



CEFET-MG

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

MARINA SOUZA

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POSIÇÃO DE MÁQUINAS DE PÁTIO

ARAXÁ/MG

2016

MARINA SOUZA

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POSIÇÃO DE MÁQUINAS DE PÁTIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientadora: Profa. Dra. Aline Fernanda Bianco

ARAXÁ/MG

2016

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARINA SOUZA

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POSIÇÃO DE MÁQUINAS DE PÁTIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Araxá, 04 de Julho de 2016.

Presidente e Orientadora: Profa. Dra. Aline Fernanda Bianco

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

Membro Titular: Prof. Dr. Mario Guimarães Junior

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

Membro Titular: Prof. M.º Sérgio Luiz da Silva Pithan

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

DEDICO ESTE TRABALHO

A Rita de Cássia e Amanda Souza que me deram suporte e viveram comigo as angústias e felicidades dos últimos cinco anos e meio de estudo e dedicação.

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio incondicional. À minha mãe por saber dizer as palavras que preciso escutar e à minha irmã pela amizade. Ao meu pai por ter enfrentado esse desafio a meu lado, sendo não apenas pai, mas amigo, colega de classe, supervisor, chefe, conselheiro e, acima de tudo, um exemplo de pessoa e de profissional.

À minha orientadora Aline Bianco, por ter aceito esta orientação mesmo com tantos fatores que a levariam a decisão oposta; pelo exemplo profissional e pela forma atenciosa e paciente de lidar com os empecilhos.

À Érica Araujo, por contribuir amplamente com a confecção deste texto, apontando as possíveis melhorias e prezando pela superação em relação à qualidade do trabalho.

À Vale Fertilizantes, pela liberação dos dados, pela permissão de realização de testes em sua planta fabril e pelas oportunidades advindas do Programa Formação em Ação. À equipe de Planejamento de Manutenção, através de Eduardo do Nascimento, o qual me motivou e apoiou durante as minhas ausências. À equipe de Instrumentação de Sistemas, através de Nilson Antonio de Souza, pelo respeito e por acreditar neste projeto. Em especial, a Dalson César e Luís Eduardo, que foram coorientadores de maneira informal e defenderam esse estudo junto a mim.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo buscar uma solução para o problema de medição de posição de máquinas de pátio aplicadas em mineradoras. Considerando o método convencional de medição de posição, através da utilização de *encoders* ineficiente no caso da aplicação analisada, propõe-se, com este trabalho, o desenvolvimento de um sistema alternativo para monitoramento da posição instantânea das máquinas de pátio do tipo retomadora. Nessa medida, foi utilizada a metodologia PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) como ferramenta suporte para o desenvolvimento de um sistema alternativo de medição de posição de máquinas de pátio através do cálculo da área sob a curva de velocidade que representa a posição, ou seja, a integral da função velocidade é dada pela função posição. Assim, a partir dos gráficos de velocidade apresentados na saída dos inversores de frequência que comandam os motores responsáveis pelo movimento de avanço, a posição exata da máquina de pátio no instante t analisado foi obtida.

Palavras-chave: Máquinas de Pátio. Retomadora. Sensoriamento. Posição. Controlador Lógico Programável.

ABSTRACT

This paper aims to solve a measurement problem about the position of machines like reclaimers and stackers applied in mining. Considering the conventional method of position measurement using encoders inefficient, it proposes to develop an alternative system of monitoring of reclaimer instantaneous position. PDCA (Plan-Do-Check-Act) method was used as a tool to support the development of an alternative system of measurement position of reclaimers, by using the integral of the speed signal generated by the inverter of frequency responsible to control the speed of advance of machines type reclaimer. Thus, through the integral of speed graphics presented in the output of inverter frequency, it's possible to get the area below the graphics, this area matches with the exact instantaneous position of the reclaimer.

Keywords: Patio Homogenization. Reclaimers. Sensing. Position. Programmable Logic Controller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição de Companhias Mineradoras no Brasil.	15
Figura 2: Produtividade em Toneladas por Ano.....	15
Figura 3: Pátios de homogeneização, tipos de Pilha.	22
Figura 4: Pátio de homogeneização, pilhas do tipo <i>Chevron</i>	22
Figura 5: Máquinas de pátio, stacker-reclaimer.	24
Figura 7: Máquinas de pátio, retomadora vista posterior.....	26
Figura 9: Motores CC, classificação.	28
Figura 11: Motores trifásicos.....	30
Figura 12: Motores trifásicos, gráfico de corrente e tensão.	30
Figura 13: Motores CA, gaiola de esquilo.....	31
Figura 15: Inversores de frequência, fluxograma de funcionamento.	36
Figura 16: Inversores de frequência ABB, linha ACS800.	37
Figura 17: Inversores de frequência ABB, unidades construídas em armários.	38
Figura 18: Inversores de frequência ABB, características de <i>hardware</i>	39
Figura 19: Inversores de frequência ABB, entradas e saídas.....	40
Figura 20: CLP, diagrama de blocos.	46
Figura 21: CLP, <i>Backplane</i> com cartões da linha Modicon Quantum.....	47
Figura 22: Concept, Schneider Electric.	49
Figura 23: Citect SCADA, exemplo de aplicação.....	51
Figura 24: Citect SCADA, benefícios.....	52
Figura 25: Estrutura simplificada de um <i>encoder</i> incremental.	53
Figura 26: Estrutura simplificada <i>encoder</i> absoluto.....	54
Figura 27: Cálculo Avançado, definição de integral.....	57
Figura 28: Ciclo PDCA, as etapas para aplicação.	59
Figura 29: Retomadora 01, piloto do sistema de medição de posição.	62
Figura 30: Diagrama de Ishikawa, causas influentes.	63
Figura 31: Diagrama de Ishikawa, causas prováveis.....	64
Figura 32: Retomadora 01, ambiente agressivo.	65
Figura 33: Diagrama tipo árvore, estratégia de ação.....	66
Figura 34: Plano de ação, 5W2H.....	68
Figura 35: Ordem de serviço, testes de posicionamento de máquina de pátio.	69

Figura 36: Primeira parte do programa original.	71
Figura 37: Primeira parte do programa.....	71
Figura 38: Incrementar a posição.	72
Figura 39: Decrementar a posição.....	72
Figura 40: Template de acompanhamento da posição.....	74
Figura 41: Contagem original de pulsos para <i>reset</i>	85
Figura 42: Contagem de pulsos para <i>reset</i>	86
Figura 43: Cálculos de posição do enrolador de cabos.....	86
Figura 44: <i>Reset</i> através de batentes no transportador.....	87
Figura 45: Correção da posição.....	88
Figura 46: <i>Template</i> para testes.	88
Figura 47. Testes no programa de <i>reset</i>	89
Figura 48: Correção do erro, sensor indutivo.	89
Figura 49: Correção do erro, batente.....	90
Figura 50: Envio do registro POSIÇÃO.	91
Figura 51: Comunicação de palavras entre CPU's.....	92
Figura 52: Recebimento de palavras.....	92
Figura 53: Sistema supervisorio, indicação da posição.....	93
Figura 54: Plano de manutenção, Retomador 01.	94
Figura 55: Plano de manutenção, <i>backup</i> do CLP.	94
Figura 56: Plano de manutenção, inversor de frequência.	95
Figura 57: 3ª Convenção de Melhoria Contínua, divulgação do resultado.	96
Figura 58: 3ª Conveção de Melhoria Contínua, divulgação do resultado.	97
Figura 59: 3ª Conveção de Melhoria Contínua, Apresentação.....	97
Figura 60: Patente, relatório da análise de potencialidade.....	98

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Classificação IP	43
Quadro 2: CLP, características e benefícios do CLP.....	45
Tabela 3: Sequência binária e de Gray	55
Quadro 4: Testes de Funcionamento	77
Tabela 5: <i>Reset</i> no enrolador de cabos.....	87

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Unidade Central de Processamento
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
IBGE	Intituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IHM	Interface Homem-Máquina
IP	<i>Ingress Protection</i>
PC	<i>Programmable Controller</i>
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 Pátios de Homogeneização.....	21
2.2 Máquinas de Pátio.....	23
2.3 Motores Elétricos.....	27
2.3.1 Motores (CC).....	28
2.3.2 Motores ES (CA).....	28
2.4 Inversores de Frequência.....	34
2.4.1 Inversores de Frequência ABB ASC800.....	37
2.5 Redutores.....	41
2.6 Grau de Proteção.....	42
2.7 Controlador Lógico Programável.....	44
2.7.1 Arquitetura em CLP.....	46
2.7.2 Modicon Quantum Schneider Electric.....	47
2.7.3 Programação em CLP.....	48
2.8 Sistemas Supervisórios.....	50
2.8.1 Citect SCADA.....	51
2.9 Encoders.....	52
2.10 Cálculo Diferencial e Integral.....	56
3. METODOLOGIA.....	58
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
4.1 Planejamento.....	61
4.1.1 Identificação do Problema.....	61
4.1.2 Análise do Fenômeno.....	62
4.1.3 Análise do Processo.....	63
4.1.4 Plano de Ação.....	65
4.2 Execução.....	69
4.3 Verificação.....	74
4.3.1 Correção do Erro.....	74
4.3.2 Substituição do Cartão de CLP.....	75
4.3.3 Verificação e Acompanhamento das Medidas.....	75

4.3.4	Erro Acumulado	85
4.4	Padronização.....	90
4.4.1	Indicação da Posição no Sistema Supervisório	90
4.4.2	Planos de Manutenção	93
4.4.3	Central de Boas Práticas	95
4.4.4	Convenção de Melhoria Contínua.....	95
4.4.5	Patente.....	98
5.	CONCLUSÕES.....	99
	REFERÊNCIAS.....	101

1. INTRODUÇÃO

O setor industrial demanda de maneira crescente equipamentos e ferramentas capazes de atender as necessidades dos processos produtivos, assim como rigorosos critérios de qualidade, de confiabilidade e de segurança. Essas necessidades têm contribuído com o crescimento do mercado da indústria de base e, conseqüentemente, com o desenvolvimento de técnicas de alta tecnologia capazes de agregar qualidade ao maquinário.

Máquinas de pátio são equipamentos amplamente utilizados em empilhamento, recuperação e estocagem, sendo que sua aplicação é mais evidente em áreas de mineração e portuárias. As máquinas de pátio, muitas vezes, são chamadas de empilhadeiras, recuperadoras ou retomadoras, dependendo de seu tipo de utilização. Dentre elas, podem ser destacadas as retomadoras, já que sua utilização é bastante difundida na indústria mundial; tanto que a lista de multinacionais e empresas reconhecidas que utilizam esse tipo de maquinário é extensa. Em vista dessa importância, o presente trabalho, busca, de maneira mais aprofundada, realizar um estudo sobre o funcionamento das máquinas de pátio retomadoras, aplicadas em extração mineral, visando, por meio da automação desse equipamento, sanar algumas das dificuldades encontradas em um cenário específico.

Desde o período do Brasil Colonial, a mineração destaca-se como um dos setores de maior relevância na economia do país, sendo esse reconhecido no cenário mundial como exportador de nióbio, minério de ferro, vermiculita, grafita, bauxita e caulim, além de outros produtos de exportação, de autossuficiência e de produções em pequenas quantidades. Segundo informações disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) e pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), em 2013, estavam catalogadas 8.870 empresas mineradoras atuando no país, sendo a distribuição dessas empresas apresentadas por meio da Figura 1 a seguir:

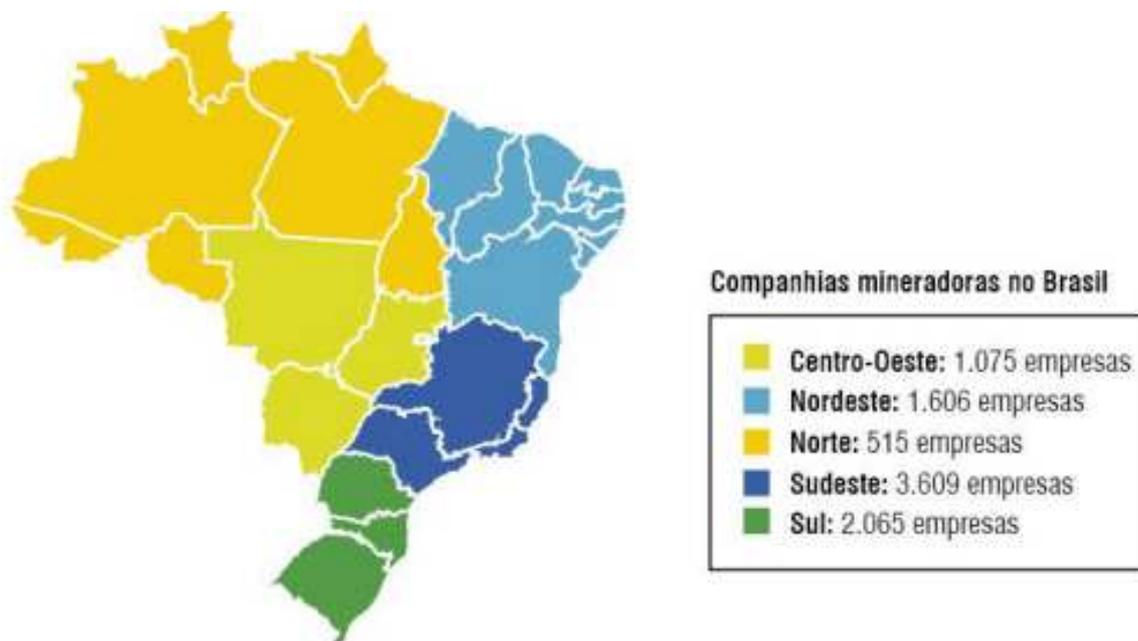


Figura 1: Distribuição de Companhias Mineradoras no Brasil.
Fonte: DNPM, elaborado pelo IBRAM (2015).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2007, o setor de mineração gerou US\$ 70 bilhões, ou seja, cerca de 5,17% do PIB nacional. Ainda conforme IBRAM e DNPM, em 2015, a mineração empregava diretamente, em julho, 214.070 trabalhadores. Ademais, conforme divulgado, 2,9% dessas mineradoras apresentam grande produtividade, ultrapassando mais de um milhão de toneladas ao ano. Sobre esses dados, veja a Figura 2 na sequência:



Figura 2: Produtividade em Toneladas por Ano.
Fonte: DNPM, elaborado pelo IBRAM (2015).

Nessa medida, a importância econômica do setor de extração e de transformação mineral no Brasil motiva o desenvolvimento de técnicas que contribuam diretamente com o processo produtivo. Logo, a automação industrial tem se mostrado presente nesse setor, agregando qualidade e garantindo a continuidade da produção de maneira segura. Assim sendo, a abertura das empresas aos produtos automatizados amplia as possibilidades de pesquisa, desenvolvimento e melhorias na área. Com efeito, as propostas aplicáveis ganham impacto nesse setor se relacionadas às pesquisas exclusivamente teóricas, principalmente, quando é possível visualizar ganhos econômicos, ambientais e de segurança

Em mineradoras, as máquinas de pátio são empregadas para homogeneização do minério, que não se apresenta distribuído uniformemente no solo. Ou seja, cada frente de lavra pode apresentar características minerais, como porcentagem de composição e densidade completamente diferentes, o que pode comprometer o tratamento desse mineral ou da estrutura de processo utilizada para seu beneficiamento. Nessa medida, para homogeneização de minério são utilizadas empilhadeiras e retomadoras, sendo que a primeira distribui o material em uma área delimitada, misturando diferentes frentes de lavra e formando uma pilha, que é retomada pela segunda, e segue para as próximas fases do beneficiamento com características menos discrepantes.

Durante as últimas décadas, retomadoras têm ganhado um maior nível de automação a fim de garantir a sua disponibilidade. Analisando o histórico desses equipamentos, sua evolução é notável. Há cerca de quatro décadas ainda podiam ser encontrados relés, comandos simples e motores de corrente contínua no acionamento das retomadoras; os setores de engenharia ainda se deparavam com problemas de cabeamento, já que as retomadoras são equipamentos móveis, por isso técnicas como o sistema SETA ganharam relevância nesse período. A partir de 1968, iniciou-se a implantação dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), que pode ser considerada uma ação transformadora, não apenas para o caso das retomadoras especificamente, mas para o desenvolvimento da Automação Industrial de forma geral. A substituição de motores de corrente contínua por motores de corrente alternada, acionados por inversores de frequência, também foi relevante quando se observa a manutenibilidade e o controle de velocidade aplicados às retomadoras. Posteriormente, foram inseridos no mercado métodos de comunicação

wireless e, ainda hoje, são realizados estudos e pesquisas referentes ao desenvolvimento e às melhorias nessa área. No entanto, são encontradas algumas barreiras devido à singularidade de cada situação na qual esses equipamentos são aplicados.

Conforme descrito anteriormente, dentro de uma mesma mina, minerais com diferentes características podem ser encontrados. Seguindo essa linha de raciocínio, em escala mundial, as diferenças podem ser multiplicadas, o que dificulta o desenvolvimento de um único modelo de máquina capaz de suprir as inúmeras demandas. Usualmente, as mineradoras desenvolvem projetos de máquinas de pátio específicos para o produto extraído em determinada mina; essas particularidades no processo geram também problemas distintos e, como consequência, mais difíceis de serem sanados.

Em vista dessas considerações, visando aprimorar o funcionamento das retomadoras, acredita-se que o sensoriamento, primordialmente necessário em uma retomadora, seria o de posicionamento. Nessa medida, conhecendo a posição da retomadora na pilha ou pátio de homogeneização, é possível automatizar a máquina em um grau mais elevado. Como exemplo, seria possível definir a velocidade do equipamento de acordo com a quantidade de minério que se deseja retomar; também seria possível controlar o desalinhamento dos eixos, o risco de colisão com a estrutura física ou com outras máquinas de pátio, entre outras aplicações.

Conforme exposto, apesar da importância do posicionamento das retomadoras em empresas de extração mineral, as técnicas existentes para esse controle ainda são restritas. Através de uma pesquisa de mercado, notou-se que apenas um produto é comercializado de maneira relevante, para sanar essa demanda: os *encoders*.

Não exclusivamente tratando das retomadoras, pode-se dizer que os *encoders* são utilizados em larga escala para posicionamento, apresentando uma gama de produtos de diferentes aplicabilidades. As várias classes e níveis de precisão fazem com que os *encoders* atendam tanto em situações nas quais certo nível de robustez é necessário quanto em robôs de última geração com escalas centimétricas.

A falta de opções de dispositivos capazes de controlar o posicionamento torna-se evidente quando se levanta as situações nas quais os *encoders* não são

capazes de funcionar com o nível de confiabilidade necessário. Os pátios de homogeneização estão dentre os locais onde os *encoders* apresentam problemas de funcionamento e medidas falsas, isso ocorre devido às condições apresentadas por esse ambiente industrial. O acúmulo de poeira e minério é perceptível e acredita-se que seja o motivo das falhas apresentadas, já que, devido à poeira, um *encoder* pode não girar da maneira prevista para seu perfeito funcionamento ou, quando o componente desliza sobre o trilho, os pulsos são perdidos e a medida de posição fica menor que a real, o que pode comprometer o processo ou, até mesmo, causar um sério acidente.

Nessa medida, as companhias mineradoras usualmente buscam solucionar os problemas encontrados em seu processo de beneficiamento utilizando a tecnologia disponível no mercado. No caso do posicionamento das retomadoras, como o ambiente apresenta características particulares, tornou-se inviável usar as técnicas já comercializáveis. Partindo desse fato, acredita-se que desenvolver uma nova técnica de medição de posição, específica para o cenário encontrado em pátios de homogeneização, seria o ideal. Para a idealização desse novo método, foi necessário considerar os conceitos básicos de física nas áreas de mecânica e cinemática para construção de uma proposta viável que possa suprir as reais necessidades apresentadas, de modo a atingir o objetivo principal deste trabalho: solucionar o problema de medição de posição de máquinas de pátio retomadoras, aplicadas em mineradoras, cujo ambiente de homogeneização inviabiliza a utilização de métodos convencionais como *encoders*.

Tendo em vista esse objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram delineados: a) idealizar uma maneira alternativa para medição de posição de retomadores; b) desenvolver um projeto dimensionando os materiais necessários, escrevendo a linguagem de programação para tratamento dos gráficos de velocidade dos inversores de frequência e apresentando a posição instantânea da máquina; c) aplicar o projeto em um retomador, realizando testes para confirmação do funcionamento e da precisão da medição; e analisar os custos, identificando a viabilidade econômica do método.

Logo, a fim de solucionar o problema que motiva esta pesquisa, pretende-se desenvolver um método alternativo de acompanhamento e medição da posição de máquinas de pátio do tipo retomadora, aplicadas em mineradoras, com acionamento

por inversor de frequência. Diante do exposto, aventa-se, com este trabalho, a seguinte hipótese: se feita integral dos gráficos de velocidade apresentados na saída dos inversores de frequência, que comandam os motores responsáveis pelo movimento de avanço, de posse da área sob a curva, então seria possível saber a posição exata da máquina de pátio no instante t analisado.

Diante desse contexto, ao focalizar, com este estudo, a medição de posição de retomadoras, sem utilização de *encoder*, propõe-se alcançar alguns ganhos, dentre eles, destaca-se a utilização de menos estrutura, ou seja, utilização de menos fontes de energia, cabeamento, sensores e terminais, o que propiciará, conseqüentemente, manutenção simples e um baixo custo de implantação. Esse é o principal fator que incentiva o desenvolvimento deste estudo, já que se entende que a técnica a ser desenvolvida, embora prevista para um contexto específico, possivelmente atenderia outras situações similares, necessitando apenas da realização de ajustes e nova parametrização quando aplicada a contexto diverso.

Objetiva-se, assim, chegar a um resultado cuja precisão seja semelhante a alcançada por métodos convencionais, com bons níveis de confiabilidade e de disponibilidade. As metas definidas são: ótima precisão, sendo que o erro aceito seja de até 2,00%; custo de até R\$ 100.000,00 e tempo de conclusão de um ano, sendo que o fim desse prazo ocorreu em abril de 2016. Pondera-se, ainda, que, tendo em vista essas metas, para manipulação e tratamento dos gráficos de velocidade, foi utilizado um Controlador Lógico Programável (CLP), com uma aplicação descrita em linguagem *ladder*. Pressupõe-se que, através da somatória dos retângulos que compõem os gráficos de velocidade dos inversores de frequência, os valores obtidos deveriam coincidir com a posição atual do conjunto, com uma precisão aceitável.

Salienta-se, ainda, que o objeto deste estudo, por se tratar de uma máquina que pesa toneladas, instalada em um ambiente hostil, com equipamentos mecânicos que já apresentam incertezas de montagem e fabricação, quatro motores com escorregamentos relativamente variáveis, rodas já desgastadas pelo tempo e manipulação realizada por mais de cinco operadores diferentes, é indiscutível a existência de interferências e de distúrbios que podem afetar a medição. No entanto, acredita-se que esses erros possam ser previstos e tratados, proporcionando, então, medidas confiáveis. Dessa forma, além dos aspectos antes citados, outra barreira a ser ultrapassada com esta pesquisa consiste na falta de material para referência

bibliográfica e de pesquisas cujo foco seja sanar esse mesmo problema. Essas barreiras aqui descritas servem de motivação e de justificativa para a realização do presente estudo.

Ante o apresentado, os assuntos tratados neste trabalho foram divididos em capítulos para facilitar a organização das informações, bem como a apresentação dos dados e dos resultados obtidos. Este é o *Capítulo 1*, no qual se apresentou, de maneira geral, tema abordado, os objetivos, a hipótese que motiva o estudo e as justificativas.

O *Capítulo 2* trata da fundamentação teórica e da revisão de literatura, utilizada como base para melhor compreensão do contexto técnico e do funcionamento da retomadora. Nessa fase da pesquisa, foram coletadas informações para construção dos argumentos necessários para proposição de uma solução para o problema em questão. Também são apresentadas as características dos equipamentos instalados no retomador objeto deste estudo.

O *Capítulo 3* expõe a metodologia utilizada tanto durante o desenvolvimento teórico como também durante a implantação do sistema de medição de posição de máquinas de pátio em uma retomadora tipo ponte. Já o *Capítulo 4* descreve detalhadamente os resultados alcançados em cada etapa de execução da pesquisa, os problemas que surgiram, assim como as soluções aplicadas.

Por fim, o *Capítulo 5* explicita as considerações finais e conclusão do estudo, apresentando um comparativo entre os objetivos e as metas definidos e os resultados alcançados. Nesse capítulo também são levantadas possibilidades de projetos futuros e aplicações diversas para o método desenvolvido ao longo deste estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PÁTIOS DE HOMOGENEIZAÇÃO

Entre a extração mineral e a comercialização dos produtos gerados, existe uma gama de diferentes processos, pelos quais o minério deve passar para o seu beneficiamento. A homogeneização é um desses processos, cujo objetivo é a uniformização do minério, ou seja, diferentes frentes de lavra, com porcentagem de composição desigual, são, após o processo de homogeneização, misturadas, apresentando, ao final, características parecidas e compatíveis com o processo seguinte. Com isso, a redução da variação nos teores de alimentação da planta é obtida e, mesmo apresentando algumas oscilações, não compromete o fluxo do processo produtivo. A homogeneidade é observada através de métodos de amostragem, garantindo que o produto esteja dentro de valores pré-estabelecidos pelos setores de engenharia de mina e planejamento de lavra.

Além da equiparação do produto extraído das jazidas, pode-se dizer que os pátios de homogeneização também têm a função de estocagem, já que podem servir como depósito durante períodos variáveis, facilitando a continuidade e viabilizando a existência de *by-pass* das linhas de produção. A continuidade está relacionada a processos que funcionam 24h por dia em ciclos de 6, 12, 24 ou 36 meses, dependendo do projeto de paradas da mineradora. Já por *by-pass* compreende-se a existência de mais de uma linha de produção com equipamentos sobressalentes, os quais podem alternar o funcionamento de acordo com as necessidades de manutenção corretiva e preventiva, contribuindo, também, para a disponibilidade do processo.

