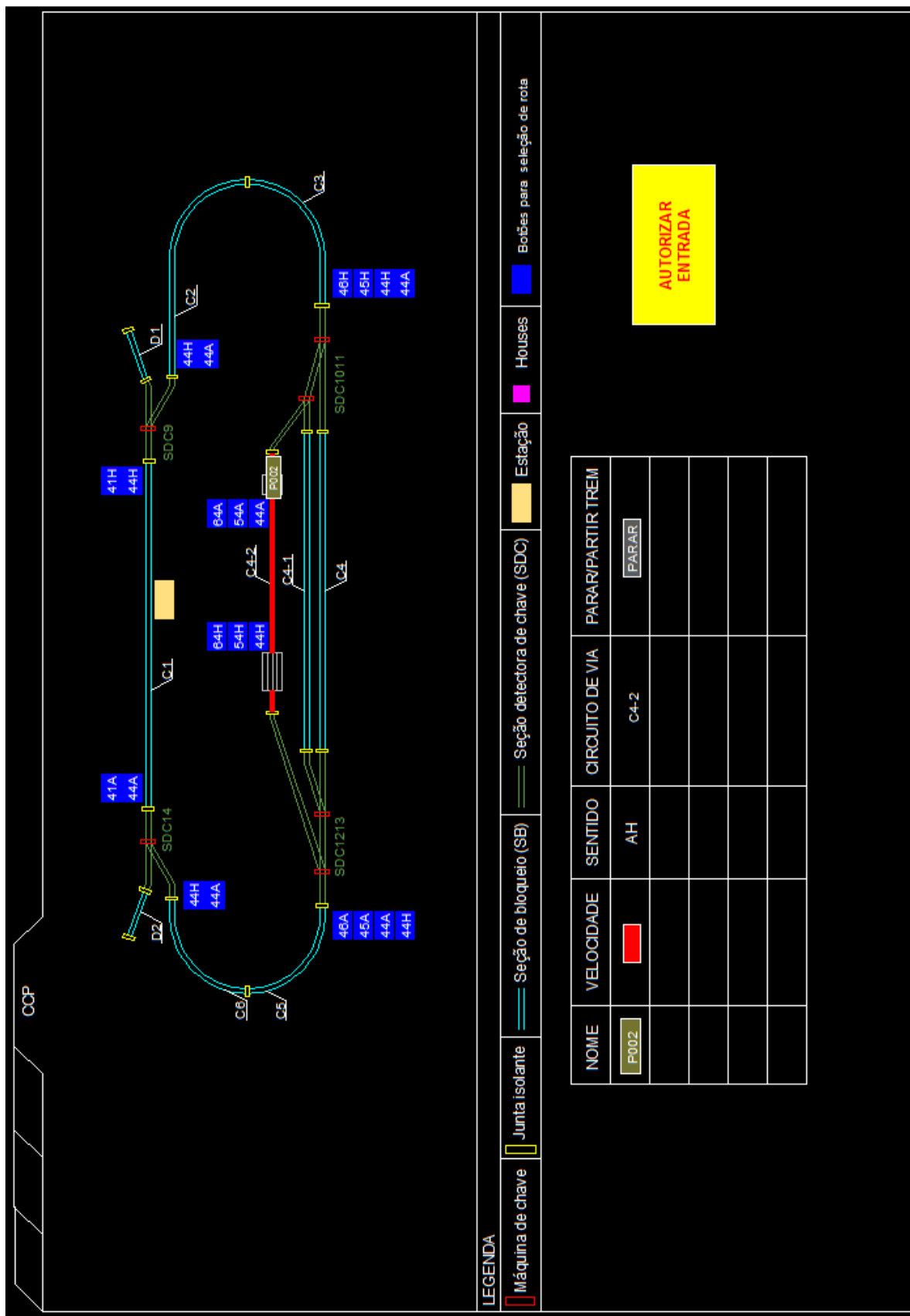
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 25 – Tela do CCO



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 26 – Tela do CCP



Fonte: Produção do próprio autor.

5.8 Lista de I/O

A seguir será apresentada a lista das variáveis de entrada e de saída do sistema de controle do processo em questão.

As variáveis de entrada correspondem aos sensores colocados nas extremidades dos CDVs. Elas seguem o mneumônico “S_UXYY”, onde: “S” é o mneumônico para sensor; “U” indica que é o último sensor a ser acionado; “X” é o mneumônico para o sentido, sendo “H = Horário” e “A = Anti-horário”; e “YY” representa o nome do CDV. Assim, por exemplo, a variável S_UHA1 refere-se ao último sensor do CDV A1 a ser acionado quando percorrido por um trem no sentido horário. As variáveis de entrada são:

- S_UHA1;
- S_UAA1;
- S_UHA2;
- S_UAA2 ;
- S_UHA31 ;
- S_UAA31;
- S_UHA32 ;
- S_UAA32;
- S_UHA4;
- S_UAA4 ;
- S_UHA5 ;
- S_UAA5;
- S_UHB1;
- S_UAB1;
- S_UHB11;
- S_UAB11;
- S_UHB2;
- S_UAB2;
- S_UHB31;
- S_UAB31;
- S_UHB32;

- S_UAB32;
- S_UHB4;
- S_UAB4;
- S_UHSDC151
- S_UASDC151;
- S_UHSDC152;
- S_UASDC152;
- S_UHSDC161
- S_UASDC161;
- S_UHSDC162;
- S_UASDC162;
- S_UHC1;
- S_UAC1;
- S_UHC2;
- S_UAC2;
- S_UHC3;
- S_UAC3;
- S_UHC4;
- S_UAC4;
- S_UHC41;
- S_UAC41;
- S_UHC42;
- S_UAC42;
- S_UHC5;
- S_UAC5;
- S_UHC6;
- S_UAC6.

As variáveis de saída relativas à energização dos CDVs seguem o mneumônico “OWZZ”, onde: “O” as identifica como bit de saída de energização de um CDV; “W” igual a “0” identifica o bit de polarização do CDV, igual a “1” identifica o primeiro bit relativo à velocidade no CDV e igual a “2” identifica o segundo bit relativo à velocidade no CDV, este

último existe apenas em CDVs da ferrovia; e “ZZ” representa o nome do CDV. As variáveis de saída referentes ao posicionamento dos AMVs seguem o mneumônico “MK”, onde “M” é o mneumônico para máquina de chave e “K” representa o número de identificação da máquina de chave. As variáveis de saída correspondentes aos *leds* dos sinaleiros seguem o mneumônico “AAA_BBBB_C”, onde “AAA” é igual a “SIN”, mneumônico para sinaleiro; “BBBB” igual a “VERM” indica que o bit refere-se a um *led* de cor vermelha e igual a “AMAR”, um de cor amarela; e “C” representa o número de identificação do sinaleiro. Assim, as variáveis de saída são:

- O0A1;
- O1A1;
- O2A1;
- O0A2;
- O1A2;
- O2A2;
- O0A31 ;
- O1A31 ;
- O2A31 ;
- O0A32 ;
- O1A32 ;
- O2A32 ;
- O0A4;
- O1A4;
- O2A4;
- O0A5 ;
- O1A5 ;
- O2A5 ;
- O0B1;
- O1B1;
- O2B1;
- O0B11;
- O1B11;

- O2B11;
- O0B2;
- O1B2;
- O2B2;
- O0B31;
- O1B31;
- O2B31;
- O0B32;
- O1B32;
- O2B32;
- O0B4;
- O1B4;
- O2B4;
- O0SDC151
- O1SDC151
- O2SDC151
- O0SDC152;
- O1SDC152;
- O2SDC152;
- O0SDC161
- O1SDC161
- O2SDC161
- O0SDC162;
- O1SDC162;
- O2SDC162;
- O0SDC56;
- O1SDC56;
- O2SDC56;
- O0SDC78;
- O1SDC78;
- O2SDC78;
- O0C1;

- O1C1;
- O0C2;
- O1C2;
- O0C3;
- O1C3;
- O0C4;
- O1C4;
- O0C41;
- O1C41;
- O0C42;
- O1C42;
- O0C5;
- O1C5;
- O1C6;
- O0C6;
- O0D1;
- O1D1;
- O0D2;
- O1D2;
- O0SDC9;
- O1SDC9;
- O0SDC1011;
- O1SDC1011;
- O0SDC1213;
- O1SDC1213;
- O0SDC14;
- O1SDC14;
- M1;
- M2;
- M3;
- M4;
- M5;

- M6;
- M7;
- M8;
- M9;
- M10;
- M11;
- M12;
- M13;
- M14;
- SIN_VERM_1;
- SIN_VERM_2;
- SIN_VERM_3;
- SIN_VERM_4;
- SIN_VERM_5;
- SIN_VERM_6;
- SIN_VERM_7;
- SIN_VERM_8;
- SIN_VERM_9;
- SIN_VERM_10;
- SIN_VERM_11;
- SIN_VERM_12;
- SIN_VERM_13;
- SIN_VERM_14;
- SIN_VERM_15;
- SIN_VERM_16;
- SIN_AMAR_1;
- SIN_AMAR_2;
- SIN_AMAR_3;
- SIN_AMAR_4;
- SIN_AMAR_5;
- SIN_AMAR_6;
- SIN_AMAR_7;

- SIN_AMAR_8;
- SIN_AMAR_9;
- SIN_AMAR_10;
- SIN_AMAR_11;
- SIN_AMAR_12;
- SIN_AMAR_13;
- SIN_AMAR_14;
- SIN_AMAR_15;
- SIN_AMAR_16.

