



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CEAU**



ALESSANDRO JULIO QUEIROZ

**AUTOMATIZAÇÃO DE UM FILTRO HORIZONTAL COM APLICAÇÃO DE
PROTEÇÕES E MONITORAMENTO.**

Ouro Preto, 2019

ALESSANDRO JULIO QUEIROZ

**AUTOMATIZAÇÃO DE UM FILTRO HORIZONTAL COM APLICAÇÃO DE
PROTEÇÕES E MONITORAMENTO.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação. Orientadora: Adrielle de Carvalho Santana

Q384a Queiroz, Alessandro Júlio.
Automatização de um filtro horizontal com aplicação de proteções e monitoramento [manuscrito] / Alessandro Júlio Queiroz. - 2019.

45f.:

Orientadora: Prof. MSc^a. Adrielle de Carvalho Santana.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Mineração. 2. Filtro horizontal. 3. Controlador Lógico Programável. 4. Instrumentação. I. Santana, Adrielle de Carvalho. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

Monografia defendida e aprovada, em 02 de julho de 2019, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Profa. M.Sc. Adrielle de Carvalho Santana – Orientadora



Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis – Professor Convidado



Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri – Professora Convidada

RESUMO

A competitividade entre as empresas as obrigam a lançar mão de recursos tecnológicos para torná-las capazes de produzir mais com segurança e qualidade. Na mineração não é diferente, apesar de ser um mercado que gera lucros altíssimos às grandes empresas, também pode gerar grandes prejuízos. Os filtros têm um papel importante em vários seguimentos da indústria incluindo o da mineração. Podendo destacar dois pontos: a recuperação de água para reutilização na usina e o controle de umidade dos produtos. Para cada processo existe um filtro com configurações apropriadas para atender as características como quantidade de finos, densidade e vazão do produto. Este trabalho utiliza a tecnologia disponível em mercado e já utilizada na usina para automatizar um sistema específico do filtro de correia horizontal (FCH), cujo desalinhamento ocasionavam frequentes manutenções corretiva, funcionamento indesejado e impacto na produção da usina. O sistema original, eletropneumático, passa a ser um sistema de detecção de desalinhamento sem contato utilizando sensores a laser e com diagnósticos de defeitos implementados através de lógica em Controlador Lógico Programável (CLP). A melhoria foi perceptível, permitindo que o tempo de manutenção e o tempo de diagnóstico não impactasse mais o processo.

Palavras-Chave: Mineração, Filtro horizontal, Controlador Lógico Programável, Instrumentação.

ABSTRACT

The competitiveness between companies forces them to seek technological resources to make them capable of producing more with safety and quality. Mining is no different, although it is a market that generates huge profits to large companies, it can also generate great losses. Filters have an important role in various industry segments including in mining. Here, two points can be highlighted: the recovery of water for reuse in the plant and the humidity control of the products. For each process there is a filter with appropriate settings to meet the characteristics like amount of fines, density and flow of the product. This work uses the technology available in the market and already used in the plant to automate a specific system of horizontal belt filter, whose misalignment entailed frequent correctives maintenances, undesired operation and impact on the production of the plant. The original electropneumatic system becomes a non-contact misalignment detection system using laser sensors and diagnostics of defects programmed through PLC logic. The improvement was perceptible, allowing maintenance time and diagnostic time does not impact the process.

KEYWORDS: Mining, horizontal filter, programmable logic controller, instrumentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Início do processo de beneficiamento.....	10
Figura 2: Processo de Classificação no beneficiamento.....	11
Figura 3: Processo de Concentração Magnética no beneficiamento.....	12
Figura 4: Processo de Filtragem no beneficiamento.....	13
Figura 5: Filtragem Horizontal.....	17
Figura 6: Sistema alinhador.....	18
Figura 7: Apalpador pneumático.....	19
Figura 8: Apalpador travado por acumulo de material.....	20
Figura 9: Rasgo do tecido.....	21
Figura 10: Desgaste do Apalpador.....	21
Figura 11: Esboço de Instalação.....	22
Figura 12: Sensor laser.....	23
Figura 13: Posicionador eletropneumático – SRD911.....	24
Figura 14: Estrutura típica CLP.....	26
Figura 15: CLP Momentum.....	27
Figura 16: Bloco LIMIT_IND.....	28
Figura 17: Bloco AND.....	29
Figura 18: Bloco OR.....	29
Figura 19: Bloco SEL.....	29
Figura 20: Bloco TIME_TO_INT.....	30
Figura 21: Posição inicial dos sensores a laser.....	30
Figura 22: Posicionador pneumático instalado.....	31
Figura 23: Referência de ajuste da haste – SRD991.....	32
Figura 24: Detectado desalinhamento à direita.....	33
Figura 25: Detecção de desalinhamento à esquerda.....	33
Figura 26: Lógica de atuação do alinhador.....	34
Figura 27: Lógica de falha dos sensores.....	35
Figura 28: Sinais monitorados pelo PIMS.....	35
Figura 29: Sinais do sistema de alinhamento antes dos ajustes.....	37
Figura 30: Nova posição dos sensores.....	38
Figura 31: Lógica de ponto de equilíbrio automático.....	39
Figura 32: Sinal de saída do sistema alinhador após alterações.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivo geral	13
1.1.1 Objetivos específicos.....	14
1.2 Justificativa.....	14
1.3 Metodologia.....	14
2. Revisão bibliográfica.....	15
2.1 Filtro Horizontal	16
2.2 Sistema de alinhamento (Apalpador)	18
3. DESENVOLVIMENTO.....	20
3.1 Levantamento de falhas e defeitos	20
3.2 Materiais Utilizados	21
3.2.1 Sensores de posição a laser	22
3.2.2 Posicionador eletropneumático.....	23
3.2.3 Controlador Lógico Programável (CLP).....	24
3.2.4 Software	26
3.2.5 Linguagem de programação.....	27
3.2.6 Alguns blocos utilizados	28
3.3 Instalação dos sensores a laser.....	30
3.4 Instalação do posicionador.....	31
3.5 A lógica	32
3.6 O monitoramento	35
4. RESULTADOS	37
5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	41
Bibliografia.....	42

APÊNDICE	44
Apêndice 1 – Programação realizada no CLP para controle do sistema de alinhamento automático.....	44
Apêndice 2 – Desenho para instalação do sistema de alinhamento automatizado.	Erro! Indicador não definido.

ABREVEATURAS

CLP – Controlador Lógico Programável

FCH – Filtro de Correia Horizontal

ROM – *Run-Of-Mine*

SLD – Sensor Lado Direito

SLE – Sensor Lado Esquerdo

1. INTRODUÇÃO

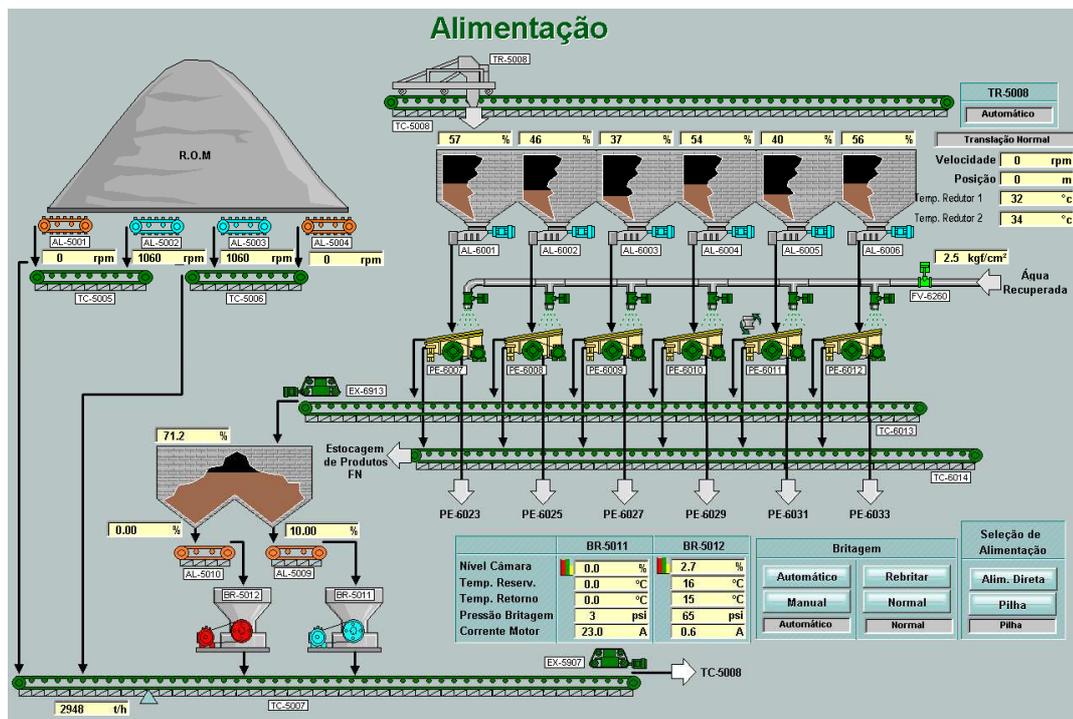
Segundo Oliveira e Luz (2001, p. 24):

Os processos de separação sólido-líquido utilizados na indústria mineral têm buscado essencialmente reduzir o volume de efluente a ser descartado, recuperar a água utilizada no processamento mineral permitindo sua reciclagem e adequar a porcentagem de sólidos na polpa para as operações do processo.

Os filtros têm o objetivo de recuperar a água da polpa de concentrado de rejeito ou de minério, sendo este último, o caso deste trabalho. O seu bom funcionamento, afeta, além da qualidade do produto final, a produtividade da planta. Ainda é importante abordar que segundo Ritcey (1989, apud OLIVEIRA E LUZ, 2001, p. 25) “[...] a unidade de separação sólido-líquido pode representar cerca de 50% dos custos de capital e operacionais da maioria dos circuitos de beneficiamento.”

No ambiente industrial, em particular usinas da mineração, existem várias máquinas que podem ser otimizadas, introduzindo novas tecnologias de sensores, conceitos de controle e de diagnósticos remoto, obtendo, assim, um melhor retorno do equipamento.

Figura 1: Início do processo de beneficiamento.