A primeira etapa no pátio de homogeneização é o empilhamento do minério. Esse empilhamento pode ser realizado por meio de métodos diferentes, a saber: *Chevron*, *Windrow* e *Cone Shell*. Na Figura 3 ilustram-se esses métodos:

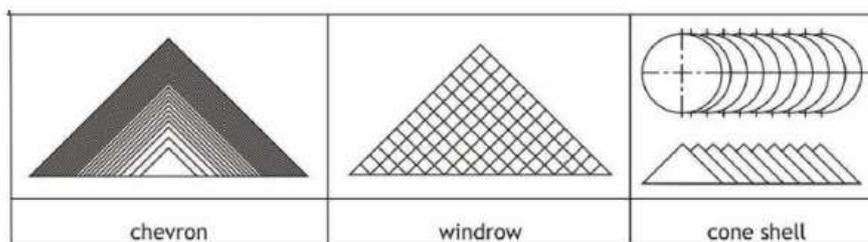


Figura 3: Pátios de homogeneização, tipos de Pilha.
 Fonte: Chaves e Ferreira (2006).

Cada um desses métodos é utilizado em situações específicas de tratamento de minério. Nesta pesquisa será dado enfoque ao método *Chevron*, o qual é definido por Abichequer (2010, p. 26) da seguinte forma:

As pilhas do tipo *Chevron*, mais comumente utilizadas na mineração e objeto desse estudo, são formadas pela decomposição de sucessivas camadas de minério sobrepostas que formam uma espécie de prisma contendo minério de diversas frentes de lavra. A retomada é feita em fatias verticais, assim, cada uma destas fatias é formada por blocos de lavra de áreas diferentes da mina. O problema deste método é que, devido ao modo como é feita a deposição do material, as partículas mais grossas podem ser segregadas para a base da pilha.

Na figura 4, ilustra-se pilhas de tipo *Chevron* em pátio de homogeneização:



Figura 4: Pátio de homogeneização, pilhas do tipo *Chevron*.
 Fonte: ISOMONTE (2016).

A segunda etapa seria o armazenamento, também exposto na Figura 4, que ocorre durante períodos variáveis de acordo com o processo produtivo. A terceira e última etapa seria a recuperação do minério, para prosseguimento do beneficiamento do mesmo. Sobre essa última, descreve-se mais detalhadamente na sequência.

2.2 MÁQUINAS DE PÁTIO

Máquinas de pátio são equipamentos eletromecânicos automatizados, utilizados em pátios de homogeneização para a formação de pilhas e também para a retomada dessas. Essas máquinas têm características construtivas que variam de acordo com sua aplicação.

As empilhadeiras, ou também denominadas *stacker*, são utilizadas na formação das pilhas. Usualmente, a alimentação de minério de empilhadeiras é realizada através de correia transportadora; o equipamento deposita o material recebido no pátio de homogeneização utilizando trilhos, dispostos longitudinalmente, para locomoção. Esses trilhos, assim como a correia transportadora de alimentação, podem ser observados na figura 5, apresentada a seguir.

As retomadoras também são chamadas de retomadores, recuperadoras e *reclaimers*. Elas são equipamentos utilizados para recolher o material disposto na pilha do pátio de homogeneização. Em outros termos: com a pilha já formada pelo *stacker*, as retomadoras, também se locomovendo através de trilhos, percorrem toda a extensão retirando o minério do local e retornando o mesmo para outra correia transportadora que levará o mineral para a próxima fase do processo. Ressalta-se, sobre essas máquinas, que há dois tipos de retomadoras mais utilizados em mineradoras, são eles: *stacker-reclaimer* e tipo ponte, os quais estão ilustrados nas figuras 5 e 6. Sobre esses, ressalta-se que o primeiro pode executar tanto a função de empilhamento quanto a função de recuperação da pilha de sólidos.



Figura 5: Máquinas de pátio, stacker-reclaimer.
Fonte: TAKRAF (2016).



Figura 6: Máquinas de pátio, retomadora tipo ponte.
Fonte: TKFLA (2016).

Pode-se observar, nas figuras 5 e 6, que tanto o *stacker-reclaimer* quanto o tipo ponte utilizam rodas de caçamba para retomar o minério armazenado, sendo que o primeiro tipo apresenta apenas uma roda de caçamba, enquanto o segundo tipo contém duas rodas.

As máquinas de pátio possuem projeto eletromecânico complexo, conseqüentemente, tornando os projetos de automação mais detalhados para garantir a segurança e a confiabilidade durante a utilização desses dispositivos. Questões como a alimentação de energia de máquinas de pátio podem exemplificar a complexidade do equipamento, uma vez que tal dispositivo é móvel e, sendo assim, a linha de alimentação de energia fica exposta no pátio de homogeneização, por isso, as retomadoras utilizam enroladores de cabo para posicionar esses cabos no chão de acordo com sua posição. Esse é um exemplo de barreira que precisa ser considerada.

Assim como a alimentação de energia, os dados utilizados para automação são normalmente transmitidos através de meios físicos, no entanto, devido à mobilidade do equipamento nesse contexto, isso não é possível. Com o passar dos anos, essa barreira apresentou grande evolução: inicialmente também eram utilizados enroladores de cabo para cabos de comando; em seguida o sistema SETA, que usa os cabos de alimentação para transmissão de dados, ganhou espaço; atualmente a comunicação *wireless* é a mais difundida para essa aplicação por meio de rádios de baixa potência que são utilizados e apresentam boa confiabilidade. Os rádios são acoplados a rede através de *gateway* e suas configurações podem ser realizadas através de protocolo Transmission Control Protocol e Internet Protocol (TCP/IP), dentre outros.

As máquinas do tipo ponte, por sua vez, possuem dois eixos em trilhos diferentes. Conforme ilustrado na figura 7, esses eixos são acionados por conjuntos de motores, com velocidade estabelecida por um ou mais inversores de frequência, o que gera problemas de desalinhamento, os quais devem ser corrigidos em tempo real, caso contrário, podem causar trincas, rachaduras, quebrar a estrutura do chassi, travar motores, sair do trilho, entre outras situações cujas perdas seriam significativas.



Figura 7: Máquinas de pátio, retomadora vista posterior.

A máquina de pátio foco desse estudo, utilizada durante as etapas de testes e implantação do projeto proposto, é um retomador do tipo ponte, cujas características, especificadas a seguir, são disponibilizadas pelo fabricante ISOMONTE, demonstrada nas figuras 7 e 8:

- Capacidade: 2.500 T/hora,
- Minério Retomado: Fosfato,
- Peso: 450 T,
- Vão entre trilhos: 39,7 metros,
- Rodas das caçambas: Duas, do tipo "Cell Less",
- Potência Instalada: 480 KW,
- Sistema de Comando: Controlador Lógico Programável,
- Sistema de Comunicação Máquina/Pátio: Rádio
- Motorização: Carros e translação da retomadora em C.A.



Figura 8: Máquinas de pátio, retomadora vista anterior.

2.3 MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos são equipamentos utilizados para conversão de energia elétrica em energia cinética, também chamada de energia mecânica (FRANCHI, 2009). Para escolher um motor elétrico para uma determinada aplicação, devem ser levados em consideração os seguintes fatores: a tensão de alimentação; o tipo da fonte de energia; a frequência; a agressividade do local de instalação; a altitude e a temperatura; a potência demandada; o número de partidas por hora; a configuração física; os ciclos de operação; a controlabilidade; a corrente de partida; entre outros.

Esses dispositivos podem ser separados em dois conjuntos: motores de corrente contínua (CC) e motores de corrente alternada (CA).

2.3.1 MOTORES (CC)

Em concordância com o nome, essa categoria de motores é alimentada com tensões contínuas. Esses motores são empregados, em prevalência, em casos nos quais é necessário controle de velocidade, já que, por meio deles, é possível fazê-lo de modo preciso e eficaz. Como desvantagens no uso desses motores pode-se destacar o alto custo, tanto de aquisição como de manutenção. O avanço tecnológico da Eletrônica de Potência, atrelado às desvantagens citadas anteriormente, tem contribuído para o abandono progressivo desse tipo de motor elétrico. A discussão sobre essa situação prossegue no item 2.4 Inversor de Frequência. As variações dos motores CC podem ser observadas na figura 9:

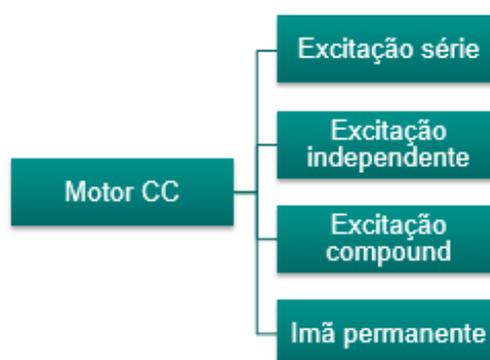


Figura 9: Motores CC, classificação.
Fonte: Adaptação Franchi (2009).

2.3.2 MOTORES (CA)

Esses motores são alimentados com tensão alternada. Em relação aos motores de corrente contínua, pode-se dizer que esses são mais econômicos e simples, apesar da precisão apresentada pelo primeiro. Em se tratando de controle de velocidade, para aplicações cuja potência é inferior a 500CV, os motores de corrente alternada são mais utilizados (FRANCHI, 2009).

A categoria de motores CA pode ser subdividida conforme figura 10:

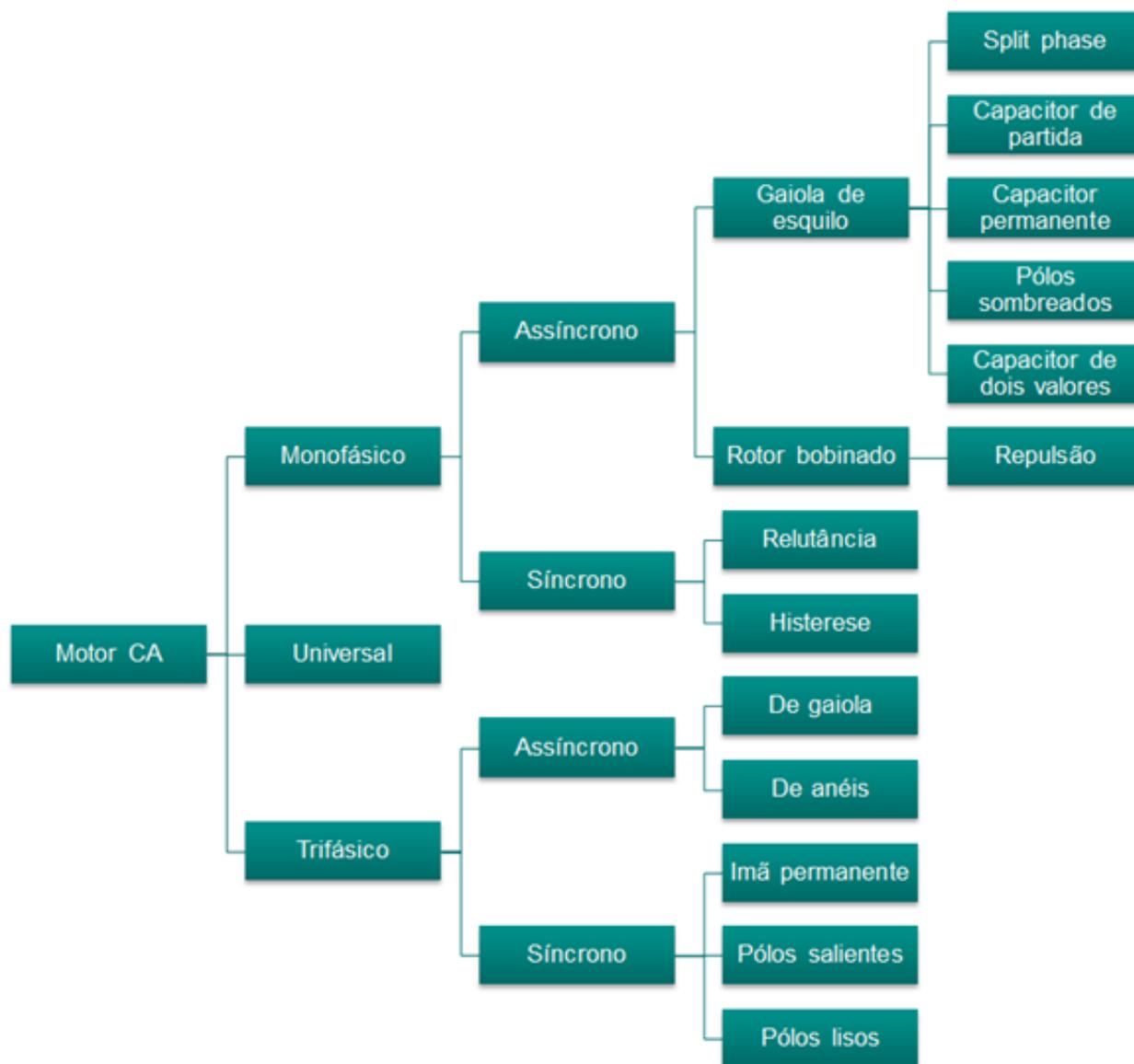


Figura 10: Motores CA, classificação.
 Fonte: Adaptação Franchi (2009).

2.3.2.1 Funcionamento dos Motores Trifásicos

Os motores trifásicos são constituídos por bobinas defasadas em 120° . Ao serem alimentadas por sinal trifásico alternado, essas bobinas geram campos magnéticos proporcionais ao valor da corrente.

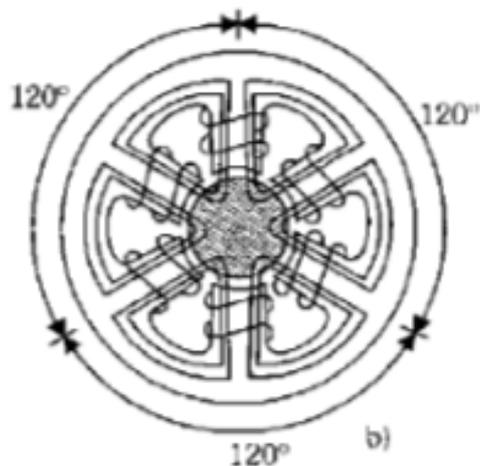


Figura 11: Motores trifásicos.
Fonte: Franchi (2009).

A defasagem de 120° entre as correntes faz com que os campos magnéticos gerados formem um campo magnético girante. Esse campo induz tensões no rotor com polaridade oposta. Nessa medida, como o campo gerado pelo estator é girante, a tendência é que o rotor acompanhe esse movimento (FRANCHI, 2009).

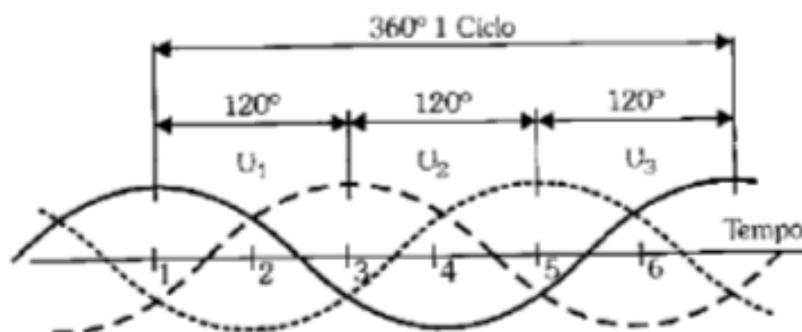


Figura 12: Motores trifásicos, gráfico de corrente e tensão.
Fonte: Franchi (2009).

2.3.2.2 Motores Gaiola de Esquilo

Será empreendida uma análise mais detalhada acerca dos motores de corrente alternada, assíncronos, trifásicos com rotor tipo gaiola de esquilo, pois esse tipo de motor é empregado no sistema de avanço da retomadora objeto deste estudo. Segundo Franchi (2009, p. 65),

O rotor gaiola de esquilo é o mais robusto de todos. Não exige o uso de escovas nem comutadores, o que evita muitos problemas relacionados a desgaste e manutenção. A forma mais simples do motor com rotor gaiola de esquilo apresenta um conjugado de partida relativamente fraco e o pico de corrente na partida alcança até dez vezes o valor da corrente nominal do motor. Esses aspectos podem ser melhorados parcialmente pela construção do próprio rotor. Em especial, as barras que formam a gaiola influem nessas características. Motores de melhor desempenho são equipados com rotores gaiola de barras altas, barras de cunha ou barras duplas.

Os motores de indução são constituídos de: a) um estator, composto de material ferromagnético que tem também função físico-estrutural; b) bobinas, que são alimentadas pela rede dispostas em cavas no estator; elas estão inseridas na função de formação do campo magnético que causa o movimento do motor; c) rotor, a parte girante do dispositivo, formado por um núcleo ferromagnético. A figura 13 a seguir ilustra esses componentes:

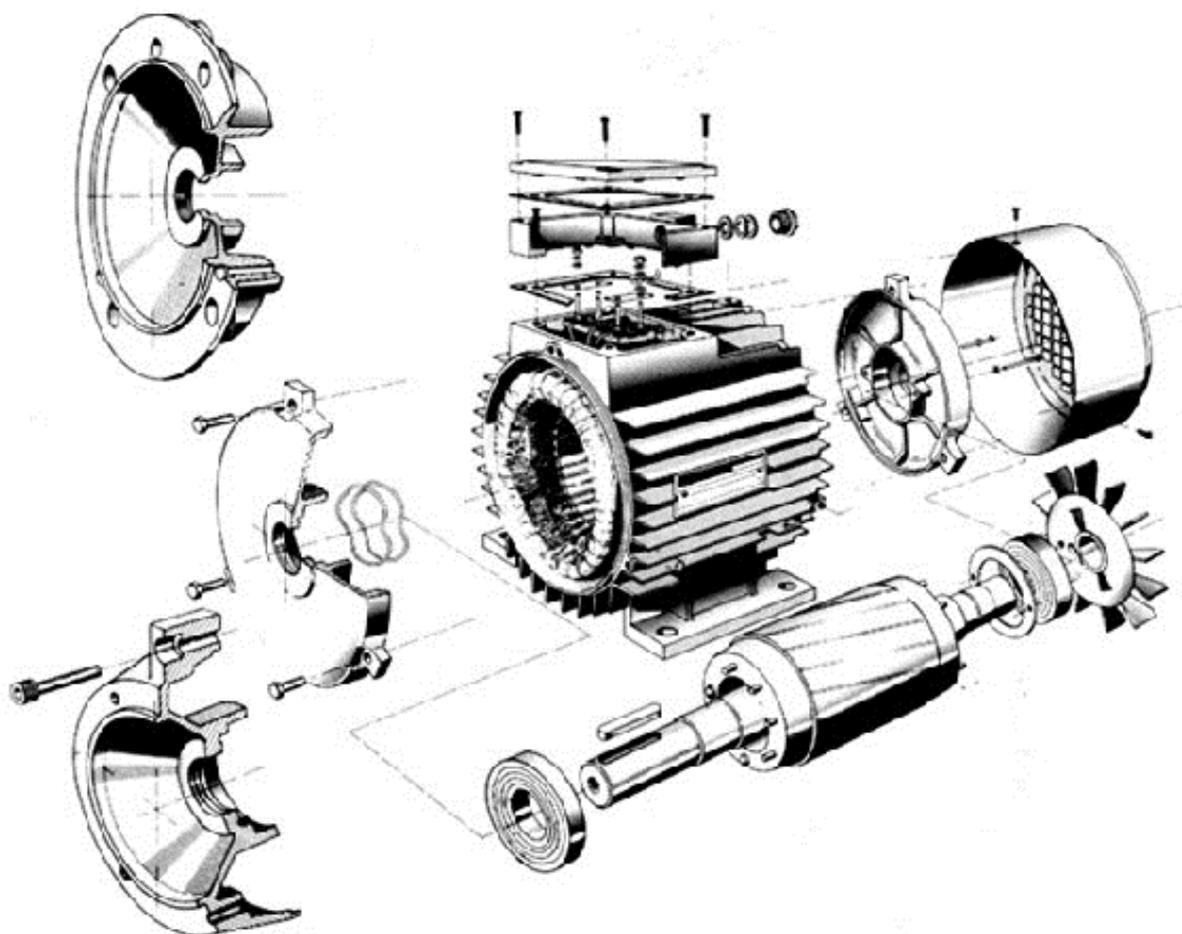


Figura 13: Motores CA, gaiola de esquilo.
Fonte: Motores de indução (2016).

Esse motor apresenta como vantagens a simplicidade, por ser induzido mais rápido, e os custos são mais acessíveis. Essas características têm garantido a abrangente utilização desse equipamento na indústria. Esses motores são aplicados principalmente em situação nas quais a velocidade é variável e controlada, que é o caso da retomadora. As desvantagens declaradas, conforme Franchi (2009), estão relacionadas ao torque de partida que é reduzido.

2.3.2.3 Motores do Movimento de Translação da Retomadora

A seguir inseriu-se uma lista com as características dos motores empregados no movimento de translação, ou seja, avanço da retomadora utilizada no sistema de medição de posição em máquinas de pátio. Conforme descrito anteriormente, são quatro motores, cada um instalado em um conjunto diferente dos eixos da retomadora. Os dois motores do lado direito têm sua velocidade controlada por um inversor de frequência, já os motores do lado esquerdo por outro inversor. Salienta-se, ainda, que a ligação entre eles é feita em paralelo.

- Motor elétrico;
- Tipo: Indução;
- Rotação: 875 RPM;
- Sentido de rotação: Bidirecional;
- Tipo de carcaça: 180L
- Tensão nominal: 440V;
- Número de polos: 8;
- Número de fases: 3;
- Frequência: 60Hz;
- Rendimento: Alto Rendimento Plus;
- Tipo de rotor: gaiola;
- Grau de proteção: IPW55;
- Forma construtiva: B3D;
- Conjugado: 16,7 KGFM;
- Classe de isolamento: F;
- Categoria: N;

- Fator de potência: 0,80;
- Fator de serviço: 1,15;
- Regime de serviço: S4;
- Tipo de resfriamento: Autoventilado;
- Tipo de mancal: Rolamento;
- Tipo de acoplamento: Direto;
- Pintura: Verde epóxi;
- Fabricante: WEG;
- Dados técnicos: Acionado por inversor de frequência;

O motor apresentado é de alto rendimento, ou seja, apresenta melhor desempenho, com menor gasto de energia durante o ciclo de operação, menos perdas por Efeito Joule, melhor dissipação de calor, entre outras vantagens. Isso ocorre devido ao projeto de construção dos mesmos, já que, neles são utilizados materiais de alta qualidade, maior quantidade de cobre em seus enrolamentos, apresentando alto fator de enchimento de ranhuras etc.

A figura 14 demonstra, de maneira ilustrativa, o motor instalado na retomadora:



Figura 14: Motores CA, WEG.
Fonte: WEG (2016).

A seguir foram inseridos cálculos realizados para determinação do escorregamento desses motores:

$$\eta_s = n^{\circ} \text{ de polos} \cdot 120$$

$$\eta_s = 8 \cdot 120$$

$$\eta_s = 960 \text{ RPM}$$

$$S = \frac{\eta_s - \eta}{\eta_s} \cdot 100$$

$$S = \frac{960 - 875}{960} \cdot 100$$

$$S = 8,85 \text{ RPM}$$

Sendo η_s a rotação síncrona, η a rotação do motor e S o escorregamento, no caso, o valor encontrado foi de 8,85 RPM.

2.4 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Conforme as ponderações de Gurgel (2009), anteriormente à década de 60, as instalações, nas quais a variação de velocidade era necessária, eram principalmente executadas com motores de corrente contínua. Por isso, um segundo dispositivo era utilizado para conversão de energia, que utilizava componentes mecânicos, hidráulicos ou eletromagnéticos.

Durante várias décadas, os motores de corrente contínua foram usados em situações nas quais o controle de velocidade se fazia necessário, como principal opção. Essa situação advinha da limitação tecnológica, já que, sobre esses, uma lista considerável de ônus está relacionada, se comparada com os motores de corrente alternada. Comparando os dois tipos de motores, de forma geral, pode-se dizer que, dentre os ônus dos motores de corrente contínua, destaca-se: eles são mais caros, suas manutenções são mais caras e complexas, a vida útil é menor, a instalação física necessária para o controle de velocidade desse dispositivo é muito

maior, há inúmeros pontos com possibilidade de falha, há a necessidade de retificadores e de fontes de energia mais caras, dentre outros.

Ainda de acordo com Gurgel (2009), a partir da década de 60, através da difusão dos conceitos de semicondutores, o cenário tecnológico alterou-se em escala exponencial. No entanto, apenas na década de 80,

com o desenvolvimento de semicondutores de potência com capacidade de comando de condução e bloqueio e excelentes características de desempenho e confiabilidade, que foi possível a implementação de sistemas de variação de velocidade eletrônicos. O dispositivo de conversão de energia elétrica para mecânica continuou sendo o motor de indução, mas agora sem a utilização de dispositivos secundários mecânicos, hidráulicos ou eletromagnéticos. Em muitos casos, a eficiência das instalações equipadas com esses novos dispositivos chegou a ser duplicada quando comparada com os sistemas antigos. Estes equipamentos eletrônicos para variação de velocidade de motores de indução são conhecidos como inversores de frequência (GURGEL, 2009, p. 03).