6 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO

O *software* aplicativo foi desenvolvido na linguagem *Ladder* para possibilitar o uso de CLPs que utilizam tanto o *software* *RSLogix* 500 quanto o *RSLogix* 5000. Caso seja disponibilizado um CLP programado pelo *RSLogix* 5000 utilizar-se-á também a linguagem Diagrama de Blocos de Função (FBD), pois engloba a linguagem *Ladder* e é mais apropriada para situações repetitivas com variáveis diferentes, como é o caso deste projeto em que as linhas de código para realizar a parada de um trem, por exemplo, devem ser iguais para os cinco trens mudando-se apenas a *tag* do trem. Nessas situações o FBD proporciona maior facilidade na manipulação das variáveis, enquanto no *Ladder* deve-se copiar e colar as linhas de código alterando cada *tag*.

Devido à menor complexidade na realização de simulações, o *software* *CoDeSys* foi escolhido para o desenvolvimento do *software* aplicativo. Além de possuir todas as instruções necessárias à programação em questão, o *CoDeSys* oferece um ambiente similar ao do *RSLogix* com as vantagens de se trabalhar com *tags* em vez de registros e de não ser preciso relacionar cada variável de entrada e de saída à um ponto dos módulos de entrada e de saída para simular o programa, otimizando o tempo do programador. Depois de simulado e aprovado, o *software* aplicativo pode ser transferido para o *RSLogix*.

Os sinais das entradas físicas do CLP são recebidos dos sensores de monitoramento da circulação dos trens na maquete e os sinais das saídas físicas são enviados para os devidos acionamentos eletrônicos da maquete. Serão realizados testes na maquete já adaptada e com a eletrônica necessária em funcionamento para se conhecer os tempos a serem determinados para os temporizadores utilizados na lógica de programação. Todos os temporizadores usados são do tipo “TON”.

O *software* aplicativo é composto por um programa principal, “PLC_PRG”, dividido em conjuntos de linhas de código, que neste trabalho serão chamadas de parte ou trecho, relacionados a uma mesma finalidade, e trinta tarefas acionadas por um evento. As tarefas são: “FSM_FERROVIA_H_TX”, “FSM_FERROVIA_A_TX”, “FMS_PÁTIO_H_TX”, “FMS_PÁTIO_A_TX”, “ATUAL_CDV_H_TX” e “ATUAL_CDV_A_TX”, onde X representa o número do trem, que vai de 1 a 5.

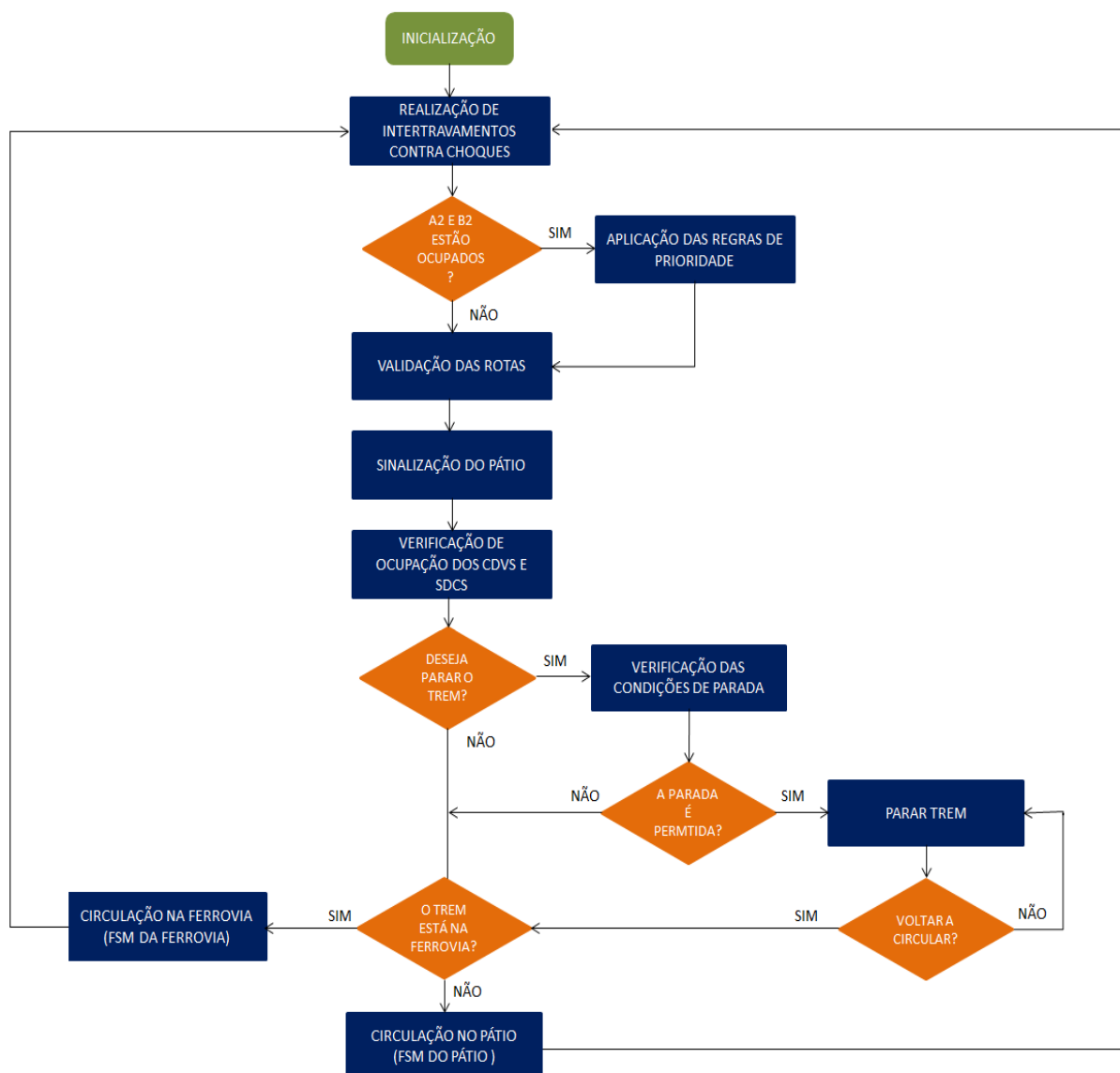
A seguir serão descritos o raciocínio dos trechos de códigos cujo funcionamento não é apresentado na descrição funcional, como, por exemplo, a forma de verificar a ocupação de um CDV, bem como daqueles que estão na descrição, mas julgou-se necessária a explanação.

6.1 O programa principal

O programa principal é uma tarefa do tipo *Freewheeling*, ou seja, é processada livremente assim que o programa é iniciado e, no final de sua execução é reiniciada automaticamente em um *loop* contínuo. Nele são feitas as chamadas das outras tarefas. A Figura 27 apresenta o fluxograma do funcionamento geral do *software* aplicativo.

Ao iniciar o sistema, clicando no botão “INICIAR”, que deve ser do tipo sem retenção, ocorre habilitação da parte “INICIALIZAÇÃO”, onde são validadas e organizadas todas as informações dadas no cadastramento. A parte “INTERTRAVAMENTO CHOQUE A” é responsável por fazer o intertravamento contra choques frontais na parte superior do anel A, as partes “BOTOES FERROVIA” e “BOTOES PÁTIO” ativam a funcionalidade dos botões de rota de acordo com o devido intertravamento, e a parte “SINALEIROS” controla a sinalização do pátio. Essas partes, ou conjunto de linhas, do código são feitas sem nenhuma condição de intertravamento, pois não estão relacionadas a nenhum trem especificamente e independem do fato de haver trem parado na maquete.

O botão relativo à parada de um trem deve ser do tipo *toggle*. Assim, no primeiro *click* ativa-se a função “PARAR” e no segundo *click* ela é desativada. Desta forma, enquanto a função “PARAR”, representada pela variável “PARAR_TX”, estiver ativada, o trecho “PARADA PROIBIDA”, que verifica se o trem se encontra em uma situação em que é proibido pará-lo, será lida. Nesse trecho do programa, caso seja verificado um comando de parada irregular, a variável “N_PARAR_TX” é acionada e o trem permanece em movimento. Se o trem sair dessa condição e a função “PARAR” ainda estiver ativada, ele irá parar; se ela estiver desativada ele prosseguirá. A cada acionamento das variáveis do tipo N_PARAR_TX o contador de erros de paradas em local proibido é incrementado.

Figura 27 – Fluxograma do funcionamento geral do *software* aplicativo

Fonte: Produção do próprio autor.

Quando a função “PARAR” do botão estiver ativada e o trem em circunstâncias que permitam sua parada, a variável “AUX_PARAR_TX” é *setada*. Enquanto o seu nível lógico for baixo para pelo menos um dos trens, a verificação de ocupação dos CDVs e de implementação da técnica PWM, que não estão relacionadas a nenhum trem em específico, serão lidas. Se “AUX_PARAR_TX” estiver em nível lógico alto, a parte “PARADA_TX” é varrida e o trem irá parar; se “AUX_PARAR_TX” estiver em nível lógico baixo será feita a leitura da tarefa “FSM_FERROVIA_H_TX”, se o trem “X” circula em sentido horário, e a da tarefa “FSM_FERROVIA_A_TX”, se ele circula em sentido anti-horário; na mesma condição é feita chamada a tarefa “FMS_PÁTIO_H_TX” ou “FMS_PÁTIO_A_TX” se o trem estiver em

um CDV do pátio. Pressionado o botão “PAUSAR”, também do tipo *toggle*, comanda-se a parada de todos os trens a fim permitir a inserção ou remoção de trens na maquete. Refeito o cadastro, deve-se apertar o botão “INICIAR” novamente para que a parte “INICIALIZAÇÃO” seja varrida.

