



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO – CEC AU**



LUCAS TÚLIO FERNANDES DA SILVA

**AUTOMATIZAÇÃO DAS BOMBAS DE RETIRADA DO UNDERFLOW E
SUPERVISÃO DE VARIÁVEIS DO PROCESSO DE ESPESAMENTO DE LAMA**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2018

LUCAS TÚLIO FERNANDES DA SILVA

**AUTOMATIZAÇÃO DAS BOMBAS DE RETIRADA DO
UNDERFLOW E SUPERVISÃO DE VARIÁVEIS DO
PROCESSO DE ESPESSAMENTO DE LAMA**

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

Orientador: Ronilson Rocha

Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Dezembro/2018

S586a Silva, Lucas Túlio Fernandes da.
Automatização das bombas de retirada do underflow e supervisão de
variáveis do processo de espessamento de lama [manuscrito] / Lucas Túlio
Fernandes da Silva. - 2018.

86f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Ronilson Rocha.

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

1. Processo Bayer. 2. Espessamento. 3. PLC. 4. Ladder. 5. Sistema
supervisório. I. Rocha, Ronilson. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III.
Titulo.

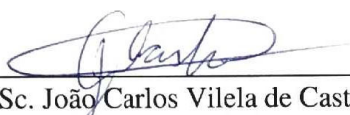
CDU: 681.5

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

Monografia defendida e aprovada, em 13 de dezembro de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Ronilson Rocha - Orientador



Prof. M. Sc. João Carlos Vilela de Castro – Professor Convidado



Prof. Vinícius Marinho Silva – Professor Convidado

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais, Cássia e Alcione, por me permitirem sonhar e por sempre me apoiarem nas minhas escolhas. Ao meu irmão, João Gabriel, pela amizade e por ser um exemplo de perseverança e dedicação.

À companheira Yhasmim, pelo amor e por tornar esse louco período muito mais feliz.

Aos meus avós, pelos valores e ensinamentos, em especial, ao vô Zé Realino, um dos meus maiores incentivadores e razão por eu ter escolhido a Automação.

Aos meus tios, tias, primos e primas e toda a minha família pelo carinho e torcida.

Aos meus grandes amigos por estarem sempre ao meu lado.

Ao CEAD IFMG-OP pelo conhecimento compartilhado.

À Hindalco e seus colaboradores, pela oportunidade e conhecimentos repassados. Um agradecimento em especial para o pessoal da “Manutenção”, grandes professores, com os quais aprendi muito.

Por fim, agradeço à UFOP e a gloriosa Escola de Minas pelo ensino de qualidade e aos professores pela dedicação, em especial aos grandes Ronilson e Joca.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota. ”
(Theodore Roosevelt)

RESUMO

O beneficiamento da bauxita com foco na produção de alumina é um processo bastante complexo e é realizado com base em métodos. Um dos métodos mais utilizados é o chamado processo Bayer. O processo Bayer utiliza de reações químicas submetidas a altas temperaturas e altas pressões para a produção da alumina. O processo se divide em algumas etapas: digestão, clarificação, precipitação e calcinação. Dentro da etapa de clarificação temos o processo de espessamento, que nada mais é que a separação de um material sólido do líquido através da decantação. No processo de beneficiamento de alumina, o material que decanta no fundo, também chamado de *underflow* é o resíduo gerado e o material líquido, o *overflow*, é o produto. O objetivo desta monografia é a automatização de parte do processo de espessamento da Hindalco do Brasil. Essa automatização visa oferecer à operação ferramentas para um melhor controle da área, buscando a diminuição do desperdício de insumos e o aumento da produtividade. Sendo assim, realizou-se o acionamento remoto das bombas e o controle de vazão do underflow de cinco dos seis espessadores presentes atualmente na empresa. Além disso, algumas variáveis críticas para a área de espessamento são monitoradas, afim de gerar alertas ao operador caso haja algum desvio dos seus valores. Para viabilizar essa automatização, utiliza-se de um PLC (*Programmable Logic Controller*) e um sistema supervisório. O PLC utilizado é responsável por executar toda a lógica de programação desenvolvida para a área. A lógica de programação foi realizada na linguagem de programação ladder. Para supervisão de variáveis e interface com o operador da planta, foi utilizado um sistema supervisório.

Palavras chaves: Processo Bayer, espessamento, *underflow*, controle, PLC, ladder, sistema supervisório

ABSTRACT

Bauxite processing focusing on alumina production is a rather complex process and it is carried out based on methods. One of the most widely used processes is the Bayer process. The Bayer process uses chemical reactions submitted to high temperatures and high pressures to produce alumina. The process is divided in some steps: digestion, clarification, precipitation and calcination. In the clarification stage there is the thickening process, which is basically the separation of the solid material from the liquid part through decantation. In the alumina processing the material that settles on the bottom, also called underflow, is the waste generated and the liquid part, the overflow, is the product. The objective of this monography is the automation of part of the thickening process at Hindalco do Brasil. This automation aims to provide the operation with tools to improve the control in the area, seeking to decrease the waste of inputs and to increase productivity. Thus, the remote control of the pumps and of the underflow of five out of six thickeners currently in use at company was developed. Moreover, some critical variables for the thickening area are monitored, in order to generate alerts to the operator in case their values suffer any change. To make this automation possible, a PLC (Programmable Logic Controller) and a supervising system are used. The PLC used is responsible for executing all the programing logics developed for the area. The programing logics was made in the programing language ladder. For variables monitoring and interface with the plant operator, a supervising system was used.

Key words: Bayer Process, thickening, underflow, control, PLC, ladder, supervising system.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Comparativo entre os métodos de produção de alumina	15
FIGURA 2.1 – Etapas do processo Bayer	19
FIGURA 2.2 – Visualização geral de um espessador	22
FIGURA 3.1 – Comparação entre um painel de controle baseado em relé e um painel de controle baseado em PLC.	25
FIGURA 3.2 – Esquema de um PLC	26
FIGURA 3.3 – Estrutura modular do PLC	27
FIGURA 3.4 – Estrutura fixa do PLC	28
FIGURA 3.5 – Módulo de entrada	29
FIGURA 3.6 – Módulo de saída	30
FIGURA 3.7 – Ciclo de programa	33
FIGURA 4.1 – Passos para programação de um PLC	41
FIGURA 4.2 – Rotinas do programa do PLC	42
FIGURA 4.3 – Rotina Main'	43
FIGURA 4.4 – Alarme parada de raspa dos espessadores.	44
FIGURA 4.5 – Acionamento da sirene do alarme de parada de raspa	45
FIGURA 4.6 – Alarme de torque maior ou igual a 40%	46
FIGURA 4.7 – Acionamento da sirene do alarme de torque maior ou igual a 40%	47
FIGURA 4.8 – Alarme pH do rio	48
FIGURA 4.9 – Acionamento da sirene do alarme de pH do rio	49
FIGURA 4.10 – Alarme nível baixo e alto do tanque T-34B-1	50
FIGURA 4.11 – Lógica de falha na partida	51
FIGURA 4.12 – Lógica de acionamento das bombas de underflow dos espessadores	51
FIGURA 4.13 – Utilização do bloco MOVE INT de 16 endereços	52
FIGURA 4.14 – Utilização do bloco MOVE INT de 7 endereços	52
FIGURA 4.15 – Lógica de eliminação de ruídos das entradas analógicas relativas aos medidores de vazão	53
FIGURA 4.16 – Lógica espelhamento entradas digitais	54
FIGURA 4.17 – PID SIC-28B-1A	55
FIGURA 4.18 – PID em modo manual	56
FIGURA 4.19 – PID em modo automático	56

FIGURA 4.20 – Parâmetros PID SIC-28B-1A	57
FIGURA 4.21 – Geração de um contato pulsante de 2 em 2 segundos	58
FIGURA 4.22 – Lógica para limpeza dos comandos do supervisório	59
FIGURA 4.23 – Driver GE9	60
FIGURA 4.24 – Visão geral do iFIX Workspace	61
FIGURA 4.25 – Banco de dados ESPEVAP	62
FIGURA 4.26 – Bloco de uma variável no banco de dados	63
FIGURA 4.27 – Visão geral da tela principal	64
FIGURA 4.28 – Estado das bombas e indicação da vazão do underflow dos cinco espressadores	65
FIGURA 4.29 – Torque e raspas dos espessadores	66
FIGURA 4.30 – Acesso as telas de Gráficos e Alarmes	67
FIGURA 4.31 – Quadro resumo dos últimos alarmes	67
FIGURA 4.32 – Indicação das variáveis críticas da área	68
FIGURA 4.33 – Tela de gráficos	69
FIGURA 4.34 – Tela de alarmes	70
FIGURA 4.35 – Tela de inibição de alarme de raspa parada	70
FIGURA 4.36 – Tela de acionamento das bombas de underflow dos espessadores	72
FIGURA 5.1 – Painel do PLC	73
FIGURA 5.2 – Gráfico da vazão de underflow do espessador T-28B-2	75
FIGURA 5.3 – Gráfico de pH do rio do Funil	75
FIGURA 5.4 – Gráfico da temperatura do espessador T-28B-1	76
FIGURA 5.5 – Gráfico do torque do espessador T-28B-5	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Relação dos módulos do rack do PLC	39
Tabela 4.2 – Cores de animação dos estados das bombas	64
Tabela 4.3 – Esquema de cores de animação das raspas	66
Tabela 4.4 – Textos e cores de animação dos estados das bombas	71
Tabela AI.1 – Relação dos inversores.	83
Tabela AI.2 – Relação das sirenes de alarme.	84
Tabela AI.3 – Relação dos medidores de vazão.	84
Tabela AI.4 – Relação dos medidores de torque	84
Tabela AI.5 – Relação dos retornos de alarme de parada de raspa	85
Tabela AI.6 – Relação do medidor de PH	85
Tabela AI.7– Relação do medidor de nível	85
Tabela AI.8 – Relação do medidor de temperatura	86