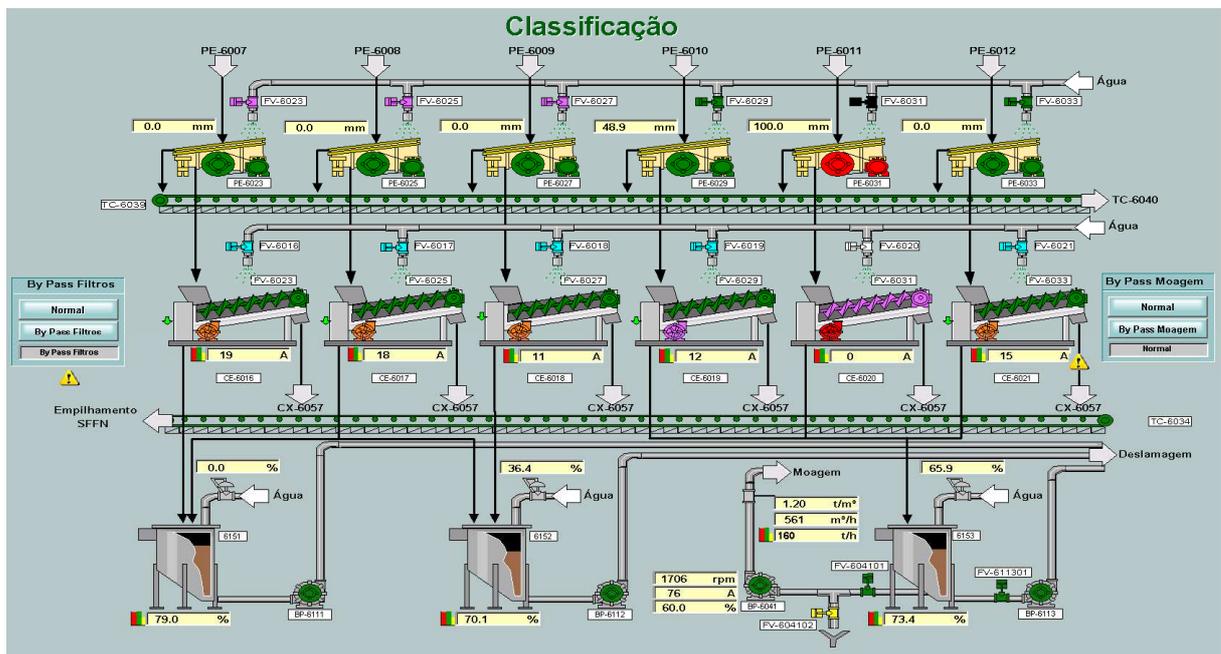


Fonte: Retirada da Tela do Supervisório.

O equipamento que será o centro deste trabalho, e que está inserido no processo de beneficiamento de minério de ferro, é um filtro de correia horizontal a vácuo. Este processo consiste na saída do material da pilha de ROM (*Rum-Of-Mine*) e deslocamento por meio de correias transportadoras até o silo. A retirada de material deste silo é realizada por meio de alimentadores vibratórios que, por sua vez, entrega o minério ao primeiro conjunto de peneiras que separarão o material grosseiro, acima de 32 mm, para rebitagem, o primeiro produto que está entre 32 mm a 6,3 mm de granulometria, o granulado (Usiminas, 2019) e entregando o material passante ao segundo conjunto de peneiras, demonstrado na figura 1.

O segundo conjunto, conhecidas como peneiras lavadoras de dois *decks*, produz parte do *Sinter Feed*, que possui granulometria entre 6,3mm e 0,15 mm (Usiminas, 2019). O material lavado é enviado aos classificadores espirais, onde o *under* é encaminhado para a separação magnética, conforme verificado na figura 2.

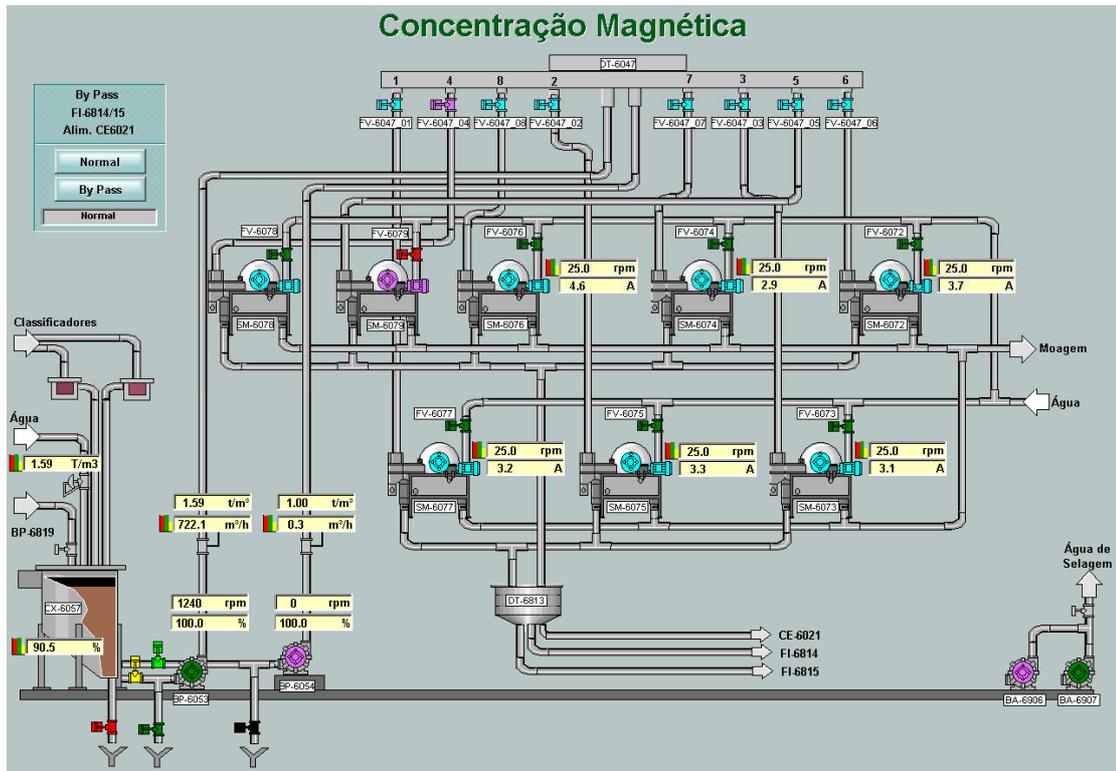
Figura 2: Processo de Classificação no beneficiamento.



Fonte: Retirada da Tela do Supervisório.

O produto que é detido pela concentração magnética, ilustrada na figura 3, é adicionado ao *Sinter Feed* e o mais pobre direcionado à moagem.

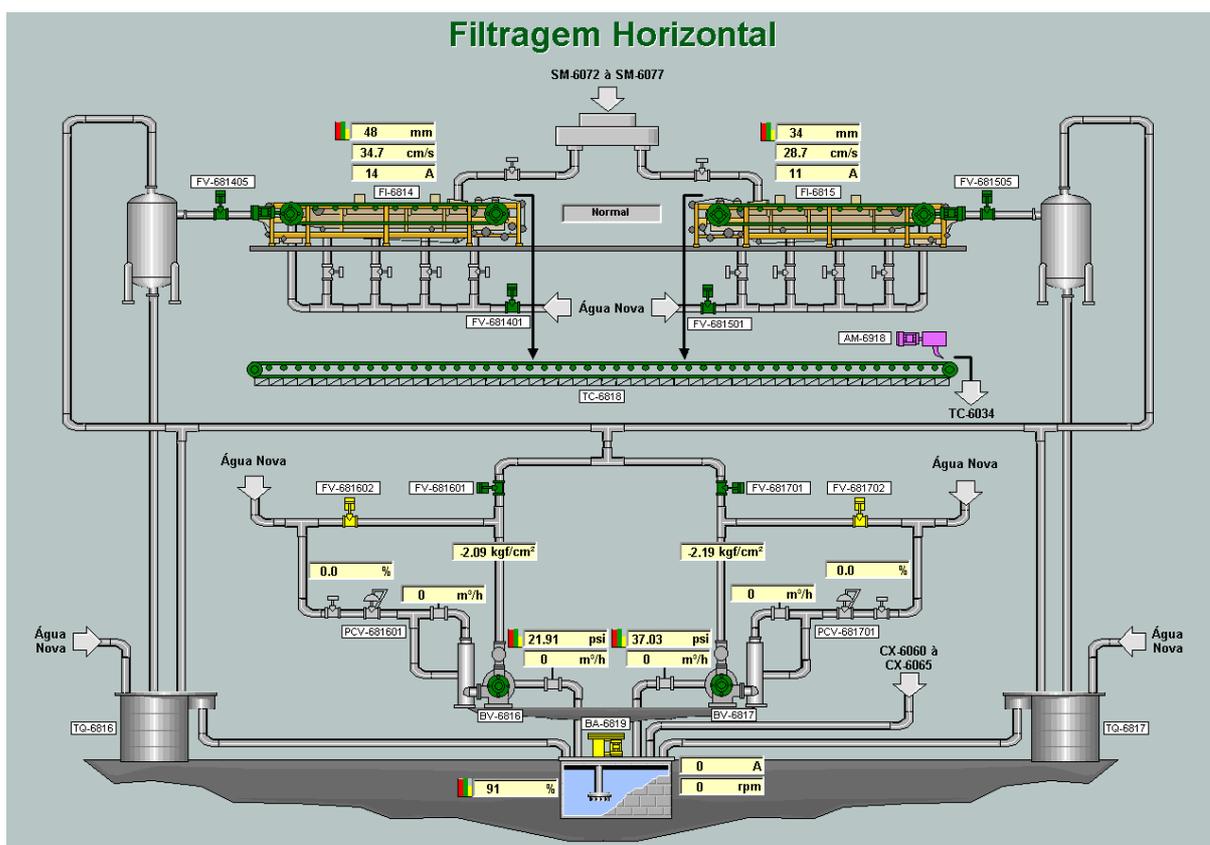
Figura 3: Processo de Concentração Magnética no beneficiamento.



Fonte: Retirada da Tela do Supervisório.

Porém, antes do produto mais rico ser adicionado ao *Sinter Feed*, deve retirar o excesso de umidade do minério, ou seja, deve ser seco para ser armazenado em uma pilha de produto acabado, de onde só sairá com destino ao cliente. O processo de secagem ocorre no processo de filtragem, figura 4.