As chamadas das tarefas de atualização do CDV para o trem “X” são feitas quando “AUX_PARAR_TX” está *resetado*. Ela será no sentido horário, ATUAL_CDV_H_TX, ou anti-horário, “ATUAL_CDV_A_TX”, de acordo com o sentido de circulação do trem “X”, que é identificado pela rota traçada para o CDV em que ele se encontra. As linhas de código relacionadas a um trem específico são repetidas e destinadas a cada um dos cinco trens que podem circular simultaneamente na maquete.

Ao determinar uma rota de entrada ou saída do pátio, o PAE ou o PAS, nesta ordem, é *setado* nas partes relacionadas ao intertravamento de botões e, em decorrência disto, a variável “J_PAE” ou “J_PAS”, respectivamente, *setada* no programa principal. Uma janela de alarme é, então, aberta na tela do supervisor e quando o operador clicar nela, gerando um pulso na variável “B_EA” ou “B_SA”, se as condições exigidas para autorização forem atendidas, a autorização é concedida. Assim, no programa principal são ativadas as variáveis de autorização “EA” ou “SA” e *resetadas* “J_PAE” ou “J_PAS”, e assim a janela é fechada na tela do supervisor. Ao ser completada a rota de entrada ou saída, a variável de pedido de autorização e de permissão são *resetadas* na máquina de estados (FSM) expirando a autorização.

6.2 Inicialização

Ao cadastrar o trem, o supervisor gera as seguintes informações para o *software* aplicativo: a variável “TX_OK”, que assume nível alto quando o campo “NOME” é preenchido, indicando que o trem na posição X da tabela de cadastro está em circulação; a preferência do trem, “PREF_TX”, dada pelos números um, dois ou três de acordo com o tipo do trem, indicado também no campo “NOME”; a variável “S_TX”, à qual se atribui nível alto quando o trem se posiciona em sentido horário de circulação; e como resultado do campo “CDVs ocupados”, o primeiro CDV informado identifica aquele onde se encontra a locomotiva, “CDV_TX”, e o segundo, caso houver, aquele onde se localiza o último vagão do trem,

“CDV_TX_B”. As variáveis que representam a ocupação desses CDVs, “A1”, por exemplo, são *resetadas*, indicando que tal CDV encontra-se ocupado.

Ao clicar no botão “INICIAR”, que deve ser do tipo sem retenção, habilita-se a leitura das linhas de código referentes à inicialização. Caso o trem em questão esteja em circulação, verifica-se o CDV da locomotiva e o CDV do último vagão e move-se o valor do estado adequado, isto é, aquele pertencente à máquina de estados que regerá seu movimento que promove a desenergização do CDV em que se encontra a locomotiva, para a variável “ESTADO_TX”. Se o trem ocupa apenas um CDV, é necessário averiguar o sentido do trem para saber a qual máquina de estados encaminhá-lo.

Simultaneamente à instrução de movimentação do valor do estado, se *seta* a variável auxiliar “PULSO_INICIAL_YZ”, onde “Z” identifica o CDV da locomotiva e “Y” o CDV do último vagão. Essa variável auxilia na verificação da desocupação dos CDVs ocupados no início da operação. A explanação do raciocínio envolvido será apresentada juntamente com a lógica da verificação de ocupação dos CDVs da ferrovia.

6.3 Lógica de programação da ferrovia

A base da lógica de programação da circulação e do controle de tráfego na ferrovia são máquinas de estados que regem o movimento do trem no sentido horário e no sentido anti-horário. Além das tarefas “FSM_FERROVIA_H_TX” e “FSM_FERROVIA_A_TX”, compõem a lógica de programação da ferrovia as partes “PWM”, “OCUPAÇÃO FERROVIA”, “OCUPAÇÃO SDC1516”, “BOTÕES FERROVIA”, “INTERTRAVAMENTO CHOQUE A” e “PARADA PROIBIDA”.

Uma máquina de estado controla a circulação de um único trem e em um determinado sentido, portanto, há uma máquina de estado para o sentido horário e uma para o anti-horário para cada trem, até a quantidade limite de trens que a maquete suporta. Um intertravamento na chamada dessas tarefas permite que sejam lidas apenas as máquinas de estados dos trens cadastrados e referentes ao sentido em que circula cada trem naquela varredura. Permitida a leitura, compara-se o estado em que o trem se encontra com os estados que a máquina possui; aquele em que houver igualdade no resultado da comparação terá seus comandos executados

e, cumpridas as condições para transição de estados, o número equivalente ao novo estado é movido para a variável que armazena o estado daquele trem. Se um trem está em movimento, a ocupação do próximo CDV significa a entrada do trem no mesmo, assim, ocorre uma transição de estados e dentro do novo estado a informação do CDV em que se encontra a locomotiva é atualizada, pois na ferrovia cada estado está relacionado a um único CDV.

Os estados têm como saídas os bits referentes à velocidade e sentido dos CDVs envolvidos naquele momento, onde a combinação de bits 00 indica trem parado, 01 velocidade intermediária e 11 velocidade máxima autorizada, e o sentido horário é representado pelo bit 1 e o anti-horário pelo bit 0. Além das saídas citadas, nos estados relativos à passagem por SDC tem-se como saídas a energização e desenergização da própria SDC e o comando de posicionamento dos AMVs em normal, bit 1, ou reversa, bit 0. A transição entre os estados é condicionada pela entrada em um novo CDV, pela ocupação e desocupação dos CDVs adiante e, em CDVs imediatamente anteriores às SDCs, pela escolha e ocupação da rota e pela passagem da locomotiva pelo último sensor daquele CDV sem que a rota tenha sido determinada. As condições das transições encaminham a máquina de estados para o estado que leva o trem a atender o método de sinalização dos dois blocos.

A verificação dos requisitos para passagem de dois trens em paralelo pelas SDCs da *Houses* 15 e 16 também é feita nas transições dos estados pertinentes, e a análise adotada examina se a SDC está ocupada e se o botão pressionado refere-se à rota que determina a passagem do trem no trilho paralelo independentemente do sentido. Sendo isto verdadeiro, a rota com origem e destino no outro trilho é liberada.

Os CDVs analisados são, em sua maioria, o atual, o anterior e o próximo. O CDV atual é energizado com o nível de tensão de acordo com o sistema de dois blocos, o CDV anterior é desenergizado e o próximo CDV é energizado com qualquer um dos dois níveis de tensão estabelecidos, pois a transição de um CDV para o outro ocorre apenas por um instante. Neste caso, a alimentação serve apenas para dar continuidade ao movimento, visto que, se o próximo CDV não estiver energizado quando a locomotiva passar pela junta isolante, o motor perderá a alimentação e o trem irá parar instantaneamente, antes de passar pelo sensor e, conseqüentemente, não acusará a entrada no novo CDV. Um CDV imediatamente anterior a

uma SDC somente será desenergizado após a entrada no CDV posterior à SDC, e não ao entrar na SDC.

É na máquina de estados que se verifica o momento em que uma SDC é liberada e cancela-se a rota executada a fim de permitir novas escolhas de rota. Tal verificação é feita por meio da detecção do pulso gerado pela passagem do último vagão pelo primeiro sensor do CDV após a SDC como transição dos estados em que essa situação ocorre.

A melhor maneira para fornecer uma tensão intermediária aos CDVs é utilizando a técnica PWM, que pode ser feita pelo CLP ou eletronicamente. Decidiu-se por fazê-la no CLP devido ao menor nível de complexidade e maior garantia de funcionamento a longo prazo, porém nem todos os CLPs possuem a função PWM e a quantidade de saídas habilitadas para essa função não é suficiente para atender todos os CDVs. Por esse motivo foi criada a parte relativa ao “PWM” que atua da seguinte maneira: quando os bits que representam a velocidade do trem são 01, velocidade intermediária, dois temporizadores em funcionamento alternado levam as saídas que controlam a parte da eletrônica responsável pela alimentação do CDV em questão aos níveis alto e baixo alternadamente, fazendo o papel de um bloco PWM cujo ciclo de trabalho é determinado pelos tempos limites máximos de contagem definidos para os temporizadores.

A verificação da ocupação de um CDV é feita no trecho da programação “OCUPAÇÃO FERROVIA” com contadores dos pulsos gerados pela passagem da locomotiva e do último vagão de cada trem pelos dois sensores nas extremidades dos CDVs. Sabe-se que para a passagem de um trem pelo CDV cada sensor irá gerar dois pulsos: um ao passar a locomotiva e outro ao passar o último vagão, totalizando quatro pulsos independentemente da quantidade de vagões e do sentido de movimento. Assim, é possível utilizar somente um contador com contagem crescente por CDV, em vez de um crescente e outro decrescente como é usado na EFVM, e ao chegar a quatro pulsos a contagem é zerada novamente. Se a contagem for igual à zero o CDV está desocupado; se diferente de zero ele está ocupado.