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
1.2	Metodologia	16
1.3	Justificativa	17
1.4	Estrutura do trabalho	18
2	BENEFICIAMENTO DE BAUXITA	19
2.1	Estágios do processo Bayer	19
2.1.1	Digestão	19
2.1.2	Clarificação	20
2.1.3	Precipitação	20
2.1.4	Calcinação	20
2.2	Processo de espessamento de lama	21
2.2.1	Espessadores	21
3	INSTRUMENTOS E SOFTWARES DE DESENVOLVIMENTO	24
3.1	PLC	25
3.1.1	Partes de um PLC	26
3.1.1.1	CPU	28
3.1.1.2	Módulos de entradas e saídas	28
3.1.1.2.1	Módulo de entrada	28
3.1.1.2.2	Módulo de saída	30
3.1.1.3	Fonte de alimentação	31
3.1.1.4	Rack	31
3.1.2	Princípio de funcionamento de um PLC	31
3.1.3	Linguagens de programação	33
3.1.3.1	IEC	34
3.1.3.2	Tipos de linguagens	35
3.2	Sistemas supervisórios	36

3.2.1	GE iFIX	37
3.2.2	Drivers de Comunicação	38
4	DESENVOLVIMENTO	39
4.1	Equipamentos e instrumentos	39
4.2	Recursos de PLC	39
4.3	Programação de PLC	40
4.3.1	Estrutura do programa do PLC	42
4.3.1.1	Rotina principal	42
4.3.1.2	Rotina de alarmes	43
4.3.1.2.1	Lógica de alarme de parada das raspas dos espessadores	43
4.3.1.2.2	Lógica de alarme do torque da raspa dos espessadores maior ou igual a 40%	45
4.3.1.2.3	Lógica de alarme pH baixo e alto do rio do Funil	47
4.3.1.2.4	Lógica de alarme do nível do tanque T-34B-1	49
4.3.1.3	Rotina de acionamento dos inversores das bombas	50
4.3.1.4	Rotina de espelhamento das entradas analógicas	52
4.3.1.5	Rotina de espelhamento das entradas digitais	53
4.3.1.6	Rotina de controle de vazão de underflow dos espessadores	54
4.3.1.6.1	Modo manual	56
4.3.1.6.2	Modo automático	56
4.3.1.6.2.1	Ajuste dos parâmetros do PID	57
4.3.1.7	Rotina de reset dos comandos do supervisório	58
4.4	Sistema supervisório	59
4.4.1	Driver de Comunicação	60
4.4.2	Ferramentas do Sistema Supervisório GE iFIX	61
4.4.2.1	Proficy iFIX Workspace	61
4.4.2.2	Proficy iFIX Database Manager	61
4.4.3	Telas de operação	63
4.4.3.1	Tela principal	63
4.4.3.1.1	Parte de underflow dos espessadores	64
4.4.3.1.2	Parte da indicação do torque e estado da raspa dos espessadores	65
4.4.3.1.3	Parte de acesso as telas de Gráfico e Alarmes	67

4.4.3.1.4	Parte de resumo dos últimos alarmes	67
4.4.3.1.5	Parte da indicação das variáveis críticas da área	67
4.4.3.2	Tela de gráficos	68
4.4.3.3	Tela de alarmes	69
4.4.3.4	Tela de inibição de alarme de raspa parada	70
4.4.3.5	Tela de acionamento das bombas de underflow dos espessadores	71
5	RESULTADOS	73
5.1	Controle de vazão de underflow dos espessadores	74
5.2	Variáveis críticas da área 28	75
6	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS	80
	ANEXO I – Relação dos instrumentos e equipamentos integrados ao painel do PLC	83

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a automatização de processos se tornou algo imprescindível para o sucesso de produção das indústrias. Por mais simples que seja, a automatização permite a empresa ter um maior controle sobre o seu processo e com isso aumentar a produtividade e a qualidade de seus produtos. A ideia de um benefício econômico real é em muitos casos o fator decisivo para se optar pela automatização de um processo industrial.

“A automação é o conjunto das técnicas baseadas em máquinas e programas, cujo objetivo é controlar tarefas previamente programadas pelo homem, sendo posteriormente executadas sem a intervenção humana” (GOMES, 2004 apud BUENO, 2010).

O processo de beneficiamento de bauxita para a produção de alumina, independente de qual método de produção utilizado, é extenso e um controle de suas etapas operacionais é fundamental. Quanto maior o controle das variáveis de processo e quanto maior a automatização das etapas, menor serão os desperdícios e maior será qualidade da alumina.

Além disso, como tratam-se de processos químicos, esse processo apresenta um índice elevado de risco aos seus trabalhadores. Automatizando as etapas do processo de beneficiamento de bauxita, muitas vezes, significa que o operador não irá até a área operacional para efetuar uma manobra. Com isso, além de todos os ganhos em produtividade a empresa está resguardando o seu trabalhador dos riscos presentes em uma indústria química.

A Hindalco do Brasil é uma multinacional indiana que está em operação no Brasil desde 2013. Trata-se de uma indústria de beneficiamento de bauxita com foco na produção de aluminas especiais e hidratos. Desde que se instalou no Brasil, a empresa busca, por meio de análises do processo, aumentar a sua produtividade e garantir a qualidade de suas aluminas e hidratos. Essas análises têm proporcionado a expansão da automatização de seus processos produtivos, afim de obterem resultados cada vez mais positivos. Na empresa, o beneficiamento da bauxita é realizado com base no processo Bayer.

O processo Bayer é um processo ou método de beneficiamento da bauxita com a finalidade de obtenção da alumina (Al_2O_3). Esse processo foi desenvolvido pelo Karl Josef Bayer em 1888.

“Esse método consiste no aquecimento da bauxita com Na_2CO_3 a 1200°C , remoção dos aluminatos formados com água, precipitação do $\text{Al}(\text{OH})_3$ através da ação do CO_2 e, finalmente, o $\text{Al}(\text{OH})_3$ formado é filtrado, seco e limpo” (MOTTA, FILHO, ALVES, 2006).

Assim que se popularizou, o método foi bastante aceito nas indústrias de beneficiamento de bauxita pois, gerava uma grande redução de custos na produção se comparado ao método utilizado no mesmo processo de beneficiamento, o Le Chatelier.

Então, foi uma questão apenas de tempo para o processo Bayer substituir o processo de Le Chatelier.

Atualmente, o processo Bayer ainda é muito utilizado em diversas indústrias de beneficiamentos de alumina, com um modelo bem semelhante ao de antigamente, a principal diferença é a substituição do Na_2CO_3 pelo NaOH e a utilização de pressão durante um de seus processos iniciais, a digestão (HIND, BHARGAVA, GROCOTT, 1999 apud MOTTA, FILHO, ALVES, 2006).

Na Figura 1.1 pode-se visualizar um comparativo entre os métodos utilizados para a produção de alumina, o método utilizado anteriormente, o de Le Chatelier, o molde mais antigo do processo Bayer e o molde atual do processo Bayer:

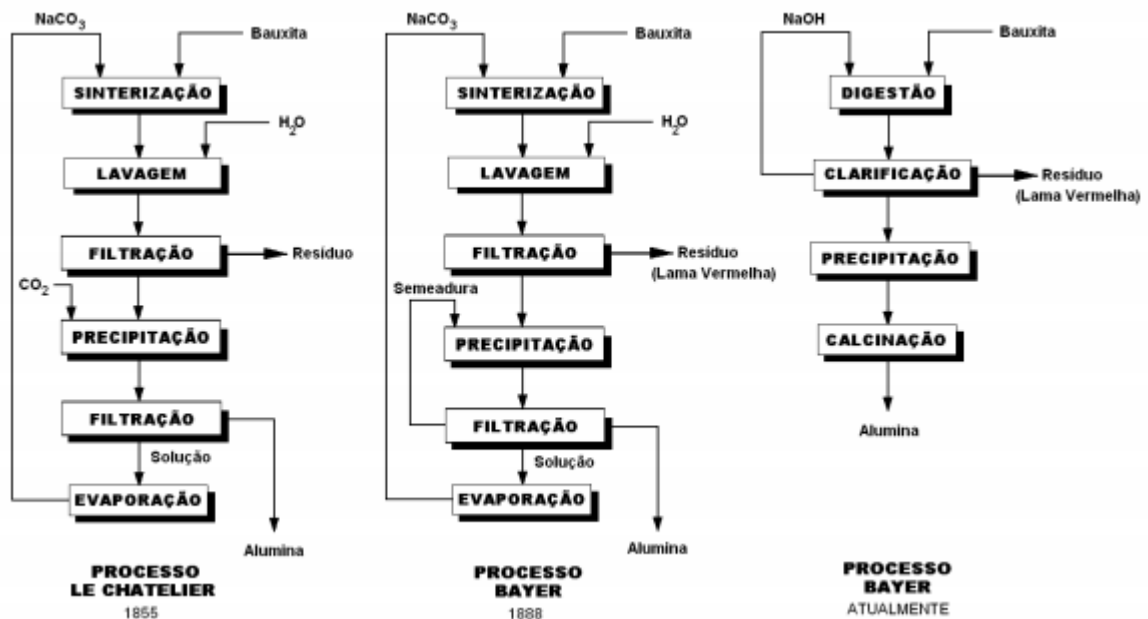


Figura 1.1 – Comparativo entre os métodos de produção de alumina

Fonte: HABASHI, 2005

Com o passar dos anos, os métodos de produção de alumina foram sendo otimizados, buscando uma redução nas etapas e um melhor desempenho do processo.

O processo Bayer é dividido em quatro etapas: digestão, clarificação, precipitação e calcinação. Na etapa de clarificação, um processo de grande importância é o espessamento de lama. Nesse processo ocorre a separação do material sólido do material líquido, por meio da decantação, todo esse processo ocorre dentro dos espessadores. O material que se acumula na parte superior dos espessadores é o produto que irá para a próxima etapa de produção, também chamado de overflow. Já o material que se acumula no fundo, o underflow ou lama vermelha, é o resíduo gerado e é encaminhado para o processo de disposição.

O foco deste trabalho é automatizar a disposição do underflow dos espessadores bem como monitorar variáveis importantes para a saúde operacional da área.

Assim, realizou-se o acionamento remoto das bombas e desenvolveu-se um controle de vazão do underflow de cinco dos seis espessadores presentes atualmente na empresa. Além disso, foram monitoradas algumas variáveis, definidas como críticas para a área de espessamento, com o intuito de gerar alarmes quando os seus valores estiverem fora do valor operacional.

Para o desenvolvimento desse trabalho, utilizou-se dos equipamentos e instrumentos já presentes na área, porém, foram incluídos em um PLC para que pudessem ser gerenciados por meio de um sistema supervisório. Todos os recursos utilizados estavam disponíveis na empresa, portanto não se fez necessário grandes investimentos.