Figura 4: Processo de Filtragem no beneficiamento.



Fonte: Retirada da Tela do Supervisório.

O FCH possui um apalpador mecânico pneumático, que tem a função de variar um rolo que desloca o tecido filtrante com o objetivo de mantê-lo alinhado. Este apalpador e o tecido filtrante são itens primordiais para o funcionamento e manutenção do filtro.

O tempo gasto para substituição do tecido e a dificuldade envolvida para alinhamento após a troca do apalpador, colocou o equipamento entre os mais impactantes na disponibilidade física do circuito. Além disso, existe o problema dos mantenedores não conseguirem comprovar ou até mesmo identificar, em alguns casos, o defeito que parou o equipamento.

1.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema automatizado para substituir o apalpador de tecido utilizando sensores para detectar o desalinhamento sem contato com o tecido e um posicionador elétrico pneumático, e, dessa forma, solucionar as frequentes quebras do apalpador e rompimento dos tecidos.

1.1.1 Objetivos específicos

- Fazer o levantamento e instalação dos sensores e atuadores necessários para o sistema proposto;
- Realizar a programação da lógica do sistema em um CLP;
- Programar lógica de proteção para impedir o rompimento do tecido filtrante.

1.2 Justificativa

O equipamento que será automatizado está instalado na área denominada de classificação magnética e sua função é a secagem do minério de ferro que sai da concentração magnética, mostrado na figura 4.

No ano de 2015 foram realizadas cerca de 11 (onze) trocas de tecidos devido rasgos, gerando aproximadamente 49 horas de equipamento parado. Segue os principais efeitos da falta da disponibilidade do equipamento:

- Aumento significativo umidade do material;
- Perda de qualidade no produto devido ao *by-pass* da Concentração, pois sem operar o FCH, deixa-se de produzir a parte rica do *Sinter Feed*;
- Perda de Produção devido parada da Concentração em média uma diminuição de 16,7% da produção;
- Custo com mão de obra devido manutenções corretivas;
- Gasto além do orçado para aquisição de tecido;
- Gasto com aquisição de componentes de reposição.

A constante quebra do apalpador, o rasgo do tecido e a falta de diagnósticos indicam a necessidade da automatização do equipamento.

1.3 Metodologia

A metodologia aqui adotada se baseia em acompanhar o processo onde o FCH está inserido e a leitura do manual do equipamento, verificando as causas das falhas. Além disso, pesquisa de sensores e instrumentos para definir melhor instrumentação e implementação de um programa de CLP para verificação do conjunto da instrumentação definida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O FHC é muito utilizado em vários seguimentos da indústria em todo o mundo e na mineração pode ser observado pela contribuição de France e Muralt (2007, tradução nossa):

Os filtros horizontais de correia a vácuo são uma técnica comum de remoção de água para aplicações de carvão fino em minas de carvão australianas. Através do uso desses filtros, materiais tão grosseiros como produtos em espiral ou tão finos quanto os concentrados de flotação por espuma podem ser drenados de forma eficaz.

O FCH, segundo a VLC (2019), é um equipamento desenvolvido para operar nas mais severas condições, dotado de um projeto robusto e de alta disponibilidade mecânica. A Filtragem é um processo utilizado para separar os sólidos contidos numa polpa da maioria do líquido. A separação ocorre com a utilização de um meio filtrante (tecido) que retém os sólidos formando uma torta e permitindo a passagem do líquido filtrado.

Uma elucidação mais completa do funcionamento é feita por Kwuge (1984, tradução livre):

O filtro de correia horizontal a vácuo (...) consiste de duas correias sem fim, uma correndo dentro da outra. O cinto interno, chamado cinto transportador, é um pesado cinto de borracha com nervuras salientes em toda a sua largura (...). O cinto externo, feito de um tipo adequado de tecido de filtro, repousa sobre o cinto do transportador em sua horizontal. Os espaços entre o tecido filtrante e a correia transportadora, criados pelas nervuras, formam câmaras de vácuo. Estas câmaras são evacuadas através de pequenos furos no centro da correia transportadora. (...) O selo é auxiliado pela injeção de água. A correia do transportador é suportada por uma almofada de ar de baixa pressão que reduz o arrasto da correia ao mínimo. O avanço é executado na correia imediatamente antes do início da região de vácuo. O filtrado é removido através do vácuo fornecido para um receptor de onde é bombeado. A torta é descarregada no ponto em que o tecido do filtro liga o rolo final. Sprays de água, logo após o ponto de descarga do bolo, ajudam a evitar a cegueira do tecido. Esta água não se mistura com o filtrado. O filtro de correia é acionado por uma unidade de acionamento de velocidade variável conectada a um rolo que aciona a correia transportadora na extremidade de descarga da unidade.

A filtragem é composta por dois FCH, duas bombas de vácuo e cada filtro contém um tecido filtrante, um sistema alinhador de tecido, uma correia de drenagem, tubos e bicos de sprays de limpeza do tecido, um filtro de água, um vaso separador, e pote de perna barométrica.

O equipamento recebe a polpa de minério no início da esteira, que deve ser distribuída de forma uniforme, e vai secando até chegar ao ponto de descarga. O minério que não se desprende do tecido deve ser retirado pelos bicos de sprays de limpeza do sistema de lavagem. Este é um ponto importante, pois acúmulo de material no sistema de alinhamento também é proveniente desta ação. Outro motivo pode ser o transbordo devido a um desalinhamento extremo.

A seguir, todos os equipamentos e instrumentos importantes para a automatização proposta neste trabalho, serão abordados.

2.1 Filtro de Correia Horizontal (FCH)

Para maior entendimento do trabalho realizado é muito importante entender o funcionamento dos filtros, mais especificamente os FCH no qual foi feita a implementação de um sistema inteligente de alinhamento e de proteção com diagnóstico do equipamento.

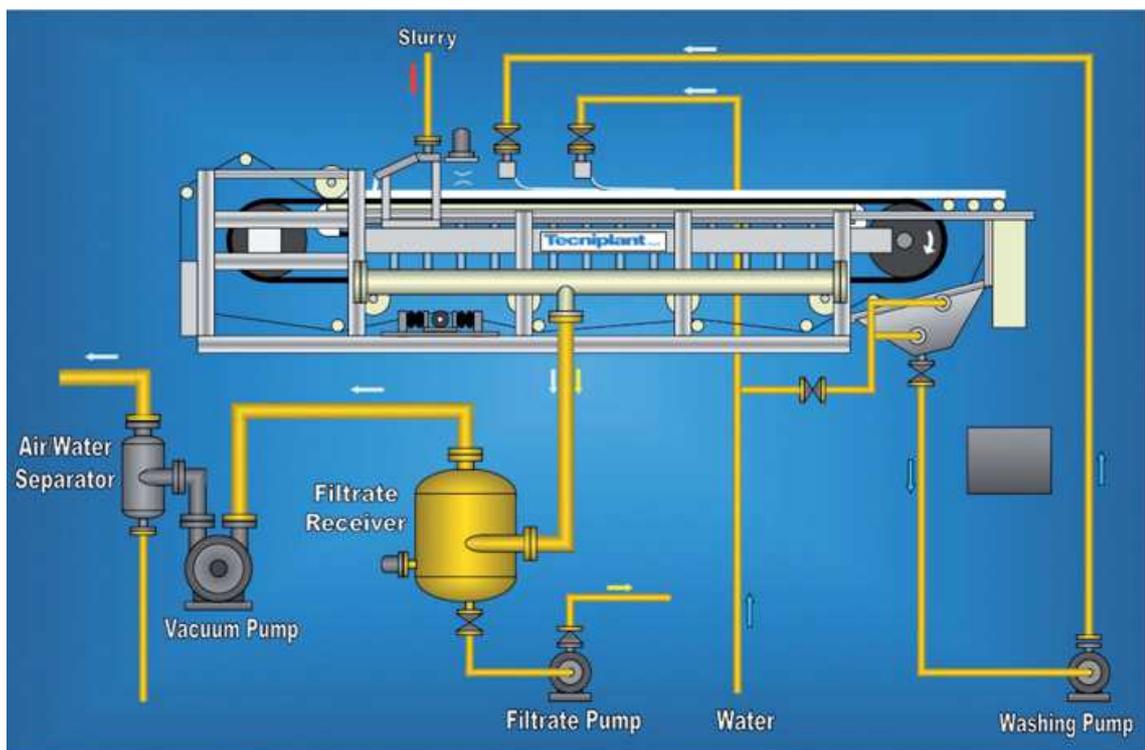
Segundo a VLC (2019) o FCH é projetado para obter a maior capacidade de filtração por área construída, assegurando torta mais seca e filtrado de excelente qualidade, podendo ser dotado de meio filtrante especial e processo de lavagem exclusivo. O FCH é um equipamento desenvolvido para operar nas mais severas condições, dotado de um projeto robusto e de alta disponibilidade mecânica. Porém, não significa que não haja espaço para melhorias do equipamento.

De acordo com Guimarães (2011) a filtragem pode ser definida como uma operação unitária de separação dos sólidos contidos em uma suspensão aquosa mediante a passagem da polpa através de um meio filtrante, que retém as partículas sólidas e permite a passagem do líquido. O líquido que atravessa o meio filtrante é denominado filtrado e os sólidos retidos constituem a torta (Guimarães, 2011). E para execução deste processo de separação, é utilizado o filtro horizontal conforme ilustra a figura 5.

Pode-se observar que se trata de um equipamento complexo, com vários subsistemas que, funcionando corretamente em conjunto, trará o resultado esperado. Estes subsistemas são:

- Sistema de drenagem;
- Sistema de lavagem;
- Acionamento;
- Sistema de alinhamento;
- Sistema de proteção;
- Sistema de tensionamento;
- Alimentação da polpa;
- Correia e rolos.

Figura 5: Filtragem Horizontal.



FONTE: Tecnipant, 2018.

Neste trabalho, a atuação será nos sistemas de alinhamento e de proteção do equipamento.