O desenvolvimento e a comercialização dos dispositivos inversores de frequência permitiram a substituição de motores de corrente contínua por motores de corrente alternada, nos casos em que os mesmos deveriam ser aplicados com velocidade controlada. Essa alteração propiciou uma condição na qual o ônus encontrado na instalação de motores de corrente contínua fosse exaurido através da instalação de motores de indução, cujo funcionamento se dá em instalações de corrente alternada. Em outros termos, o desenvolvimento dos inversores de frequência pode ser considerado um marco, pois, os problemas apresentados pelos motores de corrente contínua puderam ser sanados, substituindo-os por motores de tensão alternada. Ademais, as instalações para acionamento tornaram-se compactas, grandes painéis puderam ser substituídos por dispositivos inversores de frequência relativamente pequenos. Além desse benefício, pode-se citar o controle exercido por um inversor de frequência sobre suas próprias funções, garantindo, assim, confiabilidade e eficácia extraordinárias.

Os inversores controlam a velocidade de motores de indução trifásicos, variando a frequência do sinal de tensão que os alimenta. De maneira simplificada, pode-se explicar o funcionamento de inversores de frequência através da divisão em blocos ou passos a seguir, que está explicada no esquema apresentado na figura 15.

- Retificação do sinal alternado da rede,
- Filtros,
- Isolação dos sinais de entrada e saída,
- Tratamento do sinal contínuo com a utilização de semicondutores, e
- Fornecimento de um sinal alternado trifásico com frequência variável.

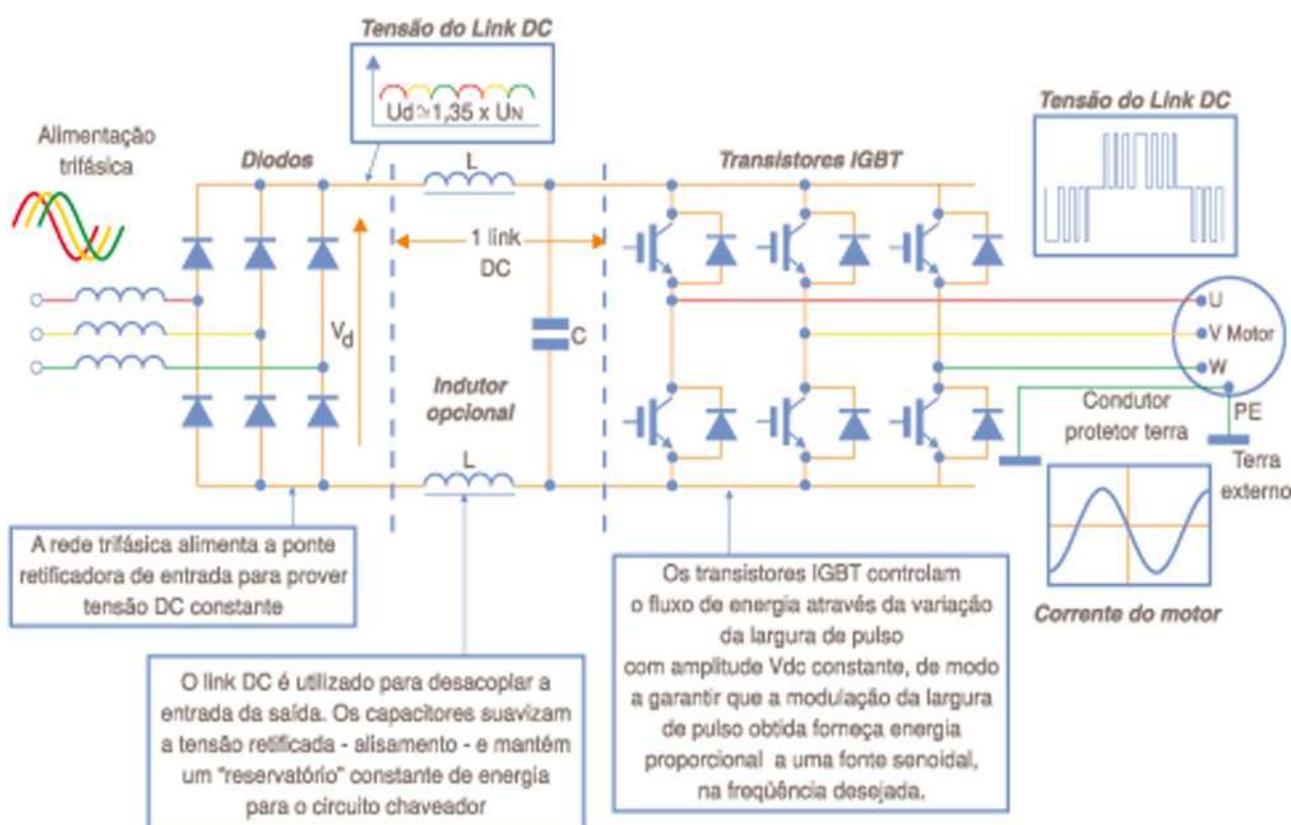


Figura 15: Inversores de frequência, fluxograma de funcionamento.

Fonte: Mecatrônica Atual (2016).

As máquinas de pátio retomadoras, focalizadas neste estudo, têm seu movimento de avanço sobre os trilhos realizado através de motores de indução com velocidade controlada por inversor de frequência. O movimento é realizado por quatro conjuntos com um motor de 20 CV cada: há dois conjuntos responsáveis pelo movimento das rodas no trilho ao lado direito da pilha e outros dois conjuntos ao lado esquerdo. Para controle da velocidade da máquina são empregados dois inversores de frequência do fabricante ABB; um desses dispositivos controla os motores instalados à direita, sendo que os dois equipamentos idênticos são ligados

em paralelo, recebendo o mesmo sinal; já o outro conversor controla os dois motores à esquerda.

2.4.1 INVERSORES DE FREQUÊNCIA ABB ASC800

Os dois inversores de frequência, citados anteriormente, são do fabricante ABB S.A. da série industrial ASC800 conversores de frequência para baixa tensão, de 0,55 a 5600KW. Esses equipamentos são projetados especificamente para aplicações industriais em situações extremas de utilização. Normalmente, podem ser adquiridos em modo completo ou em módulos, de acordo com a necessidade. Para determinação de qual inversor comprar, algumas informações são essenciais para o dimensionamento e a definição do equipamento, visando o fornecimento das melhores condições comparando custo x benefício; esses dados são: tensão de alimentação; potência do motor; número de polos do motor; tipos de carga a serem acionadas; número de partidas por hora; ciclo de trabalho; eficiência e taxa de redução do redutor acoplado ao conjunto; velocidade máxima de trabalho do conjunto mecânico; entre outros.



Figura 16: Inversores de frequência ABB, linha ACS800.
Fonte: Catálogo ABB S.A. (2010).

Quando adquiridas as unidades completas da ABB, o grau de proteção mínimo fornecido é o IP21. As instruções de instalação dos inversores desse fabricante isentam o consumidor da necessidade de utilização de painéis, armários ou estruturas adicionais, quando o grau de proteção está coerente com o ambiente de instalação; essas questões serão esclarecidas no item 2.6 Grau de Proteção. Para os inversores utilizados nesse sistema, o grau de proteção IP21 não é

suficiente devido à localização em ambiente agressivo, por isso os dispositivos são mantidos em centro de carga, isolados em painéis preparados para acondicionamento dos mesmos.



Figura 17: Inversores de frequência ABB, unidades construídas em armários.
Fonte: Catálogo ABB S.A. (2010).

A figura 17 exemplifica um inversor de frequência instalado em armário.

Os inversores são acessados no local via interface, sendo que o console de programação viabiliza algumas possibilidades, dentre elas, destaca-se: parametrização do equipamento; cópia de parâmetros para outros dispositivos equivalentes; assistente de arranque (passo-a-passo) e assistência on-line (sendo necessário acesso à rede internet). Através da interface, podem ser visualizadas as seguintes informações: velocidade do motor, frequência, corrente, binário, potência, referências, tensão de barramento CC, tensão de saída, temperatura no dissipador, horas de operação, quilowatts hora e armazenamento das últimas 64 falhas.

As principais características associadas ao *hardware* do dispositivo fornecido pela ABB são:

- Montagem mural
- Grau de protecção IP21
- Desenho compacto
- Bobina de reactância de filtragem de harmónicas no interior
- Protecção da rectificação de entrada
- Chopper de travagem (nos chassis R2-R3; R4 apenas a 690 V)
- Condensadores e ventoinha de refrigeração de longa duração
- E/S extensíveis, programáveis com entradas isoladas galvanicamente
- Três slots de E/S e de extensão de fieldbus no interior
- Consola de programação alfanumérica, multilingue com assistente de arranque
- Grandes terminais de potência que permitem o uso de uma vasta gama de tamanhos de cabo

Figura 18: Inversores de frequência ABB, características de *hardware*.
Fonte: Catálogo ABB S.A. (2010).

Os aparelhos da linha ASC800 contêm um módulo E/S extensível, conforme descrito na figura 18. Constituído por canais analógicos e digitais, esse módulo permite a inclusão de controles, como, por exemplo, o controle de temperatura. Observando a situação da máquina retomadora, nela é utilizada uma entrada digital para o comando de liga/desliga, uma saída digital para o alarme de defeito e uma entrada analógica para o pedido de velocidade.

Durante a realização dos testes e a implantação do projeto proposto no presente trabalho, foi realizada a parametrização de mais um sinal analógico (4 a 20mA), no entanto, de saída, com as informações do sinal de controle de velocidade aplicados nos motores acionados pelo inversor de frequência. Maiores informações sobre essa alteração podem ser verificadas no Capítulo 4, Resultados e Discussões. Essas entradas e saídas estão ligadas ao armário do CLP, sendo duas delas em um cartão de I/O digital e as outras duas em um cartão I/O analógico. Sobre o CLP, outras informações podem ser verificadas no item 2.7 Controlador Lógico Programável.

A figura 19 exhibe o esquema de ligação das entradas e saídas do inversor de frequência. São três entradas analógicas: diferencial, tensão modo comum ± 15 V, isoladas galvanicamente como um grupo; sendo uma $\pm 0(2)$ a 10 V, resolução 12 bit; e as outras duas $0(4)$ a 20 mA, resolução 11 bit. E duas saídas analógicas: $0(4)$ a 20 mA, resolução 10 bit. Além dessas, há sete entradas digitais isoladas

galvanicamente como um grupo (podem ser divididos em dois grupos), com tensão de entrada 24VCC e tempo de filtragem (HW) 1 ms; sendo três saídas digitais (relés): contato de comutação, 24VCC ou 115/230VCA, com corrente contínua máxima de 2A; referência saída de tensão: $\pm 10\text{ V} \pm 0.5\%$, máxima de 10 mA; saída auxiliar de potência de alimentação: $+24\text{ V} \pm 10\%$, máxima de 250 mA.

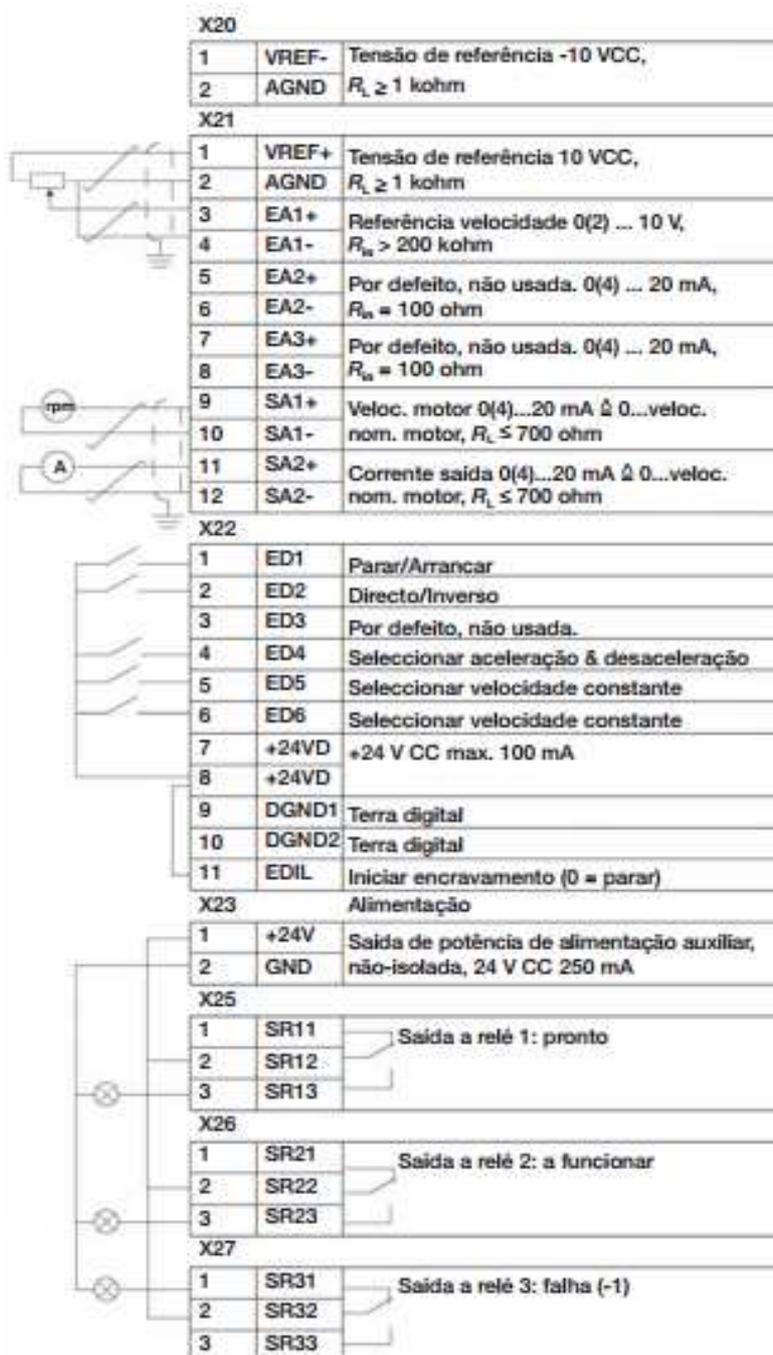


Figura 19: Inversores de frequência ABB, entradas e saídas.
Fonte: Catálogo ABB S.A. (2010).

A título de esclarecimento, ressalta-se que o inversor de frequência não necessita de controle externo, do CLP por exemplo, já que, o dispositivo é capaz de funcionar independentemente de controle externo. A interligação com o CLP ocorre devido às interferências com a lógica de funcionamento do pátio de retomada como um todo, considerando a sequência de intertravamentos e necessidade de visualização das informações e controle, tanto através da Interface Homem Máquina (IHM) embarcada no retomador, quanto com o Sistema Supervisório utilizado na sala de controle da planta de extração mineral. Esse assunto será tratado no item 2.8 Sistemas Supervisórios.

2.5 REDUTORES

Redutores são aparelhos mecânicos utilizados para alterar a velocidade do acionador, os quais são constituídos de: eixos de entrada e saída; conjunto de engrenagens e rolamentos. Há diferentes tipos de redutores disponíveis no mercado, entre os quais cita-se: redução por engrenagens cônicas ou cilíndricas; coroa com parafuso de rosca sem fim etc.

Esses equipamentos trabalham com uma faixa de redução fixa, por exemplo 1:80, ou 1:1200, sendo que essa redução é realizada pelo conjunto de engrenagens. O contato entre as engrenagens com maior ou menor número de dentes altera a velocidade de transmissão. Os tipos de dentes das engrenagens podem ser: retos e helicoidais ou epicloidais. Os primeiros são mais simples e apresentam custo reduzido. No segundo caso, a transmissão de potência é realizada de maneira mais homogênea, sendo esses dentes utilizados em situações nas quais é necessária a diminuição de ruídos e vibração.

Salienta-se, ainda, que a redução da velocidade provoca um aumento no torque do eixo de saída do redutor. É importante ressaltar que nas aplicações nas quais o redutor é acoplado a motores com velocidade controlada por inversor de frequência, a carga do redutor deve ser considerada para evitar erros. No sistema de medição de posição de máquinas de pátio, a situação é exatamente a descrita anteriormente. Cada conjunto contém um redutor Flender, nº 166 609505 2-4, sendo $M_1 = 1340$ e $M_2 = 16,75$, através dessa informação é possível calcular o fator de redução.

$$F = \frac{M_1}{M_2}$$

Pode-se dizer, então, que o fator de redução:

$$F = \frac{1340}{16,75}$$

$$F = 80$$

$$1:80$$

2.6 GRAU DE PROTEÇÃO

Equipamentos fabricados para utilização em ambientes industriais recebem uma classificação quanto ao grau de proteção, chamada de selagem *Ingress Protection* (IP). A finalidade dessa classificação é a determinação dos locais onde o equipamento pode ser instalado, já que as indústrias, de modo geral, possuem ambientes agressivos. Nessa medida, equipamentos instalados em locais cuja agressividade não seja compatível com a robustez dos mesmos leva a redução da vida útil do item.

A classificação IP possui três números: o primeiro diz respeito à proteção contra poeira; o segundo à proteção contra água; e o terceiro, nem sempre utilizado, a impactos mecânicos. O Quadro 1 demonstra os critérios para definição do grau de proteção de equipamentos, considerando os três aspectos citados anteriormente.

Quadro 1: Classificação IP

Primeiro número IP – Proteção contra objetos sólidos

0	Nenhuma proteção
1	Proteção contra objetos sólidos até 50 mm. (ex.: toque acidental pela mãos de pessoas)
2	Proteção contra objetos sólidos até 12 mm. (ex.: dedos de pessoas)
3	Proteção contra objetos sólidos até 2,5 mm. (ex.: ferramentas e fios)
4	Proteção contra objetos sólidos até 1mm. (ex.: ferramentas, fios e pequenos fios)
5	Proteção contra entrada limitada de poeira. (permitido depósito não prejudicial)
6	Proteção total contra poeira

Segundo número IP – Proteção contra líquidos

0	Nenhuma proteção
1	Proteção contra quedas verticais de gotas de água. (ex.: condensação)
2	Proteção contra água pulverizada até 15° da vertical
3	Proteção contra água pulverizada até 60° da vertical
4	Proteção contra água pulverizada em todas as direções - permitido ingresso limitado
5	Proteção contra jatos de água de baixa pressão em todas as direções - permitido ingresso limitado
6	Proteção contra inundação temporária - permitido ingresso limitado. (ex.: uso em decks de navios)
7	Proteção contra efeitos da imersão entre 15 a 100 cm
8	Proteção contra longos períodos de imersão sob pressão

Terceiro número IP – Proteção contra impactos mecânicos (normalmente omitido. Este terceiro número não faz parte da EC 60529)

0	Nenhuma proteção
1	Proteção contra impactos de 0,225 joules - Ex.: objeto de 150g caindo de 15 cm de altura
2	Proteção contra impactos de 0,375 joules - Ex.: objeto de 250g caindo de 15 cm de altura
3	Proteção contra impactos de 0,5 joules - Ex.: objeto de 250g caindo de 20 cm de altura
4	Proteção contra impactos de 2,0 joules - Ex.: objeto de 500g caindo de 40 cm de altura
5	Proteção contra impactos de 6,0 joules - Ex.: objeto de 1,5kg caindo de 40 cm de altura
6	Proteção contra impactos de 20,0 joules -Ex.: objeto de 5kg caindo de 40 cm de altura

Fonte: MGI TECH (2016).

2.7 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Programmable Logic Controller (PLC) ou, em português, Controladores Lógicos Programáveis (CLP), são dispositivos eletrônicos capazes de armazenar programas, executar funções específicas descritas e apontar soluções para diferentes cenários, de acordo com dados recebidos ou monitorados pelo próprio dispositivo. Os CLPs foram aplicados, a princípio, em 1968, na Hydronic Division da empresa General Motors, devido à necessidade de simplificação de alterações a cada troca de linha de produção. Antes, os painéis elétricos de comando utilizavam relés para definição da lógica, o que, conseqüentemente, tornava a instalação grande, havia inúmeros pontos de defeito, demora na alternância dos circuitos, altos custos, baixa confiabilidade etc. (FRANCHI; CAMARGO, 2009).

Ainda conforme Franchi e Camargo (2009), os CLPs podem ser considerados computadores robustos que executam instruções específicas em aplicações industriais. Eles são projetados para operar em ambientes agressivos. Com o passar do tempo e a evolução da tecnologia utilizada nesses dispositivos, alguns autores denominam o equipamento de *Programmable Controller* (PC), já que, atualmente, são utilizados para funções mais complexas do que as funções lógicas utilizadas na concepção do item.

Atualmente, os CLPs são amplamente utilizados, tanto em ambientes industriais como também em aplicações residenciais. Além da redução dos preços, outras vantagens são evidentes, por exemplo, a flexibilidade na alteração das instruções lógicas descritas no programa armazenado no dispositivo; a sinalização de defeito; o sistema compacto; a alta confiabilidade; etc. O Quadro 2, inserido na sequência, apresenta outros exemplos de características dos CLPs aliados às suas vantagens:

Quadro 2: CLP, características e benefícios.

Características do sistema com CLP	Benefícios
Uso de componentes de estado sólido	Alta confiabilidade
Memória programável	Simplifica mudanças Flexibiliza o controle
Tamanho reduzido	Necessita de um espaço mínimo para instalação
Microprocessador	Capacidade de comunicação Alto nível de performance Alta qualidade dos produtos Possibilidade de trabalhar com muitas funções simultaneamente
Contadores/ temporizadores via <i>software</i>	Facilidade para alterar presets Elimina <i>hardware</i>
Controle de relés via <i>software</i>	Reduz custo <i>hardware</i> / cabeamento Redução de espaço
Arquitetura modular	Flexibilidade para instalação Facilmente instalado Redução de custos de <i>hardware</i> Expansibilidade
Variedades de interfaces de I/O	Controle de uma grande variedade I/O Elimina um controle dedicado
Estações remotas de I/O	Elimina cabeamentos longos
Indicadores de diagnóstico	Reduz tempo de manutenção Sinaliza a operação correta/ incorreta no sistema de controle
Interfaces modulares de I/O	Facilita a manutenção Facilita o cabeamento
Variáveis de sistema alocadas na memória de dados	Facilita gerenciamento/ manutenção Podem ser colocadas na forma de um relatório de saída

Fonte: Adaptação Franchi e Camargo (2009, p. 28).

2.7.1 ARQUITETURA EM CLP

Algumas das características dos CLPs variam de acordo com o fabricante, por exemplo, número de entradas e saídas, tamanho e , conectividade. No entanto, pode-se considerar que os dispositivos partem do princípio de funcionamento exposto no diagrama de blocos apresentado na figura 20:

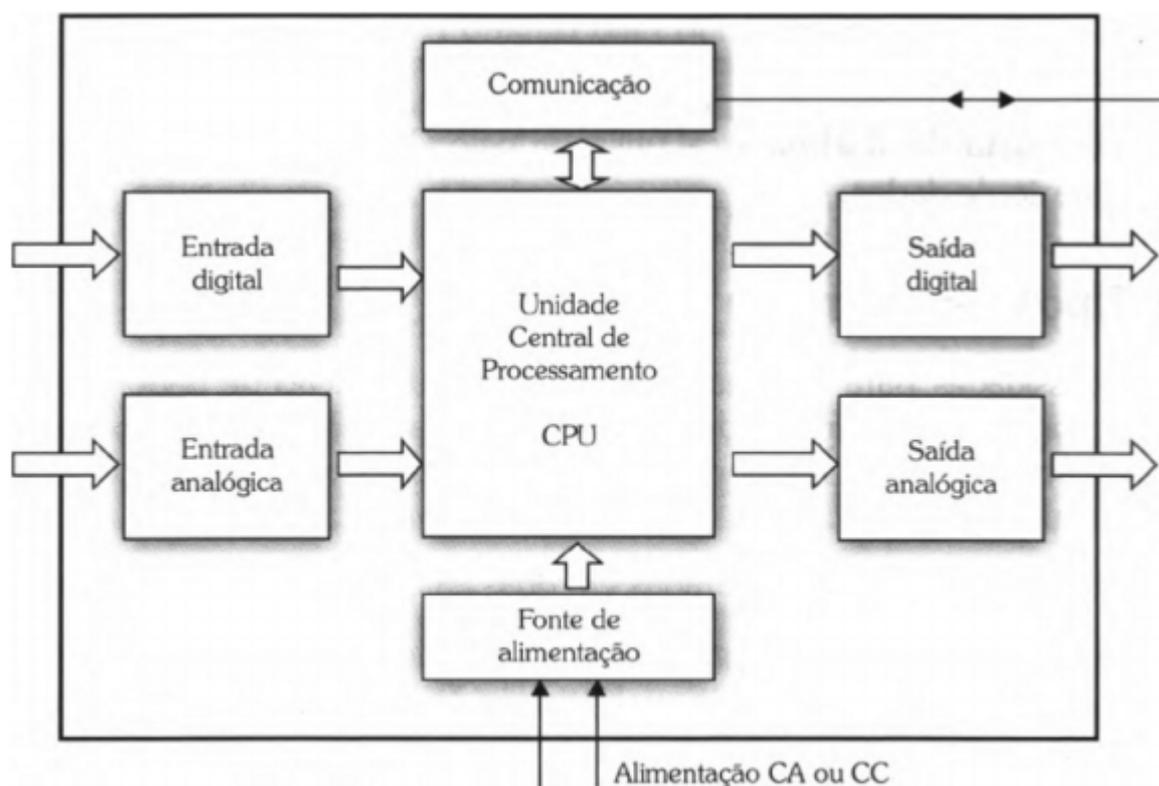


Figura 20: CLP, diagrama de blocos.
Fonte: Franchi e Camargo (2009, p. 31).

A Unidade Central de Processamento (CPU) executa os códigos de programação armazenados no CLP, gerenciando as tarefas e monitorando os dados de sensores/transdutores enviados para o dispositivo. A CPU também pode executar instruções *on-line* solicitadas via rede de comunicação. A comunicação pode ocorrer de diferentes formas, as possibilidades variam de acordo com modelo e fabricantes.