Como recurso de PLC, foi utilizado o modelo 331, da série 9030 da GE, e seus cartões interligados por meio de um rack. O PLC é responsável por executar toda a lógica de programação desenvolvida para a planta. O programa do PLC foi criado na linguagem de programação ladder (linguagem adotada pela empresa) por meio do software Proficy Machine Edition. Para supervisão de variáveis e interface com o operador, foi utilizado o sistema supervisório GE iFIX na versão 3.5

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver a automatização de parte do processo de espessamento da Hindalco do Brasil, controlando a retirada do underflow dos espessadores e monitorando as variáveis críticas para a operação da área.

1.1.2 Objetivos específicos

- I. Definir a estrutura de PLC necessária.
- II. Desenvolver o programa de PLC, em ladder, para controle dos equipamentos e instrumentos da área.
- III. Desenvolver uma plataforma de supervisão para que o operador monitore e interaja com o processo conforme necessidade.

1.2 Metodologia

Para viabilizar o trabalho, após a demanda ser repassada pela equipe de operação da empresa, iniciou-se os estudos do problema afim de propor uma solução eficaz e de baixo custo.

Como trata-se de um processo complexo e de grande importância para o sistema produtivo da empresa, inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica acerca do processo Bayer e todos os seus estágios. Nesse caso, o processo de espessamento foi enfatizado por ser o alvo do trabalho. Com a ajuda das equipes de operação e processos, foram compreendidos os procedimentos operacionais da área de modo a possibilitar sugestões de automatizações do processo.

Após obtido o conhecimento acerca da operação do processo, iniciou-se o levantamento dos equipamentos e instrumentos presentes na área. De posse desses dados, foi realizada a revisão bibliográfica a respeito dos controladores lógicos programáveis e os sistemas de supervisão. Sobre os controladores lógicos programáveis foram estudados a sua funcionalidade, as possíveis aplicações, a linguagem de programação, os seus módulos e a sua conexão com sistemas supervisórios. Os sistemas de supervisão foram explorados com a intenção de entender o seu objetivo, ampliar o conhecimento sobre suas ferramentas e consolidar uma solução eficaz para a demanda.

Com todo esse conhecimento adquirido foi possível definir os recursos de PLC e sistema supervisório necessários. O PLC utilizado foi o 331 da série 9030 da GE e o sistema supervisório foi o GE iFIX, versão 3.5. Todos os recursos se encontravam disponíveis na empresa e não foi exigido investimentos. Assim, pôde-se iniciar a etapa de desenvolvimento. O programa do PLC foi desenvolvido em linguagem de programação ladder, com o auxílio do software Proficy Machine Edition, e o sistema de supervisão por meio do software GE iFIX.

1.3 Justificativa

Após uma análise do processo, foi levantada a necessidade imediata de automatização de parte do processo de espessamento da Hindalco. Como trata-se de um processo grande e complexo, o foco inicial foi o underflow dos espessadores. Controlar e monitorar a disposição desse resíduo é de extrema importância para se garantir um processo produtivo estável.

Antes, todos os equipamentos eram acionados de forma local em painel bastante antigo e sem as devidas informações de funcionamento para a operação. As variáveis da área 28, eram também mostradas nesse painel porém, os seus valores históricos não eram armazenados. Inpossibilitando uma análise dos dados posteriormente.

Além disso, para os operadores controlarem toda a área de espessamento, eles precisavam alternar os seus deslocamentos entre duas cabines diferentes. Esse fato, expõe os operadores ainda mais aos riscos que uma indústria química possui e compromete o processo produtivo. Pois, durante os seus deslocamentos, a área não estava sendo monitorada.

A ideia de automatização de parte do processo de espessamento foi visto como a solução para esses problemas apresentados. Assim, os equipamentos passariam a ser comandados remotamente, a vazão de underflow seria controlada afim de estabilizar o operação do processo, as variáveis seriam monitoradas com mais segurança e guardadas em um banco de dados. Dessa forma, o operador passaria a gerenciar toda a área em apenas uma cabine.

1.4 Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo do trabalho é constituído de uma introdução ao tema proposto, além dos objetivos, metodologia e justificativa.

No segundo capítulo, é apresentada uma revisão sobre as etapas do processo Bayer enfatizando a etapa de espessamento.

Já no terceiro capítulo, é feita uma revisão a respeito de todos os recursos de software e hardware necessários para a viabilização do projeto. Foi exposto todos os módulos que constituem um PLC e as ferramentas para supervisão do processo.

No quarto capítulo é explicado todo o processo de desenvolvido do trabalho. Nesse capítulo é mostrado cada item da programação criada para que a automatização proposta fosse possível. Além do mais, todas as telas do supervisor e ferramentas utilizadas foram expostas e comentadas.

O quinto capítulo é composto dos resultados obtidos após a realização do trabalho. Por meio de gráficos é possível analisar os impactos dessa automatização para a operação da área.

N sexto e último capítulo, são abordadas as considerações finais e são comentadas possíveis implementações para trabalhos futuros.

2 BENEFICIAMENTO DE BAUXITA

O processo de beneficiamento de bauxita, com o objetivo de obtenção de alumina e hidratos, é realizado na Hindalco do Brasil com base no processo Bayer.

2.1 Estágios do processo Bayer

Basicamente podemos dividir o processo Bayer em quatro etapas: digestão, clarificação, precipitação e calcinação. Essas etapas podem ser representadas de acordo com a figura esquemática abaixo:

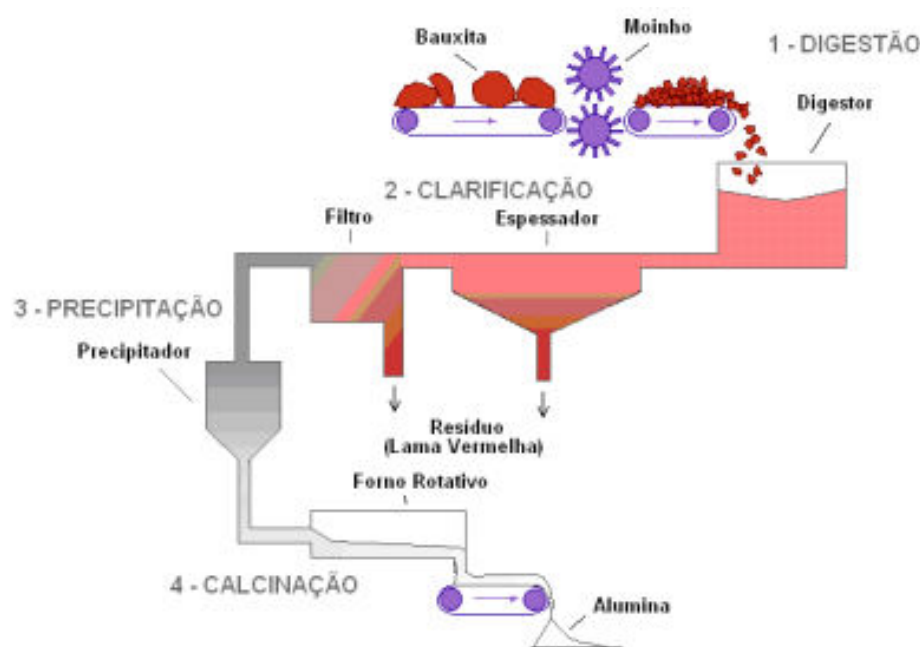


Figura 2.1 – Etapas do processo Bayer segundo a World Aluminium Organization

Fonte: MOTTA, FILHO, ALVES, 2006

2.1.1 Digestão

A digestão é a primeira etapa do processo e consiste inicialmente no processo de moagem da bauxita. Em seguida, a bauxita moída segue para o digestor no qual sob temperatura e pressão é misturada com uma solução cáustica de hidróxido de sódio (NaOH). As variáveis do processo como concentração, temperatura e pressão variam de acordo com as propriedades da bauxita utilizada (MOTTA, FILHO, ALVES, 2006).

2.1.2 Clarificação

A clarificação é a etapa responsável por realizar a separação entre o material em fase sólida, que nesse caso, seriam os resíduos e o material em fase líquida, licor (produto). Para tal, utiliza-se do processo de espessamento e posteriormente a filtração.

É de extrema importância clarificar ao máximo o licor no processo de espessamento para que não sobrecarreguem os filtros que receberão o licor rico em aluminato.

2.1.3 Precipitação

A terceira etapa do processo Bayer, a precipitação, consiste inicialmente no esfriamento do licor, em seguida é realizado o processo de sementeira.

O processo de sementeira consiste na adição de uma porção de cristais de alumina para estimular a precipitação (MOTTA, FILHO, ALVES, 2006).

Após a precipitação, os cristais de alumina são direcionados para serem calcinados e o licor é reaproveitado na digestão.

2.1.4 Calcinação

A calcinação é a última etapa do processo Bayer. Nela, os cristais de alumina gerados na precipitação são levados para um processo de filtração a fim de remover impurezas do licor e remoção da umidade excessiva nos cristais.

Logo em seguida, os cristais são levados para fornos onde serão calcinados em altas temperaturas. Normalmente se utilizam grandes fornos rotativos para realizar a calcinação.

O produto gerado após a calcinação é uma alumina pura, muito branca e de aspecto arenoso. De acordo com as condições de temperatura nos quais os cristais de alumina são submetidos, serão geradas aluminas com propriedades físicas diferentes.

2.2 Processo de espessamento de lama

O espessamento é um processo de separação do material sólido do líquido através do fenômeno de decantação. No processo Bayer, o material gerado pela etapa de digestão é encaminhado para os espessadores ou lavadores, neles o resíduo que é o material mais denso se aglomera no fundo e o overflow gerado é o produto rico em NaOH e aluminato que segue para o processo de filtração (GOIS, LIMA, MELO, 2003; HIND, BHARGAVA, GROCOTT, 1999; apud MOTTA, FILHO, ALVES, 2006).

2.2.1 Espessadores

Segundo Guimarães (2010), os espessadores utilizados nas indústrias são constituídos basicamente por:

“...uma parte cilíndrica e uma parte cônica de baixa inclinação de fundo. Alimentam-se pelo centro, onde as partículas mais densas sedimentam mais rapidamente e as menos densas, mais lentamente. As partículas sedimentadas são recolhidas no ápice da parte cônica e são chamadas de “underflow”, enquanto o líquido clarificado é chamado de “overflow”.

Esses espessadores possuem um mecanismo de raspagem, também conhecido como raspas, responsáveis por varrer o material até o ponto central de saída do material decantado no fundo do espessador (LARA, 2011).