2.2 Sistema de alinhamento (Apalpador)

Este será o ponto principal de atuação deste trabalho. Portanto, deve-se identificar todos os componentes deste sistema mecânico-pneumático que tem a função de posicionar o rolo alinhador do tecido filtrante. Dessa forma, pode-se observar três componentes:

- Apalpador, evidenciado na figura 7, “[...] alta sensibilidade e confiabilidade, detecta as variações laterais da vestimenta e emite um sinal pneumático para posicioná-las” (EQUIMAPEL, 2019), ou seja, é responsável pela detecção da posição do tecido filtrante e direcionar o fluxo de ar comprimido para os folens direito ou esquerdo;
- Folens, mostrado na figura 6 item (a), incumbidos da movimentação do rolo alinhador.
- Rolo alinhador (figura 6(b)), encarregado de deslocar o tecido filtrante, com a finalidade de deixá-lo alinhado.

Figura 6: Sistema alinhador.

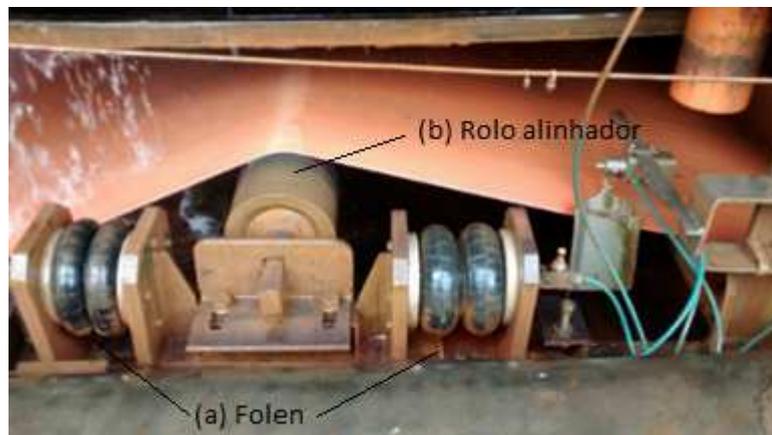


Figura 7: Apalpador pneumático.



FONTE: EQUIMAPEL, 2019.

O funcionamento do apalpador consiste em uma alimentação de aproximadamente 30 psi ou 2 bar, que passa pelo eixo central que é ligado à paleta do instrumento. Este eixo possui dois furos de saída que, dependendo da posição da paleta, direciona a pressão de alimentação para o folen que deve inflar para deslocar o rolo alinhador e, assim, reposicionar o tecido.

3. DESENVOLVIMENTO

Para a implementação do sistema serão levantadas as principais causas de defeitos e falhas do equipamento, em seguida serão detalhados os materiais a serem utilizados, sua instalação e a criação da lógica do CLP.

3.1 Levantamento de falhas e defeitos

Foi realizado o monitoramento para identificar as possíveis causas das falhas do sistema de desalinhamento que resultam em paradas indevidas e rasgos do tecido filtrante. Segue as falhas observadas:

- Travamento do apalpador devido contaminação do rolamento por sujeira, comprovado pela figura 8;
- Falha da proteção quando o sistema não é capaz de alinhar o tecido e há a ruptura do tecido por rodar encostando na estrutura, mostrado na figura 9;
- Corte do apalpador por contato com o tecido filtrante, evidenciado na figura 10;
- As proteções não contemplam todas as possibilidades de falhas do filtro, por exemplo, a queima de sensores.

Figura 8: Apalpador travado por acúmulo de material.



Figura 9: Rasgo do tecido.



Figura 10: Desgaste do Apalpador.



3.2 Materiais Utilizados

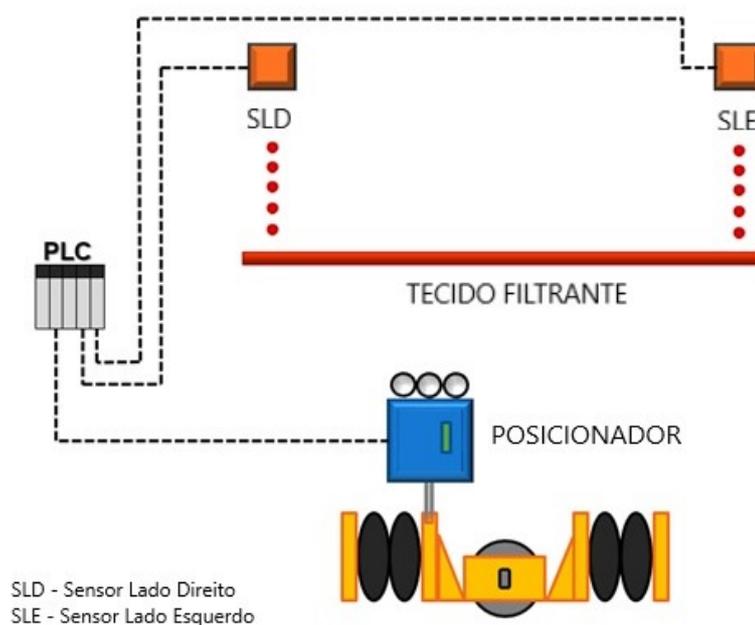
Com a necessidade de eliminar o contato do apalpador com o tecido filtrante, surgiu a possibilidade de utilização de alguns sensores de detecção de presença ou medição de distância. Tais sensores podem ser ultrassônicos, óticos ou capacitivos. Dessa forma, é verificado o deslocamento do tecido, ou seja, este sensor funcionará retornando a posição do tecido (*feedback*).

Além disso, com o mesmo intuito de eliminar o apalpador de tecido, é preciso controlar a posição do rolo alinhador. Portanto, é utilizado um posicionador pneumático linear, que foi adaptado para a aplicação, pois são utilizados em válvulas de controle, como, por exemplo, uma válvula globo de controle de soda.

O CLP a ser utilizado é do modelo quantum da Schneider, fazendo uso da linguagem de diagrama de blocos.

A figura 11 ilustra um esboço da instalação com os instrumentos incluídos para a melhoria do funcionamento do filtro.

Figura 11: Esboço de Instalação.



3.2.1 Sensores de posição

Uma breve análise foi feita para determinar qual sensor utilizar. Verificado as seguintes características:

- Valor: Neste ponto, além do preço, foi verificado se já era utilizado o sensor na planta. Dessa forma, não seria criado mais um componente para controle de reserva operacional;
- Área de atuação: Quanto menor a área de atuação, mais fácil será o ajuste do sensor em relação da posição do tecido filtrante;
- Distância sensora: Esse quesito evita que o sensor fique muito próximo do tecido, dificultado assim seu ajuste.

Com as características citadas, optou-se por utilizar o sensor a laser.

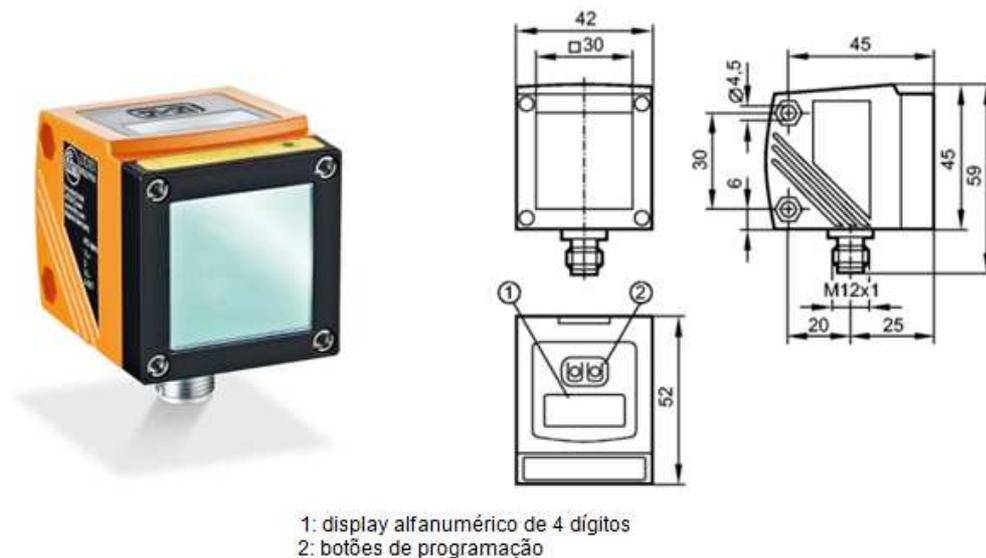
A idéia originaria do que vinha a ser LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, ou amplificação da luz pela emissão estimulada de radiação), foi concebida por volta de 1905, quando Albert Einstein sugeriu que os átomos das fontes luz fossem estimulados artificialmente para emitir fótons. Esta emissão estimulada de luz iria produzir uma fonte de luz altamente concentrada, brilhante, e poderosa. (NASCIMENTO et al, 2006)

Os sensores a laser são largamente usados na indústria e no comércio devido a sua precisão e confiabilidade. Entretanto, deve ser observado a superfície de detecção e o ambiente onde será instalado, pois a não observância desses pontos podem gerar atuação falsa.

O sensor utilizado é o O1D100, fabricado pela Ifm, ilustrado na figura 12. Suas características são:

- Tensão de operação [Vdc] – 18 .. 30;
- Consumo de corrente [mA] – <150 ;
- Quantidade de saídas digitais – 2;
- Quantidade de saídas analógicas [4mA a 20mA ou 0V a 10V] – 1;
- Proteção contra curto-circuito;
- Faixa de medição – 15cm a 10m.

Figura 12: Sensor laser.



FONTE: IFM, 2019.

3.2.2 Posicionador eletropneumático

Na aplicação deste trabalho, o posicionador terá a função de atuar o rolo alinhador de acordo com o pedido do CLP. A definição do modelo foi de acordo com as opções já utilizadas na planta que além de uma boa resistência ao ar contaminado característico da planta (não ideal para instrumentação), possui uma fácil adaptação. Já que a aplicação não é padrão para este tipo de instrumento.

O posicionador eletropneumático trabalha como um conversor de sinais. Sua entrada recebe um sinal que varia de 4 a 20 mA (no modelo aplicado, HART) e retorna um sinal de pressão em duas saídas (dupla ação) que inflará o folen, que antes era função do apalpador de tecido.

O posicionador utilizado é o modelo SRD991, ilustrado na figura 13, com as seguintes características:

- Pressão de alimentação (entrada) – 1,4 a 6 bar;
- Pressão de saída pneumática – 0 a pressão de entrada;
- Tensão de alimentação – 9 a 32 Vcc;
- Comunicação – 4 a 20 mA (HART);
- Dupla ação.

Figura 13: Posicionador eletropneumático – SRD991.



Fonte: FOXBORO ECKARDT (2014).