Para a ocupação das SDCs das *Houses* 15 e 16, além do uso deste método para as rotas com destino no mesmo trilho, é necessária uma solução para verificar a ocupação quando a rota tem origem em um trilho e destino no outro. Quando M1 ou M2 está na posição reversa, ao

entrar um trem na SDC pelo trilho 1, o trilho 2 é considerado ocupado também, e vice-versa, e com dois pulsos em cada parte da SDC ela é liberada. Essa condição *seta* as variáveis que indicam ocupação das partes da SDC e zeram o contador. A SDC inteira é considerada ocupada quando uma das partes está ocupada e livre quando ambas estão desocupadas. O trecho de código responsável por essa verificação é “OCUPAÇÃO SDC1516”.

Na inicialização do sistema, é necessária outra forma de verificar a desocupação dos CDVs, pois o movimento do trem até sair do CDV promove menos de quatro pulsos. Quando um trem se encontra por completo em um CDV, dois pulsos serão registrados até sua saída; quando um trem ocupa dois CDVs, três pulsos proporcionam a liberação do CDV da locomotiva e apenas um pulso é necessário para desocupar o CDV em que estava o último vagão. Assim, um contato normalmente aberto da variável “PULSO_INICIAL_YZ” identifica o contexto em que se encontra o trem e, seguida de uma comparação entre a contagem de pulsos dos CDVs e a quantidade de pulsos necessária para liberá-lo, zera o contador. No momento em que o último vagão do trem aciona o sensor de saída, a variável “PULSO_INICIAL_YZ” é *resetada* e, a partir de então, as ocupações e desocupações serão verificadas conforme a contagem dos quatro pulsos. Para que o contador zerado não implique em desocupação antes que um sensor seja acionado no início da operação, faz-se um intertravamento com as variáveis “PULSO_INICIAL_YZ”.

Os botões de comando de rota devem ser do tipo sem retenção, de modo que a cada *click* haja um pulso indicando seu acionamento e não haja possibilidade de cancelamento de rota por meio do botão. A rota escolhida deve ser armazenada para a tomada de decisões do *software* aplicativo e para indicação na tela do supervisor até que a rota seja concluída e a SDC liberada, tornando-se necessário o uso de uma variável auxiliar. Esta variável, porém, só será acionada quando a rota solicitada não for conflitante, o CDV destino estiver desocupado e houver um trem no CDV de origem daquela rota. Este intertravamento, feito na parte “BOTÕES FERROVIA”, é suficiente para evitar colisões laterais e frontais, exceto as colisões frontais do anel A na parte superior, que são analisadas separadamente no trecho “INTERTRAVAMENTO CHOQUE A”. Então, faz-se uma operação “E” do resultado dessa análise com o resultado do intertravamento descrito anteriormente. Se verdadeiro, a variável auxiliar é *setado* e a rota é ativada. Além do intertravamento, a parada do trem antes de entrar na SDC quando não houver uma rota determinada para ele impede a ocorrência de colisões

laterais. Caso seja solicitada uma rota conflitante o contador de erros desse tipo será acionado, contabilizando o erro.

O choque frontal na parte superior do anel A se dá ao entrar um trem no CDV A4 no sentido horário e outro no CDV A2 no sentido anti-horário, ou vice-versa. A lógica de intertravamento utilizada nesse caso verifica se há ocupação dos CDVs A1, A2, A4 e A5 quando solicitada uma rota para A4 ou para A2, e se há alguma rota já traçada que provoque a ocupação destes CDVs. Caso um destes CDVs esteja ocupado, identifica-se o CDV em questão e o trem que o ocupa e compara-se o sentido deste trem com o sentido do trem que solicita a rota; se o sentido é o mesmo não há possibilidade de choque frontal e, então, a rota requerida é liberada; se os sentidos são opostos ocorre o bloqueio da rota. Caso ambos CDVs encontram-se livres, porém alguma rota com esse destino já tenha sido solicitada, haverá o bloqueio das demais rotas com mesmo destino, sendo ignorados pressionamentos posteriormente.

Tratando-se de um botão de rota para entrada no pátio a verificação de ocupação do CDV destino não é necessária, pois a entrada é controlada pelo operador do CCP e a ocupação do CDV destino é verificada na linha de código de validação da autorização, que se encontra no programa principal. Não havendo rotas que gerem conflito de circulação já determinadas, a variável auxiliar é ativada e, simultaneamente, gera-se o PAE. Da mesma forma ocorre com o *click* em botões de rota de saída do pátio.

A regra de prioridade de circulação é aplicada diante da SDC16 no sentido horário. Estando A2 e B2 ocupados e energizados com polaridade referente a esse sentido, identifica-se qual é o trem que ocupa cada um dos dois CDVs e move-se o valor da prioridade dos trens para as variáveis “PRIORIDADE_A2” E “PRIORIDADE_B2”. Comparadas essas duas variáveis, aquele CDV em que estiver o trem de maior prioridade terá sua variável de preferência, “PREF_A2” ou “PREF_B2”, *setada*. Essas são usadas como intertravamento para o acionamento dos botões de rota com sentido horário da SDC16. O trem que possui preferência deverá ter sua rota definida primeiro, sendo sua variável de preferência *resetada* quando a rota for traçada, e a partir de então, pode-se determinar a rota para o trem em paralelo. Para que “PREF_A2” ou “PREF_B2” não sejam ativadas indevidamente, faz-se um intertravamento delas com a variável que ativa a rota.

A parte “PARADA PROIBIDA” verifica se no momento em que o botão “PARAR” estiver pressionado o trem encontra-se em alguma das circunstâncias nas quais é proibida a parada. No contexto em que o trem não deve parar por ocupar a SDC15 ou a SDC16 não basta saber que ela está ocupada; é necessário identificar em qual CDV em torno da SDC está a locomotiva do trem que se deseja parar, o seu sentido de deslocamento e, por meio da contagem de pulsos dos sensores das SDCs 15 e 16 e dos CDVs ao redor, averiguar se ele ocupa ou não a SDC. Para constatar a situação em que o trem está subindo o CDV A4 ou B4, verifica-se se ele está em sentido anti-horário e compara-se o valor do seu CDV atual com os valores estabelecidos para os CDVs citados. Caso uma dessas circunstâncias seja verdadeira, aciona-se a variável auxiliar N_PARAR_TX, que significa “não parar o trem X”, e contabiliza-se o erro.

Permitida a parada do trem, a variável “AUX_PARAR_TX” é *setada* e possibilita a leitura da parte do código “PARADA TX” Nele, compara-se o seu CDV com os valores dos CDVs da ferrovia para saber em qual deles ele se encontra e, constatado isto, o CDV é desenergizado. Quando a função “PARAR” é desativada verifica-se o sentido do trem e encaminha-o para o estado adequado.

Conforme relatado, é proibida a parada de trens em circulação no sentido anti-horário CDVs A4 e B4. Além do tratamento realizado quando solicitada a parada nesses CDVs, fez-se necessária a análise das circunstâncias possíveis perante a escolha da rota com origem nesses CDVs, pois, estando o trecho entre a SDC15 e a SDC16 ocupado quando o trem chegar diante da SDC15, ele seria obrigado a parar. Desta forma, concluiu-se que a determinação da rota deve ser feita em A5 e em B1 ou B11. Se, na hora da escolha da rota, o trecho estiver livre, pode-se optar por qualquer uma das rotas possíveis. Se o trecho destino estiver ocupado, porém o trem que o ocupa já estiver saindo, seja pelo sentido horário ou anti-horário, a rota também é habilitada. Se o trecho destino estiver ocupado e ainda não houver uma rota traçada para o trem que o ocupa, o trem em A5, B1, ou B11 deve aguardar a transição para uma das situações anteriores. O intertravamento feito com as rotas envolvidas e com a ocupação desse trecho garante que o *click* no botão só ative essas rotas nas situações permitidas.

No caso em que o trecho destino está ocupado e o trem encontra-se saindo sentido horário, a rota é traçada, entretanto o trem irá aguardar a desocupação do CDV destino no final de A5 para então, entrar em A4. Quando a SDC15 é liberada, os AMVs são levados à posição adequada e a velocidade do trem será a máxima permitida. De forma análoga acontece para um trem com origem em B1 ou B11. Este tratamento é feito pela máquina de estados da ferrovia.

6.4 Lógica de programação do pátio

Assim como na lógica de programação do controle de tráfego na ferrovia, a circulação no pátio segue duas máquinas de estados, uma para o movimento do trem no sentido horário e outra no sentido anti-horário, as tarefas “FMS_PÁTIO_H_TX” e “FMS_PÁTIO_A_TX”, na devida ordem. As tarefas “ATUAL_CDV_H_TX” e “ATUAL_CDV_A_TX” e os trechos “OCUPAÇÃO PÁTIO”, “TP_CDV_B_TX” e “BOTÕES PÁTIO” fornecem as informações a serem utilizadas nas transições das máquinas de estados do pátio. Há também a parte referente ao controle dos sinaleiros, “SINALEIROS”.

As máquinas de estado que controlam a circulação do trem no pátio se assemelham em muitos aspectos às da ferrovia: uma máquina de estado coordena um único trem e em um determinado sentido, há a comparação entre o estado em que o trem se encontra e os estados da máquina, as saídas dos estados determinam a velocidade nos CDVs e nas SDCs e controlam a movimentação dos AMVs. Na chamada das tarefas “FMS_PÁTIO_H_TX” e “FMS_PÁTIO_A_TX” também há o intertravamento para que seja feita a leitura somente das máquinas de estado necessárias em cada varredura.