“Os braços raspadores são acoplados à estrutura de sustentação do tubo central de alimentação da suspensão e devem ser projetados baseados no torque aplicado ao motor. Devem também ter flexibilidade para suportar diferentes volumes e tipos de cargas impostas” (LARA, 2011).

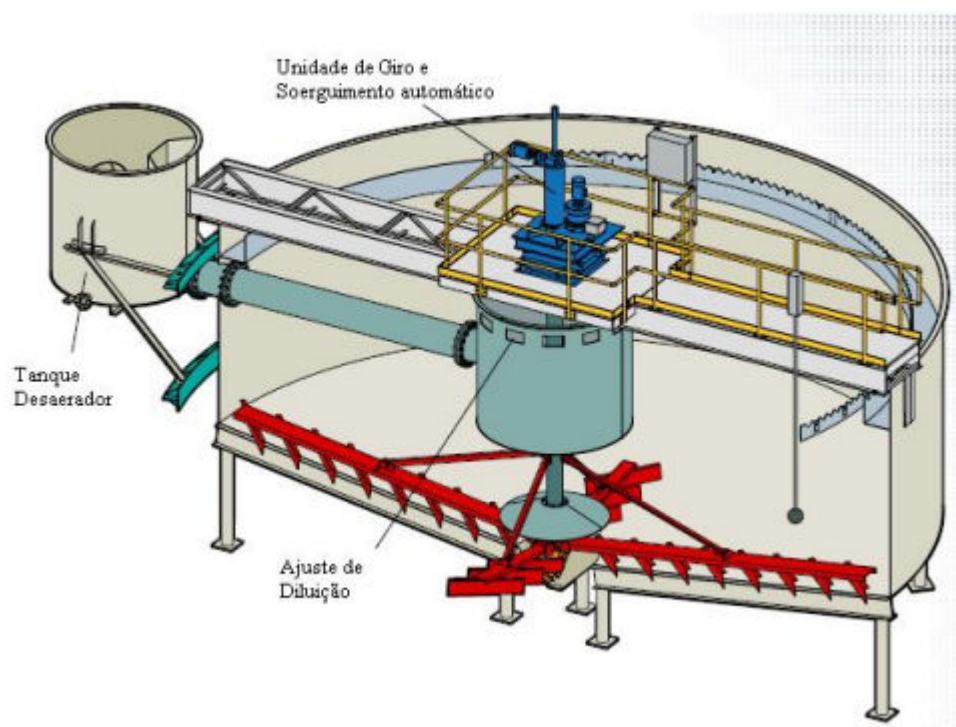


Figura 2.2 – Visualização geral de um espessador

Fonte: GUIMARÃES, 2010

Nos espessadores são adicionados flocculantes para que ocorra a floculação mais rápida das partículas. A floculação é o processo em que partículas individuais de um material em suspensão são aglomeradas e com isso, acabam se assentando mais rapidamente.

Em um processo de beneficiamento de bauxita, com foco na produção de aluminas e hidratos, o underflow, são os resíduos gerados do processo, também chamados simplesmente de lama vermelha. Estes são encaminhados para os espessadores seguintes até que chegar no último. Do último espessador a lama é encaminhada para um processo de filtragem afim de recuperar um pouco mais de soda cáustica. O que não é aproveitado, é o resíduo final e é direcionado para etapa de disposição de rejeito.

O overflow é encaminhado para o espessador anterior até chegar ao primeiro, nesse caso o T-28B-1. Isso é realizado pois o transbordo dos espessadores se tornam mais concentrados em alumina e soda cáustica. O overflow do primeiro representa o produto que, após filtragem será encaminhado para o processo de precipitação.

Esse procedimento é realizado para recuperação da soda através de uma lavagem em contracorrente.

A temperatura do primeiro espessador, no caso da Hindalco, o T-28B-1, é crucial para o processo produtivo. Caso a temperatura esteja muito alta dificulta a decantação da lama, já com a temperatura muito baixa pode-se ter uma grande perda de aluminato. No caso da Hindalco, segundo a operação, a temperatura ideal do espessador varia de 99°C a 103°C.

3 INSTRUMENTOS E SOFTWARES DE DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do trabalho, foram necessários tanto recursos de hardwares, como recursos de softwares. Basicamente, o sistema controla as bombas de underflow de cinco dos seis espessadores presentes na Hindalco e monitora algumas variáveis indispensáveis para um controle operacional e ambiental da fábrica. São dez bombas no total, duas bombas para o underflow de cada espessador, porém, apenas uma das duas opera, a outra é reserva.

De forma geral, o trabalho conta com um Controlador Lógico Programável (PLC) da GE, da família 9030, CPU 331, manipulado através de um sistema supervisório, também da GE, o iFIX na versão 3.5.

A ferramenta escolhida para interface com instrumentos da área, o PLC, foi programado com o auxílio do software Proficy Machine Edition, versão 9.0 da GE. O PLC é o responsável pelos acionamentos de equipamentos, controle da planta e, comunicação com os instrumentos de campo. Para que tal seja possível é necessário que o mesmo seja programado.

A programação de um PLC consiste na definição de uma sequência de instruções, elaboradas pelo programador, que a CPU do PLC deverá executar em determinadas situações.

O supervisório para área foi desenvolvido usando o software iFIX na versão 3.5, programa disponível na Hindalco. A função do supervisório é monitorar as plantas e fornecer ao operador subsídios para interagir com o processo, garantindo um acompanhamento total da área.

Além disso, o supervisório é uma ferramenta muito importante na geração de históricos e exposição dos dados em forma de gráficos.

Para uma comunicação entre o PLC da GE e o Supervisório iFIX é necessário a instalação e configuração do driver GE9. O supervisório foi instalado em um computador dedicado com o Windows XP.

3.1 PLC

Os controladores lógicos programáveis (CLP), do inglês *Programmable Logic Controller* (PLC) são microcomputadores capazes de executar funções extremamente complexas, além disso, são bastante robustos. Os PLCs, são mais utilizados nas indústrias para interface com os equipamentos da planta.

O PLC foi desenvolvido na década de 60 para trabalhar com variáveis discretas, principalmente para substituir os painéis de relés lógicos que dominavam as sequências de operações nas indústrias naquela época. Os painéis de relés eram suscetíveis a mau contato, possuíam um alto custo, apresentava desgaste constante dos contatos, exigia um número elevado de relés, a manutenção e alteração da lógica sequencial era extremamente complexa além de ser necessário uma manutenção periódica dos painéis. Além de reduzir essas desvantagens em relação aos painéis de relés, os PLCs eram instalados em painéis otimizados, com um número muito menor de cabos de interligação (FIGUEIREDO et al, 2014, PETRUZELLA, 2014). Na Figura 3.1, podemos visualizar uma comparação entre um painel baseado em relé e um painel de controle baseado em um PLC.

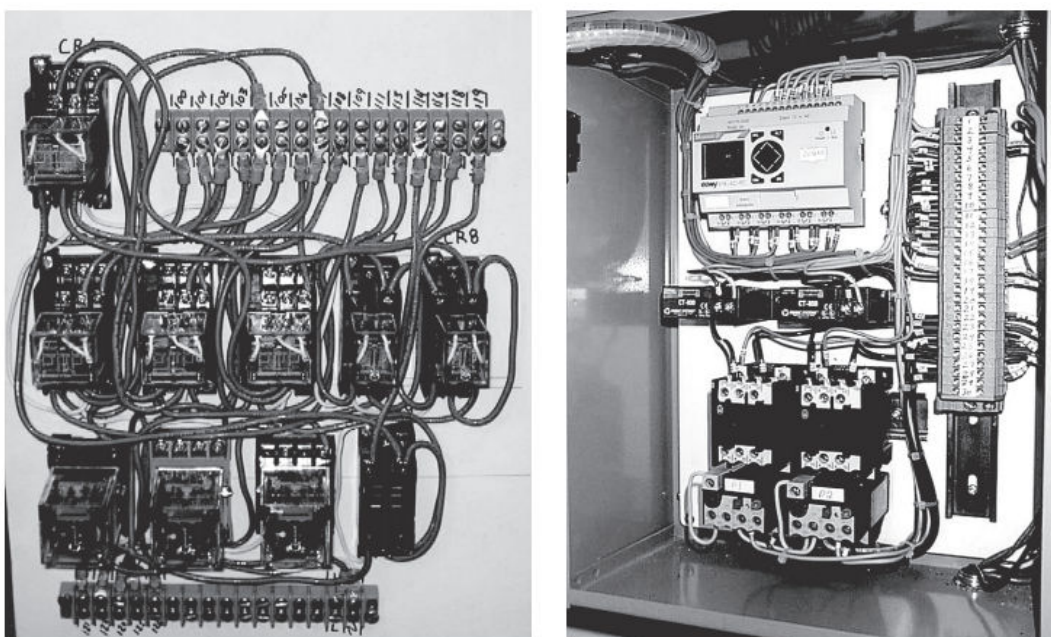


Figura 3.1 - Comparação entre um painel de controle baseado em relé e um painel de controle baseado em PLC

Fonte: PETRUZELLA, 2014

Devido ao grande número de funções presentes no PLC, nos anos seguintes, foram incluídos a leitura de variáveis analógicas de diferentes tipos.

Conforme Rosa, Ferraz, Vilela (2008):

“Um PLC é o controlador indicado para lidar com sistemas caracterizados por eventos discretos (SEDs), ou seja, com processos em que as variáveis assumem valores zero ou um (ou variáveis ditas digitais, ou seja, que só assumem valores dentro de um conjunto finito). Podem ainda lidar com variáveis analógicas definidas por intervalos de valores de corrente ou tensão elétrica. As entradas e/ou saídas digitais são os elementos discretos, as entradas e/ou saídas analógicas são os elementos variáveis entre valores conhecidos de tensão ou corrente.”

Os controladores lógico programáveis ganharam grande espaço na indústria, principalmente por todas as vantagens associadas ao seu funcionamento.

Segundo Mello (2007), a popularização dos computadores pessoais impulsionou a expansão dos controladores também para as residências e não somente nas indústrias.

3.1.1 Partes de um PLC

O PLC é dividido, basicamente na unidade central de processamento (CPU), módulos de entradas e saídas, fonte de alimentação, rack e dispositivo de programação, conforme pode ser visualizado na Figura 3.2. Para que seja possível visualizar com clareza essa divisão é necessário compreender que existem duas estruturas básicas distintas, a estrutura modular e a estrutura fixa.