Para funcionamento da Unidade Central de Processamento é necessária a alimentação. O bloco Fonte de alimentação da figura 20 exhibe a conexão a uma fonte externa de energia. Os níveis de tensão variam de acordo com as necessidades especificadas pelo fabricante e também com o número de cartões ligados a mesma fonte de energia.

Para monitoramento das condições do sistema que está sendo controlado são utilizadas entradas digitais e/ou analógicas, por meio das quais chegam informações de sensores e transdutores instalados em campo. As saídas, que também podem ser digitais ou analógicas, são utilizadas para o acionamento de atuadores em campo. As saídas são geradas pela CPU, de acordo com os dados disponibilizados ao CLP. Ademais, são utilizadas memórias para armazenamento da sequência lógica, dos dados, dos estados das bobinas, da data, do tempo etc.

2.7.2 MODICON QUANTUM SCHNEIDER ELECTRIC

A máquina de pátio retomadora, utilizada para aplicação do sistema de medição de posição de máquinas de pátio, tem seu controle realizado por CLP fabricado pela empresa Schneider Electric. O modelo dos cartões é da linha Modicon Quantum, ilustrado na figura 21:



Figura 21: CLP, *Backplane* com cartões da linha Modicon Quantum.
Fonte: Schneider Electric (2016).

A Schneider Electric fornece as informações listadas abaixo sobre os cartões de CLP da linha utilizada nesta pesquisa:

- 5 linguagens IEC como padrão: LD, ST, FBD, SFC, IL;
- Sistema multitarefa de alto nível;
- Capacidade de memória de até 7 Mb utilizando extensões PCMCIA;
- Especialmente concebido para aplicações de controle de processo com módulos com revestimento protetor, E/S intrinsecamente seguros e um vasto catálogo de módulos compatíveis;
- Processadores de segurança e módulos de E/S;
- Soluções de espera em sincronismo de elevado desempenho Plug & Play com teclado numérico LCD para monitoração local;
- Várias portas incorporadas (porta USB, porta Ethernet TCP/IP com servidor Web, Modbus Plus e pelo menos uma porta serial Modbus) no painel frontal;
- Conectividade em rack para Profibus-DP;
- Automação de sistemas elétricos (IEC 104, DNP 3, IRIG-B, DCF).

A linha Modicon Quantum oferece uma CPU bem equilibrada de forma a disponibilizar um desempenho máximo, desde instruções booleanas a pontos flutuantes.

Os cartões utilizados na retomadora objeto deste estudo são: CPS que é a fonte de alimentação; o CPU que contém a lógica; os CRP que são cartões de comunicação remota; o NOE para comunicação Ethernet; o CRA também para comunicação remota, ACI para entradas analógicas, DAI para entradas digitais, DAO saída digital, sendo normalmente entre 16 e 32 entradas/ saídas. O protocolo de comunicação utilizado é o TCP/IP.

2.7.3 PROGRAMAÇÃO DO CLP

A maioria dos fabricantes de CLPs fornece *softwares* para programação dos cartões. Esses programas facilitam a visualização dos estados das bobinas e da lógica; de forma geral, simplificam a programação e a compreensão de lógicas.

Para o desenvolvimento do sistema de medição de posição de máquinas de pátio foi utilizado o *software* Concept em linguagem ladder, também desenvolvido pela Schneider Electric. Há possibilidade de programação de 5000 linhas lógicas em

cada cartão CPU, nos quais podem ser inseridos nove contatos e uma bobina por linha. Os registros das variáveis foram organizadas da seguinte maneira:

- 400000 Saídas analógicas;
- 100001 Entradas digitais;
- 300001 Entradas analógicas;
- 000001 Saídas digitais.

Ou seja, para programação de um contato de entrada analógica, utiliza-se o registro 300001, em seguida 300002, 300003, 300004 e, assim, sucessivamente. Essa definição é realizada pelo próprio fabricante. Também é possível inserir nomes, detalhes e observações nos contatos, no entanto, essa descrição é opcional, enquanto o registro numérico é obrigatório para o desenvolvimento da lógica.

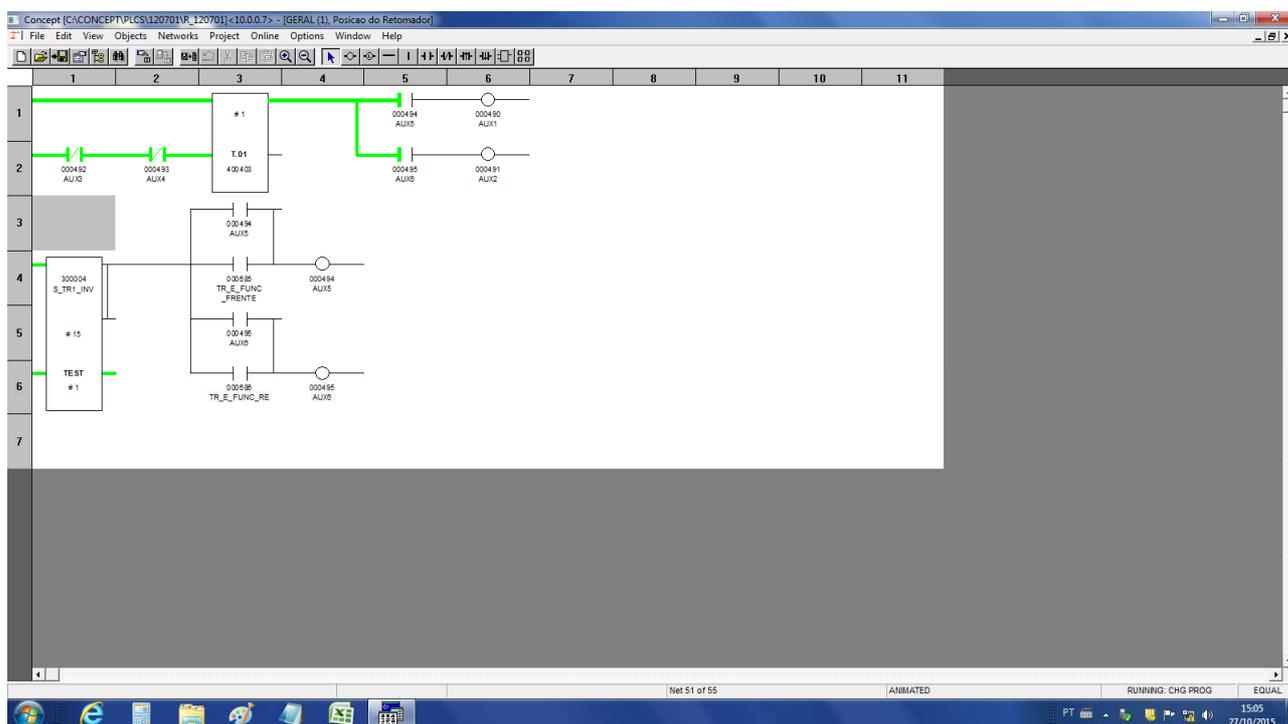


Figura 22: Concept, Schneider Electric.

A figura 22 expõe a interface utilizada pelo Concept com um exemplo de programação em *ladder*.

2.8 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

Os sistemas supervisórios, do inglês *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), são utilizados para monitoramento e gerenciamento de processos automatizados. Os sistemas supervisórios são capazes de capturar e armazenar dados do processo produtivo; efetuar análises de tendência; gerar alarmes; efetuar operações remotas; gerar gráficos e relatórios; entre outras tarefas.

Os primeiros sistemas supervisórios funcionavam através da utilização de telemetria para monitorar estados de corrente, os quais representavam estados de dispositivos utilizados nos processos produtivos. As sinalizações eram feitas através de lâmpadas e indicadores simples. Com o passar do tempo, a evolução da tecnologia nas áreas de computação e automação tem propiciado o desenvolvimento de *softwares* cada vez mais completos, com ambientes amigáveis e intuitivos, capazes de executar operações complexas.

Atualmente, os supervisórios funcionam conectados a rede de automação; a comunicação entre o *software* e os CLPs acontece em tempo real, de maneira que os dados apresentados na interface estejam sempre atualizados, tornando o monitoramento eficaz. O CLP recebe as informações dos elementos sensores instalados em campo para monitoramento das variáveis de relevância do processo de produção. O dispositivo CLP também é responsável pelo controle dos atuadores, dessa forma, a comunicação entre o *software* SCADA e o CLP garante que seja possível a visualização total do processo. A figura 23 apresenta a utilização de um sistema supervisório para controle da planta.

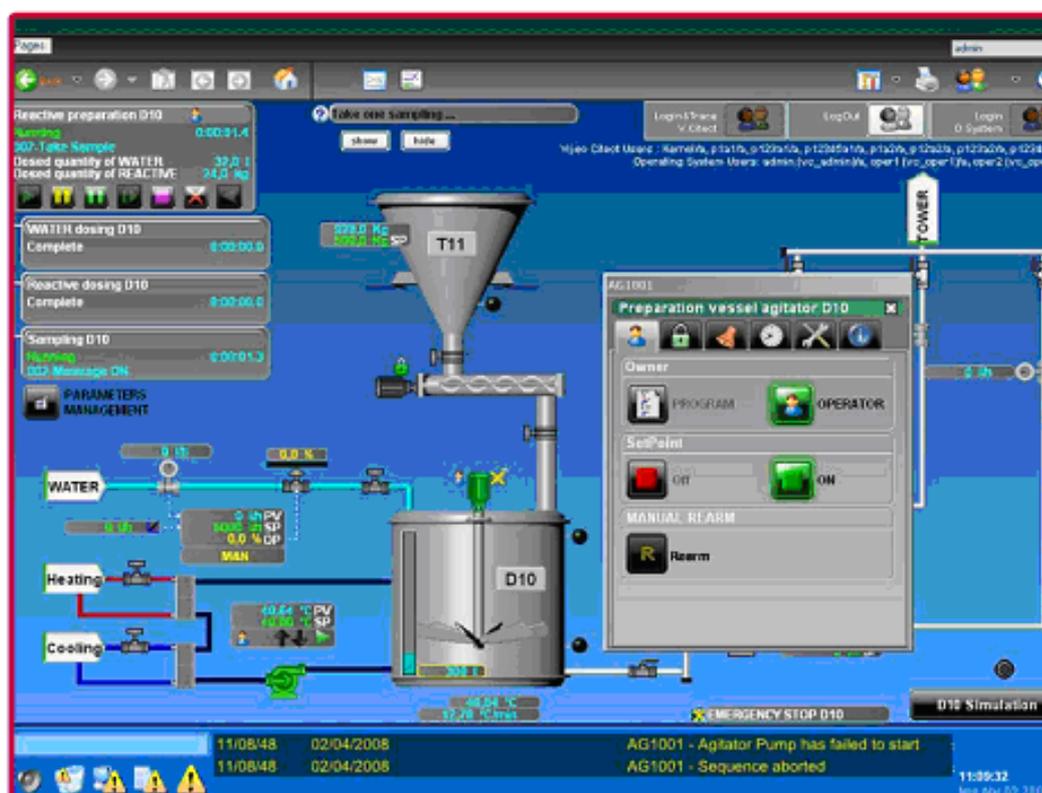


Figura 23: Citect SCADA, exemplo de aplicação.
Fonte: Schneider Electric (2015).

2.8.1 CITECT SCADA

O sistema supervisor utilizado durante os testes aplicados neste estudo foi o Citect SCADA, *software* desenvolvido pela empresa de mesmo nome, Citect, adquirida em 2006 pela Schneider Electric. O cicode é a linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento de supervisórios no Citect SCADA. Essa linguagem tem características que se assemelham a Pascal. Por meio dela, é possível executar funções complexas e simultâneas.

O catálogo do produto fornecido pela empresa descreve os benefícios da aplicação do Citect SCADA, quais sejam:

- **Eficiência Engenharia:** Oferece a capacidade de gerar bibliotecas de equipamentos, permitindo a criação de gráficos correspondentes e componentes de banco de dados. Com uma interface intuitiva gráfica do usuário e as capacidades inatas de um projecto de arranque, com bibliotecas de equipamentos, os engenheiros podem criar novos projetos em questão de horas, ao invés de dias ou semanas.
- **Full-redundância para a arquitetura confiável:** Na automação de fábrica e outras aplicações de missão crítica, falha de hardware pode levar à perda de produção e pode resultar em situações potencialmente perigosas. Redundância de SCADA Especialista Vijeo Citect tolerará a falha em qualquer lugar em seu sistema, sem perda de funcionalidade ou desempenho.
- **Olhar intuitivo e sente:** simplificado modelos para entregar uma aplicação e recursos que se alinham com outras aplicações de software comum para fornecer familiarizado experiência do usuário tempo de execução mais moderno. Também em popular, resolução de tela larga e menus que ajudam rapidamente acesso à informação.
- **Análise de Processos Intuitiva:** Uma ferramenta de análise de processo e visualização intuitiva que fica diretamente no sistema SCADA, proporcionando uma história completa de sua planta, proporcionando conhecimentos práticos para o operador mais rápido e melhorar a sua eficiência e produtividade.
- **Optimizar a sua energia:** Com um planejador embutido gerenciar processo e energia através de trazer informações sobre energia no contexto do seu processo

Figura 24: Citect SCADA, benefícios.
Fonte: Schneider Electric (2015).

2.9 ENCODERS

Encoders são dispositivos eletromecânicos utilizados para monitoramento de posição ou velocidade em equipamentos com partes móveis. Esses dispositivos são comercializados em diferentes tamanhos, preços e níveis de precisão, a fim de atender os diversos tipos de demanda e aplicação. Ademais, os *encoders* podem ser relativos, quando indicam apenas o deslocamento, ou seja, a diferença entre a posição final e a posição inicial; ou absolutos, quando apresentam a posição real do elemento monitorado.

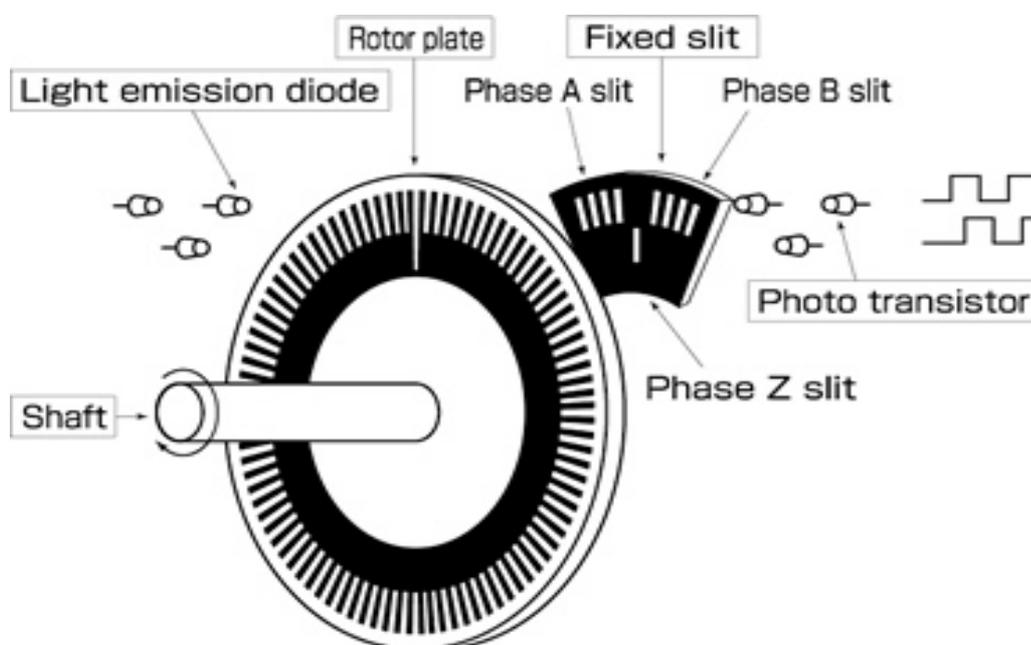
Esses dispositivos funcionam como sensores a partir da contagem de pulsos gerados através do deslocamento da estrutura ou da rotação em torno de seu próprio eixo. Cada pulso representa certa distância angular percorrida, e a variação do tempo entre os pulsos indica a velocidade. O sinal digital é proveniente dos pulsos que estimulam um sensor óptico ou emissores infravermelhos, dependendo

da construção do dispositivo. Quanto maior o número de pontos de medição, maior a geração de pulsos e, conseqüentemente, há um aumento na precisão dos valores medidos.

Conforme descrito por Junior (2013), o funcionamento dos *encoders* incrementais dá-se através de um sensor fotoelétrico que, instalado à frente de uma fonte de luz, reconhece pontos opacos ou transparentes de um disco posicionado entre o sensor e a fonte de luz. Por meio da rotação desse disco, os pontos opacos e transparentes alternam, excitando o sensor fotoelétrico. O sinal reconhecido pelo sensor é transmitido a uma placa eletrônica no *encoder*, capaz de se comunicar externamente. Grande parte dos *encoders* incrementais tem um segundo disco utilizado na determinação do sentido, ou ainda um terceiro disco para a determinação de uma referência, um ponto de partida zero.

Entre as desvantagens na utilização desse tipo de elemento, destaca-se: a necessidade de uso de contador externo; a possibilidade de perda de informações e de dados advindos de queda de energia; a leitura não precisa e inexata sob condições de ruído ou sujeira no disco óptico (JUNIOR, 2013).

A figura 25 destaca um esquema simplificado do *encoder* incremental:



Incremental Encoder Simplified Structure

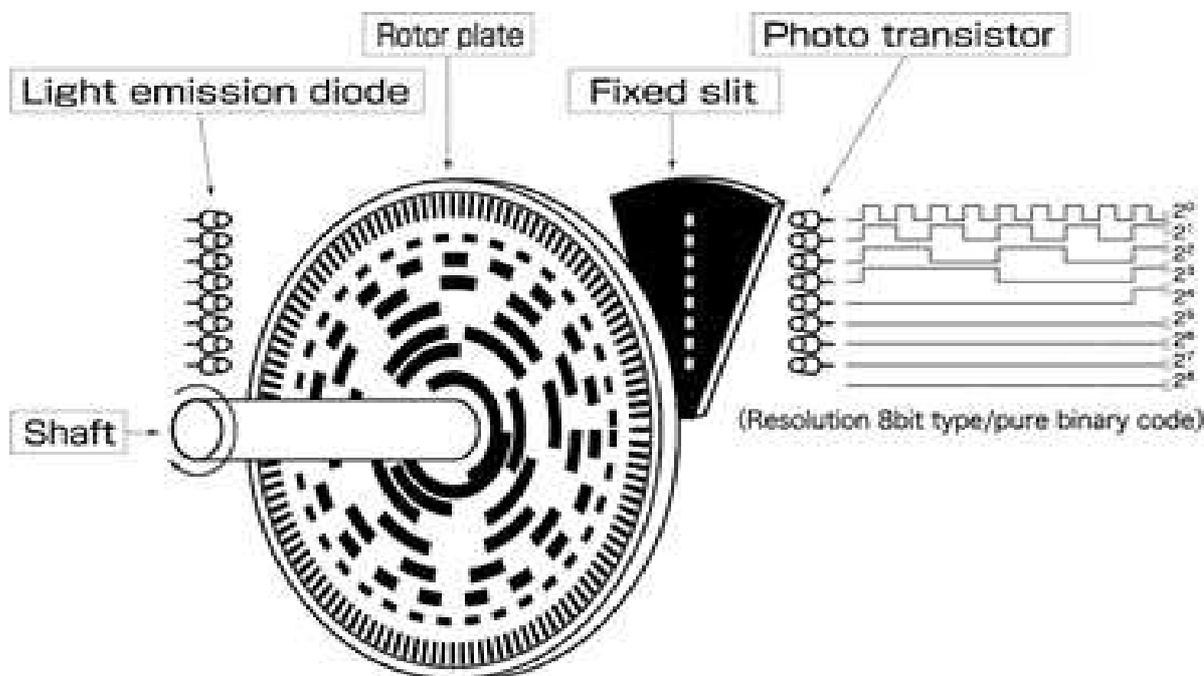
Figura 25: Estrutura simplificada de um *encoder* incremental.

Fonte: TAMAGAWA (2016).

Em se tratando do *encoder* absoluto, não há a necessidade de contador externo. O *encoder* absoluto, conforme descrito por Junior (2013, p. 44):

apresenta um disco codificado em n canais, sendo que cada canal apresenta uma série de intersecções opacas e transparentes. Assim, formando uma única codificação binária para cada posição [...]. A palavra digital formada na saída do *encoder* absoluto é normalmente implementada num formato chamado: código Gray. A sequência binária clássica pode ser usada, contudo esta pode causar grandes erros com apenas a falha de leitura de um bit. Já a sequência 45 imposta no código Gray não apresenta este problema, pois ela garante que durante a mudança de uma posição para outra, seja qualquer a posição do *encoder*, apenas um bit será alterado, assim, se houver uma falha de leitura de bit, o erro será amenizado neste caso. A Figura 2.13 mostra de forma esquemática a diferença entre a sequência binária e o código de Gray. Com a evolução na sequência, o código Gray altera um bit por vez sendo que o código binário pode alterar tanto apenas um quanto mais de um.

Em vista disso, apresenta-se a figura 26, na qual se expõe um diagrama simplificado do *encoder* absoluto. Já a Tabela 3, na sequência, apresenta o Código Gray, citado anteriormente.



Absolute Encoder Simplified Structure

Figura 26: Estrutura simplificada *encoder* absoluto.

Fonte: TAMAGAWA (2016).

Tabela 3: Sequência binária e de Gray

Decimal	Binário	Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

Fonte: Adaptação Junior (2013, p. 45).

Esses elementos apresentam vantagens relacionadas à precisão em *encoders* absolutos, à linearidade e ao fato de serem programáveis. Sobre as desvantagens, questões como a dificuldade de definir a direção, a necessidade de acoplamento mecânico com o objeto monitorado e a necessidade de uma estrutura para utilização do método são apontadas. Além disso, são necessárias fontes de 24 V, utilização de várias entradas digitais e controle externo.

Outra desvantagem a ser destacada é a inviabilidade de aplicação em locais com muita poeira e material mineral acumulado, como o caso de pátios de homogeneização. Contudo, há poucas opções de produtos que desempenham a mesma função. Em vista dessa restrição, esses sensores são utilizados para verificação da posição de máquinas de pátio, no entanto, o funcionamento é comprometido devido às condições ambientais. Nesses casos, os *encoders* param de girar, deslizando sobre a estrutura, o que ocasiona a parada da geração de pulsos, provocando a indicação incorreta de posição e de velocidade. Além disso, a incrustação de minério na estrutura do elemento também gera problemas como a perda dos sinais ópticos, mesmo quando a estrutura ainda está girando.

2.10 CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL: INTEGRAIS DEFINIDAS

Considere uma função $y = f(x)$, contínua em um intervalo fechado $[a,b]$.
Subdividindo o intervalo em pontos, obtem-se o conjunto:

$$\{x_0 = a, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n = b\}$$

Definindo pontos $\{c_1, c_2, c_3, \dots, c_{n-1}, c_n\}$, de maneira que,

$$\begin{aligned} c_1 &\in [a, x_1]; \\ c_2 &\in [x_1, x_2]; \\ &\dots; \\ c_n &\in [x_{n-1}, b]. \end{aligned}$$

e formando a soma:

$$S = f(c_1)\Delta x_1 + f(c_2)\Delta x_2 + \dots + f(c_n)\Delta x_n = \sum_{i=1}^n f(c_i)\Delta x_i$$

Pode-se dizer que esta é a soma integral da função f , no intervalo $[a,b]$. A figura 27 representa graficamente a situação apresentada. Note que para $f > 0$ em $[a,b]$, a soma integral é a soma das áreas dos retângulos.

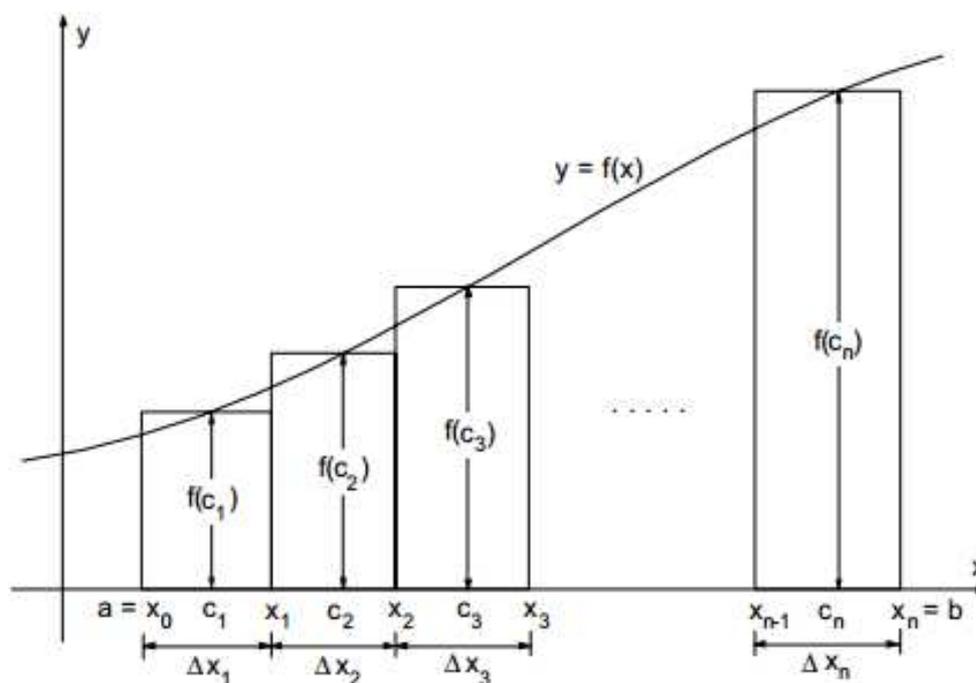


Figura 27: Cálculo Avançado, definição de integral

Fonte: Flemming e Gonçalves (2006).