No pátio, o trem tem apenas uma velocidade possível para o seu movimento. Assim, o controle da velocidade é feito com um bit para o sentido, sendo 0 para horário e 1 para anti-horário, e um bit para o módulo, sendo 0 para trem parado e 1 para indicar o movimento. Como o trem no pátio pode circular para frente ou em recuo em ambos os sentidos, convencionou-se, então, que a primeira extremidade a entrar no novo CDV será chamada de extremidade A e a outra, última parte do trem a entrar nos CDVs naquele sentido de circulação, denominada extremidade B.

Ao contrário da ferrovia, o pátio permite mais de um trem por CDV e, por essa razão, o próximo CDV não é um critério a ser utilizado nas transições de estados. As transições aqui são condicionadas pela escolha da rota, pela chegada ao último sensor do CDV sem uma rota determinada, pela ocupação dos últimos CDVs pelos quais o trem passou e por algumas outras condições que identificam se o trem que sai do CDV é realmente o trem controlado por aquela máquina de estados. Ao sair um trem de C1 se deslocando no sentido horário, a entrada em C2 é detectada pelo acionamento do seu primeiro sensor naquele sentido. Se tiverem dois ou mais trens em C1 e o trem coordenado pela máquina de estados em questão não for o primeiro, o sensor será acionado por outro trem. Porém, nos casos em que, ao entrar um trem em C1, o próprio C1 ou a SDC9 encontram-se ocupados por outro trem que já entrou em C2, o pulso será gerado pela passagem da extremidade B pelo sensor e não pela entrada do trem em C2. Para saber se o trem está entrando em C2 ou se o sensor foi acionado pela extremidade B verifica-se a contagem do último sensor de C1; se ela for par significa a ocorrência da segunda opção e o trem é então direcionado ao estado anterior onde ocorre a escolha da rota pela SDC9 em vez de prosseguir.

Sucedida uma entrada em C2, ao constatar o pulso produzido pelo último sensor de C1, a máquina de estados verifica se o CDV atual do trem sob sua coordenação é C1, C2 ou C3. Na primeira situação o estado do trem volta a ser aquele em que se faz a escolha de rotas pela SDC9, pois ele não era o primeiro trem do CDV. Nas demais, ele irá prosseguir na máquina de estados para a escolha da rota pela SDC1011, que só pode feita quando seu CDV atual for C3. A mesma lógica é aplicada para a passagem do trem dos CDVs C4, C41 e C42 para C5, no sentido horário, e, no sentido anti-horário, de C1 para C6 e de C4, C41 e C42 para C3.

Escolhida uma rota pela SDC1011 ainda no sentido horário, o estado do trem passa a ser aquele que energiza a SDC1011 e o CDV destino e posiciona os AMVs 10 e 11 corretamente. Acionado o último sensor do CDV destino, por meio da comparação do CDV atual com o CDV destino e com C2 e C3, verifica-se se o pulso foi gerado pela passagem de outro trem, encaminhando o trem sob controle da máquina de estados em questão novamente para o estado de escolha da rota pela SDC1011, ou pelo trem de interesse, que segue para escolha da rota pela SDC1213.

Como as rotas são desativadas somente quando a SDC é liberada, havendo mais de um trem no CDV e voltando o segundo trem para o estado de escolha da rota, caso ele chegue ao final do CDV e a rota ainda não tenha sido cancelada não será possível escolher uma nova rota para ele, e então ele irá prosseguir na rota já traçada, a menos que seja parado e permaneça até que a SDC desocupe. O tempo de espera para a transição ao estado de retorno é o tempo para que o pulso gerado pelo sensor de saída do CDV termine, impedindo que ele passe diretamente para o estado de parada do trem ao final do CDV, e o intertravamento feito pela ocupação da SDC nesses estados de retorno dá oportunidade de escolha de rota ao segundo trem, impedindo que ele passe para o próximo estado devido à rota já estabelecida.

Na conferência da liberação de uma SDC, são utilizados uma instrução de comparação de igualdade e um temporizador para perceber quando o trem entrou no CDV destino, e após um tempo detectar a passagem da extremidade B do trem, sendo o tempo necessário pelo fato de o sensor fonte de informação ser o mesmo nas duas situações. Contudo, deve-se verificar ainda a ocupação da rota para ter a garantia de que ela não foi ocupada pelo trem que vinha na sequência.

Quando um trem passa pelo último sensor sem que tenha sido determinada uma rota, além de desenergizar o CDV atual, desenergiza-se a SDC anterior para que, em recuo e com a locomotiva na SDC, ele não entre na próxima SDC. Sempre que houver parada do trem por esse motivo, o contador pertinente é incrementado, uma vez que a rota é um contato utilizado na sua entrada e não o acionará na parte “OCUPAÇÃO PÁTIO”.

Na saída do pátio, caso não tenha sido concedida a autorização, o trem irá parar no final de C1 quando seu último sensor é acionado. Quando autorizado, o trem prossegue na rota traçada e, após um tempo mínimo suficiente para sua entrada na SDC, C1 é desenergizado para evitar que outro trem na sequência avance para a SDC com a rota e autorização de saída do trem anterior. Ao chegar ao CDV destino e liberar a SDC9, a rota de saída do pátio e a autorização de saída são canceladas.

Para saber se um CDV do pátio se encontra ocupado ou livre é necessário saber por qual das suas extremidades o trem está passando e se ele está saindo ou entrando no CDV. Quatro contadores, dois por sensor, um para contabilizar as entradas e outro as saídas, são

incrementados com os pulsos produzidos pela passagem da locomotiva ou do último vagão pelo seu respectivo sensor de acordo com a rota determinada referente ao CDV em questão. Estudos e testes com trens de tamanhos variados e situações diversas de ocupação levaram a conclusão de que, em casos em que os trens que entram e saem pela mesma extremidade, o CDV está livre quando a contagem dos contadores de entrada e saída dessa extremidade é igual e, nos casos em que o trem entra por uma extremidade do CDV e sai pela outra, o CDV está livre quando a contagem do contador de entradas do sensor entrada é igual à contagem do contador de saídas do sensor de saída e essa contagem é par, pois se o trem for maior do que o CDV, ocorre de a contagem desses sensores ser igual e o CDV estar ocupado. Sempre que o trem passar pelo último sensor sem que tenha sido determinada uma rota para ele, incrementa-se o contador pertinente pela máquina estados, visto que o contador não será incrementado na parte “OCUPAÇÃO PÁTIO” devido a uma das condições para o seu acionamento ser a rota traçada.

Considerando como situação inicial o CDV livre, a variável que representa a sua ocupação estará em nível lógico alto. Na entrada de um trem no CDV, ao pulso do sensor a variável auxiliar “AUX_OCUPAO_CX” é *setada* e o CDV é *resetado*. Em decorrência da primeira situação de desocupação citada anteriormente, é *setada* a variável auxiliar “CASOS1489_CX” e “CASOS23567_CX” em decorrência da segunda. Estando uma delas *setada*, o CDV volta para o nível lógico alto indicando desocupação. Os contadores são zerados e os casos de desocupação são *resetados* um tempo depois, tempo suficiente para que o pulso produzido pelo sensor seja percebido pelo contador e menor do que o tempo necessário para uma nova entrada no CDV. Uma detecção de borda de subida é necessária na entrada da função *reset* do contador, pois sem ela o primeiro pulso ocorre quando comando *reset* está ativo e é então ignorado pelo contador, levando ao erro.

A atualização dos CDVs do pátio é realizada com base no tempo que o trem leva para percorrer cada CDV. Um temporizador nessa tarefa contabiliza o tempo do trem no CDV com ele energizado, ou seja, o tempo que o trem está em movimento. A cada parada do trem naquele CDV o tempo é armazenado, e quando o sensor de entrada do próximo CDV é ativado compara-se o tempo total percorrido no CDV de interesse com o tempo que o trem leva para atravessá-lo. Se o tempo total for menor significa que o sensor foi acionado por outro trem à frente e o temporizador continua a contabilizar o tempo de locomoção naquele

CDV até que em um novo pulso produzido pelo sensor o tempo total seja suficiente para percorrer o CDV. Quando isso acontece, o valor relativo ao novo CDV é movido para a variável que armazena o CDV atual do trem e inicia-se a contagem de tempo da passagem por esse novo CDV. Há uma tarefa de atualização do CDV para o sentido horário, “ATUAL_CDV_H_TX”, e outra para o anti-horário, “ATUAL_CDV_A_TX”, para cada trem.

A ativação de uma rota é feita pelo *click* no botão e acionamento da variável auxiliar, como na ferrovia, e os intertravamentos são feitos com as rotas relativas ao mesmo CDV, rotas da mesma SDC e rotas com sentido oposto cujo CDV destino é o mesmo. A cada botão pressionado que implicaria em rota conflitante é gerado um alarme de erro pelo trecho “BOTÕES PÁTIO” com a mensagem “ROTA CONFLITANTE”.

Devido à permissão do movimento de recuo no pátio torna-se necessário saber em qual CDV está a extremidade B do trem, pois ao parar deve-se conhecer o CDV em que se encontra a locomotiva para desenergizá-lo. A atualização do CDV da extremidade B é feita na máquina de estados. Na passagem de C1 para C2, a saída do trem de C1 é uma condição de mudança de estados, portanto, no novo estado em que a extremidade A já se encontra em C2, quando o sensor da entrada de C2 for acionado significa que a extremidade B do trem passou por ele e o CDV atual da extremidade B é atualizado com uma instrução “MOV”. Essa forma de atualizar o CDV é utilizada na transição de C1 para C2, de C4, C41 e C42 para C5, e de C6 para o C1, considerando o sentido horário de circulação.