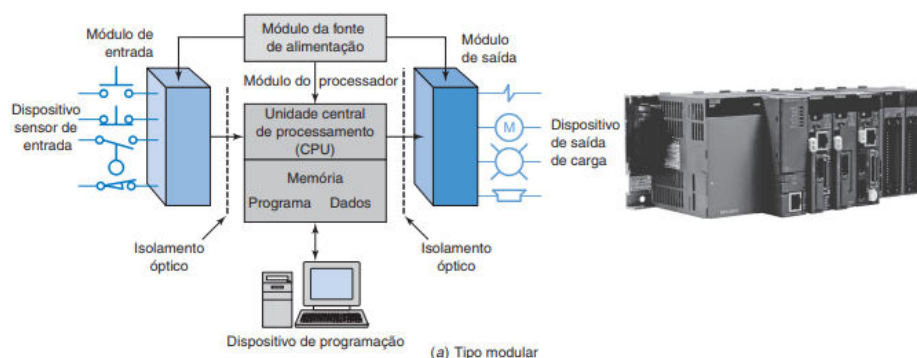


Figura 3.2 – Esquema de um PLC

Fonte: PETRUZELLA, 2014

Na estrutura modular, apresentada na Figura 3.3, as entradas e saídas podem ser removidas e adicionadas conforme necessidade do projeto do usuário. Com essa estrutura o projeto do PLC fica mais flexível. A estrutura consiste em um rack principal onde são conectados os módulos de entradas e saídas, o módulo da CPU, a fonte de alimentação e uma interface de programação (PETRUZELLA, 2014).

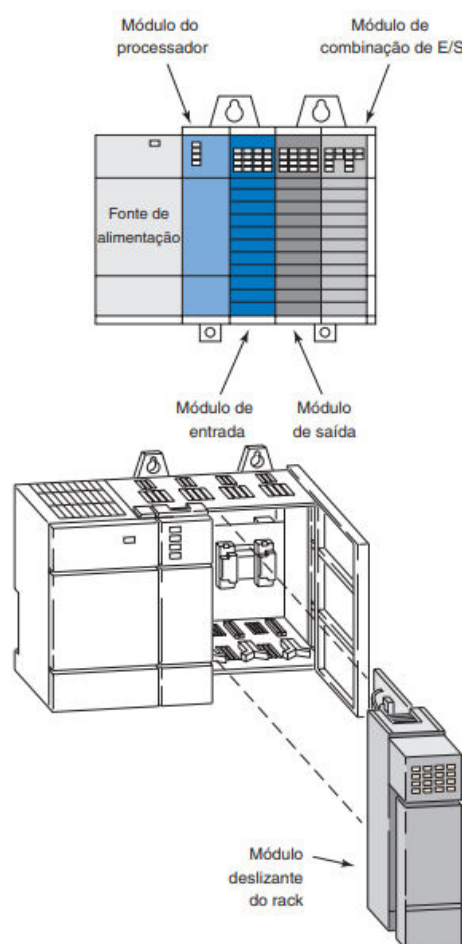


Figura 3.3 – Estrutura modular do PLC

Fonte: PETRUZELLA, 2014

Já na estrutura fixa, apresentada na Figura 3.4, as entradas e saídas estão acopladas ao PLC, sem nenhuma separação, essa estrutura é mais comum em PLCs de pequeno porte. Os PLCs com essa estrutura possuem um valor agregado menor, porém possui uma baixa flexibilidade de entradas e saídas, e em alguns casos, caso haja algum defeito em parte das unidades é necessário a substituição da unidade toda.

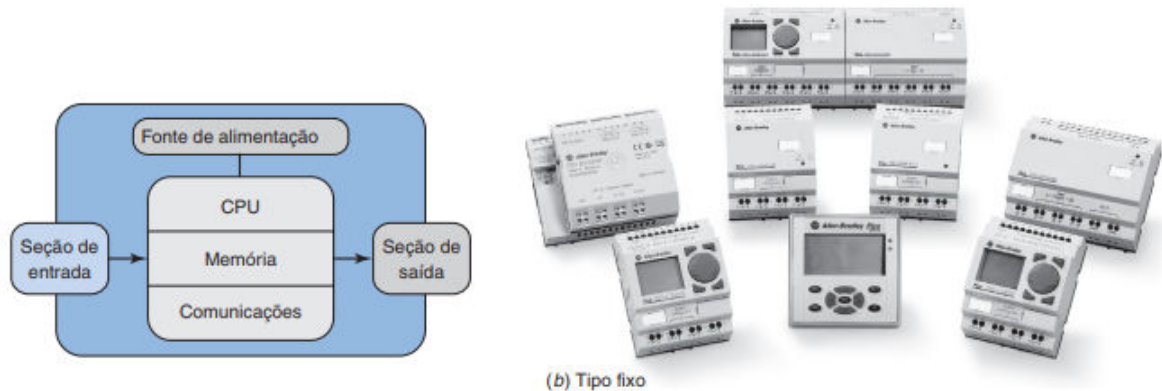


Figura 3.4 – Estrutura fixa do PLC

Fonte: PETRUZELLA, 2014

3.1.1.1 CPU

Segundo Petruzella, (2014):

“O processador (CPU) é o “cérebro” de um CLP e consiste, geralmente, em um microprocessador, para a implementação lógica e controle das comunicações entre os módulos, e requer uma memória para armazenar os resultados das operações lógicas executadas pelo microprocessador. As memórias EPROM ou EEPROM somadas à memória RAM também são necessárias para o programa.”

3.1.1.2 Módulos de entrada e saída

3.1.1.2.1 Módulos de entrada

São circuitos utilizados para adequar eletricamente os sinais de entrada para que possam ser processados pela CPU (ou microprocessador) do PLC (JÚNIOR, 2003).

Os módulos de entrada são os responsáveis pela conexão entre os dispositivos de campo, tais como: sensores, botões, chaves e transdutores e a central de processamento do PLC. Os módulos de entradas podem ser classificados em discretos e analógicos (PETRUZELLA, 2014). A Figura 3.5 mostra o esquema de um cartão de entrada de um PLC.

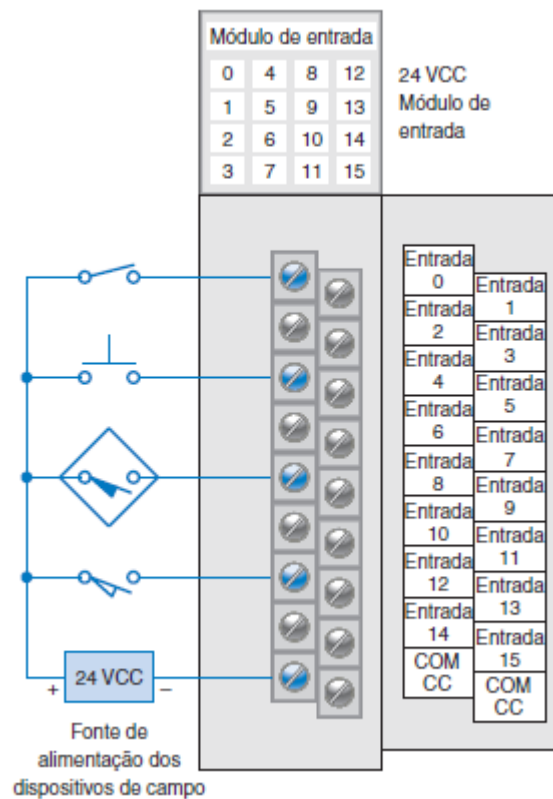


Figura 3.5 – Módulo de entrada

Fonte: PETRUZELLA, 2014

Os módulos de entradas discretas são aqueles responsáveis pelo tratamento dos sinais digitais, que por sua vez, são os sinais que apresentam apenas dois estados válidos, ligado ou desligado.

Já os módulos de entradas analógicas, são responsáveis pelo tratamento de sinais analógicos. Os sinais analógicos são os sinais normalmente enviados por sensores.

Para que possam ser processados pela CPU do PLC, os sinais analógicos são convertidos pelos módulos de entradas analógicas em sinais digitais através dos conversores A/D (análogo-digital).

Uma informação importante a respeito das entradas analógicas é a sua resolução. Esta é normalmente medida em bits. Uma entrada analógica com um maior número de bits permite uma melhor representação da grandeza analógica (BUENO, 2010).

3.1.1.2.2 Módulo de saída

Os módulos de saída fazem a interface entre o processador e os dispositivos de saída, tais como: atuadores, motores ou sinalizadores, enviando um sinal que resultante do processamento da lógica de controle efetuada pelo programa (BUENO, 2010).

Os módulos ou interfaces de saída adequam eletricamente os sinais vindos do microprocessador para que possamos atuar nos circuitos controlados. Na figura 3.6, pode-se verificar a imagem de um cartão de saída de um PLC. Existem dois tipos básicos de interfaces de saída: as digitais e as analógicas (JÚNIOR, 2003).

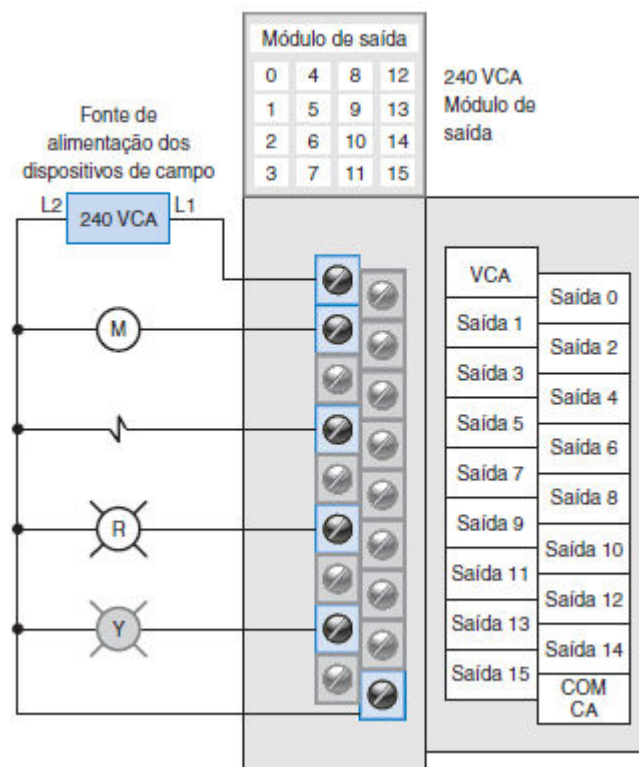


Figura 3.6 – Módulo de saída

Fonte: PETRUZELLA, 2014

Os módulos de saídas digitais tratam os sinais digitais de saída e apresentam dois estados válidos, ligado e desligado. Os sinais digitais de saída controlam dispositivos como: relés, contadores, solenoides, etc.