Pode-se concluir de maneira simplificada, que a integral definida de f de a até b é o número real:

$$\gamma = \int_a^b f(x) dx = \lim_{\Delta \rightarrow 0} S = \lim_{\text{máx} \Delta x_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n f(c_i) \Delta x_i$$

Neste trabalho para medição da posição de máquinas de pátio, é utilizada a definição de integral apresentada. Sendo a posição da retomadora, o número real que se deseja encontrar, o qual é obtido através da somatória dos pontos da função velocidade gerada pelo inversor de frequência. Sendo Δx_i o menor possível, no caso, 0,01 segundos.

3. METODOLOGIA

Primeiramente, realizou-se uma pesquisa exploratória, a fim de verificar a existência de pesquisas com os mesmos objetivos e a possibilidade de aplicá-las e/ou resignificá-las de maneira generalizada no contexto estudado. A segunda parte da pesquisa envolve aspectos mais práticos, haja vista que foi proposta uma técnica, a qual foi aplicada em campo, sendo os resultados foram observados, testados e levantados para resolução do problema existente antes delineado.

Observando a metodologia científica proposta e comparando com as classificações de pesquisa descritas por Fonseca (2002), pode-se dizer que, quanto ao procedimento, esta é uma Pesquisa-Ação, ou seja, houve a interferência clara e planejada do pesquisador a fim de alterar uma realidade existente. Conforme Fonseca (2002, p. 34):

A pesquisa-ação pressupõe uma participação planejada do pesquisador na situação problemática a ser investigada. O processo de pesquisa recorre a uma metodologia sistemática, no sentido de transformar as realidades observadas, a partir da sua compreensão, conhecimento e compromisso para a ação dos elementos envolvidos na pesquisa.

A formulação da proposta para solução do problema de medição de posição de máquinas de pátio foi desenvolvida seguindo a metodologia PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), ferramenta da qualidade, difundida mundialmente como método de resolução de problemas. Essa técnica também recebe o nome de Ciclo PDCA, Ciclo de Deming, Ciclo de Shewhart ou Ciclo PDSA (*Plan-Do-Study-Act*).

A metodologia escolhida foi desenvolvida na década de 30 por Walter A. Shewhart, engenheiro americano, reconhecido na área de gestão da qualidade também pelo desenvolvimento do Controle Estatístico da Qualidade. O Ciclo PDCA popularizou-se na década de 50 através da ênfase adotada por William Edwards Deming, estatístico americano influente no Controle de Qualidade Moderno. Após a segunda guerra mundial, Deming aplicou as técnicas do Ciclo de Shewhart em sua passagem pelo Japão, onde contribuiu de maneira significativa para reestruturação das organizações.

O Ciclo é composto de quatro etapas, quais sejam: planejar, executar, checar e padronizar. Na primeira fase, planejar, intenta-se definir, conhecer e compreender

o problema, analisar as causas e propor um plano de ação de contramedida às causas principais. O segundo passo seria executar, o que ocorre de acordo com o levantamento realizado no plano de ação. Já o terceiro passo, checar, envolve a confirmação da efetividade das ações; nesse ponto, caso percebida ineficácia da solução, o ciclo volta ao primeiro passo. Por fim, o quarto passo indica a padronização, ou seja, a eliminação efetiva das causas e a revisão das atividades para manutenção da situação em conformidade com o esperado. Esse método apresenta as características de um ciclo, a fim de ressaltar a importância da melhoria contínua.

Na figura 28 ilustra-se o ciclo PDCA descrito e as etapas de aplicação:

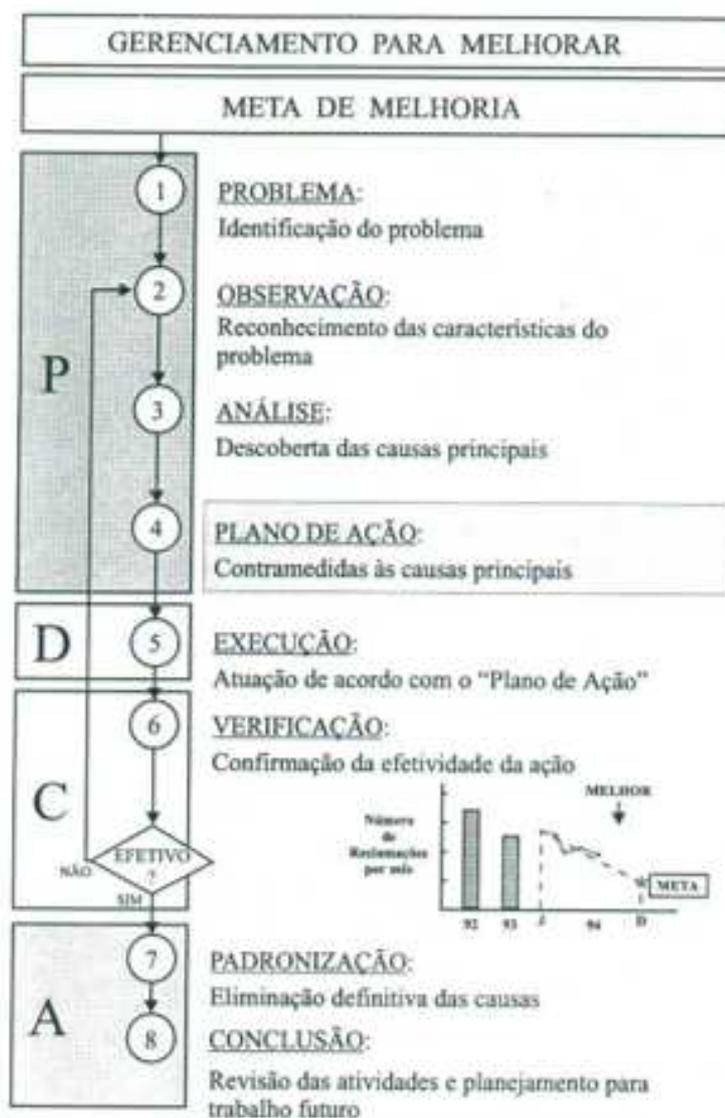


Figura 28: Ciclo PDCA, as etapas para aplicação.
Fonte: Apostila Fosfótil (1999).

Diante do exposto, este trabalho, desenvolvido a princípio de maneira teórica, foi aplicado, a fim de realizar testes e comprovar a viabilidade do sistema de medição de posição para máquinas de pátio. Os testes foram desenvolvidos em uma mineradora de grande porte, multinacional, que atua em Minas Gerais, na região do Alto Paranaíba, no seguimento de fertilizantes. O equipamento utilizado durante os testes foi uma retomadora do tipo ponte, cujas características, especificadas a seguir, são disponibilizadas pelo fabricante ISOMONTE:

- Capacidade: 2.500 T/hora,
- Minério Retomado: Fosfato,
- Peso: 450 T,
- Vão entre trilhos: 39,7 metros,
- Rodas das caçambas: Duas, do tipo "Cell Less",
- Potência Instalada: 480 KW,
- Sistema de Comando: Controlador Lógico Programável,
- Sistema de Comunicação Máquina/Pátio: Rádio,
- Motorização: Carros e translação da retomadora em C.A.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos durante a realização do estudo anteriormente exposto, bem como as discussões necessárias para o aprimoramento do trabalho. A organização e a sequência dos dados foi definida de acordo com a metodologia PDCA, aplicada para solução do problema delineado.

4.1 PLANEJAMENTO

O planejamento do trabalho constituiu a etapa com maior duração de tempo. Acredita-se que isso se deva à necessidade de uma boa análise da situação, com foco no desenvolvimento da solução, evitando retrabalhos que poderiam causar perdas, tanto em relação a custos, como também em relação à segurança e danos ambientais.

4.1.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A demanda de solução do problema de medição de posição das máquinas de pátio foi definida pelos gestores da mineradora, onde a pesquisa foi realizada, uma vez que a falta de informação da posição de máquinas de pátio era considerada um problema crônico. Assim, definiu-se que o estudo seria iniciado em um piloto, com base na retomadora 01 (Cf. figura 29).

Para melhor compreensão do problema, foi levantado um breve histórico da situação, através de entrevistas com os funcionários. Conforme relatado, o processo produtivo da mineradora teve início no fim da década de 70, sendo que, nessa época, as atividades no pátio de homogeneização eram realizadas sem o conhecimento da posição das máquinas de pátio. Em 2006, ocorreu uma reforma na retomadora 01; durante o *retrofit*, foi instalado um sistema de medição de posição por meio de *encoders*, contudo, esse sistema nunca funcionou efetivamente. Durante algum tempo, foram pesquisadas alternativas e realizadas alterações no sistema, no entanto, em 2007, devido à comprovação da ineficiência desse sistema, os *encoders* foram desativados e retirados da retomadora, que permaneceu sem sistema de medição.



Figura 29: Retomadora 01, piloto do sistema de medição de posição em máquinas de pátio.

4.1.2 ANÁLISE DO FENÔMENO

Os *encoders* instalados em 2006 na retomadora 01 foram desativados alguns anos antes do início desta pesquisa, de forma que não foi possível levantar dados atualizados sobre o funcionamento dos mesmos; em sua maioria, as informações foram obtidas através de entrevistas com os trabalhadores que estavam presentes no período do *retrofit* da retomadora 01. Alguns vestígios das instalações antigas dos *encoders* puderam ser verificados em campo, como: condutores, fontes de 24 V e alguns cabos ainda não tinham sido retirados. Esses cabos foram úteis para referência da dimensão das instalações necessárias para o funcionamento dos *encoders*.

Durante a análise do fenômeno, foram definidas as metas a serem alcançadas: erro aceito de até 2,00%, custo de até R\$ 100.000,00 e tempo de conclusão de um ano, sendo que esse prazo terminou em abril de 2016.

4.1.3 ANÁLISE DO PROCESSO

Tendo em vista as entrevistas realizadas com os funcionários que estavam presentes no período de implantação dos *encoders*, elaborou-se um Diagrama de Ishikawa (Cf. figura 30) para definição das causas influentes e, em seguida, delimitou-se as causas mais prováveis, a fim de definir a causa raiz para, então, propor a solução que mitigasse essa interferência.



Figura 30: Diagrama de Ishikawa, causas influentes.

Analisando as causas possíveis, a medida referente à operação do sistema foi excluída, pois o sistema estava operando corretamente, não havendo problemas de calibração, por exemplo. A falta de treinamento, descrita em mão de obra, também foi excluída, pois, mesmo quando instalados por empresa especializada, os *encoders* não funcionavam; após instalação foram feitos contatos com assistência técnica, mas, ainda assim, não se obteve sucesso. Em método foi citada a instalação errada, essa causa foi excluída pelos mesmos motivos descritos anteriormente: mesmo sendo instalados por empresa especializada, os *encoders*

não funcionavam; após instalação foram feitos contatos com assistência técnica, ainda assim, os dispositivos não funcionaram.

No quesito material, foi cogitada a hipótese de deterioração do material do *encoder*, no entanto, segundo funcionários entrevistados, os equipamentos mantiveram a mesma aparência desde o momento que foram instalados, não havia sinais de deterioração. Para máquina, foi citado *encoder* de qualidade ruim; essa possibilidade foi rejeitada pelos funcionários entrevistados devido às características apresentadas pelo equipamento, que tinha uma aparência robusta.

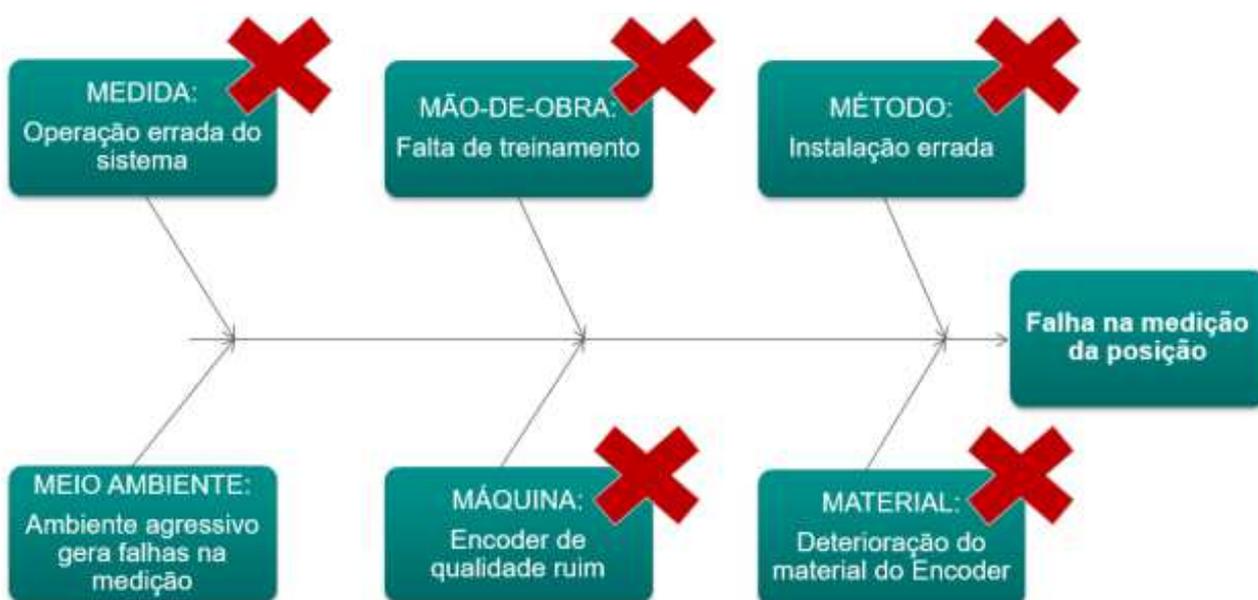


Figura 31: Diagrama de Ishikawa, causas prováveis.

Por fim, conforme pode ser observado na figura 31, foi analisada a possível causa influente advinda do meio ambiente, referente ao local de instalação com características severas. De acordo com o relato dos funcionários, lama e poeira agregavam-se à roda do *encoder*, que deveria girar sobre o trilho. Devido à aderência desse material, o *encoder* muitas vezes deslizava, perdendo a rotação, conseqüentemente, pulsos, o que gerava medidas falsas. Observando a área, ainda é notável a agressividade do ambiente: figura 32. Sendo assim, a severidade do ambiente de instalação foi evidenciada como causa raiz para a falha na medição da posição através da utilização de *encoders*.



Figura 32: Retomadora 01, ambiente agressivo.

4.1.4 PLANO DE AÇÃO

Na etapa de definição do plano de ação, a determinação da estratégia de ação para resolução do problema foi estabelecida. A linha lógica seguida está apresentada no diagrama tipo árvore exposto na figura 33.

Partindo do problema definido anteriormente, foram listadas possíveis soluções. Essas foram verificadas, escolhidas ou rejeitadas conforme a viabilidade de aplicação. A primeira opção sugerida foi a instalação de um novo sistema com *encoders*; Entretanto, essa solução foi rejeitada devido ao alto custo e à possibilidade de permanência do erro. A segunda opção foi a criação de um sistema alternativo de medição de posição de máquinas de pátio; apesar das barreiras e das dificuldades no desenvolvimento de novos produtos e técnicas, essa solução apresentou uma melhor perspectiva de sucesso, portanto, foi selecionada.



Figura 33: Diagrama tipo árvore, estratégia de ação.

Ainda sobre a invenção de um sistema alternativo, foram analisadas três ideias para solução da falha na medição. A primeira proposta estava relacionada à contagem de pulsos gerados pela passagem da retomadora próximo aos batentes de uma transportadora de correia, monitorados por um sensor indutivo. Essa proposta apresenta um baixo custo, no entanto, foi descartada devido à pouca precisão. A segunda ideia se referia à contagem de voltas do enrolador de cabos, monitorado também por um sensor indutivo, acionado por batentes instalados no enrolador de cabos de força da máquina de pátio. Apesar do baixo custo, essa segunda opção também foi retirada devido à baixa precisão. A terceira ideia, destacada na figura anterior, refere-se ao tratamento do sinal de velocidade do avanço da retomadora. Aliando o baixo custo a uma precisão aparentemente maior que a esperada para as soluções idealizadas anteriormente, a terceira proposta foi definida como a melhor solução estratégica para o problema de falta de medição de posição das máquinas de pátio.

Utilizando a ferramenta de qualidade 5W2H, foi confeccionado um plano de ação propriamente dito para a delimitação das tarefas a serem executadas para implantar o projeto. Esse plano está exposto na figura 34. No caso, 5W2H são siglas

para as paravras do inglês *what, why, where, when, who, how e how much*, dessa maneira, são indicados, no plano de ação, o que deve ser feito, o motivo da ação, onde ela será executada, quando, por quem, como será a execução e qual o custo dessa ação.

O plano de ação foi realizado ao final da etapa de planejamento do Ciclo PDCA, de forma que foi possível prever mais realisticamente os passos para a execução do projeto. Salieta-se que, ainda assim ocorreram desvios, já que trabalhou-se com estimativas.

PLANO DE AÇÃO						
WHAT?	WHY?	WHERE?	WHEN?	WHO?	HOW?	HOW MUCH?
Criar nota e programar atividade para equipe de instrumentação de sistemas	Garantia da execução através da programação	Planejamento de manutenção	JUN	Pesquisador	Através do SAP	*
Desenvolvimento de um método alternativo de medição da posição de máquinas de pátio	Evitar a instalação de encoder	Lab. Automação e Retomador 01	JUN	Pesquisador	Visitas em campo e estudo teórico	*
Desenvolver cálculos matemáticos e dimensionamento de material para implantação do	Garantir o bom funcionamento do novo	Lab. Automação	JUN	Pesquisador	Levantamento de dados técnicos	*
Desenvolver programa em linguagem ladder para execução da lógica e cálculos definidos	Instalação do novo método de medição	Lab. Automação	JUN	Pesquisador	Utilizando o software Concept da Schneider	*
Lançar cabo da saída do inversor de frequência ao cartão de entradas e saídas analógicas do PLC	Instalação do novo método de medição	Retomador 01	JUN	Pesquisador	Requisição de cabo condutor	R\$ 50,00
Parametrizar o inversor de frequência responsável pelo movimento de avanço do retomador 01	Obter o sinal analógico de controle de velocidade dos	Retomador 01	JUN	Pesquisador	Definindo a nova configuração do inversor	*
Conferir dados de projeto com os equipamentos instalados no retomador 01	Garantir o bom funcionamento do novo	Retomador 01	JUN	Pesquisador	Analisando os dados de placa dos equipamentos	*
Criar lista de controle e comparação entre os valores medidos	Acompanhar o desempenho do novo sistema	Lab. Automação	JUL	Pesquisador	Utilizando o software Excel	*
Efetuar ajustes no programa utilizado no PLC	Garantir o bom funcionamento do novo	Lab. Automação	AGO	Pesquisador	Utilizando o software Concept da Schneider	*
Desenvolvimento de um método alternativo para resetar os valores no momento da passagem pela	Diminuir a necessidade de intervenção manual no	Lab. Automação e Retomador 01	SET	Pesquisador	Visitas em campo e estudo teórico da	*
Desenvolver batente para utilização ao longo do TC 08	Reset do sistema	Retomador 01	OUT	Pesquisador	Nota 1370441 Ordem 7913581	R\$ 1.000,00
Instalar suporte para sensor	Reset do sistema	Retomador 01	OUT	Pesquisador	Nota 1369272 Ordem 7905575	R\$ 100,00
Instalar sensor indutivo	Reset do sistema	Retomador 01	OUT	Pesquisador	Nota 1369271 Ordem 7906314	R\$ 1.000,00
Instalar batentes ao longo do TC 08	Reset do sistema	Retomador 01	NOV	Pesquisador	Nota 1397452 Ordem 7976374	R\$ 1.000,00
Inserir a indicação de posição no supervisor da usina	Visualização da posição do retomador 01 na sala de	Lab. Automação	DEZ	Pesquisador	Utilizando o software CitectSCADA	*

* Custo de mão de obra

Os valores descritos foram levantados informamente como metas não são os valores reais gastos.

Figura 34: Plano de ação, 5W2H.

4.2 EXECUÇÃO

A atividade foi inserida na carteira de serviços da equipe de Instrumentação de Sistemas, na empresa onde foram realizados os testes e a implantação do sistema de medição de máquinas de pátio. Veja a ordem de serviço apresentada na figura 35.

Modificar Manutenção Geral 7668687: cabeçalho central

Encerrar comércio

Ordem A 7668687 REALIZAR TESTES DE POSICIONAMENTO DA MAQ

REALIZAR TESTES DE POSICIONAMENTO DA MAQUINA NO PATIO.

- * CUMPRIR TODOS OS PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA;
- * REALIZAR ANALISE PRELIMINAR DE PERIGOS E RISCOS (APR).
- * SE NECESSARIO ABRIR PT E SOLICITAR APOIO DA SEGURANÇA DO TRABALHO.
- * LEMBRE-SE: VOCÊ POSSUI O DIREITO DE RECUSA.

OBS: TRABALHO EM ANDAMENTO COM A ESTAGIARIA DA AREA.

Stat.sist. LIB CNPA CAPC NOLQ SCDM ZPLA

DdsCabeç. Operações Componentes Custos Parceiro Objetos Dados adic.

Responsáveis

Gr.planej.	GP1 / CMT	Elet/Inst/Lab.Eltr	Nota	1270135
CenTrabRes	SEINE 03 / CMT	LABORATÓRIO D...	Custos	0,00 BRL
Planejador	RAFAELRR	Rafael Rodrigues Ribeiro	TipoAtvMnt	M1 Manutenção Co...
			CondInst	<input type="checkbox"/>
			Endereço	

Datas

InícioBase	02.06.2015 00:00	Prioridade	Essencial
Fim-base	00:00	Revisão	

Objeto de referência

LocInstal.	TA-120701	RETOMADOR 1800 T/H
Equipam.		
Conjunto		

1ª operação

Operação	REALIZAR TESTES DE POSICIONAMENTO DA MAQ	ChCál	Calcular trabalho
CtrTr/Ctro	TE / CMT	ChvContr	PM01
Trb.empr.	8,0 H	Número	1
Nº pessoal		Dur.Oper.	8,0 H

Figura 35: Ordem de serviço, testes de posicionamento de máquina de pátio.

Conforme até aqui exposto, idealizou-se o desenvolvimento de um método alternativo de medição de posição de máquinas de pátio retomadoras sem a utilização de *encoders*, partindo de conceitos físicos de velocidade, posição e deslocamento, expostos por teorias de cinemática, e utilizando a ferramenta de Cálculo Avançado: Diferencial e Integral. Ressalta-se, ainda, que este trabalho

partiu da seguinte hipótese: se feita integral dos gráficos de velocidade apresentados na saída dos inversores de frequência que comandam os motores responsáveis pelo movimento de avanço, de posse da área sob a curva, então seria possível saber a posição exata da máquina de pátio no instante t analisado. Em outros termos, através da integração das funções de velocidade apresentadas no sinal de saída dos inversores de frequência, que controlam a velocidade dos motores responsáveis pelo movimento de avanço, e com a área sob a curva dos gráficos plotados, seria então possível saber a posição exata da máquina de pátio no instante t analisado.

Em vista dessa hipótese e a partir da definição teórica da proposta, foi laçado um cabo entre uma das saídas analógicas do inversor de frequência até o cartão I/O analógica do CLP. O inversor foi parametrizado para enviar os dados de velocidade em sinal analógico, variando de 4 a 20 mA, sendo que zero corresponde a 4 mA e 100% a 20 mA. Foi criado um programa em linguagem *ladder*, utilizando o *software Concept* para viabilizar a realização automática e instantânea do monitoramento de posição através do CLP. No Controlador Lógico Programável, o sinal analógico gerado no inversor de frequência foi convertido para uma faixa de 0 a 4095, sendo que o segundo valor representa 100%.

O programa criado foi dividido em três partes: na primeira, o sinal de 0 a 4095, declarado como S_TR1_INV 300004, passa por um filtro realizado pelos blocos TEST que retiram da faixa os valores entre zero e 15, considerados ruídos nessa aplicação. O período de amostragem foi definido pelo bloco temporizador 0.01 segundos e armazenado no registrador 400403. Esse período foi determinado durante a execução do processo, sendo que, nessa execução, foram feitos testes com os valores 0,03 e 0,1. No entanto, chegou-se à conclusão, por meio da experimentação, que 0,01 seria a melhor opção, por apresentar a posição com uma precisão maior, por isso esse valor é utilizado diretamente no cálculo que determina a posição.