Nas demais transições de CDV da extremidade B a mudança de estados é condicionada pela escolha da rota. Logo, ao entrar no novo estado a extremidade A ainda não adentrou ao CDV destino. Quando este é ocupado pela extremidade A um temporizador é habilitado e proporciona um tempo suficiente para que o pulso da entrada do trem termine e um novo pulso decorrido da entrada da extremidade B seja percebido, então seu CDV é atualizado.

Sucedendo a parada de um trem por meio do comando do botão “PARAR” as ações a serem tomadas são definidas de acordo com os CDVs em que se encontram os seus limites. Ao entrar pela primeira vez na parte “PARADA TX”, identifica-se o CDV da extremidade A, o sentido de deslocamento do trem e o seu posicionamento quanto à localização da locomotiva.

Se o movimento era para frente desenergiza-se o CDV atual, porém se o movimento era de recuo desenergiza-se o CDV da extremidade B e a SDC envolvida, cancela-se a rota que havia sido traçada para aquele trem e registra-se o sentido de movimento do trem *setando* a variável auxiliar “AUX_PARADA_SENTIDO_TX” quando horário.

Quando a função “PARAR” é desativada e uma rota é traçada, identifica-se os CDVs limites e, se a nova rota implicar em mudança de sentido, move-se o valor do CDV da extremidade B para A e o de A para B. Nos casos em que o trem se encontra por completo dentro do CDV essa informação é insuficiente para saber qual era o sentido de movimento, então se utiliza a auxiliar “AUX_PARADA_SENTIDO_TX”, que é *resetada* ainda no trecho “PARADA_TX” para permitir um novo registro na próxima parada. Mantendo-se o sentido após uma parada, a contagem do tempo na tarefa de atualização do CDV é continuada, porém, invertendo-se, é preciso conhecer o tempo que o trem leva para sair de onde parou e entrar no próximo CDV para que a atualização seja feita corretamente. No trecho “TP_CDV_B_TX” habilita-se um temporizador quando a extremidade B do trem entra no novo CDV até que ela mude de CDV, zerando o contador daquele do anterior e habilitando o do próximo, ou até que haja uma parada do trem naquele CDV. As SDCs são consideradas como uma continuidade do CDV. Havendo a parada do trem e a inversão do sentido de deslocamento, o tempo necessário para que o trem saia de onde parou e entre no próximo CDV é o tempo contabilizado na parte “TP_CDV_B_TX” ou ele adicionado ao tempo para atravessar a SDC, caso haja uma entre o CDV atual e o próximo. Este tempo é então enviado para “ATUAL_CDV_H_TX” e “ATUAL_CDV_A_TX” como base para saber se foi realmente o trem em questão que entrou no novo CDV ou se foi algum outro trem. A variável que armazena o estado do trem é atualizada com o valor do estado para o qual o trem deve ir e AUX_PARA_TX é *resetada* a fim de que a “PARADA_TX” não seja lida novamente até que haja um novo clique no botão.

O controle dos sinaleiros é feito pela parte “SINALEIROS”. Quando não há uma rota traçada por uma SDC os sinaleiros relacionados a ela devem apresentar sinal vermelho. Logo, os *leds* vermelhos desses sinaleiros são *setados* e os amarelos são apagados. O mesmo acontece para as situações em que há um pedido de entrada ou saída do pátio e a autorização ainda não foi concedida. Em SDCs em que há uma rota determinada, porém, o CDV destino encontra-se ocupado, utilizam-se dois temporizadores que trabalham *setando* e *resetando* os *leds* vermelhos dos sinaleiros envolvidos na rota para proporcionar o sinal vermelho piscando.

Quando há uma rota ativa para a SDC e o CDV destino está livre, os *leds* amarelos dos CDVs da rota são *setados* e os *leds* vermelhos *resetados*. Dessa forma, em uma SDC com uma rota ativa os sinaleiros relativos a essa SDC que não fazem parte da rota sinalizam vermelho, indicando que é proibido prosseguir, pois a SDC já está sendo utilizada.

7 ESCOLHA DO CLP

Diante da grande variedade de fabricantes e modelos de CLPs no mercado, a escolha do CLP para um propósito específico deve ter por base a análise de alguns requisitos a fim de que as exigências do processo sejam atendidas. Os requisitos principais são: requisitos do sistema, requisitos da aplicação e requisitos elétricos.

7.1 Requisitos do sistema

A análise dos requisitos do sistema trata-se de compreensão do objetivo desejado para a determinação da solução e da quebra da tarefa em elementos simples a fim de se fazer uma estrutura preliminar do programa. Pode-se dizer que essa análise foi feita nos tópicos anteriores do projeto por meio da revisão bibliográfica e da descrição funcional. Com base na concepção desse requisito tomou-se a decisão de se usar o conceito de máquinas de estados como um recurso em que é possível analisar o passo-a-passo da circulação de trens e dividir a aplicação em processos menores organizados para compor o programa, como apresentado nos tópicos antecedentes.

7.2 Requisitos da aplicação

Compreende requisitos da aplicação a capacidade do CLP, isto é, o número de entradas e saídas a serem usados, o isolamento entre as entradas/saídas de campo e o CLP, a memória e a velocidade desejada. Além desses, devem ser considerados dentro dos requisitos de aplicação as operações e funções necessárias para a implementação da lógica e as necessidades futuras da planta de processamento.

Com relação aos tipos de pontos de *I/Os*, optou-se por pontos digitais para todas as entradas e saídas, tendo em vista que as entradas recebem sinais vindos de sensores que emitem pulsos, e não valores contínuos, e que as saídas são destinadas ao controle da eletrônica, que proporcionará o comando analógico onde necessário. Além disso, cartões analógicos possuem custo maior do que os digitais. Quanto ao número de *I/Os*, são quarenta sensores para detecção de ocupação dos vinte CDVs, sendo dois sensores para cada CDV, mais oito sensores para detecção de ocupação das SDCs das *Houses* 15 e 16, sendo quatro para cada

uma delas, totalizando quarenta e oito entradas. Ao todo, são vinte e dois CDVs, porém o uso de sensores nos CDVs D1 e D2 é dispensado. São necessários três pontos de saída, um para sentido e dois para velocidade, para atender cada CDV da ferrovia e dois pontos de saída, um para sentido e um para velocidade, para cada CDV do pátio, quatorze pontos de saída destinados ao controle dos AMVs e trinta e dois pontos de saída referentes aos sinalizadores, totalizando cento e vinte e oito saídas. Apesar de serem dezoito AMVs, quatro delas possuem alimentação comum: M1 e M1', M2 e M2', M3 e M3', e M4 e M4'.

O isolamento do CLP é feito por acoplamento ótico. O tamanho da memória pode ser estimado levando-se em consideração a quantidade de pontos de *I/Os* e a complexidade do programa. A velocidade está relacionada ao tempo de resposta ou *Scan Time* e depende das instruções e do estado das mesmas durante a varredura.

As operações e funções necessárias para a lógica são: instruções de exame das entradas e saídas digitais, instruções energização e desenergização das saídas digitais, operadores matemáticos, temporizadores com bases de tempo de 0,01, 0,1 e 1 segundos e minutos, contadores crescentes de eventos, comparações lógicas, modificações dos valores dos registros da memória, comparação entre dois registros, instruções de controle de programa, monitoramento on-line do estado de um grupo de bits, instruções para forçar bits aos estados “*ON*” e “*OFF*”, utilização de qualquer referência interna quantas vezes forem necessárias e funções de retenção, *latch*, para assegurar uma informação após queda de energia.

Quanto às necessidades futuras da planta de processamento, à expansão e aos pontos livres de *I/Os*, deve-se prever na proposta uma reserva tanto em cada módulo de *I/O* como em cada rack de remota. O percentual de reserva pode variar de 10 a 20% da quantidade de *I/Os* necessárias à aplicação no momento do projeto. Entende-se por *I/Os* instalados não somente os módulos de *I/O* espetados no rack, mas também a fiação e os blocos terminais incorporados ao painel do CLP ou painel de remota. (GUZZO, 2016)

7.3 Requisitos elétricos

Consideram-se três itens para determinação dos requisitos elétricos: a alimentação de entrada, a tensão dos dispositivos de entrada e a tensão e a corrente de saída.

A alimentação do CLP, que é a fonte para o sistema de controle, deve ser uma fonte chaveada e adequada para tensões de entrada em 110/220 Vac – 60 Hz e possuir proteção contra sobretensão, sobrecorrente e desligamento em caso de falha. Deve-se observar se bornes de ligação são do tipo *plug in* sem emendas e identificar os bornes para ligação dos cabos bem com pinos orientados, impedindo, desta forma, ligações erradas. (GUZZO, 2016)

A fonte do CLP alimentará os módulos que irão controlar a eletrônica de interface entre o CLP e a maquete. Essa eletrônica, que é responsável pela alimentação da maquete, terá outra fonte para sua alimentação, independente da fonte do CLP.

Os dispositivos de entrada trabalham com níveis de tensão de no máximo 12 Vdc. A tensão de saída do CLP é 24 Vdc, ficando a eletrônica responsável por reduzir esse valor para a alimentação da maquete. Quanto à corrente de saída, por meio de testes, levantou-se que a locomotiva do trem de cargas gerais consome 0,49 A, tanto na sua partida quanto em valor nominal, a locomotiva do trem de minério drena 0,49 A na partida e 0,40 A nominal e a locomotiva do trem de passageiros 0,28 A na partida e 0,25 A nominal; cada AMV drena 0,37 A em seu acionamento para trocar de posição e 0,30 A para manter-se na mesma posição; cada *led* dos sinaleiros consome 0,02 A; a corrente total de saída assume um valor mínimo de 6,86 A, considerando os trens em velocidade nominal e os dezoito AMVs em estado de manutenção da posição, e um valor máximo de 9,43 A, considerando os cinco trens possíveis como trens de cargas gerais partindo e os dezoito AMVs em mudança de posição. Com base nesses resultados foi adquirida uma fonte de alimentação para a eletrônica de 20 A, de onde serão drenadas essas correntes.