Os módulos de saídas analógicas são os responsáveis por converter os sinais digitais processados pela CPU do PLC em sinais analógicos, geralmente tensão ou corrente, para serem conectados nos equipamentos de campo. A conversão desses sinais é realizada por um conversor D/A (digital-analógico). Os sinais analógicos de saída controlam dispositivos como: motores CC, inversores de frequência, posicionadores, etc.

3.1.1.3 Fonte de alimentação

Conforme Bueno (2010):

“A fonte de alimentação é responsável por converter a rede elétrica de 127 ou 220 VCA, para a tensão de alimentação dos circuitos eletrônicos que é +5 VCC para microprocessador, memórias e circuitos auxiliares e +12 VCC para a comunicação com o programador ou computador, manter a carga da bateria nos sistemas que utilizam relógio em tempo real e memória do tipo RAM e fornecer tensão para as Entradas e Saídas de 12 ou 24 VCC.”

3.1.1.4 Rack

O rack, ou base, é o responsável pela sustentação de todos os módulos que constituem o PLC. Além disso, no rack está presente o barramento que é a placa responsável pela interligação elétrica dos módulos.

3.1.2 Princípio de Funcionamento de um PLC

Ao ser energizado, o PLC executa uma série de ações de verificação de funcionamento de seus componentes básicos. Essas ações realizadas estão pré-programadas e armazenadas em seu programa. Dentre essas ações, o PLC realiza a limpeza das memórias-imagem, verifica o funcionamento correto de sua CPU, realiza testes em sua memória RAM, e verifica a existência de um programa de usuário e garante a executabilidade do mesmo. Havendo alguma falha durante a execução dessas operações iniciais, o PLC sinaliza o erro correspondente (JÚNIOR, 2003).

Após a execução dessas operações, sem que ocorra nenhum erro, a CPU do PLC passa a executar o scan. O scan, nada mais é que um conjunto de ações que são executadas continuamente durante o funcionamento do PLC.

Segundo Júnior (2003), as operações realizadas durante o scan do PLC, apresentadas na Figura 3.7, podem ser divididas em:

- I. Verificação das entradas: O PLC verifica todas as entradas presentes em sua configuração. Basicamente, os valores das entradas são lidos e armazenados nas suas respectivas posições da memória-imagem. Tanto os valores das entradas analógicas quanto das digitais são verificados e armazenados para serem usados posteriormente (RIBEIRO, LEITE, 2003 apud JÚNIOR, 2003).
- II. Execução do Programa: Nessa etapa ocorre a execução de instrução por instrução do programa do PLC. Com base nos valores das entradas do controlador e a lógica do programa desenvolvida são aplicadas as operações e gerados os resultados. Na sequência, são atualizados os novos valores em registradores. Esses valores são armazenados para que possam ser utilizados posteriormente em algum outro passo do programa (RIBEIRO, LEITE, 2003 apud JÚNIOR, 2003).
- III. Atualização das saídas do PLC: Após os valores das entradas digitais e analógicas passarem pela lógica de programação durante a execução do programa, são gerados resultados que serão armazenados nas suas respectivas posições da memória de imagem das saídas. Posteriormente, esses valores de saídas armazenadas são transmitidos as saídas do PLC. Portanto, nessa etapa, as saídas digitais e analógicas do PLC são atualizadas com base nos resultados obtidos na etapa de execução do programa (RIBEIRO, LEITE, 2003 apud JÚNIOR, 2003).

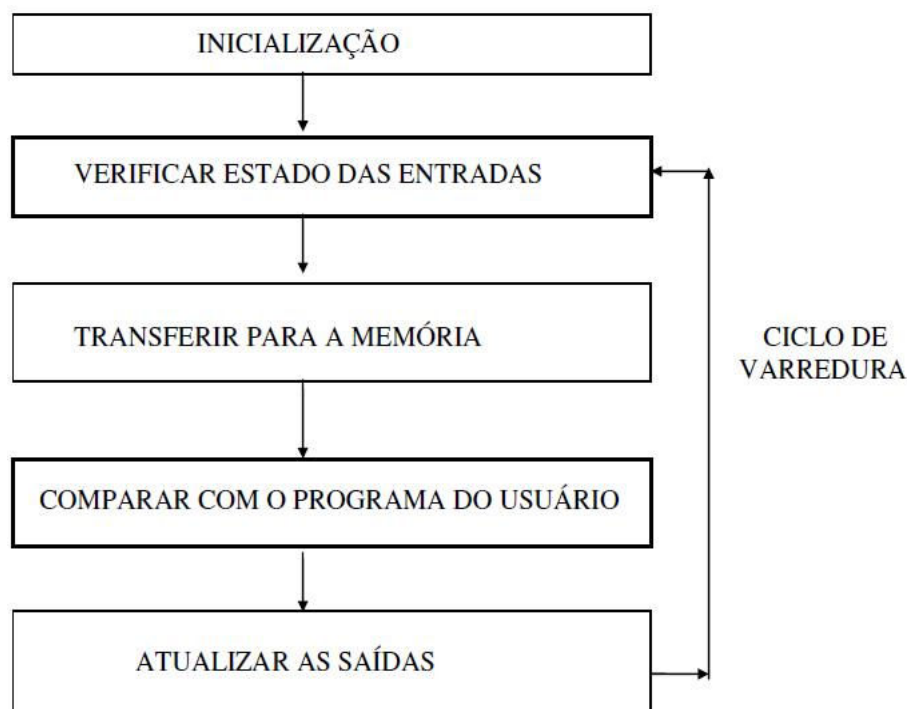


Figura 3.7 – Ciclo de programa

Fonte: ANTONELLI, 1998

Após a execução da etapa de atualização das saídas do PLC, é completado um ciclo de scan e retorna novamente a primeira etapa, a de verificação das novas entradas. Caracterizando, assim um loop infinito.

O tempo de scan é definido com base no tempo que o PLC leva para executar as três etapas acima. Esse tempo é influenciado por diversos fatores, como: quantidade de entradas e saídas, tamanho do programa desenvolvido pelo programador, capacidade de processamento da CPU, entre outros. Existem casos que se é possível fixar o valor do tempo de scan. Nesse caso, se o PLC executar as três etapas em um tempo menor que o tempo de scan fixado, a CPU do PLC fica ociosa durante o tempo remanescente. Caso o tempo fixado seja insuficiente para a execução das três etapas citadas acima, parte das etapas não são executadas corretamente (BUENO, 2010).

3.1.3 Linguagens de Programação

Como visto anteriormente, o PLC funciona executando uma sequência de instruções e para que a CPU do PLC consiga executá-la é necessário desenvolver a sua programação. As

instruções são responsáveis pelo sequenciamento e coordenação das operações que são realizadas pela CPU, elas são organizadas no programa de controle.

A programação e edição do programa de controle é realizada por meio das linguagens de programação.

A CPU interpreta o chamado código-objeto, que são as instruções e dados em números binários.

Por essa razão, as primeiras linguagens de programação foram as chamadas linguagens de baixo nível, nas quais as instruções são elaboradas utilizando-se do código binário. Essas linguagens eram bastante complexas e suscetíveis a muitos erros, pois todas as operações eram representadas por números. Logo, o próximo desafio naquele momento era o desenvolvimento de linguagens de programação que fossem mais fáceis de serem escritas e entendidas pelos programadores (FIGUEIREDO et al., 2014; FERREIRA, 2015).

Como basicamente o PLC foi criado para substituir os painéis elétricos, criou-se uma linguagem de programação que oferecesse recursos semelhantes aos dos diagramas elétricos. Com a difusão das programações e dos PLCs, novos recursos foram sendo necessários e novas linguagens de programações foram desenvolvidas, as chamadas linguagens de alto nível. As linguagens de alto nível são as linguagens utilizadas atualmente e se assemelham as linguagens usadas pelos homens (FIGUEIREDO et al., 2014; FERREIRA, 2015).

Para que as instruções em linguagens de alto nível sejam interpretadas pela CPU do PLC é necessário elas sejam traduzidas em códigos binários. Essa tradução é realizada pelos compiladores, durante o processo de compilação do programa.

3.1.3.1 IEC

Com o aumento da utilização de PLCs, houve a expansão de seus recursos e funcionalidades, assim, novos fabricantes foram surgindo e adotando linguagens de programação próprias, destoando, muitas vezes, dos recursos já existentes (BUENO, 2010; FERREIRA, 2015).

Diante disso, surgiu a necessidade de uma padronização, nas quais ficassem pré-definidos modelos nos quais os fabricantes deveriam se basear e obedecer.

Segundo Bueno (2010), o comitê IEC (International Electrotechnical Commission) foi criado para evitar problemas nas implementações de programas desenvolvidos por diferentes fabricantes.

O IEC criou então um modelo de padronização definido pela norma IEC 61131-3, englobando a análise do projeto completo dos PLCs.

3.1.3.2 Tipos de linguagens

Ficou definido na norma IEC 61131-3 a padronização de apenas cinco linguagens de programação para os PLCs. Com essa padronização, todos os fabricantes de PLCs deveriam adotar pelo menos uma dessas linguagens. Na maioria dos casos, os fabricantes oferecem suporte a maioria dessas linguagens.

- I. Lista de instruções (IL - Instruction List) – Essa linguagem de programação é de baixo nível, possui recursos textuais, porém executa apenas uma operação por linha. Indicada para pequenas aplicações ou otimizar partes de uma aplicação maior (BUENO, 2010).
- II. Texto estruturado (ST – Structured text) - Essa linguagem de programação já é uma linguagem de alto nível, utiliza basicamente recursos textuais e vários conceitos intuitivos. Indicada para aplicações complexas (BUENO, 2010).
- III. Diagrama Ladder (LD – Ladder Diagram) – A linguagem Ladder é uma linguagem de programação que utiliza recursos gráficos. É uma linguagem criada com base em símbolos e circuitos elétricos com relés, bobinas, contatos, entre outros. Foi uma linguagem bastante aceita no seu surgimento devido a sua semelhança com os circuitos elétricos (BUENO, 2010).
- IV. Diagrama de Blocos (FBD – Function block) – Essa linguagem de programação é também uma linguagem de alto nível e utiliza recursos gráficos para expressar a sua

lógica. É uma linguagem mais visual que a Ladder, que se baseia na lógica combinacional (BUENO, 2010).