3.2.3 Controlador Lógico Programável (CLP)

O CLP é um dos principais equipamentos eletrônico digital disposto de *hardware* e *software* compatíveis para aplicação em indústrias. Composto de memória programável para armazenar todas as instruções de implementação ou funções específicas como programação de lógica. Utilizando de módulos de entradas e saídas (figura 14), operando diversos tipos de máquina e processo.

Os controladores lógicos programáveis (CLPs) são hoje a tecnologia de controle de processos industriais mais amplamente utilizada. Um CLP é um tipo de

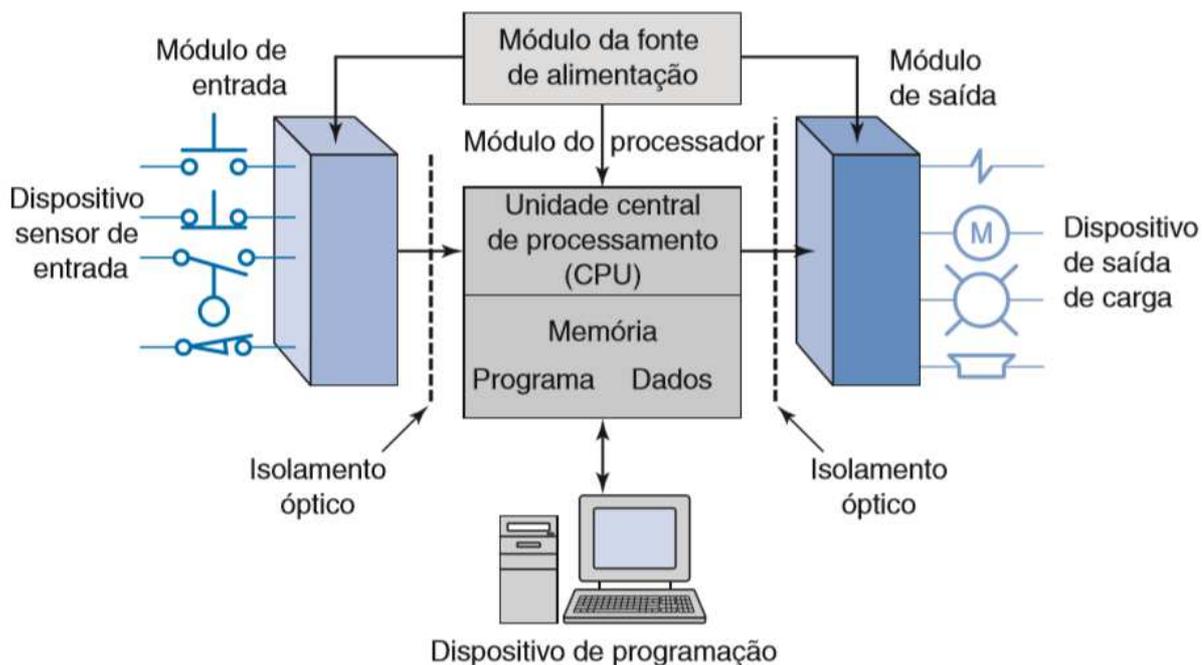
computador industrial que pode ser programado para executar funções de controle (...); esses controladores reduziram muito a fiação associada aos circuitos de controle convencional a relé, além de apresentar outros benefícios, como a facilidade de programação e instalação, controle de alta velocidade, compatibilidade de rede, verificação de defeitos e conveniência de teste e alta confiabilidade. (PETRUZELLA 2014, pag. 1)

A constituição básica de um CLP é dada pelas seguintes unidades:

- Terminal de programação: normalmente esta função é executada por um microcomputador;
- Microprocessador central: é responsável pela execução da lógica de controle;
- Memória de programas e memória de dados: a memória de programa é destinada a armazenar o código do programa que define a lógica de controle e a memória de dados armazena os estados das entradas e saídas bem como de dados internos do CLP;
- Fonte de alimentação: é destinada a alimentar o circuito eletrônico do CLP incluindo a CPU e a parte lógica dos módulos de entradas e saídas;
- Subsistemas de entradas e saídas: é a interface entre o CLP e os dispositivos de campo. Basicamente é composta de vários módulos que realizam o condicionamento dos sinais de campo para que os mesmos possam ser lidos e enviados para os dispositivos.

O CLP utilizado é modelo Quantum da Schneider, responsável pelo controle da planta.

Figura 14: Estrutura típica CLP.



Fonte: Petruzella, 2014.

3.2.4 Software

Para a programação do CLP da Schneider, foi utilizada uma ferramenta de programação e monitoração específica para estes CLP's denominada CONCEPT. Com este *software* é possível programar e monitorar outras linhas de CLPs da Schneider, tais como as linhas "Compact", "Momentum" representado na figura 15 e "Atrium".

Figura 15: CLP Momentum.



FONTE: SCHNEIDER, 2019.

3.2.5 Linguagem de programação

O CLP utilizado neste trabalho pode ser programado em múltiplas linguagens de programação conforme norma IEC 61131-3 (SCHNEIDER, 2010). Estas linguagens são:

- FBD – Diagrama de Blocos de Função (*Function Block Diagram*);
- LD – Ladder (*Ladder Diagram*);
- SFC – Gráfico de função sequencial (*Sequential Function Chart*);
- IL – Listas de instrução (*Instruction List*) e
- ST – Texto estruturado (*Structured Text*).

Estas linguagens podem ser utilizadas simultaneamente, flexibilizando o trabalho do programador.

Foi utilizada a linguagem FBD para programar a lógica do sistema de alinhamento automático. Esta linguagem, segundo Petruzella (2014), é uma representação gráfica de fluxo de processos que utiliza interface de blocos simples e complexos.

3.2.6 Alguns blocos utilizados

A lógica é a capacidade de tomar decisões quando um ou mais fatores diferentes devem ser levados em consideração antes que uma ação aconteça, e essa é a base para o funcionamento do CLP, ou seja, ele é requisitado para um dispositivo funcionar quando certas condições forem cumpridas. (Petruzella, 2014)

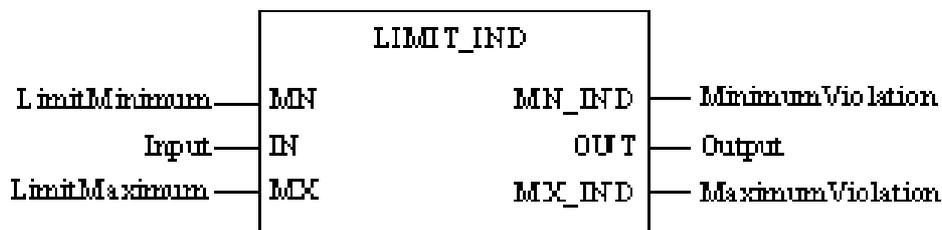
E para entender a lógica programada, é necessário entender alguns blocos utilizados:

Bloco LIMIT_IND:

Este bloco, representado na figura 16, transfere o valor de entrada inalterado (*Input*) para o (*output*), se o valor de entrada não for menor do que o valor mínimo (LimitMinimum) e não exceder o valor máximo (LimitMaximum). Se o valor de entrada (*Input*) for menor que o valor mínimo (LimitMinimum), o valor mínimo será transferido para a saída. Se o valor de entrada (*Input*) exceder o valor máximo (LimitMaximum), o valor máximo será transferido para a saída.

Além disso, uma indicação é dada se o valor mínimo ou máximo é violado. Se o valor na entrada (*Input*) for menor que o valor na entrada (LimitMinimum), a saída (Minimumviolação) se tornará "1". Se o valor na entrada (*Input*) é mais do que o valor na entrada (LimitMaximum), a saída (Maximumviolação) torna-se "1". Os tipos de dados dos valores de entrada (LimitMinimum, entrada, LimitMaximum) e o valor de saída (*output*) devem ser idênticos.

Figura 16: Bloco LIMIT_IND.

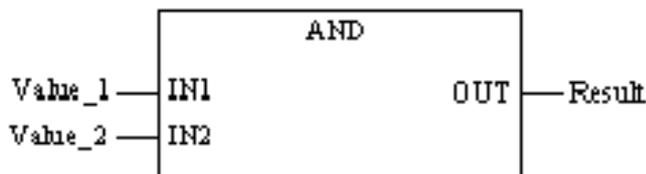


Fonte: Schneider 2007.

Bloco AND:

A função para um *link bit a bit* e as seqüências de *bits* nas entradas e atribui o resultado para a saída. Os tipos de dados de todos os valores de entrada e valores de saída devem ser idênticos. O número de entradas pode ser aumentado para um máximo de 32. A funcionalidade dessas funções é idêntica à função AND.

Figura 17: Bloco AND.

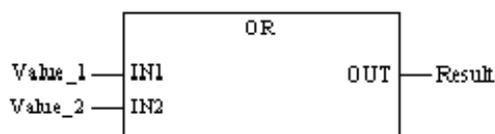


Fonte: Schneider 2007.

Bloco OR:

A função para um *bit* ou *link* das sequências de *bits* nas entradas e retorna o resultado na saída. Os tipos de dados de todos os valores de entrada e valores de saída devem ser idênticos. O número de entradas pode ser aumentado para um máximo de 32. A funcionalidade dessas funções é idêntica à função OR.

Figura 18: Bloco OR.



Fonte: Schneider 2007.

Bloco SEL:

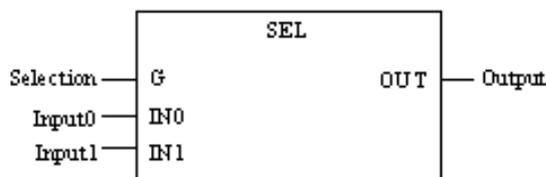
Este bloco, exibido na figura 19, tem a função de seleção binária entre dois valores de entrada. Dependendo do estado da entrada *Selection*, a entrada *Input0* ou a entrada *Input1* é transferida para a saída *output*.

Seleção = 0-> saída = Input0

Seleção = 1-> saída = Input1

Os tipos de dados dos valores de entrada *Input0* e *Input1* e os valores de saída devem ser idênticos.

Figura 19: Bloco SEL.

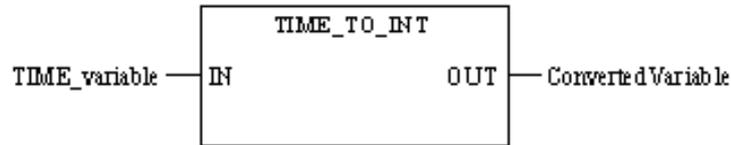


Fonte: Schneider 2007.