Em geral, a corrente máxima da fonte padrão do CLP varia entre 25 e 30 A, dependendo da família do CLP. Tendo em vista que a fonte padrão do CLP será utilizada apenas para o controle da eletrônica, pode-se afirmar que ela será capaz de fornecer a corrente necessária.

7.4 Outros requisitos

Outros requisitos como capacidade das estações de operação e engenharia, intervalo de tempo máximo de comutação entre telas, intervalo de tempo máximo entre o evento de campo e sua atualização em tela, intervalo de tempo máximo entre uma atuação do operador e o resultado

no campo e requisitos relacionados ao ambiente físico podem ser avaliados na escolha do sistema supervisor e do CLP. (GUZZO, 2016)

Estes requisitos, em relação a este projeto, não são vistos como limitadores na escolha de um CLP, pois os requisitos para o tempo de resposta não são significativos a ponto de provocar o mal funcionamento do sistema e a maquete e as estações de operação e engenharia se encontrarão na mesma sala, que é um ambiente físico que não provoca interferência no funcionamento do sistema.

7.5 CLPs possíveis para uso na automação da maquete do CEL

Dentre os fabricantes de CLP, escolheu-se a *Rockwell Automation* por ser um fabricante bem-conceituado no mercado, por ser um fabricante já conhecido pela Vale devido ao uso de seus CLPs em alguns processos dentro do Complexo de Tubarão e pelo fato de o Laboratório de Automação do CEL possuir a licença desses programas, pois será nesse laboratório que o *software* aplicativo será reescrito no *software RSLogix 500* ou *RSLogix 5000*. Além desses motivos, existe ainda o fato de que a tela do supervisor será desenvolvida no programa *FactoryTalk*, também da *Rockwell Automation*, disponível no Laboratório de Controle Instrumentação (LCI) do Departamento de Engenharia Elétrica /UFES.

O Quadro 1 mostra o levantamento das características de diversos CLPs e Famílias de CLPs da *Rockwell Automation* para análise de viabilidade de uso na automação da maquete em questão quanto aos requisitos apresentados.

Observa-se que o CLP *MicroLogix 1100* e o *MicroLogix 1200* não atendem a demanda de pontos de entradas, saídas e pontos de reservas, o *ControlLogix* não possui um limite de módulos *I/O* significativo, seu limite é dado pela capacidade de memória, e o *CompactLogix* possui um limite de 2000 pontos digitais e 3000 pontos analógicos. Sabe-se que o tamanho de memória do *ControlLogix* e do *CompactLogix* é, em algumas vezes, superior à necessária neste projeto. O *MicroLogix 1500* e linha SLC 5 do *CompactLogix*, segundo informação de fabricante, serão descontinuados e não estarão mais disponíveis para venda a partir de junho de 2017.

Quadro 1– Características dos CLPs quanto aos requisitos da aplicação

PLC	Software	Quantidade máxima de módulos I/O	Quantidade máxima de pontos I/O	Tipo do módulo	Quantidade de módulos de entrada necessários	Quantidade de módulos de saída necessários	Quantidade de pontos reserva de entrada	Quantidade de pontos reservas de saída
MicroLogix 1100	Rslgix 500	4	128 (32 pts/mód.)	MicroLogix™ 1762				
MicroLogix 1200	Rslgix 500	6	192 (32 pts/mód.)	MicroLogix™ 1762	2 (32 pts/mód.)	4 (32 pts/mód.)	16 (33%)	0
MicroLogix 1400	Rslgix 500	7	56 (8 pts/mód.) 112 (16 pts/mód.) 224 (32 pts/mód.)	MicroLogix™ 1762	2 (32 pts/mód.)	4+1R (32 pts/mód.)	16 (33%)	32 (25%)
MicroLogix 1500	Rslgix 500	16	512 (32 pts/mód.)	1769 Compact I/O™	3+1R (16 pts/mód.) ou 2 (32 pts/mód.)	8+1R (16 pts/mód.) ou 4+1R (32 pts/mód.)	16 (33%)	16 (12,5%) ou 32 (25%)
ControlLogix	Rslgix 5000	-	-	ControlLogix 1756	3+1R (16 pts/mód.) ou 2 (32 pts/mód.)	8+1R (16 pts/mód.) ou 4+1R (32 pts/mód.)	16 (33%)	16 (12,5%) ou 32 (25%)
CompacLogix	Rslgix 5000	-	2000 pts digitais	1769 Compact I/O™	3+1R (16 pts/mód.) ou 2 (32 pts/mód.)	8+1R (16 pts/mód.) ou 4+1R (32 pts/mód.)	16 (33%)	16 (12,5%) ou 32 (25%)

Fonte: Produção do próprio autor.

7.6 A escolha do CLP para automação da maquete do CEL

Diante dos CLPs que atendem aos requisitos exigidos para essa automação, fez-se um orçamento numa autorizada da *Rockwell* e os valores orçados são apresentados no Quadro 2, Quadro 3, Quadro 4, Quadro 5 e Quadro 6. Os impostos estão inclusos no orçamento, porém haverá custo à parte com o frete, que é do tipo *Free on board* (FOB).

Quadro 2– Proposta financeira para o pacote *MicroLogix* 1400 com módulos *I/O* com 32 pontos/módulo

Produto	Código	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
MicroLogix 1400, 12E24VDC, 8E 24 Vdc, 12S a Relé; 120/240VAC. Linha 1766. Ab.	1766L32BWA	1	3.358,10	3.358,10
Módulo Com 32 Saídas Digitais, 24VDC, Sink, Para MicroLogix 1100, 1200, 1400	1762OV32T	5	1.822,44	9.112,20
Módulo Com Entradas Discretas Com 32 Pontos, Operando em 24VDC	1762IQ32T	2	1.510,58	3.021,16
TOTAL (R\$)			15.491,46	

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 3– Proposta financeira para o pacote *ControlLogix* com módulos I/O com 16 pontos/módulo

Produto	Código	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Controlador Programável Controllogix, 2Mbytes, Linha 1756, A-B.	1756L61	1	20.220,19	20.220,19
Módulo de saída digital com 16 pontos isolados em 24 Vdc	1756OB16I	9	2.740,99	24.668,91
Módulo de entrada digital com 16 pontos em 24 Vdc	1756IB16	4	1.533, 61	6.134,44
CHASSI CONTROLLOGIX com 17 Ranhuras	1756A17	1	3.323,88	3.323, 88
Fonte de alimentação para CHASSIS C	1756PA75	1	4.780,69	4.780,69
TOTAL (R\$)			80.473,14	

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 4 – Proposta financeira para o pacote *ControlLogix* com módulos I/O com 32 pontos/módulo

Produto	Código	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Controlador Programável Controllogix, 2Mbytes, Linha 1756, A-B.	1756L61	1	20.220,19	20.220,19
Módulo de entrada digital com 32 pontos em 24 Vdc	1756IB32	2	2.025, 88	4.051,76
Módulo de saída digital com 32 pontos isolados em 24 Vdc	1756OB32	5	2.858, 95	14.294,75
CHASSI CONTROLLOGIX com 10 Ranhuras	1756A10	1	2.631,75	2.631,75
Fonte de alimentação para CHASSIS C	1756PA75	1	4.780,69	4.780,69
TOTAL (R\$)			45.979,14	

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 5– Proposta financeira para o pacote *CompacLogix* com módulos *I/O* com 16 pontos/módulo

Produto	Código	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Controlador COMPACTLOGIX com 1,5 Mbytes de memória, um porta EtherNet/IP e uma porta serial RS-232, controla até 30 módulos em até 3 bancos.	1769L35E	1	-	-
CPU COMPACTLOGIX L30ERM com 1Mbyte memória e porta dual EtherNet/IP	1769L30ERM	1	10.092, 89	10.092,89
Módulo de entrada digital com 16 pontos em 24 Vdc	1769IQ16	9	972, 9 4	3.891,76
Módulo de saída digital com 16 pontos em 24 Vdc	1769OB16	4	1.269, 0 5	11.421,45
Fonte de alimentação COMPACT I/O	1769PA4	1	1.827,43	1.827,43
Módulo terminador	1769-ECR	1	137,06	137,06
	TOTAL (R\$)		27.370,59	

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 6 - Proposta financeira para o pacote *CompacLogix* com módulos I/O com 32 pontos/módulo

Produto	Código	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Controlador COMPACTLOGIX com 1,5 Mbytes de memória, um porta EtherNet/IP e uma porta serial RS-232, controla até 30 módulos em até 3 bancos.	1769L35E	1	-	-
CPU COMPACTLOGIX L30ERM com 1Mbyte memória e porta dual EtherNet/IP	1769L30ERM	1	10.092, 89	10.092,89
Módulo de entrada digital com 32 pontos em 24 Vdc	1769IQ32	2	1.708, 99	3.417,98
Módulo de saída digital com 32 pontos em 24 Vdc	1769OB32	5	2.072, 78	10.363,90
Fonte de alimentação COMPACT I/O	1769PA4	1	1.827,43	1.827,43
Módulo terminador	1769-ECR	1	137,06	137,06
TOTAL (R\$)			25.839,26	

Fonte: Produção do próprio autor.