- V. Diagrama funcional sequencial (SFC Sequential function chart) – “Divide o processo em um número definido de passos separados por transição. Também é conhecida como Grafcet” (BUENO, 2010).

3.2 Sistemas supervisórios

“Os sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) ou, simplesmente, sistemas supervisórios nasceram com o intuito de permitir visualização e operação através de uma interface homem máquina” (PAIOLA et. al, 2011).

O sucesso da implantação do sistema supervisório nas indústrias, impulsionou pesquisas e o desenvolvimento de novas ferramentas, que possibilitassem agregar funções mais complexas e flexíveis aos sistemas de supervisão.

“A capacidade de configuração, manutenção e controle de projetos de maneira remota trouxe novas possibilidades às empresas, simplificando e reduzindo o trabalho dos operadores das plantas” (PAIOLA et. al, 2011).

Podemos definir o sistema supervisório como uma ferramenta composta de telas, base de dados e drivers de comunicação para interface com diferentes dispositivos de controle. Todas as informações retiradas do campo e interligadas em um dispositivo são conectadas com o banco de dados por meio dos drivers de comunicação. As telas, por sua vez, utilizam essas variáveis presentes no banco de dados para que seja possível realizar as animações desejadas (PAIOLA, 2011).

“A base de dados, presente no sistema de supervisão e controle, concentra as informações provenientes dos vários drivers de comunicação. Permite que seja armazenado um pequeno histórico de dados, suficiente para atender às necessidades da equipe de operação” (AQUARIUS, 2018).

Atualmente, os supervisórios são geralmente instalados em um computador ou servidor e utiliza de recursos tecnológicos que permitem a comunicação com diversos dispositivos através de redes. Com as redes de computadores, é possível realizar a coleta de dados em locais remotos e a apresentação desses dados de forma clara para o operador. Para isso, os sistemas supervisórios contam com ferramentas gráficas avançadas, animações de objetos nas telas e outros recursos multimídia.

Para permitir isso, os sistemas SCADA identificam os tags, que são todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas envolvidas na aplicação, podendo executar funções computacionais (operações matemáticas, lógicas, com vetores ou strings, etc) ou representar pontos de entrada/saída de dados do processo que está sendo controlado. Neste caso, correspondem às variáveis do processo real (ex: temperatura, nível, vazão etc), se comportando como a ligação entre o controlador e o sistema. É com base nos valores das tags que os dados coletados são apresentados ao usuário (PAIOLA, 2011).

Além disso, os sistemas supervisórios contam com um recurso de alarme. Os alarmes são gerados com a ocorrência de um evento. Esses eventos são geralmente quando uma variável analógica do banco de dados ultrapassa seus limites, inferiores ou superiores, pré-definidos; ou quando uma variável digital muda de estado e o operador precisa ser alertado a respeito desse novo estado que a variável assumiu.

3.2.1 GE iFIX

Segundo a Aquarius (2018), empresa que atualmente comercializa o software GE iFIX:

“O GE iFIX é uma ferramenta consagrada para supervisão e controle de qualquer tipo de processo industrial. Extremamente flexível, este sistema HMI (Human Machine Interface)/ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) é aplicável a projetos de pequeno ou grande porte. Oferece robustez e confiabilidade, em uma interface amigável e completa.”

O sistema supervisório GE iFIX é bastante popular e referência em sistemas supervisórios atualmente. Principalmente por contar com uma série de ferramentas gráficas para facilitar a interação do operador com os equipamentos de campo.

Nesse sistema, é possível desenvolver telas para diversas funcionalidades e aplicações. Essa flexibilidade, permite uma maior aceitação por parte da operação e um sistema prático e simples de se operar.

As telas de operação possibilitam comandar equipamentos, monitorar variáveis de processo de forma animada e geração de gráficos de tendência.

As telas de alarme possibilitam a listagem de todos os alarmes gerados e o reconhecimento por parte da operação.

Uma grande vantagem do GE iFIX, é a compatibilidade com diversos drivers possibilitando a integração com equipamentos de diversos fabricantes.

3.2.2 Drivers de Comunicação

Os drivers de comunicação, são o meio de comunicação entre o PLC e o sistema supervisório.

Basicamente, os drivers são softwares instalados no computador/servidor de aplicação com a função de comunicação. Para estabelecer a comunicação do sistema supervisório e os sistemas de controle, o driver necessita ser compatível com o protocolo de comunicação do sistema de controle.

Os drivers utilizam diversos protocolos de comunicação para interface com os equipamentos de controle, dentre os quais pode-se citar o OPC e o DDE.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Equipamentos e Instrumentos:

Conforme descrito anteriormente, o objetivo do projeto é o acionamento e controle de dez bombas de underflow dos cinco primeiros espessadores da Hindalco. Bem como, o monitoramento e ativação de alarmes de algumas variáveis críticas para a área de espessamento. A área de espessamento da empresa é reconhecida como Área 28.

A relação dos instrumentos e equipamentos integrados ao PLC são listados nas tabelas do ANEXO I.

4.2 Recursos de PLC

Com base na listagem de todos os instrumentos e equipamentos que seriam integrados ao novo PLC, foi realizado o levantamento de I/O's necessários para atender as demandas da operação da área.

Após o levantamento da quantidade de I/O's digitais e analógicos, foi possível definir a quantidade de racks e cartões de entradas e saídas que integrariam o painel do PLC da área.

Então, foi definido que apenas um rack era suficiente para englobar todos os I/O's que foram levantados. O rack da GE que foi utilizado foi o IC693CHS391. Trata-se do rack, com slot específico, para possibilitar a utilização de CPU 9030.

Assim, os seguintes módulos foram especificados para compor os slots do rack:

Tabela 4.1: Relação dos módulos do rack do PLC

Quantidade:	Módulo:	Descrição:
1	IC693PWR330	Fonte de alimentação 24V para CPU GE séries 9030
1	IC693CPU331	CPU 331 GE série 9030
1	IC693CMM321	Módulo para comunicação Ethernet de CPU GE série 9030
1	IC693ALG223	Cartão de entrada analógica 4-20mA. Possui 16 canais de

		entradas, as entradas analógicas não são isoladas entre si. Portanto, foi usado para instrumentos que possuem apenas 2 fios, ou seja, aqueles que a alimentação (24V) e o sinal trafegam nos mesmos 2 fios. Cartão de 15 bits, a sua faixa vai de 0 a 32000.
3	IC693ALG221	Cartão de entrada analógica 0-20mA ou 4-20mA. Possui apenas 4 canais de entradas, no entanto, todas as entradas são isoladas entre si. Nessa aplicação foram usados para interligação de instrumentos de 4 fios, nos quais alimentação e sinal trafegam em pares de fios diferentes. Cartão de 15 bits, a sua faixa vai de 0 a 32767.
2	IC693ALG392	Módulo de saída analógica 0-10V, -10-10V, 0-20mA ou 4-20mA. Possui 8 canais de saída analógicas.
1	IC693MDL240	Módulo de entrada digital 120 VAC. Possui 16 canais de entradas digitais.
1	IC693MDL940	Módulo de saída digital a relé, limitada a 2ª. Possui 16 canais de saídas digitais.

4.3 Programação do PLC

Para realizar a programação de um PLC, deve-se seguir uma sequência de passos. A Figura 4.1 exemplifica essa sequência:

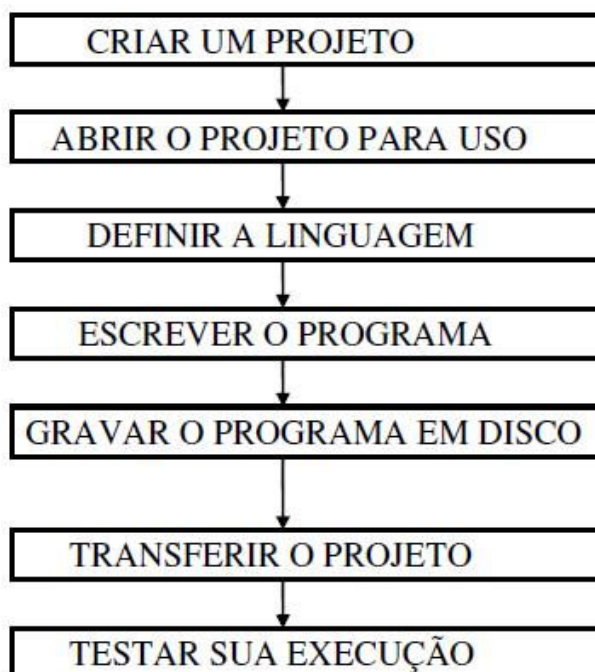


Figura 4.1 – Passos para programação de um PLC

Fonte: ANTONELLI, 1998

O passo inicial, como pode ser visto, é criar um novo projeto. O novo projeto deve ser criado no software de desenvolvimento escolhido. Nesse caso, para programação do PLC da GE, o software usado foi o Proficy Machine Edition, na versão 9.0. O programa criado foi chamado de AREA1328, pois foi um programa criado inicialmente para atender demandas da área 13 e área 28 da Hindalco.

O passo seguinte é a abertura do novo projeto para que seja possível trabalhar em sua nova aplicação. Com o projeto aberto, na próxima etapa, é necessário escolher qual linguagem de programação será adotada. Nesse caso, o projeto inteiro foi desenvolvido na linguagem de programação ladder. Além disso, é nesse passo que definimos as variáveis que serão utilizadas no decorrer do projeto.

Definida a linguagem de programação e as variáveis do programa criadas, o projeto já encontra-se apto para que se possa escrever o programa do PLC. Após o término da escrita do programa do PLC, o mesmo já pode ser compilado e posteriormente transferido para a região de memória dedicada da CPU do PLC.

Assim que realizados todos os passos anteriores, o passo final é a realização de testes. Os testes verificam o funcionamento do programa e possibilita a correção dos possíveis erros encontrados.

4.3.1 Estrutura do programa do PLC

O programa do PLC foi dividido basicamente em sete rotinas, como pode ser visto na Figura 4.2. Essa divisão foi feita para que houvesse uma melhor organização da lógica de programação. Dessa forma, caso a equipe de manutenção precise intervir em algum ponto da lógica, facilmente a equipe encontrará o item do qual necessita.