Bloco TIME_TO_INT:

A função, apresentada pelo bloco da figura 20, converte um valor de entrada do tipo de dados TIME para um tipo de dados INT.

Figura 20: Bloco TIME_TO_INT.

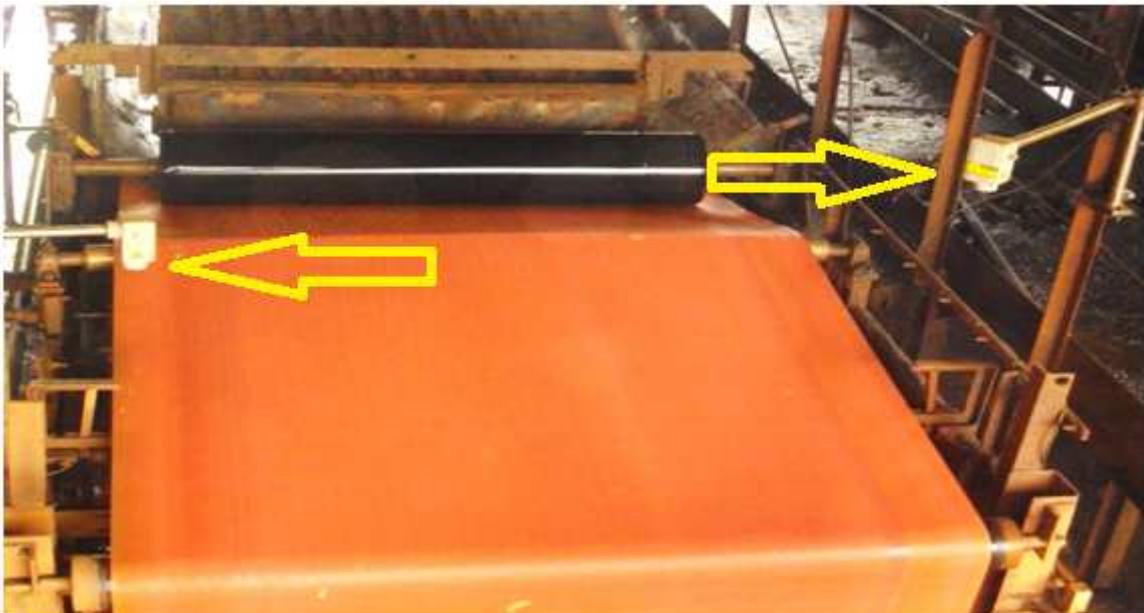


Fonte: Schneider 2007.

3.3 Instalação dos sensores a laser

Para a instalação dos sensores a laser foi observado de início a área de menor influência de projeção de material e água. Para deixá-los protegidos, foram montados dentro de conduletes de uma polegada conforme figura 21. Cada sensor a laser foi ligado ao CLP por um cartão analógico de entrada de 4 a 20 mA e seu alcance foi estipulado em um (1) metro. Desta forma, o sensor indicará 0,3 m detectando o tecido e 1 m sem detectá-lo.

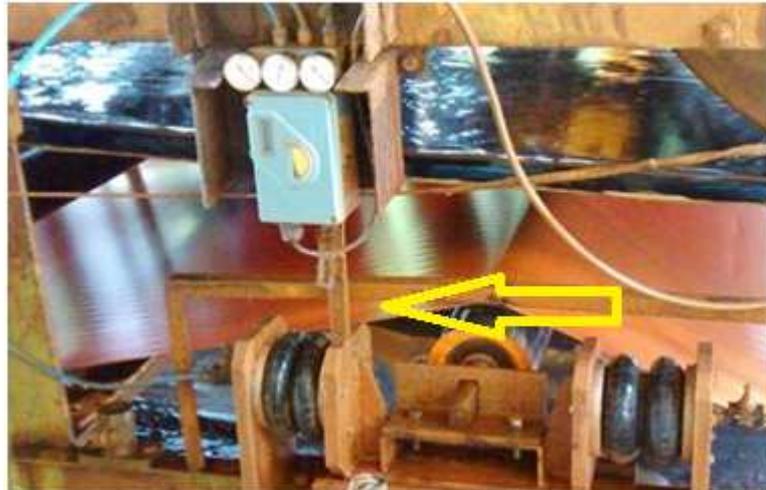
Figura 21: Posição inicial dos sensores a laser.



3.4 Instalação do posicionador

Ao alojar o posicionador, foi notada a necessidade da adaptação de um complemento para acoplar a haste de *feed back* do posicionador com o carro dos folens. Esta adaptação foi demonstrada na figura 22.

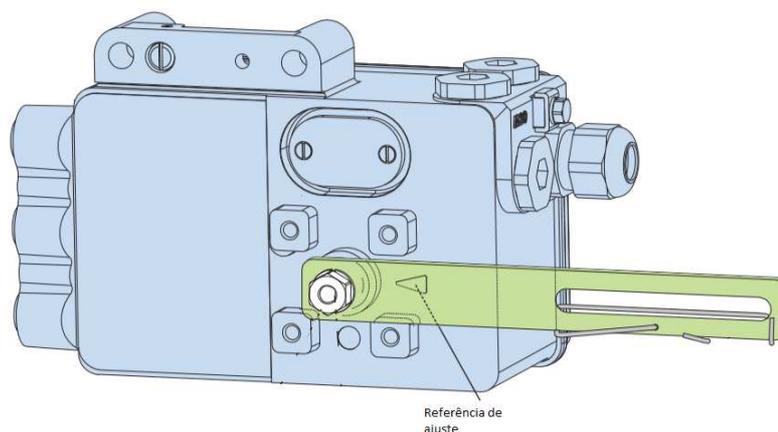
Figura 22: Posicionador pneumático instalado.



Para a instalação do posicionador, foi observado o manual e algumas relações de posição do rolo alinhador de tecido:

- Posicionar a referência da haste de acordo com manual (figura 23);
- Soldar suporte para conexão com a haste do posicionador, conforme apêndice 2;
- Ligação de 4 a 20 mA definindo o 12 mA (50%) como tecido alinhado, ou seja, o rolo alinhador centralizado.

Figura 23: Referência de ajuste da haste – SRD991.



Fonte: FOXBORO ECKARDT (2014).

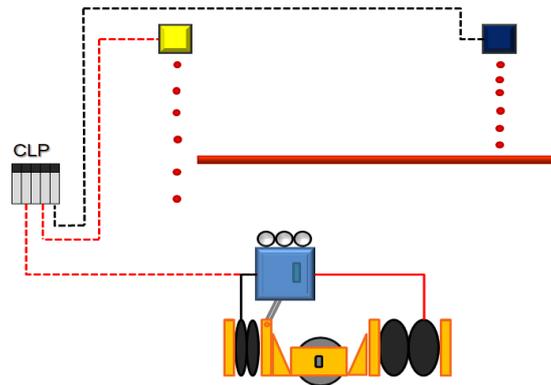
3.5 A lógica

Após a instalação dos sensores e posicionador, seguindo a ideia do esboço (figura 11) e verificação dos sinais retornados, iniciou-se a programação do funcionamento do sistema alinhador de tecido, agora acionado pelo posicionador eletropneumático.

Segue as regras a serem programadas:

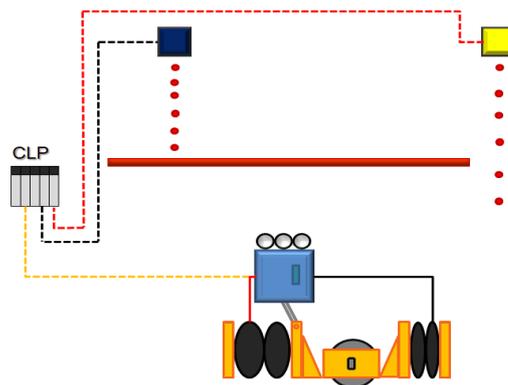
- A regra básica é que quando os dois sensores detectarem o tecido, o posicionador deverá receber referência de 50% (12 mA) e manipular os folens de modo que o rolo não desloque o tecido, estabelecendo um ponto de equilíbrio;
- A segunda regra é quando o SLD (figura 11) deixar de detectar o tecido, o sinal recebido pelo posicionador deverá diminuir gradativamente até chegar a 0% (4 mA), figura 24, ou o sensor voltar a detectar o tecido;

Figura 24: Detecção de desalinhamento à direita



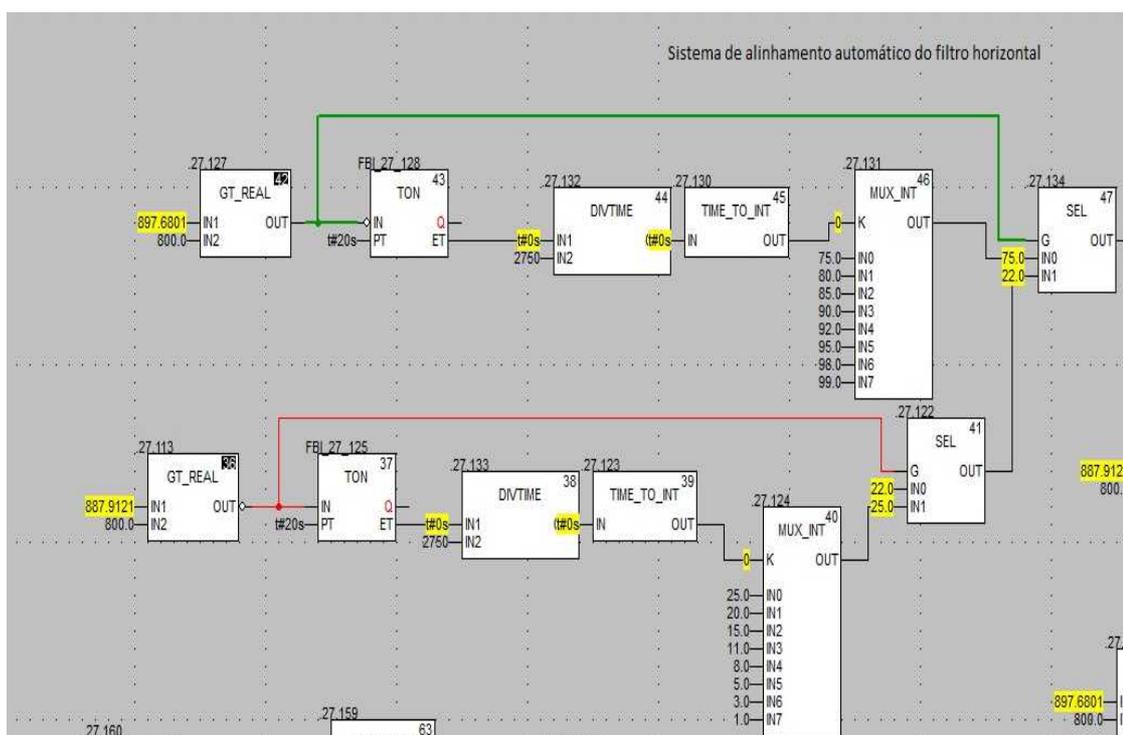
- De forma análoga, quando o SLE (figura 11) verificar o deslocamento do tecido, o sinal recebido pelo posicionador deverá aumentar gradualmente até chegar a 100% (20 mA), figura 25, ou o sensor detectar o tecido.