Do ponto de vista econômico, o *MicroLogix* 1400 é a melhor alternativa. Os pacotes *ControlLogix* apresentaram-se economicamente inviáveis para este projeto. Uma análise técnica e econômica aponta o pacote *CompactLogix* com módulos de entrada e saída digitais com 16 pontos por módulo como a melhor opção, pois o *CompactLogix* possui maior capacidade de memória e maior capacidade de expansão quando comparado ao *MicroLogix* 1400, além de o *software* de programação utilizado para programar o *CompactLogix*, *RSLogix* 5000, ser uma versão mais atual do que o utilizado para programar o *MicroLogix* 1400, *RSLogix* 500, e, com isso, oferecer mais opções de linguagens de programação. Módulos com 16 pontos por módulo conferem maior flexibilidade e modularidade do que módulos com 32 pontos por módulo, sendo assim uma opção melhor do que o *CompactLogix* com módulos de entrada e saída digitais com 32 pontos por módulo.

O orçamento e a análise foram apresentados à Vale, que considerou o uso do CLP para a automação em questão economicamente viável diante dos benefícios trazidos para o treinamento em operações ferroviárias e, conseqüentemente, para a empresa, que terá uma capacitação ainda melhor dos seus funcionários, e para as Instituições de Ensino Superior e Técnico parceiras. Tendo em mãos o orçamento e a análise aqui retratados, a Vale se incumbiu de escolher o CLP e adquiri-lo.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste projeto de graduação foi desenvolvido um *software* aplicativo para controle automatizado do tráfego de trens na maquete CEL, da empresa Vale, e proposta a tela de supervisão para o sistema.

Foram abordados os conceitos básicos e as regras de circulação adotados na EFVM, tomados como base para a operação da maquete automatizada. Analisou-se as características de uma maquete de ferromodelismo e, comparando o seu funcionamento com o funcionamento da EFVM, concluiu-se que a maquete deveria ser adaptada para que fosse possível a sua automação.

Apesar de a automação utilizar métodos diferentes dos utilizados na ferrovia real para promover a movimentação do trem e para o monitoramento da sua localização, devido às propriedades da maquete, os conceitos ferroviários podem ser observados em seu funcionamento.

As maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento do *software* aplicativo estão relacionadas à percepção de cada uma das situações possíveis de acontecer e à solução das mesmas. A grande variedade de combinações é causada pelas diferentes localizações dos trens e, no pátio, pelos diferentes tamanhos de trens e pela possibilidade de ter mais de um trem em cada CDV.

A descrição funcional elaborada confere ao sistema a capacidade de simular as mais diversas situações que podem ocorrer tanto numa ferrovia e quanto num pátio real e permite uma ampla aplicação do regulamento de operação e sinalização. O *software* aplicativo desenvolvido atende à descrição funcional em todos os termos.

O sistema automatizado detecta erros de comando e informa ao tutor e ao treinando, através da tela supervisão, quais foram os erros cometidos e com que frequência eles ocorreram, possibilitando uma avaliação mais acertada. A tela proposta é similar à tela do CCO e do CCP e é possível de ser implementada em um sistema supervisão.

Ao comparar os *softwares* de programação *RSLogix 500* e *RSLogix 5000* constatou-se que o *RSLogix 5000* é superior em variedade de linguagens disponíveis para a programação e proporciona ao usuário maior facilidade na manipulação e endereçamento das variáveis. Entretanto, observou-se que os CLPs programados pelo *RSLogix 500* são, consideravelmente, mais baratos do que os CLPs que utilizam o *RSLogix 5000* e atendem à maioria das aplicações de médio e pequeno portes.

Apresentou-se uma ferramenta para programação e simulação de projetos de automação industrial no ambiente da norma IEC 61131-3, o *CoDeSys*. As vantagens do *CoDeSys* em relação ao *RSLogix 500* e ao *RSLogix 5000* são a abrangência de todas as linguagens da IEC 61131-3 e uma simulação simplificada. Entretanto, o *CoDeSys* ainda não é um aplicativo muito utilizado em grandes indústrias.

Analisados os requisitos para a escolha do CLP, concluiu-se que as melhores opções para implementação do projeto são o *MicroLogix 1400* e a família *CompactLogix*. A Vale se responsabilizou pela escolha entre um deles e pela aquisição.

Conclui-se com este projeto que a automação da maquete com o uso de um CLP é viável tecnicamente e economicamente. E os ganhos proporcionados ao treinamento de capacitação dos funcionários para atuarem como operadores do CCO e do CCP são notórios e de real relevância.

Como consequência deste trabalho e, prosseguindo na sequência das etapas do projeto da automação da maquete de ferromodelismo do CEL de Tubarão, será implementada a tela de supervisor proposta aqui.

Para trabalhos futuros, para inclusão no *software* aplicativo desenvolvido, sugere-se o desenvolvimento de uma lógica de programação que vise a realização de rotas comboios. Outra sugestão é a adaptação do *software* para outras maquetes de ferromodelismo que a Vale possui. Um projeto semelhante ao projeto que está em curso aqui em Vitória pode ser implantado no CEL de São Luís, onde também são realizados treinamentos dos funcionários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN-BRADLEY. **1769 CompactLogix Controllers User Manual**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2013, 149 p.

_____. **ControlLogix System**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2014, 212 p.

_____. **Logix 5000 Controller Add On Instruction**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2014, 104 p.

_____. **MicroLogix 1100 Programmable Controllers: User Manual**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2015, 256 p.

_____. **MicroLogix 1200 Programmable Controllers: User Manual**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2015, 168 p.

_____. **MicroLogix 1400 Programmable Controllers**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2014, 658 p.

_____. **MicroLogix 1500 programmable controllers: User Manual**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2015, 175 p.

_____. **RSLogix 500 Getting Results Guide**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2015, 68 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES FERROVIÁRIOS. **Cronologia Histórica Ferroviária**. Brasília. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/index.php/cronologia-historica-ferroviaria>>. Acesso em: 01 de nov. 2015.

BARWELL, F. T. **Automation and Control in Transport**. Pergamon Press, Oxford, 1973.

BELT. **Los sistemas de señalización en el ferrocarril: su evolución**. Disponível em: <http://www.belt.es/expertos/HOME2_experto.asp?id=36131>. Acesso em: 01 de nov. 2015.

BOSCH. **Understanding the IEC61131-3 Programming Languages**. Disponível em: <<http://bit.ly/bgb1Hx>>. Acesso em: 06 de mar. 2016.

CODESYS. **Codesys**. Disponível em: <<https://www.codesys.com/>>. Acesso em: 06 de mar. 2016.

_____. **User Manual for PLC Programming with CoDeSys 2.3**. Kempten: Smart Software Solutions GmbH, 2003, 388 p.

FRATESCHI. **ABC do Ferromodelismo**. Disponível em: <<http://www.frateschi.com.br/site/download/ABC-Ferreomodelismo-Frateschi.pdf>>. Acesso em: 15 de fev. 2016.

GUEIRAL, M. L. F. **Sinalização ferroviária na EFVM**. 2008. Apostila do curso de especialização em sinalização para Engenharia Ferroviária da Vale.

GUZZO, H. G. **Automação industrial**. 2016. Apostila da disciplina Tópicos Especiais em Automação III, Departamento de Engenharia Elétrica da UFES, Vitória, 2016.

MENDES, L. T. S. Programação convencional de PLC – Parte II: Tutorial do software RSLgix 5000. 2012. Departamento de Engenharia Eletrônica da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~luzt/lab_inf_ind/aula04.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2016.

PETRUZELLA, Frank D. **Programmable Logic Controllers**. 4. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2010. 385 p.

PLC DEV. **A Quick Tutorial on RSLogix Emulator 5000**. Disponível em: <http://www.plcdev.com/a_quick_tutorial_on_rslogix_emulator_5000>. Acesso em: 15 ago. 2016.

PLC MANUAL. PLC selection criteria. Disponível em: <<http://www.plcmanual.com/plc-selection-criteria>> Acesso em: 27 de mai. 2016.

REVISTA FERROVIÁRIA. São Paulo: 2005. Disponível em: <http://www.revistaferroviaria.com.br/maxion2005/trabalhos/Mencao_JedsonLopesGoularte.html>. Acesso em: 01 de nov. 2015.

ROCKWELL AUTOMATION. Sistemas de controlador lógico programável MicroLogix 1500. Milwaukee: Rockwell Automation, 2016. Disponível em: <http://ab.rockwellautomation.com/pt/Programmable-Controllers/MicroLogix-1500>. Acesso em: 27 de mai. 2016.

VAHID, F. **Sistemas Digitais: projeto, otimização e HDLs**. Porto Alegre: Atmed, 2008. p. 127-135.

VALE. **Laboratórios de automação da Vale são referência no mercado**. 2014. Documento de acesso restrito. Disponível em: <<https://intranet.valeglobal.net/gbl/global/pt-br/centrais/noticias/Paginas/laboratorios-de-automacao-da-vale-sao-referencia-no-mercado.aspx>>. Acesso em: 23 de out. 2015.

_____. **CEL - Centro de Engenharia Logística**. Vitória: 2016. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/innovation/logistics-engineering-center/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 18 de set. 2016.

UNIVERSITY OF SHEFFIELD. **Railway Technical Web Pages**. Disponível em: <<http://www.railway-technical.com/>>. Acesso em: 01 de nov. 2015.