Nesse ponto, também foi analisado o sentido em que a máquina de pátio caminha, sendo consideradas duas possibilidades, já que a pilha é longitudinal: frente e ré. Caso o sentido seja frente, o programa passa para a segunda etapa, incremento; para ré, a terceira etapa executa o decremento da posição. A primeira parte do programa pode ser observada na figura 36:

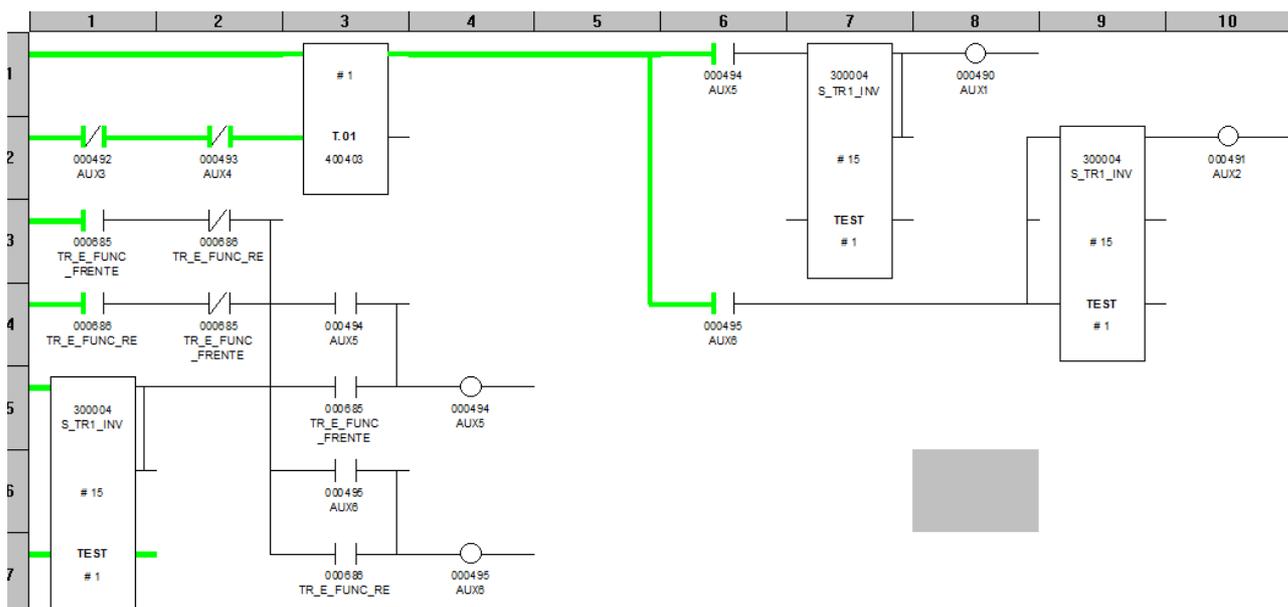


Figura 36: Primeira parte do programa original.

Após o desenvolvimento do projeto e a análise posterior das funções desempenhadas pelos blocos lógicos, concluiu-se que o programa estava com muitas redundâncias que não agregavam em relação à confiabilidade. Dessa maneira, foram retirados alguns contatos e blocos de TEST considerados desnecessários, chegando, por fim, ao programa descrito na figura 37:

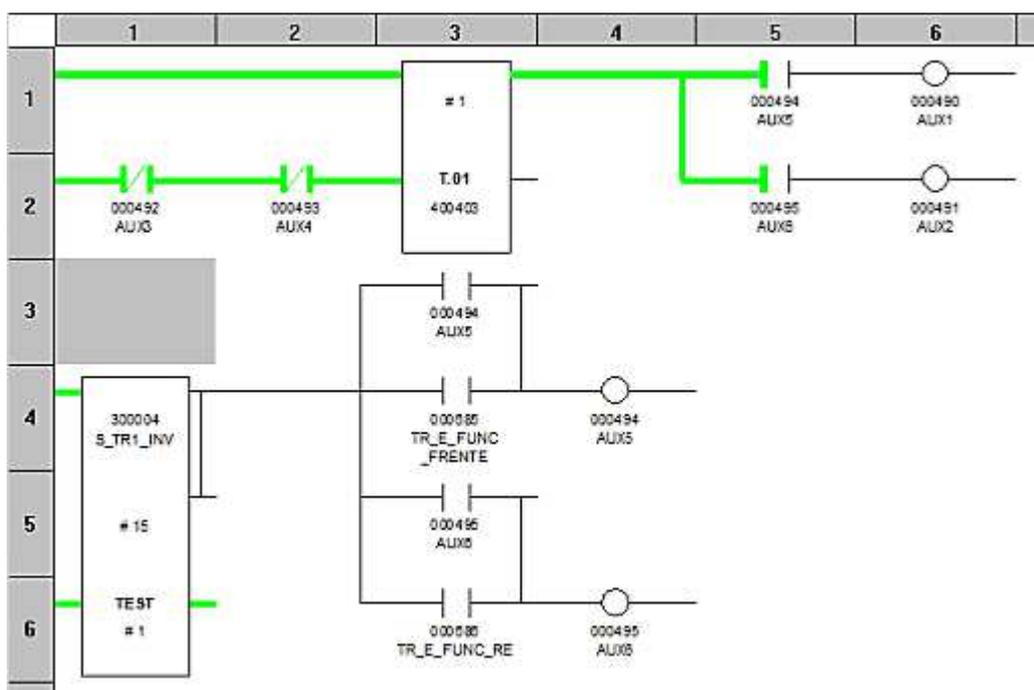


Figura 37: Primeira parte do programa.

Na segunda etapa, o bloco *equation data editor* foi utilizado para inserção de equação no CLP, conforme apresentado nas figuras 37 e 38. Esses blocos trabalham as variáveis como *float*, número real, armazenando-as em dois registros. Ao final do cálculo, bobinas auxiliares são acionadas para *reset* do bloco de temporizador inserido na primeira parte do programa, conforme exposto na figura 36.

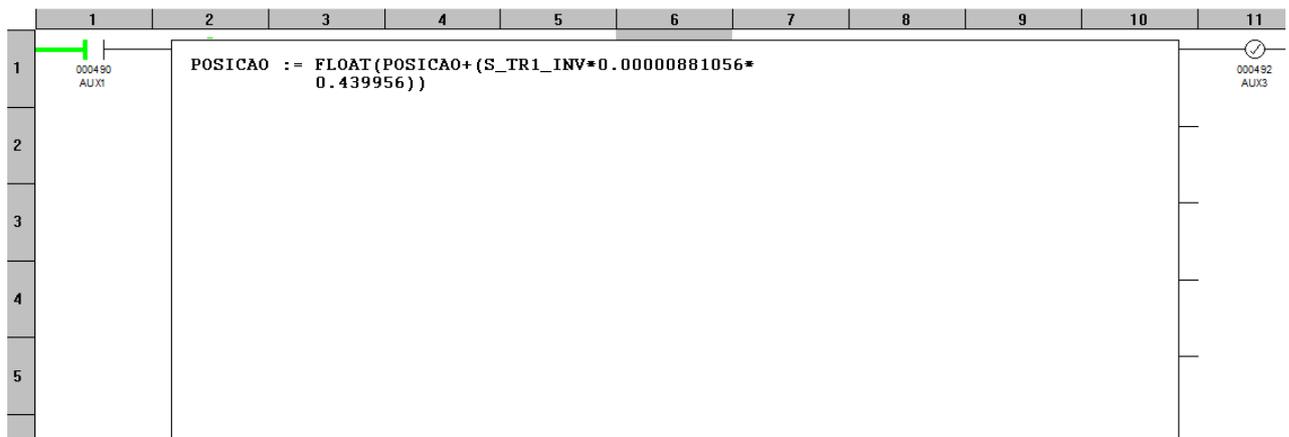


Figura 38: Incrementar a posição.

O bloco apresentado na figura 38 incrementa a posição, ou seja, é acionado quando o retomador está avançando, através da bobina auxiliar AOX5 000494. Já a figura 39 expõe os cálculos de decremento da posição, liberado pelo contato normalmente aberto AOX6 000495. Tanto a bobina AOX5 quanto a AOX6 selam os contatos de direção da máquina, TR_E_FUNC_FRENT 000685 e TR_E_FUNC_RE 000686, além de liberar as próximas *networks*.

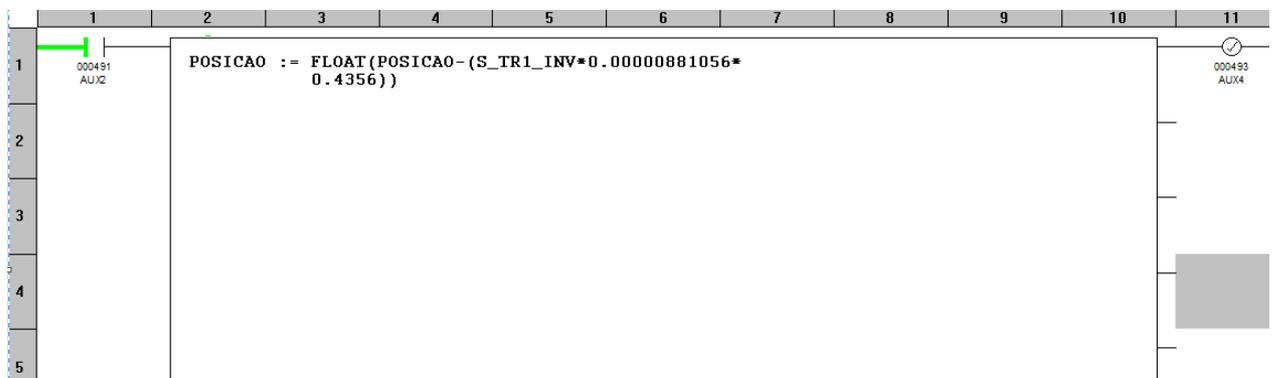


Figura 39: Decrementar a posição.

As equações presentes nas figura 38 e 39 representam a integração do sinal de velocidade gerado pelo inversor de frequência. Não foi utilizada a integral puramente, porém, o conceito está implícito. As equações efetuam a somatória dos valores instantâneos de posição, calculados através da multiplicação entre a velocidade, apresentada como S_{TR1_INV} , e o tempo de amostragem, sendo esse igual a 0,01 segundos.

Nas equações expostas nas figuras 38 e 39, pode-se observar também o valor 0,0000881056 multiplicando o sinal de velocidade monitorado pelo CLP. Esse valor é utilizado para transformar a unidade do sinal, o qual chega ao CLP de 4 a 20 mA, a entrada analógica enxerga uma variação de 0 a 4095, no entanto, deseja-se obter a posição em metros. Em vista disso, foi utilizado o valor da velocidade máxima alcançada pela retomadora 3,6079 m/s, em seguida executou-se uma regra de três:

$$\begin{aligned} & 4095 - 3,6079 \\ & S_{TR1_INV} - x \\ \\ x &= \frac{S_{TR1_INV} \cdot 3,6079}{4095} \\ x &= S_{TR1_INV} \cdot 0,000881056 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Nesse caso, S_{TR1_INV} é a velocidade na faixa de 0 a 4095 e x é a velocidade em m/s. Partindo dessa transformação, pode-se calcular a distância através da multiplicação entre a velocidade e o tempo, ou seja:

$$D = x \cdot 0,01$$

Substituindo a primeira equação na segunda,

$$\begin{aligned} D &= S_{TR1_INV} \cdot 0,000881056 \cdot 0,01 \\ D &= S_{TR1_INV} \cdot 0,0000881056 \end{aligned}$$

O *template* inserido na figura 40 foi utilizado para a realização de testes e a verificação da posição, da velocidade, da porcentagem de avanço e do sentido da máquina.

	Variable Name	Data Type	Address	Value	Set Value	Format	Disable	Cyclic Set	Animation Status
1	POSICAO	REAL	400409	31.9256		Real	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	VELOCIDADE	INT	300004	3279		Dec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	TR_AVANCO_AUTO	INT	400246	100		Dec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	TR_E_FUNC_FRENTE	BOOL	000685	Off		Bool	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	TR_E_FUNC_RE	BOOL	000686	On		Bool	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	AUX5	BOOL	000494	Off		Bool	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	AUX6	BOOL	000495	On		Bool	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 40: Template de acompanhamento da posição.

4.3 VERIFICAÇÃO

Durante quatro meses, foram realizados testes de funcionamento no sistema de monitoramento de posição da retomadora. Durante esse tempo, várias dificuldades foram encontradas, dentre elas, destaca-se: a alteração de operadores, isso porque o valor de posição usado como referência era o informado pelo operador, sendo assim, alterando o operador, alteram-se as percepções e os pontos de referência utilizados. Além dessa dificuldade, os erros causados pela incerteza de equipamentos mecânicos, como redutor, e, até mesmo, pelo escorregamento dos motores, foram maiores que o esperado, o que levou à necessidade de correção.

4.3.1 CORREÇÃO DO ERRO

Essa correção foi definida observando os dados experimentais, em seguida foi inserida nas equações de incremento e decremento anteriormente tratadas. Por fim, evidenciou-se que as correções aplicadas no movimento de avanço e recuo deveriam ser diferentes. Isso se deu devido às características de funcionamento da máquina, que tem avanços de no máximo 3 segundos e recua todo o pátio de 700 metros de uma só vez. Nessa medida, conforme avaliado nas figuras anteriores, o erro apresentado no avanço é corrigido multiplicando-se o fator de transformação da velocidade por 0,439956 e, para o movimento de recuo, o fator de correção é de 0,4356.

4.3.2 SUBSTITUIÇÃO DO CARTÃO DE CLP

No segundo mês de testes, o cartão de entradas analógicas do CLP, queimou. Quando isso ocorre, devido às características do cartão, todas as entradas enxergam o sinal em 100%, ou seja, 4095. Durante dez horas, o equipamento funcionou com esse problema, fazendo com que a posição indicada fosse incoerente, 8.164,30 metros, sendo que o pátio possui apenas 700 metros. Essa situação pode ser observada no Quadro 4, referente ao dia 21/07/2015.

O cartão 140 ACI 03000 foi substituído e a situação foi normalizada, a posição indicada no CLP voltou a ser a posição real. Pode-se dizer inclusive, que esse foi um erro externo, já que, a lógica do CLP continuou funcionando.

4.3.3 VERIFICAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DAS MEDIDAS

As correções citadas anteriormente, assim como as observações e os comentários, foram realizados com base nos dados levantados e descritos no Quadro 4, inserido a seguir. Os dados foram obtidos entre o dia 11/06/2015 e o dia 29/09/2015.

No quadro, são indicados o horário e a data das medições para ressaltar a alteração das pilhas de minério que estão sendo recuperadas pela retomadora. Usualmente, as pilhas levam cerca de 96 horas para serem retomadas, no entanto, podem ocorrer variações de acordo com a massa da pilha. Essas informações foram obtidas no setor de processos e beneficiamento.

Nas colunas seguintes, são apresentados o modo e o avanço em que a retomadora está operando. Há duas opções: o modo automático e o modo manual. No modo automático, o avanço de 0 a 100% indica o tempo que a retomadora recupera o minério em uma velocidade constante, sendo que 100% são 3 segundos de avanço. No modo manual, o avanço indica a velocidade real de avanço da máquina em uma faixa de 0 a 100%, nesse modo, o avanço só para após o operador, que está em campo, acionar o desliga.

As colunas da posição indicam a posição instantânea da retomadora em metros. Na primeira coluna, pode ser visualizada a posição relatada pelo sistema alternativo desenvolvido no CLP, já a segunda coluna apresenta a posição

checada pelo operador em campo, utilizando uma marcação ao lado do trilho da retomadora com precisão de 10 metros. Essa medição variava muito de acordo com a percepção do operador, por isso, conforme descrito anteriormente, essa forma de acompanhamento trouxe muitos problemas de incertezas, principalmente no início dos testes. Sendo assim, algumas ações foram adotadas para minimizar esse erro, por exemplo, combinar a referência de medição com todos os operadores e observar a alteração do turno indicada pelo horário na tabela de dados. Também foram realizados acompanhamentos em campo para verificar a precisão da medição de posição da máquina. Nessas inspeções, foram utilizadas trenas digitais para assegurar a medição. Por fim, notou-se que a precisão apresentada pela medição exposta no CLP era melhor que a informada pelos operadores. Nesse momento, o acompanhamento das medições, apresentado na tabela, foi suspenso.

As colunas seguintes assinalam a distância percorrida no movimento de avanço desde a medição anterior, sendo que a primeira coluna verifica a informação do sistema de medição indicada pelo CLP e a segunda pelo operador. Essa medição sofreu as mesmas interferências anteriormente descritas.

A coluna razão apresenta o resultado da divisão entre a posição instantânea informada pelo operador e a posição instantânea informada pelo CLP.

A seguir, está a coluna erro. Nessas células foram inseridos o erro entre a medição da posição instantânea medida pelo CLP e a informada pelo operador. Essa informação foi calculada através da fórmula:

$$E = \frac{M_p - M_o}{M_o}$$

Sendo E, o erro entre medidas, M_p a medida obtida pelo CLP e M_o a medida informada pelo operador. Salienta-se que próximo aos trilhos por onde a retomadora avança e recua, há sinalização da posição a cada dez metros, iniciando da posição 0 até a posição 700 metros.

Por fim, a coluna observações foi utilizada para inserção de comentários. Veja, na sequência, o Quadro 4:

Quadro 4: Testes de Funcionamento

DATA	HORA	MODO	AVANÇO	POSIÇÃO (m)		DISTÂNCIA (m)		RAZÃO	ERRO	OBSERVAÇÃO
				PLC	OPERADOR	PLC	OPERADOR			
11/06/15	13:38	Automático	-	2,1500	21,0	-	-	9,7674	-0,8976	Iniciando a Pilha.
11/06/15	14:31	Automático	-	4,3218	42,0	2,1718	21,0	9,7181	-0,8971	
11/06/15	15:45	Automático	-	5,9080	55,0	1,5862	13,0	9,3094	-0,8926	
16/06/15	15:06	Automático	80%	-54,4296	20,0	-60,3376	-35,0	-0,3674	-3,7215	Fim da pilha/ Multiplicada a constante por 10.
16/06/15	15:10	Automático	80%	0,0000	0,0	54,4296	-20,0	-	-	Forçado o zero no sistema.
16/06/15	15:15	Manual	80%	0,1080	0,1	0,1080	0,1	1,2039	-0,1694	Realização de testes fora de pilha.
16/06/15	15:20	Manual	80%	2,8562	1,1	2,7482	1,0	0,3816	1,6203	
16/06/15	15:22	Manual	50%	0,8173	-0,1	-2,0388	-1,2	-0,1223	-9,1734	
16/06/15	15:24	Manual	50%	0,0000	0,0	-0,8173	0,1	-	-	Forçado o zero no sistema.
16/06/15	15:26	Manual	50%	2,4881	1,3	2,4881	1,3	0,5024	0,9905	
16/06/15	15:28	Manual	40%	0,0545	0,0	-2,4336	-1,3	-0,3672	-3,7233	
16/06/15	15:30	Manual	40%	10,1909	4,8	10,1364	4,8	0,4710	1,1231	
16/06/15	15:34	Manual	40%	0,1683	0,2	-10,0226	-4,6	1,0693	-0,0648	

16/06/15	15:41	Automático	40%	0,3701	0,1	0,2018	-0,1	0,2702	2,7009	
16/06/15	15:43	Automático	40%	0,5631	0,2	0,1930	0,1	0,3552	1,8156	
16/06/15	15:45	Automático	40%	0,7815	0,3	0,2183	0,1	0,3967	1,5208	
16/06/15	15:51	Automático	40%	0,9971	0,4	0,2156	0,1	0,4112	1,4319	
16/06/15	15:55	Automático	40%	1,2103	0,5	0,2132	0,1	0,4214	1,3731	
22/06/15	09:00	Automático	70%	543,3840	385,0	542,1737	384,5	0,7085	0,4114	Iniciando a Pilha.
22/06/15	16:11	Automático	84%	597,4520	430,0	54,0680	45,0	0,7197	0,3894	
23/06/15	08:00	Automático	-	724,6340	545,0	127,1820	115,0	0,7521	0,3296	
25/06/15	09:30	Automático	-	745,0610	20,0	20,4270	-525,0	0,0268	36,2531	Não contabilizou o recuo.
25/06/15	09:30	Manual	-	20,0000	20,0	- 725,0610	0,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
29/06/15	10:15	Automático	72%	194,0740	230,0	174,0740	210,0	1,1851	-0,1562	Multiplicada a constante por 0,72.
29/06/15	16:38	Automático	78%	228,8970	274,0	34,8230	44,0	1,1970	-0,1646	
30/06/15	09:15	Automático	75%	317,2300	385,0	88,3330	111,0	1,2136	-0,1760	
30/06/15	11:45	Automático	76%	330,1480	400,0	12,9180	15,0	1,2116	-0,1746	
30/06/15	15:50	Automático	75%	353,1130	430,0	22,9650	30,0	1,2177	-0,1788	
01/07/15	09:13	Automático	88%	443,8510	544,0	90,7380	114,0	1,2256	-0,1841	

01/07/15	16:12	Automático	84%	485,8380	593,0	41,9870	49,0	1,2206	-0,1807	
02/07/15	14:00	Automático	84%	570,2479	690,0	84,4099	97,0	1,2100	-0,1736	Fim do pátio.
02/07/15	09:00	Manual	100%	-2,4352	10,0	-	-680,0	-4,1065	-1,2435	Fim da pilha.
03/07/15	10:00	Manual	-	5,0000	5,0	7,4352	-5,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
07/07/15	08:51	Automático	80%	118,8750	120,0	113,8750	115,0	1,0095	-0,0094	Multiplicada a constante por 1,21.
07/07/15	11:10	Automático	85%	133,1760	134,0	14,3010	14,0	1,0062	-0,0061	
07/07/15	13:05	Automático	77%	146,4230	148,0	13,2470	14,0	1,0108	-0,0107	Alteração de turno de operadores (Almoço).
07/07/15	16:10	Automático	87%	165,3470	169,0	18,9240	21,0	1,0221	-0,0216	Alteração de turno de operadores.
07/07/15	17:10	Automático	95%	172,4320	175,0	7,0850	6,0	1,0149	-0,0147	
08/07/15	09:20	Automático	90%	299,8850	305,0	127,4530	130,0	1,0171	-0,0168	
08/07/15	16:55	Automático	60%	349,7910	359,0	49,9060	54,0	1,0263	-0,0257	
09/07/15	09:08	Automático	100%	476,4250	485,0	126,6340	126,0	1,0180	-0,0177	
09/07/15	10:55	Automático	85%	489,7570	500,0	13,3320	15,0	1,0209	-0,0205	
09/07/15	15:51	Automático	90%	527,7630	540,0	38,0060	40,0	1,0232	-0,0227	

10/07/15	08:50	Automático	100%	634,6820	650,0	106,9190	110,0	1,0241	-0,0236	
10/07/15	15:50	Manual	-	-13,7010	3,0	- 648,3830	-647,0	-0,2190	-5,5670	Fim da pilha.
14/07/15	08:50	Automático	85%	5,9779	22,0	19,6789	19,0	3,6802	-0,7283	Realização de testes fora de pilha.
14/07/15	16:20	Automático	100%	11,4104	27,0	5,4325	5,0	2,3663	-0,5774	
14/07/15	16:20	Automático	100%	27,0000	27,0	15,5896	0,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
15/07/15	08:50	Automático	60%	95,9470	100,0	68,9470	73,0	1,0422	-0,0405	Alterada a constante.
15/07/15	13:35	Automático	45%	111,6630	115,0	15,7160	15,0	1,0299	-0,0290	Alteração de turno de operadores.
15/07/15	16:52	Automático	90%	131,8450	132,0	20,1820	17,0	1,0012	-0,0012	
16/07/15	09:13	Automático	85%	248,5420	256,0	116,6970	124,0	1,0300	-0,0291	
16/07/15	16:45	Automático	90%	304,0380	312,0	55,4960	56,0	1,0262	-0,0255	
17/07/15	09:05	Automático	70%	391,1450	400,0	87,1070	88,0	1,0226	-0,0221	
17/07/15	15:45	Automático	65%	422,2940	433,0	31,1490	33,0	1,0254	-0,0247	Parada da usina
18/07/15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O cartão de CLP de entradas analógicas queimou.
21/07/15	09:05	-	-	8164,3000	-	-	-	-	-	Incrementou 4095.

21/07/15	16:30	Automático	100%	2,9900	3,0	-	-	1,0033	-0,0033	Realização de testes fora de pilha.
21/07/15	16:42	Automático	100%	3,0355	3,0	0,0455	0,0	0,9883	0,0118	
21/07/15	16:51	Manual	100%	10,5270	12,0	7,4915	9,0	1,1399	-0,1228	
21/07/15	17:03	Manual	100%	2,9587	3,0	-7,5684	-9,0	1,0140	-0,0138	
21/07/15	17:07	Manual	40%	5,2098	7,0	2,2511	4,0	1,3436	-0,2557	
22/07/15	09:24	Manual	100%	15,0000	15,0	9,7902	8,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
22/07/15	09:26	Manual	100%	2,9480	0,1	-12,0520	-14,9	0,0339	28,4798	
22/07/15	09:28	Manual	100%	15,6777	15,0	12,7297	14,9	0,9568	0,0452	
22/07/15	09:30	Manual	-	15,0000	15,0	-0,6777	0,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
22/07/15	09:32	Manual	40%	3,2686	0,1	-11,7314	-14,9	0,0306	31,6859	
22/07/15	09:34	Manual	40%	15,3236	15,0	12,0550	14,9	0,9789	0,0216	
22/07/15	09:36	Manual	-	16,0000	16,0	0,6764	1,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
22/07/15	09:35	Automático	40%	17,0821	17,0	1,0821	1,0	0,9952	0,0048	
22/07/15	09:36	Automático	-	16,0000	16,0	-1,0821	-1,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
22/07/15	09:40	Automático	100%	17,6085	18,0	1,6085	2,0	1,0222	-0,0218	Segundo operador quase 18.