Figura 25: Detecção de desalinhamento à esquerda



De modo a obedecer as regras citadas foi implementada a lógica da figura 26.

Figura 26: Lógica de atuação do alinhador.



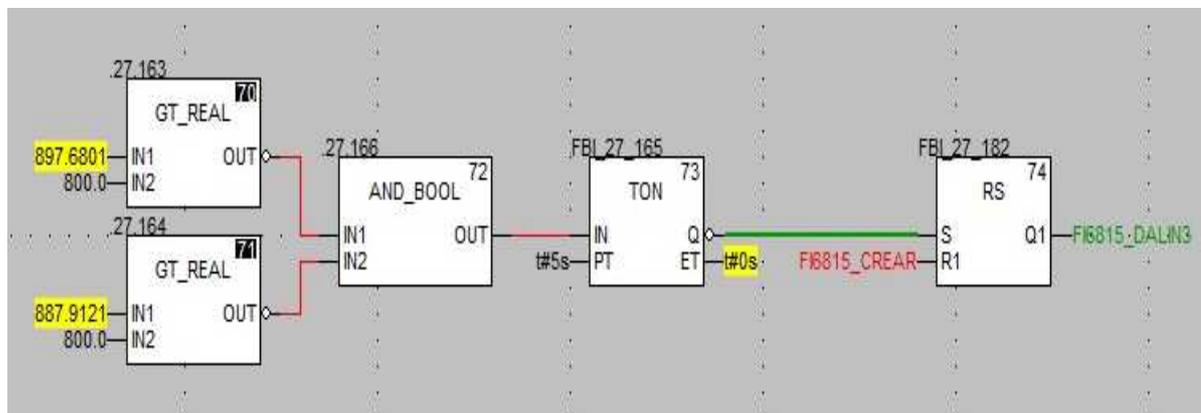
Essas regras citadas acima têm como objetivo impor que o novo sistema execute a mesma função que o sistema com o apalpador de tecido, ou seja, o tecido desalinhou, o sistema restabelece o alinhamento. Porém, se a perturbação do alinhamento for maior que a capacidade de alinhar do sistema, o rasgo do tecido poderá ocorrer da mesma maneira que no sistema anterior. Portanto, foram levantadas as seguintes falhas que causariam rasgos no tecido:

- Queima de um dos sensores. O sistema iria supor um desalinhamento e mandaria o tecido alinhar no sentido do sensor queimado até atuar o limite de fim de curso e, na falha deste, até romper o tecido. Desta forma não sinalizaria o defeito de sensor queimado;
- Queima dos dois sensores. O sistema irá sobrepor a lógica e será solicitado o alinhamento para um dos lados, podendo vir até a romper o tecido.

Dessa forma, de modo mitigar os problemas levantados foi definido que quando os dois sensores atuarem, será parado o filtro e indicará sensor queimado, uma vez que não existe a possibilidade dos dois sensores atuarem ao mesmo tempo.

Portanto, quando os dois sensores atuarem ao mesmo tempo durante 5 (cinco) segundos, atuará o defeito conforme o descrito na figura 27.

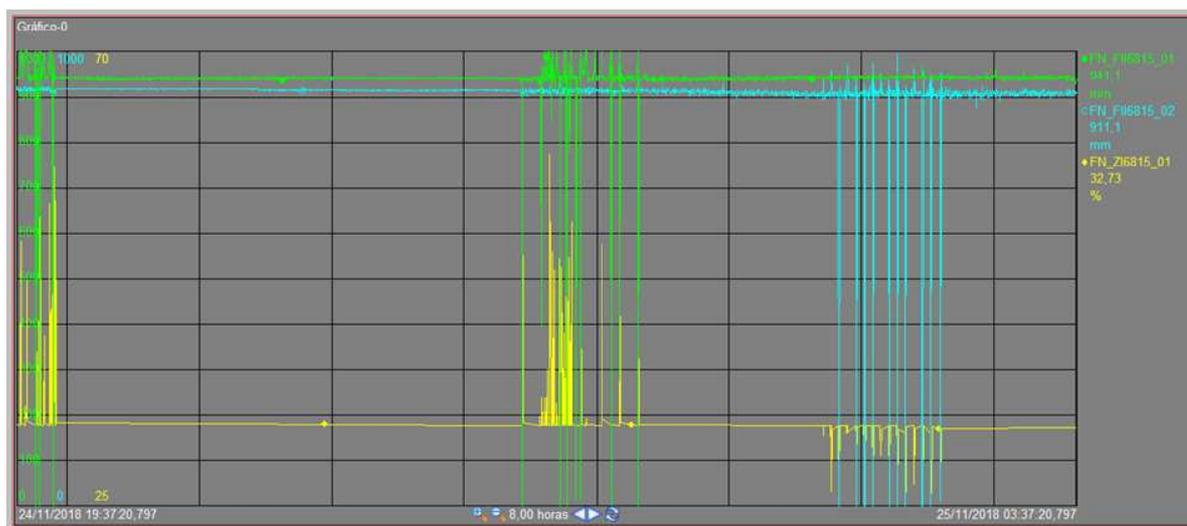
Figura 27: Lógica de falha dos sensores.



3.6 O monitoramento

Para facilitar a manutenção e definição de diagnóstico foi incluído ao sistema gerenciamento de informações (PIMS), os sinais dos sensores e do atuador do rolo alinhador, conforme revelado na figura 28. Portanto, o mantenedor poderá acompanhar tendências, verificar funcionamento e confrontar informações dos defeitos e diagnósticos.

Figura 28: Sinais monitorados pelo PIMS.



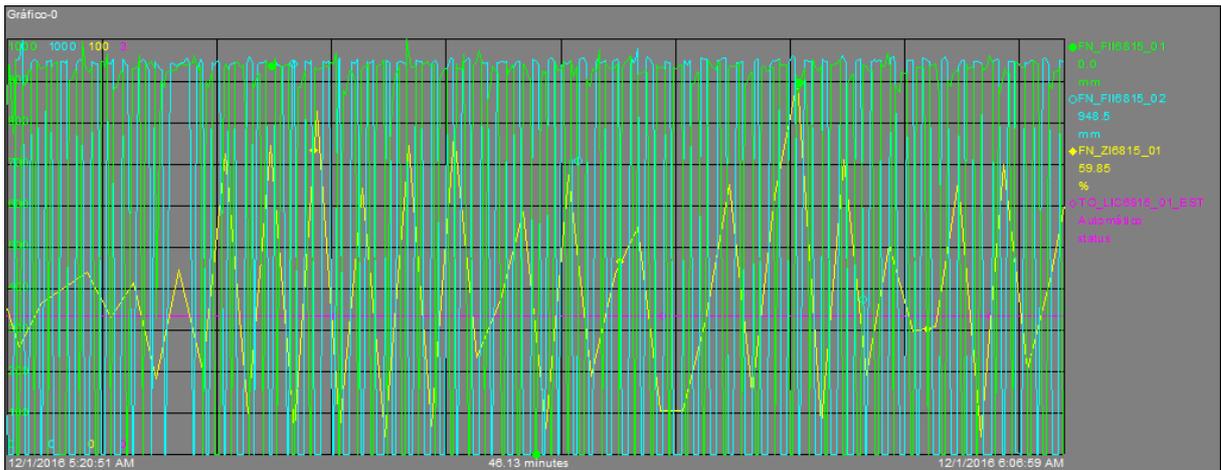
As linhas verde e azul correspondem aos sinais dos SLD e SLE, já a linha amarela corresponde ao sinal enviado ao posicionador, controlando, assim, a posição do rolo alinhador. Pode-se observar que o sinal de saída eleva quando o sinal da linha verde é alterado e diminui quando o sinal da linha azul é modificado.

Portanto, defeitos poderão ser diagnosticados por meio de análise destes sinais. Um destes defeitos é a falha de um destes sensores. Outro é atuação do sensor e a resposta do atuador não ser suficiente para o alinhamento do tecido. O entendimento do sistema é essencial para uma análise eficiente das possíveis falhas.

4. RESULTADOS

Após as instalações necessárias dos sensores e do posicionador, o equipamento rodou para testes durante dois dias. Porém, o resultado da primeira hora de funcionamento não foi satisfatório, conforme pode-se observar nos sinais da figura 29, a oscilação elevada e o ponto de equilíbrio não encontrado.

Figura 29: Sinais do sistema de alinhamento antes dos ajustes.



Observando o processo, foi identificado que a posição onde foram instalados os sensores não dá a resposta adequada. Gerando um tempo de resposta elevado para o controle, impossibilitando que o sistema mantenha o tecido alinhado.

Dessa forma, foi modificada a localização dos sensores a laser, posicionando próximo ao rolo de alinhamento, mostrado na figura 30. Apesar de ficar mais exposto a ação de jatos de água e queda de poupa de minério, o tempo do ponto de leitura do tecido até chegar ao rolo alinhador passou de 15 segundos para 2 segundos.

Figura 30: Nova posição dos sensores.

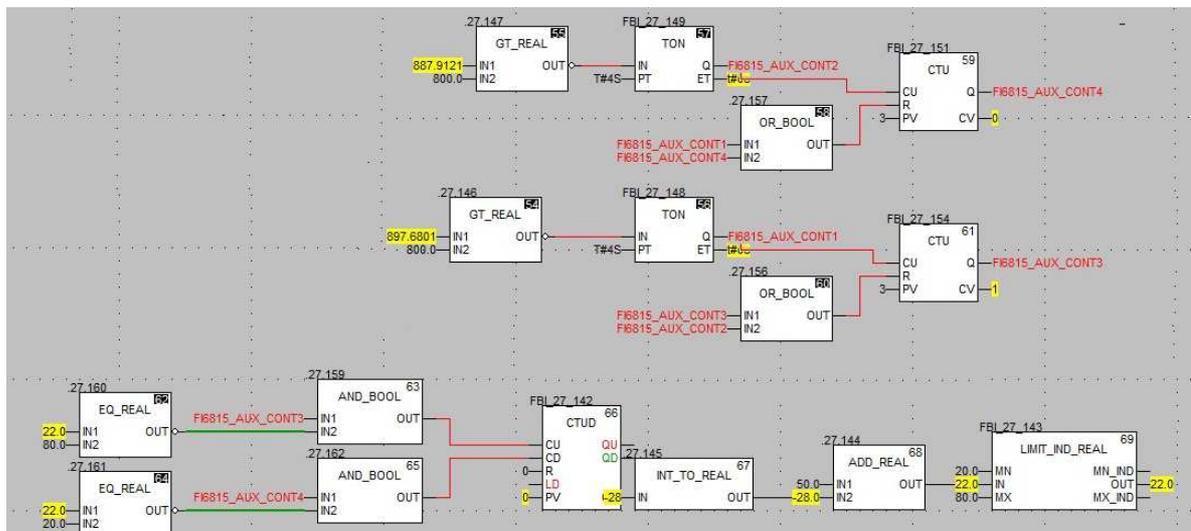


Foram observados também desalinhamentos consecutivos para o mesmo lado, o que sugere que o rolo alinhador estaria fora do seu ponto de equilíbrio que, teoricamente, seria 50% da saída do atuador. Isto ocorre devido a variações do processo como, por exemplo, a chegada da polpa no filtro estar fora de centro, ou ainda o desalinhamento do conjunto mecânico do equipamento, como correia e tambores.

Com o intuito de preparar o alinhador para encontrar o ponto de equilíbrio automaticamente, foi criado um algoritmo, figura 31, com as seguintes diretrizes:

- Estabelecer um ponto de equilíbrio móvel;
- Número máximo de intervenção de desalinhamento do mesmo lado sem que haja alteração no ponto de equilíbrio;
- Limites máximo e mínimo do ponto de equilíbrio.

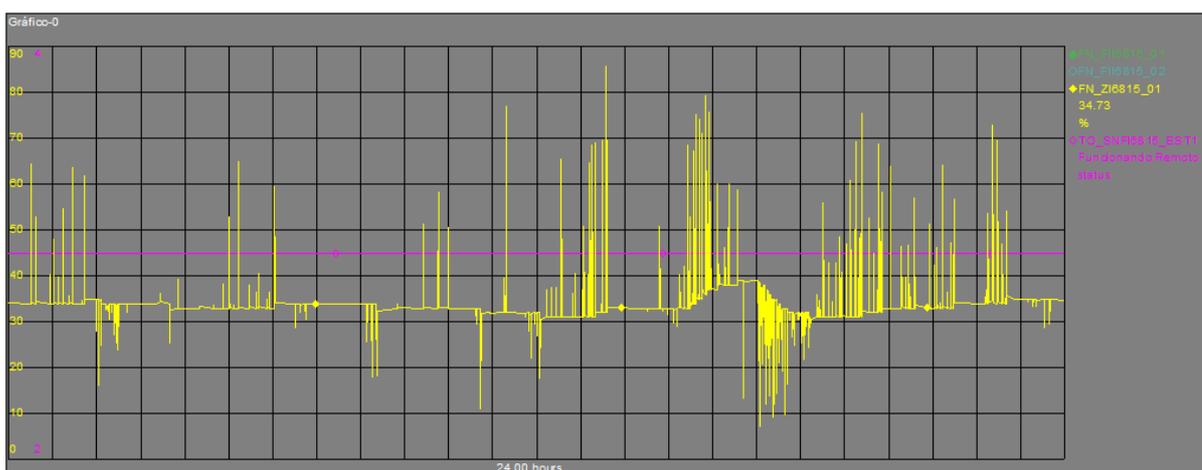
Figura 31: Lógica de ponto de equilíbrio automático.



A lógica final se encontra no apêndice 1.

Depois de realizadas as alterações mencionadas, os resultados foram satisfatórios. A oscilação reduziu consideravelmente. Podendo afirmar que o controle absorve as perturbações do processo, conforme demonstrado na figura 32, onde que, num intervalo de 24 horas, o ponto de equilíbrio ficou flutuando e quando o sistema não era perturbado, a saída ficou fixa por mais de uma hora.

Figura 32: Sinal de saída do sistema alinhador após alterações.



Analisando o intervalo de 12 meses antes e após a instalação do novo sistema de alinhamento do tecido e dos recursos adicionais como a proteção dos sensores queimados, foram obtidos os seguintes resultados:

- Redução de 11 trocas para 3 trocas de tecidos;

- Diminuição a exposição do mantenedor aos riscos inerentes a troca de tecido;
- Redução das perdas em mais 43 mil toneladas, passando de 81290 toneladas para 37949 toneladas;
- Aumento da disponibilidade física do equipa;
- Eliminação da necessidade de troca do apalpador de tecido, devido ao novo sistema não utilizar nenhuma peça que terá o desgaste com o contato no tecido;
- O sistema implementado se mostrou muito robusto, não apresentou, dentro do intervalo citado, nenhuma necessidade de troca de componentes do sistema.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O trabalho realizado mostra a automatização de um FCH em um processo de beneficiamento de minério de ferro, por meio de sensores a laser, posicionador eletropneumático e um controlador lógico programável. O filtro que possuía uma baixa disponibilidade física, com índice alto de trocas de tecidos devido aos rasgos prematuros e dificuldade em diagnóstico das falhas. A automatização permitiu melhorar a eficiência, aumentar a segurança e alcançar resultados satisfatórios com menores custos.

O conhecimento da tecnologia disponível é fundamental para as escolhas dos sensores, equipamentos, forma de ligação e tratamento de sinal. Além disso, é importante também, conhecer as alternativas de linguagem de programação de CLPs, de forma a se conseguir implementar de forma mais segura e simples os comandos necessários para que o sistema funcione.

O sistema atingiu sua expectativa e funcionalidade, porém, como forma de melhoria no controle, a ideia é trocar os sensores a laser utilizados por um sensor scanner, que também pode ser a laser, porém, com o retorno da posição do tecido. Dessa forma, pode ser utilizado um controle PID, deixando de ser necessária a utilização do ponto de equilíbrio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FOXBORO. Sobre a Empresa: Schneider Eletric. **Website da Schneider Eletric**, 2010. Disponível em: <https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=FD-QG-PO-001-PT.pdf&p_Doc_Ref=QG-PO-001-PT>. Acesso em: 18 Fevereiro 2019.

FOXBORO. www.eck-boro.ch. **FOXBORO ECKARDT**, c2014. Disponível em: <https://www.eck-boro.ch/Dokumentation_e.IB/portuguese/eckardt/SRD991_2MI_E_001_pt.pdf>. Acesso em: 01 Março 2019.

GUIMARÃES, N. C. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Tecnologia Mineral, Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.

IFM eletric. **Ifm eletric**, 1 maio 2019. Disponível em: <<https://www.ifm.com>>. Acesso em: 01 Março 2019.

VLC. **Soluções em separação soólido|líquido**. Disponível em: <<http://www.vlc.com.br/>>. Acesso em: 01 Março 2019.

KWUGE, G. P. N. The application of a horizontal vacuum belt filter to smuts dewatering and cane mud filtration. In: **PROCEEDINGS OF THE SOUTH AFIICAN SUGAR TECHNOLOGISTS' ASSOCIATION**. Jun 1984. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/2d7a/5d0f13558bdea5650d592425a530675a9dd9.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

NASCIMENTO JUNIOR, J. O. DO; SCHULER, C. A. B; , CAVALCANTE, R. B. DE S. Sistema Laser Scanner. **Anais – III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Aracaju/SE, 25 a 27 de out 2006. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr3/artigos_pdf/069_t.pdf>. Acesso em 15/06/2019.

OLIVEIRA, Ana Paula de; Luz, Adão B. da. **Recursos hídricos e tratamento de águas na mineração**. Edição (se houver). Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 36 p.

(Série Tecnologia Ambiental, 24). Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/349/1/sta-24.pdf>>. Acessado em: 16 jun 2019.

PETRUZELLA, F. D. **Controladores Lógicos Programáveis**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2014. 498 p.

SCHAFER, A. Gularte; LOCH, R. E. Nogueira. Aplicação dos dados do sensor Laserscanner para modelagem do terreno visando projetos rodoviários. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 749-756. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.13.12.55/doc/749.pdf>>. Acessado em: 06 fev. 2019.

SCHNEIDER ELETRIC. Sobre a Empresa: Schneider Eletric. **Site da Schneider Eletric no Brasil**. Disponível em: <https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=Mom_535_RPFJR18001&p_File_Type=rendition_369_jpg>. Acesso em: 01 mar. 2019.

SCHNEIDER ELETRIC. Concept 2.6 IEC Block Library Part: ANA_IO, 2007

SCHNEIDER ELETRIC. Concept 2.6 IEC Block Library Part: IEC, 2007

SCHNEIDER ELETRIC. Concept 2.6 IEC Block Library Part: CONT_CTL, 2007

SCHNEIDER ELETRIC. Concept 2.6 IEC Block Library Part: EXTENDED, 2007

SCHNEIDER ELETRIC. Concept EFB User Manual, 2010.

TECNIPLANT. **FGD – Typical Gypsum Dewatering System**. Disponível em: <http://www.tecniplant.it/wp-content/uploads/2014/11/m6j8Horizontal_imp.jpg>. Acesso em: 12 de jun 19.

USIMINAS. **Mineração USIMINAS: Nosso produtos**. c2019. Disponível em: <<https://www.usiminas.com/mineracao/produtos>>. Acesso em: 03 de jul 19.

APÊNDICE

Apêndice 1 – Programação realizada no CLP para controle do sistema de alinhamento automático.