24/07/15	08:40	Automático	50%	72,2958	72,0	54,6873	54,0	0,9959	0,0041	Iniciando a Pilha.
24/07/15	11:20	Automático	80%	87,5495	87,0	15,2537	15,0	0,9937	0,0063	
24/07/15	16:40	Automático	70%	123,3300	126,0	35,7805	39,0	1,0216	-0,0212	
27/07/15	11:05	Automático	80%	544,3390	558,0	421,0090	432,0	1,0251	-0,0245	
27/07/15	16:45	Automático	80%	579,7260	591,0	35,3870	33,0	1,0194	-0,0191	
28/07/15	09:11	Automático	50%	-5,4708	10,0	-	-581,0	-1,8279	-1,5471	Fim da pilha.
28/07/15	09:11	Automático	50%	5,0000	5,0	10,4708	-5,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
03/08/15	08:55	Automático	75%	287,3950	290,0	282,3950	285,0	1,0091	-0,0090	Iniciando a Pilha.
03/08/15	16:20	Automático	85%	334,3950	339,0	47,0000	49,0	1,0138	-0,0136	
04/08/15	09:35	Automático	85%	439,6260	446,0	105,2310	107,0	1,0145	-0,0143	
04/08/15	16:25	Automático	75%	480,5090	487,0	40,8830	41,0	1,0135	-0,0133	
05/08/15	14:07	Automático	85%	619,8440	630,0	139,3350	143,0	1,0164	-0,0161	
06/08/15	10:00	Automático	85%	-2,4499	9,0	-	-621,0	-3,6737	-1,2722	Fim da pilha.
06/08/15	10:05	Automático	85%	9,0000	9,0	11,4499	0,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
11/08/15	09:00	Automático	70%	140,0500	140,0	131,0500	131,0	0,9996	0,0004	Iniciando a Pilha.
11/08/15	16:50	Automático	68%	182,2570	182,0	42,2070	42,0	0,9986	0,0014	

12/08/15	10:10	Automático	85%	291,1120	205,0	108,8550	23,0	0,7042	0,4201	
13/08/15	08:55	Automático	80%	441,3940	449,0	150,2820	244,0	1,0172	-0,0169	
14/08/15	09:00	Automático	80%	593,0070	604,0	151,6130	155,0	1,0185	-0,0182	
14/08/15	16:30	Automático	75%	642,9000	655,0	49,8930	51,0	1,0188	-0,0185	Fim do pátio.
17/08/15	15:00	Automático	75%	-4,3194	5,0	-647,2194	-650,0	-1,1576	-1,8639	Fim da pilha.
18/08/15	14:20	Manual	-	18,5000	18,5	22,8194	13,5	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
24/08/15	08:45	Automático	80%	524,2060	532,0	505,7060	513,5	1,0149	-0,0147	Iniciando a Pilha.
24/08/15	16:27	Automático	85%	571,3410	578,0	47,1350	46,0	1,0117	-0,0115	
25/08/15	08:52	Automático	85%	680,9630	690,0	109,6220	112,0	1,0133	-0,0131	Fim do pátio.
26/08/15	08:44	Automático	85%	-62,1808	-	-743,1438	-	-	-	O retomador foi recuado até a garagem.
28/08/15	10:25	Automático	85%	4,8109	16,0	66,9917	-	3,3258	-0,6993	O retomador foi posicionado no início da pilha.
28/08/15	10:25	Manual	-	16,0000	16,0	11,1891	0,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
31/08/15	09:30	Automático	85%	271,1700	279,0	255,1700	263,0	1,0289	-0,0281	Iniciando a Pilha.
31/08/15	16:48	Automático	75%	317,2570	325,0	46,0870	46,0	1,0244	-0,0238	
01/09/15	08:55	Automático	80%	424,6760	434,0	107,4190	109,0	1,0220	-0,0215	

02/09/15	08:55	Automático	85%	586,3910	598,0	161,7150	164,0	1,0198	-0,0194	
02/09/15	16:40	Automático	75%	640,5900	653,0	54,1990	55,0	1,0194	-0,0190	Fim do pátio.
03/09/15	10:00	Manual	-	-9,0814	-	- 649,6714	-	-	-	Fim da pilha.
08/09/15	14:20	Automático	63%	247,9160	265,0	256,9974	-	1,0689	-0,0645	Iniciando a Pilha.
09/09/15	09:25	Automático	75%	373,5700	392,0	125,6540	127,0	1,0493	-0,0470	
10/09/15	08:53	Automático	80%	534,8410	559,0	161,2710	167,0	1,0452	-0,0432	Fim do pátio.
11/09/15	10:10	Automático	80%	-26,8283	4,0	- 561,6693	-555,0	-0,1491	-7,7071	Fim da pilha.
11/09/15	10:20	Manual	-	4,0000	4,0	30,8283	0,0	1,0000	0,0000	Forçado o zero no sistema.
17/08/15	09:05	Automático	85%	383,5530	390,0	379,5530	386,0	1,0168	-0,0165	Iniciando a Pilha.
22/09/15	08:50	Automático	85%	30,1592	40,0	- 353,3938	-350,0	1,3263	-0,2460	Iniciando a Pilha.
22/09/15	09:05	Automático	85%	41,0000	41,0	10,8408	1,0	1,0000	0,0000	
23/09/15	09:05	Automático	75%	188,5270	190,0	147,5270	149,0	1,0078	-0,0078	
24/09/15	08:50	Automático	95%	332,4680	335,0	143,9410	145,0	1,0076	-0,0076	
25/09/15	09:05	Automático	85%	487,3240	490,0	154,8560	155,0	1,0055	-0,0055	
29/09/15	11:24	Automático	85%	0,3973	0,0	- 486,9267	-490,0	0,0025	396,3400	Fim da pilha.

4.3.4 ERRO ACUMULADO

A partir da análise dos resultados apresentados, verifica-se que o erro acumulado também é um problema no estudo, devido à utilização de uma somatória, isso porque os erros de inicialmente 0,01% somados inúmeras vezes tornam-se erros maiores, que tendem ao infinito, caso o sistema não seja reiniciado. Por isso, desenvolveu-se uma maneira de zerar esse erro em três posições do pátio de homogeneização.

Duas soluções para o problema do erro acumulado foram propostas. A primeira delas foi a utilização de um sensor indutivo no enrolador de cabos de acionamento da retomadora; nesse caso o *reset* pode ocorrer a cada volta ou seriam acumuladas 10 voltas, por exemplo, e, então, a posição seria corrigida. Esse sistema foi implantado, entretanto, os resultados obtidos não foram os esperados, já que se constatou uma pequena variação na velocidade de giro do enrolador, além de problemas de perda de dados no momento que o giro muda o sentido.

O programa em linguagem *ladder* utilizado para a contagem dos pulsos está apresentado na figura 41. Uma segunda tentativa de contagem dos pulsos mais simplificada pode ser analisada na figura 42. Já a figura 43 demonstra uma *network*, composta por um bloco de equações, capaz de calcular a posição da retomadora com uma precisão de apenas 7,4 metros.

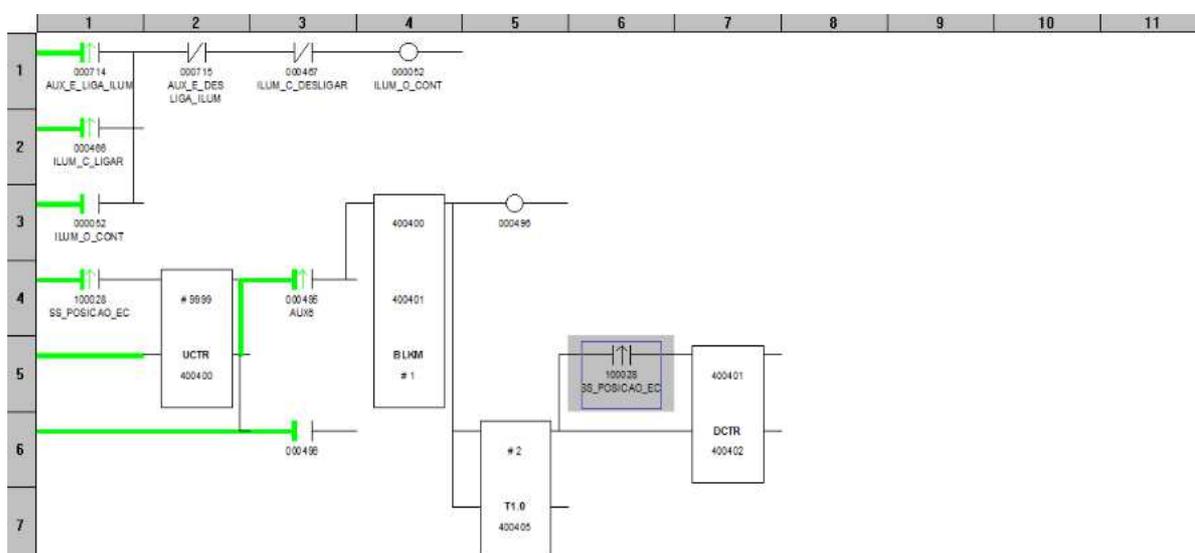


Figura 41: Contagem original de pulsos para *reset*.

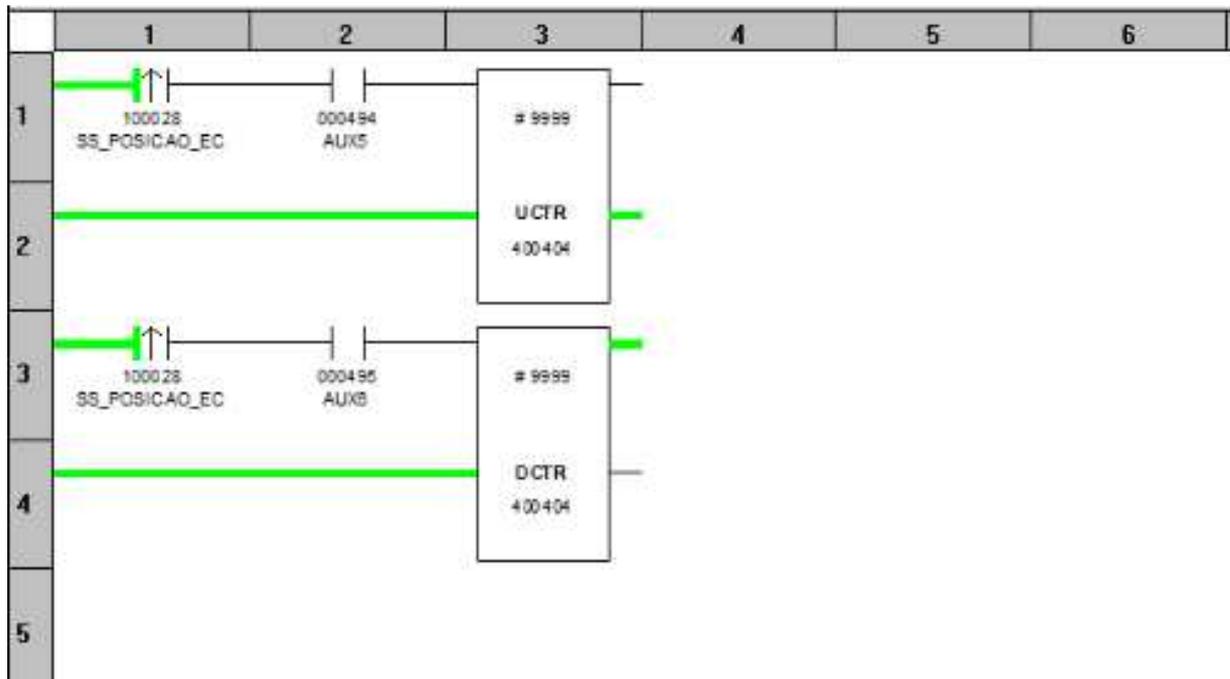


Figura 42: Contagem de pulsos para reset.

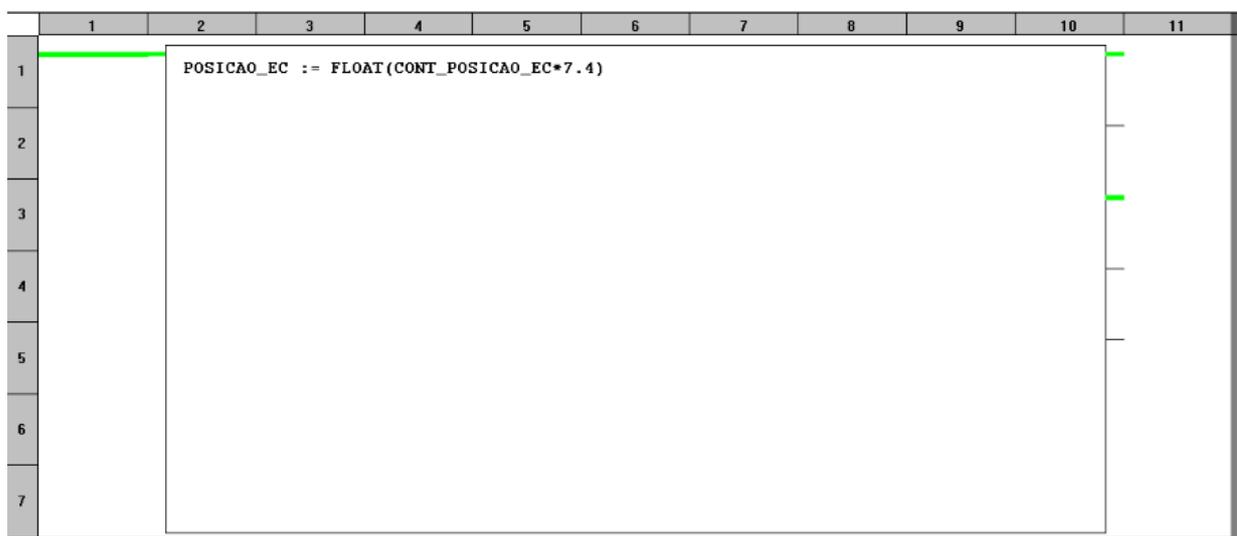


Figura 43: Cálculos de posição do enrolador de cabos.

Os valores medidos na experiência realizada durante uma semana, em outubro de 2015, estão descritos na Tabela 5:

Tabela 5: Reset no enrolador de cabos

DATA	HORA	MODO	AVANÇO	POSIÇÃO (m)			DISTÂNCIA (m)			ERRO PLC	ERRO EC	OBSERVAÇÃO
				PLC	OPERADOR	EC	PLC	OPERADOR	EC			
20/10/2015	08:58	Manual	-	19,055	26	14,8	-	-	-	-0,26712	0,756757	
20/10/2015	09:13	Manual	-	26	26	22,2	6,945	0	7,4	0	0,171171	Forçada a posição
20/10/2015	09:43	Manual	-	11,1152	10	7,4	-14,8848	-16	-14,8	0,11152	-0,26	
21/10/2015	14:00	Automático	70%	127,228	129	88,8	116,1128	119	81,4	-0,01374	-0,31163	
22/10/2015	08:55	Automático	68%	237,699	242	148	110,471	113	59,2	-0,01777	-0,38843	
22/10/2015	14:35	Automático	68%	273,222	280	177,6	35,523	38	29,6	-0,02421	-0,36571	
23/10/2015	14:21	Manual	-	-54,3371		0						Retomador na garagem
27/10/2015	08:54	Manual	-	10,9605	18	59,2	65,2976					Retomador no início do pátio
27/10/2015	10:36	Manual	-	18	18							

Na segunda solução proposta, o sensor indutivo foi fixado no piso da retomadora, sendo criados batentes ao longo do transportador de correia. A cada batente, a posição era corrigida. Um batente foi inserido na posição 18 metros; outro na posição 150 metros e outro na posição 300 metros. O programa completo em linguagem *ladder* para o reset nas três posições foi criado conforme figura 43:

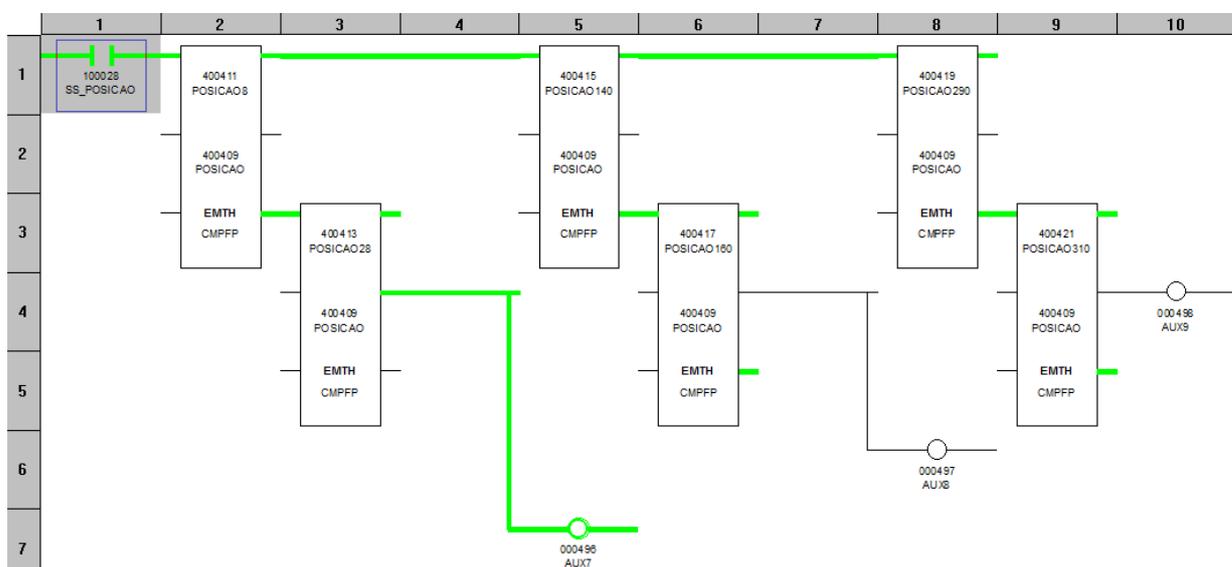


Figura 44: Reset através de batentes no transportador.

Na *network*, exposta pela figura 44, quando o contato do sensor indutivo é acionado por um dos batentes, são realizados testes utilizando a variável real POSICAO 400409. Caso o valor de posição esteja em um raio de dez metros da posição 18, 150 ou 300 metros, ele era corrigido para essa posição, na figura 45, pode ser observada a correção para o caso da posição 18.

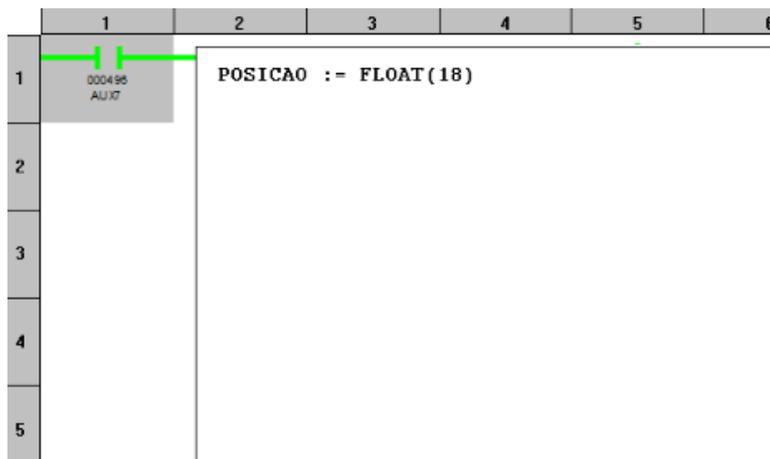


Figura 45: Correção da posição.

Para o programa desenvolvido, conforme a figura 43, não foi possível utilizar o bloco TEST, por se tratar de comparação de valores reais, por isso o bloco EMTH, na função CMPFP, foi utilizado. As funções foram observadas e testadas usando o *template* apresentado na figura 46:

	Variable Name	Data Type	Address	Value	Set Value	Format	Disable	Cyclic Set	Anima
1	POSICAO	REAL	400409	9.83261		Real	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	TR_AVANCO_AUTO	INT	400246	100		Dec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	S_TR1_INV	INT	300004	0		Dec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	TR_E_FUNC_FRENTE	BOOL	000685	Off		Bool	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	TR_E_FUNC_RE	BOOL	000686	Off		Bool	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	AUX5	BOOL	000494	Off		Bool	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	AUX6	BOOL	000495	Off		Bool	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	POSICAO8	REAL	400411	8		Real	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	POSICAO28	REAL	400413	28		Real	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	AUX7	BOOL	000496	Off		Bool	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	POSICAO140	REAL	400415	140		Real	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	POSICAO160	REAL	400417	160		Real	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	AUX8	BOOL	000497	Off		Bool	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	POSICAO290	REAL	400419	290		Real	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	POSICAO310	REAL	400421	310		Real	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	AUX9	BOOL	000498	Off		Bool	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
29							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
30							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
31							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
32							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
33							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
34							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
35							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
36							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 46: *Template* para testes.

Durante a realização de testes, foram adicionados dois blocos de contagem de pulsos. Os resultados obtidos estavam de acordo com o esperado: o programa conta um pulso no sensor, um pulso de correção e atualiza a indicação para 18, 150 ou 300 metros, conforme demonstrado na figura 47:

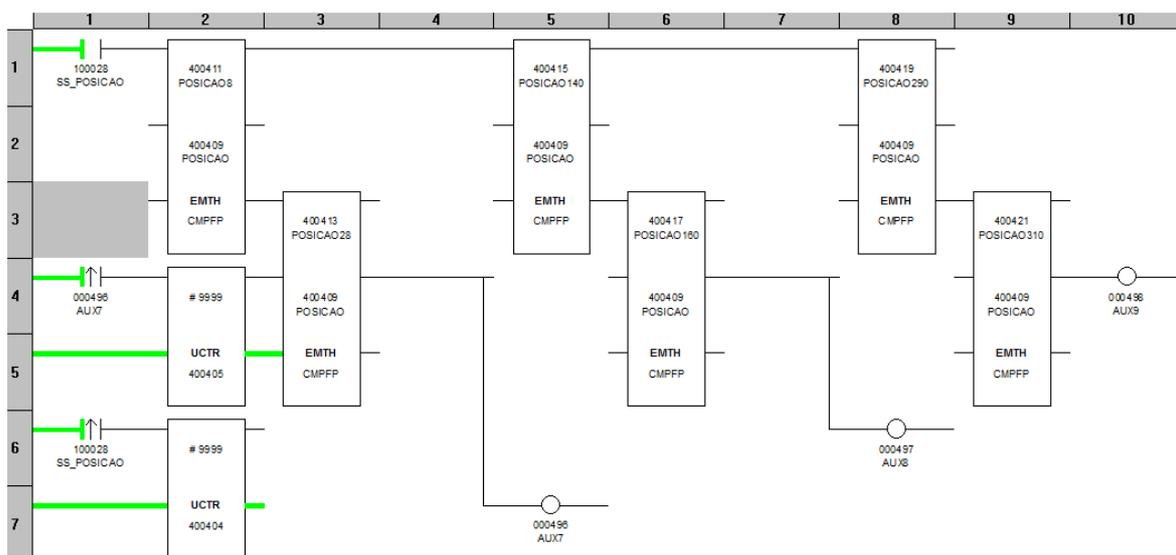


Figura 47. Testes no programa de *reset*.

As figura 48 e 49, inseridas a seguir, demonstram o sensor indutivo utilizado para *reset* da posição nas três posições e também o batente utilizado para o acionamento do sensor.



Figura 48: Correção do erro, sensor indutivo.



Figura 49: Correção do erro, batente.

Notou-se que a utilização dos batentes para exclusão do erro acumulado foi satisfatória.

4.4 PADRONIZAÇÃO

A padronização refere-se à última etapa indicada pelo Ciclo PDCA. Após a verificação dos resultados, foram criadas formas de uniformizar o método, garantido sua continuidade de maneira eficiente e concluindo as ações planejadas, executadas e checadas.

4.4.1 INDICAÇÃO DA POSIÇÃO NO SISTEMA SUPERVISÓRIO

A indicação de posição da retomadora foi adicionada ao sistema supervisório da planta de mineração na qual a pesquisa foi realizada. O *software* empregado para tal foi o *CitectSCADA*. Foi necessário comunicar duas CPUs diferentes, o cartão responsável pelo CLP da retomadora e o cartão responsável

pelo CLP da usina de beneficiamento. Essa situação ocorreu devido ao fato do sistema supervisorio comunicar-se apenas com uma das CPUs da usina.

A informação a ser transitada entre as CPUs era a posição real, armazenada nos registros 400409 e 400410. Salienta-se que para valores reais, que apresentam casas decimais, devem ser utilizados dois registros. Esse registro foi repassado para o bloco BLKM, utilizado para viabilizar a transferência da informação no CPU da retomadora para o CPU da usina, sendo o enlace via rádio e a informação via palavra 2. Observe as figura 50 e 51:

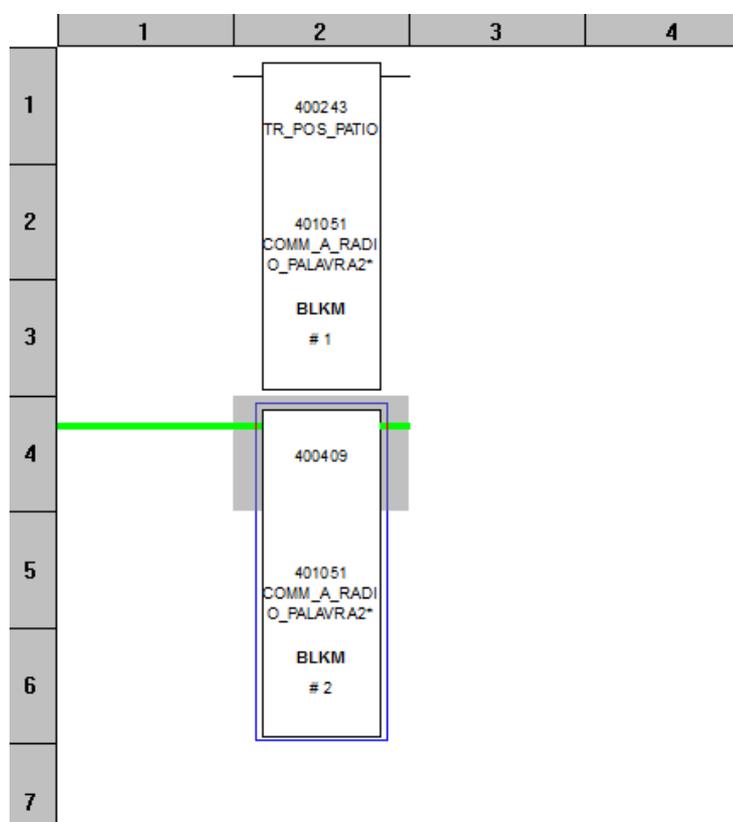


Figura 50: Envio do registro POSIÇÃO.

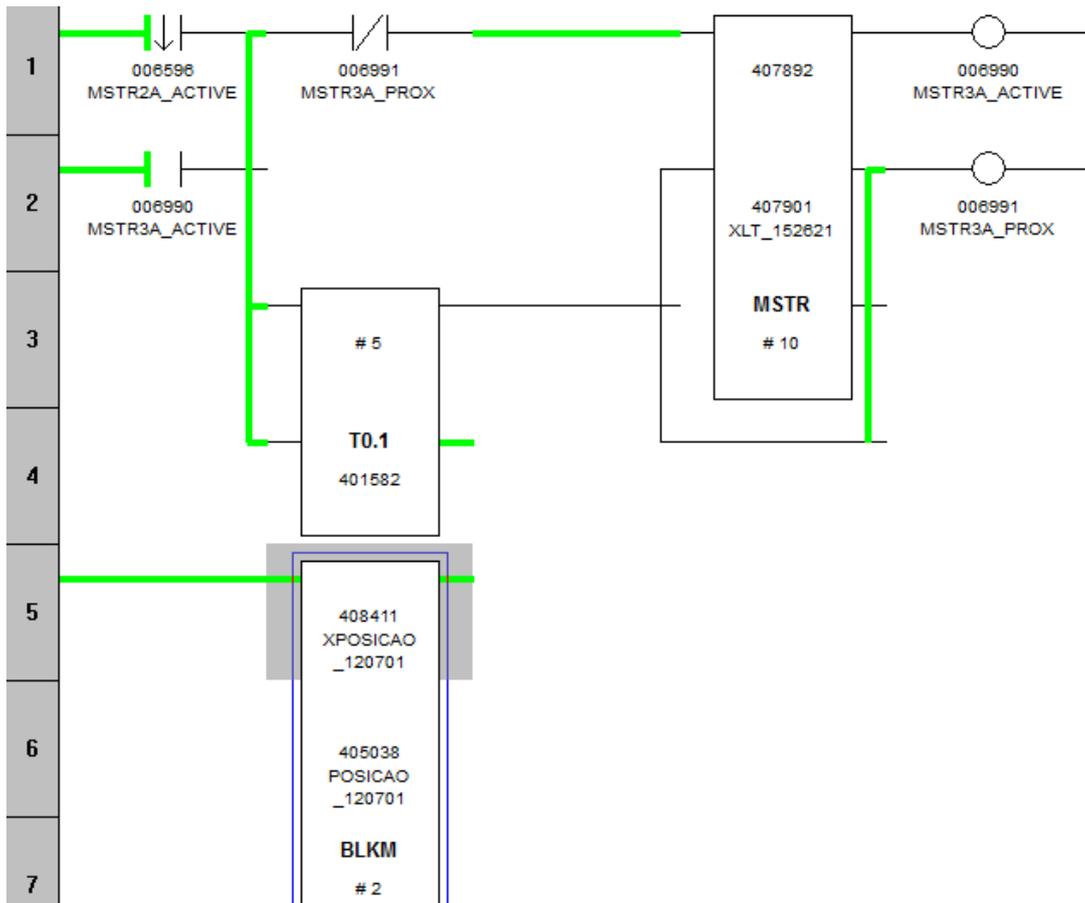


Figura 51: Comunicação de palavras entre CPU's.

O envio das informações foi efetivamente realizado pelo bloco MSTR, conforme ressaltado na figura 52. Esse bloco é capaz de enviar 11 palavras, no entanto, foi utilizada apenas a palavra 2 para o envio da informação, sendo os registros 401051 e 401052.

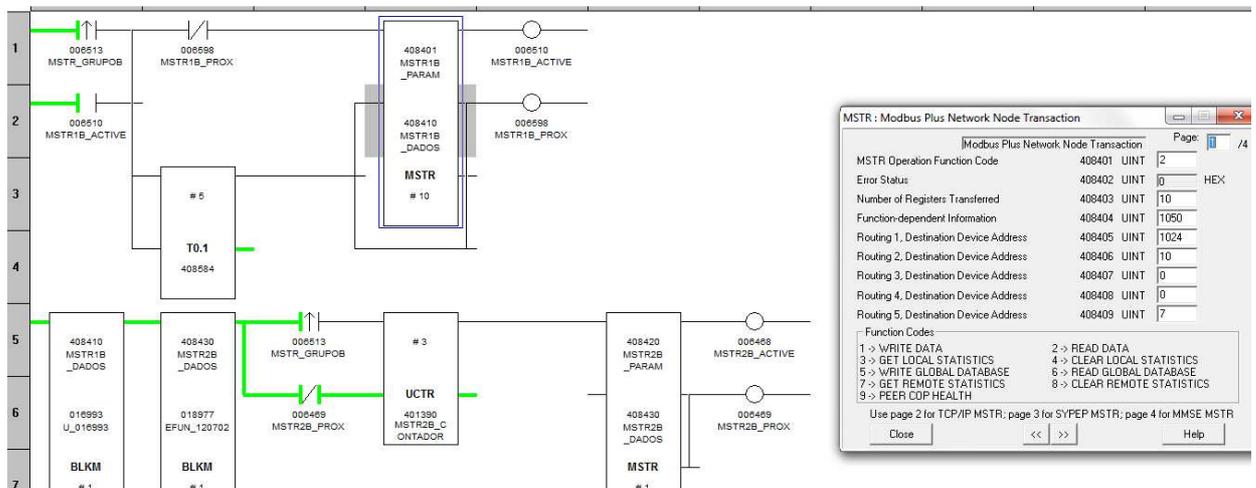


Figura 52: Recebimento de palavras.

O CPU da usina foi programado para receber a informação e armazená-la nos registros 405038 e 405039. Ademais, foi criada uma TAG no sistema supervisorio para a variável POSIÇÃO e uma indicação no sinótico 1 Retomada.

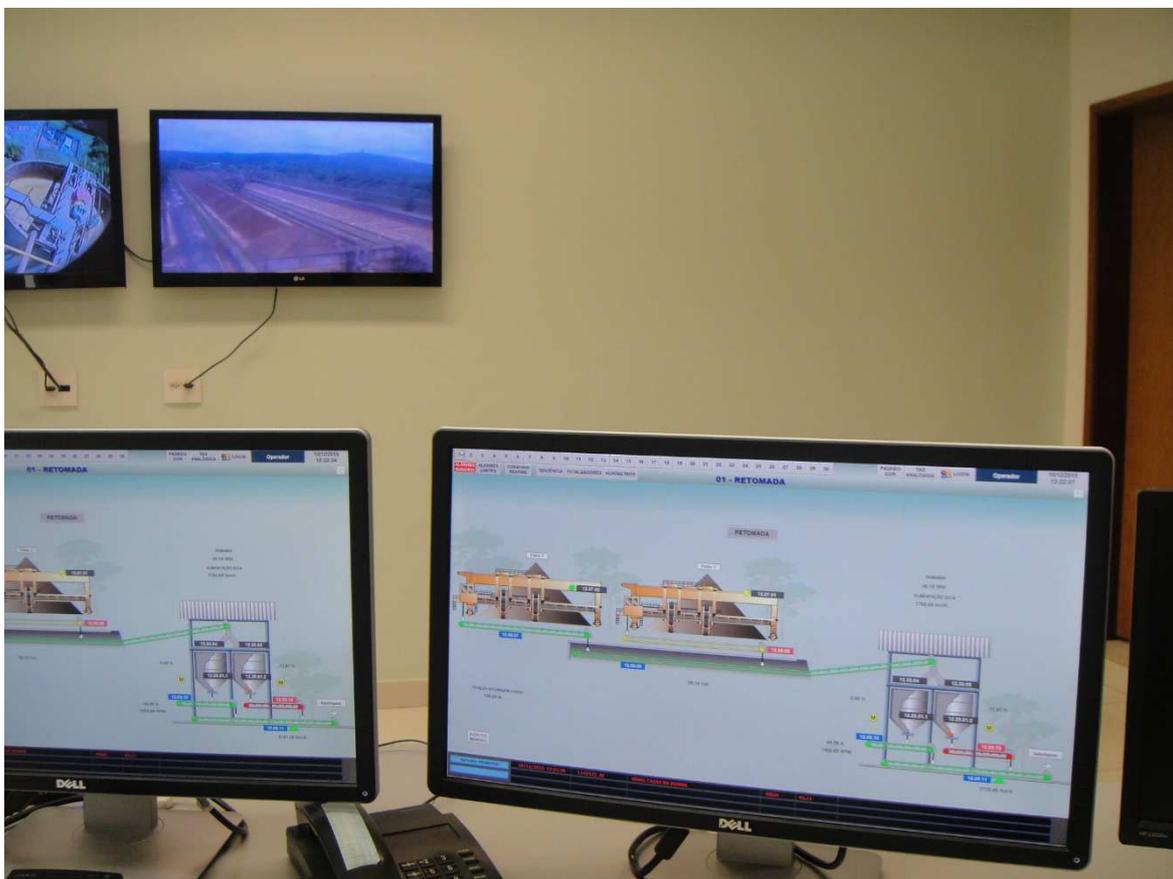


Figura 53: Sistema supervisorio, indicação da posição.

A figura 53 demonstra parte da sala de controle na qual o sistema supervisorio é monitorado. Nas duas telas à direita consta funcionando o sinótico 01, com as informações do pátio de homogeneização, ilustrando as duas máquinas retomadoras, sendo a que fica mais a esquerda a retomadora 01, objeto deste estudo. Abaixo da imagem com a retomadora, foi inserida a informação da posição instantânea, que está disponível para utilização da operação.

4.4.2 PLANOS DE MANUTENÇÃO

As condições do estudo são mantidas através de três planos de manutenção preventiva. Um dos planos refere-se aos instrumentos da retomadora

(figura 54), outro ao *backup* das informações do CLP (figura 55) e outro plano preventivo de manutenção nos inversores de frequência (figura 56).

Plano manutenção TA-120701-I PREV. SEMEST. RETOMADOR 01 CONF. ROT.

Cabeç.pl.manut.

Ciclos plano de manutenção 06.06.2016 Parâmetro programação plano manutenção Dados adicionais pl...

Ciclo	Unidade	Txt.p/ciclo manut.	Offset
	6 MES	Semestral	0

Item Lista de objetos item Localização item Ciclos item 06.06.2016

Item manutenção 39842 PREV. SEMESTRAL RETOMADORES CO

Objeto de referência

Loc.instalação TA-120701 RETOMADOR 1800 T/H

Equipamento

Conjunto

Dados de planejamento

Centro planej. CMT CMT - Tapira - Produtivo Grp.plnj.PM GP1 Elet/Inst/Lab.Eltr

Tipo de ordem A Manutenção Geral Tp.ativ.PM M2 Manutenção Preventi...

GenTrab respon. SEINE 02 / CMT INSTRUMENTAÇÃO

Prioridade Essencial Norma de apropriação

Doc.vendas /

Figura 54: Plano de manutenção, Retomador 01.

Plano manutenção TA-BACK-PLC EFETUAR BACKUP DOS PLC'S

Cabeç.pl.manut.

Ciclos plano de manutenção 06.06.2016 Parâmetro programação plano manutenção Dados adicionais ...

Ciclo	Unidade	Txt.p/ciclo manut.	Offset
	1 SEM	Semanal	0

Item Lista de objetos item Localização item Solicitações programadas item Ciclos item 06.06.2016

Item manutenção 33642 EFETUAR BACKUP DOS PLC'S

Objeto de referência

Loc.instalação TA-PLC CONTROLADOR LOGICO PROGRAMAVEL

Equipamento

Conjunto

Dados de planejamento

Centro planej. CMT CMT - Tapira - Produtivo Grp.plnj.PM GP1 Elet/Inst/Lab.Eltr

Tipo de ordem A Manutenção Geral Tp.ativ.PM M2 Manutenção Preventi...

GenTrab respon. SEINE 02 / CMT INSTRUMENTAÇÃO

Prioridade Essencial Norma de apropriação

Doc.vendas /

Figura 55: Plano de manutenção, *backup* do CLP.

Plano manutenção IA-120701 EXECUTAR PLANO PREVENTIVO INVERSOR

Cabeç.pl.manut.

Ciclos plano de manutenção 06.06.2016 Parâmetro programação plano manutenção Dados adicionais ...

Ciclo	Unidade	Txt.p/ciclo manut.	Offset
6 MES	Semestral		0
12 MES	Anual		0

Item Lista de objetos item Localização item Solicitações programadas item Ciclos item: 06.06.2016

Item manutenção 20465 EXEC. PLANO PREV. INVERSOR TRA...

Objeto de referência

Loc. instalação IA-120701 RETOMADOR 1800 T/H

Equipamento

Conjunto

Dados de planejamento

Centro planej. CMT CMT - Tapira - Produtivo Grp.plnj.PM GPP Grp.Plan.Paradas

Tipo de ordem J Manutenção Programada (Desp... Tp.abiv.PM M2 Manutenção Preven

Cen Trab respon. SEINE 03 / CMT LABORATÓRIO DE ...

Prioridade Essencial Norma de apropriação

Doc.vendas

Figura 56: Plano de manutenção, inversor de frequência.

4.4.3 CENTRAL DE BOAS PRÁTICAS

O sistema de medição de posição de máquinas de pátio desenvolvido foi inserido na Central de Boas Práticas da empresa. Essa central consiste em um banco de dados com informações sobre projetos de melhoria criados e aplicados dentro da empresa. O acesso a esse banco de dados pode ser realizado em todas as unidades, o qual é composto por um passo a passo, com fotos e explicações sobre as implantações dos projetos, de modo a serem disponibilizados e utilizados pelos funcionários da empresa em demais localidades.

4.4.4 CONVENÇÃO DE MELHORIA CONTÍNUA

A título de divulgação, este estudo foi apresentado na 3ª Convenção de Melhoria Contínua, evento interno realizado pela empresa onde o projeto foi aplicado. Nessa convenção, são apresentados exclusivamente trabalhos

executados conforme a metodologia PDCA. O *Sistema de Medição de Posição em Máquinas de Pátio* concorreu na categoria geral. Durante o evento, foram apresentados 6 trabalhos. A colocação final deste projeto foi em primeiro lugar na unidade da cidade de Tapira, no interior de Minas Gerais, sendo escolhido para representar a unidade na Convenção de Melhoria Contínua Geral da diretoria de Fosfatados da empresa. A figura 57 ilustra a divulgação do resultado desta pesquisa para os empregados da unidade:

<p>Daniel Andrade Rajao/CMA/ValeFert 19/02/2016 15:07</p>	<p>Para: Fernando Marcio de Faria/CMT/ValeFert@Notes,</p> <p>cc: Alexandre Willian Mariano/CMT/ValeFert@Notes, Anthony Santana Junior/CMT/ValeFert@Notes, Avenor Tadeu das Neves Junior/CMT/ValeFert@Notes, Braulio Goncalves de Freitas/CMT/ValeFert@Notes, Carina Aureliana de Freitas/CMT/ValeFert@Notes,</p> <p>cco:</p> <p>Assunto: Re: Resultados da Convenção de Melhoria Contínua 2016 - unidade de Tapira</p> <hr/> <p>cc:</p> <p>Assunto: Resultados da Convenção de Melhoria Contínua 2016 - unidade de Tapira</p>
--	---

Bom dia,

É com satisfação que informo os resultados de nossa Convenção de Melhoria Contínua 2016 - unidade de Tapira, realizada dia 18/02:

Categoria Geral

- 1º - Sistema alternativo de monitoramento de posição de máquinas de pátio;
- 2º - Sistema de Lavagem do Peneiramento;
- 3º - Redirecionamento do Rejeito Recleaner para etapa Cleaner - CMT.

Categoria Saúde e Segurança

- 1º - Revestimento em caçambas de 775G caminhões fora de estrada;
- 2º - Redução do Risco de Colisão entre Equipamentos Móveis/Veículos.

Categoria Administrativo

- 1º - Ferramenta de visualização e gerenciamento de itinerário de ônibus da unidade de Tapira.

Obs.: As apresentações encontram-se anexas.

Na ocasião foi feito também o reconhecimento de empregados destaques na Central de Boas Práticas, sendo:

- Empregado com maior número de boas práticas registradas - **Agnaldo dos Reis Martins** (eletricista - gerência de manutenção industrial);
- Supervisor com maior número de boas práticas registradas de sua área - **Daniel Salazar Alves** (gerência de manutenção industrial).

Houve ainda o sorteio de brindes para 03 melhorias de 5S:

- Melhoria e limpeza em caixa de contenção - **equipe de manutenção de equipamentos de mina - Gerência de Mineração de Fertilizantes;**
- Instalação e melhoria nos recipientes de coleta seletiva - **equipe de manutenção de equipamentos de mina - Gerência de Mineração de Fertilizantes;**
- Substituição de fechaduras das salas da Lubrificação - **equipe de manutenção de equipamentos de mina - Gerência de Mineração de Fertilizantes.**

Figura 57: 3ª Convenção de Melhoria Contínua, divulgação do resultado.



Figura 58: 3ª Conveção de Melhoria Contínua, divulgação do resultado.

A figura 58 foi anexada ao e-mail de divulgação do resultado. Já a figura 59 destaca a apresentação e divulgação da pesquisa entre os funcionários da unidade.



Figura 59: 3ª Conveção de Melhoria Contínua, Apresentação.

4.4.5 PATENTE

Devido às características inovadoras do *Sistema de Medição de Máquinas de Pátio*, foi iniciado um processo de patente pela empresa na qual o sistema foi implantado. O estudo foi encaminhado para o setor de Tecnologia e Inovação, ficando a cargo da área de Propriedade Intelectual a análise do invento. Sobre isso, destaca-se que já foi emitido um relatório preliminar, que não está em anexo, devido à confidencialidade das informações. Até o momento da defesa deste trabalho, o relatório final com o resultado da análise de potencialidade não foi concluído. A figura 60 não apresenta o relatório, no entanto, indica o andamento do processo.



Larissa Faria <larissa.faria@vale.com>
11/05/2016 15:57

Para	Marina Souza <marina.souza@valefert.com>
cc	
cco	
Assunto	RES: RES: Análise de Patenteabilidade - P010883

Pode sim. Estamos reavaliando e te retorno ASAP. Abraço, Larissa.

De: Marina Souza [mailto:marina.souza@valefert.com]
Enviada em: segunda-feira, 9 de maio de 2016 13:14
Para: Larissa Faria
Assunto: Enc: RES: Análise de Patenteabilidade - P010883

Larissa, boa tarde!

Com essas informações que nós passamos o processo pode sofrer alguma alteração ou continua na mesma? Desde já a

Att.

Marina Souza
Planejamento e Controle de Manutenção

Vale Fertilizantes
Rodovia MGC -146 - km 196,25 - Tapira/MG - CEP 38.185-000 - Brasil
Tel: +55 (34) 3669-5380 / Fax: +55 (34) 3669-5431
marina.souza@valefert.com

----- Repassado por Marina Souza/CMT/ValeFert em 09/05/2016 13:13 -----

Marina Souza/CMT/ValeFert

26/04/2016 15:10

Para	Larissa Faria <larissa.faria@vale.com>
cc	Claudia Silva Oliveira <claudia.silva.oliveira@vale.com>, Rodrigo Cartaxo
Assunto	Re: RES: Análise de Patenteabilidade - P010883 Link

Figura 60: Patente, relatório da análise de potencialidade.

5. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos com esta pesquisa, foi comprovada a veracidade e a aplicabilidade da hipótese antes apresentada. Logo: se feita integral dos gráficos de velocidade apresentados na saída dos inversores de frequência que comandam os motores responsáveis pelo movimento de avanço, de posse da área inferior à curva, foi possível saber a posição exata da máquina de pátio no instante t analisado.

Observando os objetivos tangíveis, foi possível alcançar todas as metas definidas no início da pesquisa. A precisão desejada de $\pm 2\%$ foi superada; observando a tabela 4, fica evidente que os erros apresentados são menores que $\pm 1\%$; além disso, o sistema foi considerado de alta precisão, em escala centimétrica. Sobre o custo, inicialmente limitado a um valor de R\$ 100.000,00, durante a definição do Plano de Ação, notou-se que seria possível diminuir consideravelmente esse valor, sendo que o esperado, nesse ponto, somando materiais e mão de obra ficou em torno de R\$ 5.000,00. Por fim, o custo real de implantação deste estudo foi de R\$ 1.722,39; 1,72% do valor levantado inicialmente.

O prazo de implantação também foi cumprido, o projeto foi desenvolvido inteiramente, concluído e divulgado no prazo de 1 ano, sendo que sua implantação efetiva ocorreu entre junho e dezembro de 2015.

Sobre os objetivos intangíveis, foi possível obter a medição da posição utilizando pouca estrutura física, ou seja, o sistema é enxuto, não há uso de fontes de energia, cabeamento, sensores de velocidade e terminais, o que propiciou, conseqüentemente, manutenção simples e baixo custo. Os funcionários foram treinados e têm total capacidade tanto para intervir como também para replicar o projeto para outras situações.

Ainda sobre os objetivos intangíveis alcançados, pode ser citada a motivação dos operadores perante a facilidade de obtenção de informação, motivação essa constatada nas entrevistas e conversas durante a realização do estudo. Considerando especificamente o setor de Automação da empresa, o sentimento de realização pode ser percebido, devido à solução de um problema crônico, que não tinha perspectiva de alteração, assim como, por consequência

do prêmio recebido na 3ª Convenção de Melhoria Contínua e início do processo de patente.

Apesar do *Sistema de Medição de Posição de Máquinas de Pátio* ter sido desenvolvido especificamente na retomadora 01, acredita-se que a mesma técnica pode ser replicada para outras máquinas de pátio, observando algumas características. Inclusive, cogitou-se a possibilidade de ampliar esse projeto não apenas para esse tipo de aplicação, mas também para todas as aplicações nas quais é necessária a informação de posição de um elemento cuja velocidade é controlada por inversor de frequência.

Conclui-se, portanto, que essa é uma área que ainda pode ser desenvolvida, com oportunidade de estudos futuros, tais como: a) aplicação do sistema de medição de posição em *stackers* e *stackers-reclaimers*; b) controle do desalinhamento das retomadoras do tipo ponte, igualando a posição nos dois eixos; c) implemento de um método de definição de posição remoto; d) instalação de alarme de proximidade entre máquinas de pátio; e) controle automático do movimento de avanço das máquinas de pátio, através das informações de nível do silo de alimentação do processo seguinte da planta de beneficiamento; entre outros.

REFERÊNCIAS

ABB S.A. **Conversores de frequência industriais ABB ACS800, conversores individuais 0,55 a 5600 KW.** Catálogo 2010. Disponível em: <http://www.multidrive.com.br/wa_files/CATALOGO_20ACS800.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2016.

ABICHEQUER, Luciana Arnt. **Simulação Geoestática Aplicada ao Planejamento de Pilhas de Homogeneização – um Estudo de Caso de Reconciliação.** 2010. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25628/000751864.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 out. 2015.

CHAVES, Arthur Pinto; FERREIRA, Flávio Moreira. **Apostila Estocagem e homogeneização.** São Paulo: [s. n.], 2006.

FLEMMING, Diva M. e GONÇALVES, Mirian B. **Cálculo A.** Ed. Pearson, Prentice Hall, São Paulo 2006.

FONSECA, José João Ferreira da. **Metodologia da pesquisa científica.** Fortaleza: UEC, 2002. Disponível em: <<http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2015.

FOSFÉRTIL. **Ciclo PDCA.** Apostila 1999.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos.** 4. ed. São Paulo: Érica, 2009.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores Lógicos Programáveis.** 1. ed. São Paulo: Érica, 2008. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/controladores-logico-programaveis.html>>. Acesso em: 30 mai. 2016.

GURGEL, Fábio Meireles. **Aplicações de inversores eletrônicos na indústria nacional: a contribuição brasileira.** 2009. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, : POLI UFRJ, 2009. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000921.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2016.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 set. 2015.

IBRAM. **Informações sobre a economia mineral Brasileira Set/2015.** Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2015.

ISOMONTE S.A. Disponível em: <
<http://www.isomonte.com.br/Produtos/retomadoras.htm>>. Acesso em: 10 out.
2015.

JUNIOR, Bernardo João Rachadel. **Avaliação da exatidão de posicionamento angular de um eixo servo acionado**. 2013. 94f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013. Disponível em: <
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107286/321220.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 21 mai. 2016.

MECATRÔNICA ATUAL. **Tire suas dúvidas sobre inversores de frequência**. São Paulo. Ano 4. n. 22. Jun. / Jul. 2005. Disponível em: <
<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1185-tire-suas-dvidas-sobre-inversor-de-frequncia>>. Acesso em: 24 mai. 2016.

MGI TECH. **O que é classificação IP?** Disponível em: <
<http://www.mgitech.com.br/blog/bid/113307/O-que-classifica-o-IP>>. Acesso em: 25 mai. 2016.

SCHNEIDER ELECTRIC. Disponível em: <
<http://www.schneider-electric.com/br/pt/>>. Acesso em: 8 out. 2015.

TAMAGAWA SEIKI CO, LTD. Disponível em: <
<http://www.tamagawa-seiki.com/english/encoder/>>. Acesso em: 21 set. 2016.

TAKRAF TENOVA. Disponível em: <
http://www.takraf.com/en/products/yardequipment/stacker_reclaimer.htm>. Acesso em: 5 set. 2015.

TKFLA. **Thyssen Krupp Industrial Solutions**. Disponível em: <
<http://www.tkfla.com.br/categoria/produtos/>>. Acesso em: 15 out. 2015.

WEG. **Motores de Aplicação Industrial**. Catálogo 2015. Disponível em: <
<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-aplicacoes-industriais-50009275-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2016.