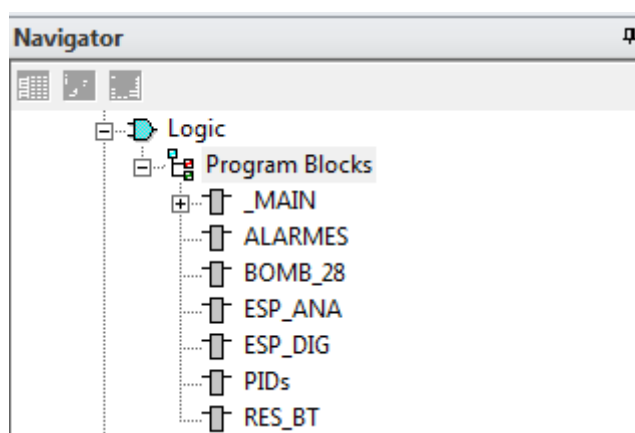


Figura 4.2 – Rotinas do programa do PLC

4.3.1.1 Rotina Principal (MAIN)

A rotina principal do programa do PLC (Main) é composta apenas por blocos ladders de chamada das outras rotinas que constituem o programa do PLC. O bloco utilizado foi o bloco ladder "CALL". A Figura 4.3 exemplifica essa rotina.

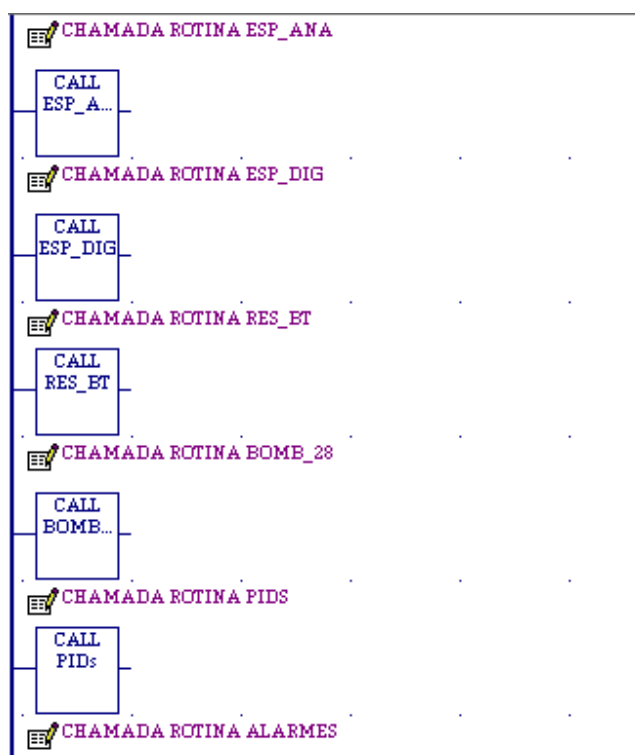


Figura 4.3 – Rotina Main

4.3.1.2 Rotina de alarmes (ALARMES)

A rotina de alarmes, foi desenvolvida também em ladder e é responsável por analisar os valores de algumas variáveis e gerar alarmes para alertar os operadores. Nessa rotina, estão presentes os seguintes alarmes:

- Alarme de parada das raspas dos espessadores.
- Alarme de torque da raspa dos espessadores maior que 40%.
- Alarme de pH baixo e alto do rio do Funil.
- Alarme de nível baixo e alto do tanque T-34B-1.

4.3.1.2.1 Lógica de alarme de parada das raspas dos espessadores.

Essa lógica foi criada para alarmar a parada indevida das raspas dos espessadores. Isso é muito importante, pois, com a decantação da lama no fundo do espessador, a raspa pode ficar impossibilitada de se movimentar e ocasionar danos mecânicos a área. Com esse alarme, o operador consegue intervir com mais rapidez no processo.

Inicialmente, como pode ser visualizado na Figura 4.4, os contatos abertos referentes os retornos de paradas de raspa foram colocados em paralelo e acionam a variável AI_28B_GERAL. O contato fechado foi colocado em série com o contato aberto do retorno de parada de raspa, pois, quando um dos espessadores estiver isolado, é possível o operador desabilitar o alarme de parada de raspa do mesmo por meio do supervisório.

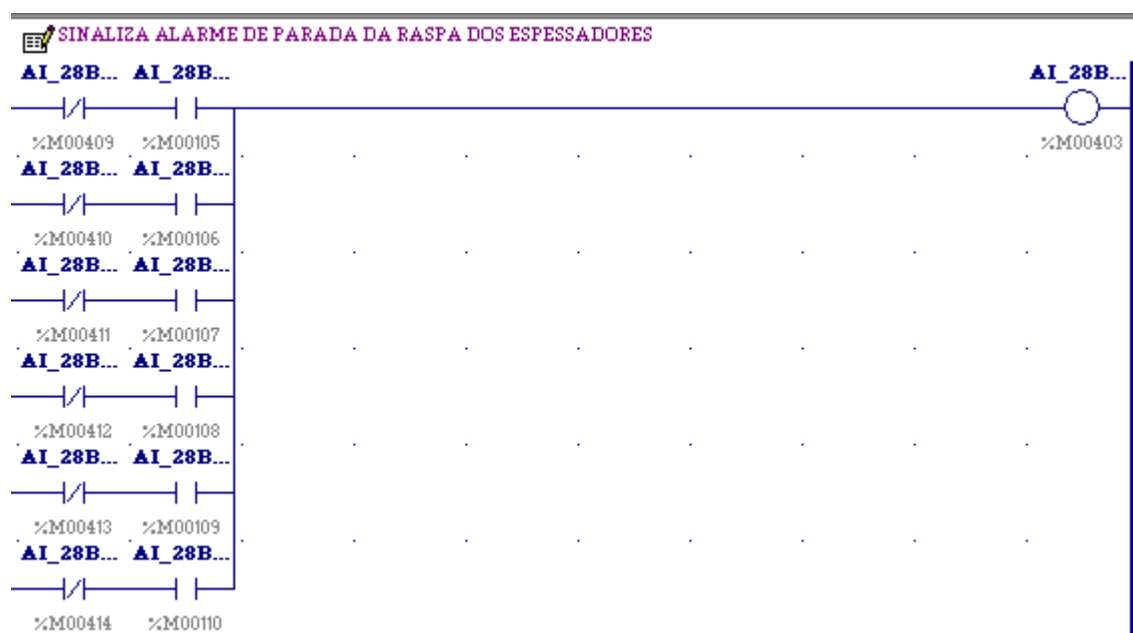


Figura 4.4 – Alarme parada de raspa dos espessadores.

Na sequência, figura 4.5, realizou-se a lógica de acionamento da sirene, algumas vezes tratada como buzina, da parada da raspa. A sirene é acionada caso qualquer um dos retornos de parada de raspa esteja acionada e o espessador referente aquela raspa não esteja isolado. Por meio do supervisório, o operador tem a opção de silenciar a sirene e tomar as providências para resolução do problema. Um minuto após o operador silenciar a sirene, se o alarme persistir ou alguma outra raspa parar, a sirene soará novamente, alertando o operador mais uma vez. Esse ciclo permanecerá até que o problema seja solucionado. No supervisório, o operador consegue identificar facilmente de qual espessador é a raspa parada.

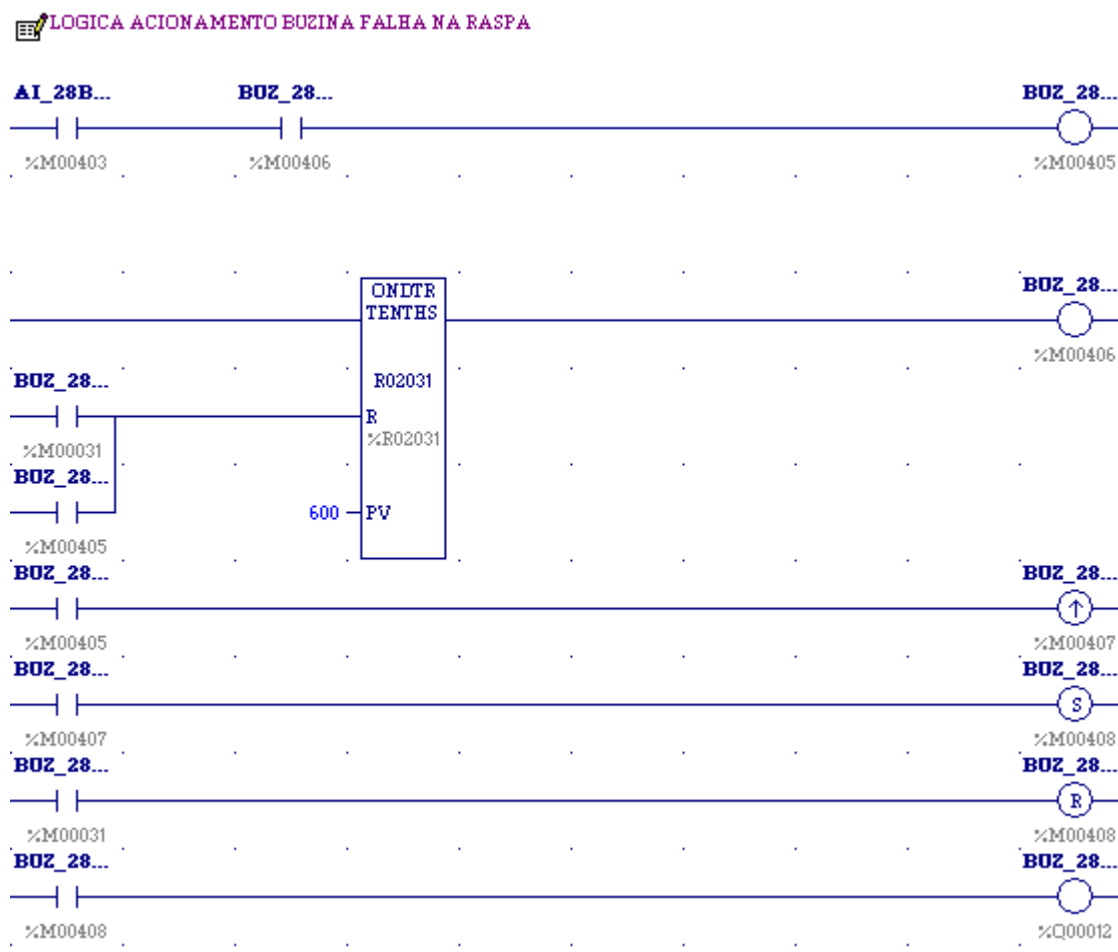


Figura 4.5 – Acionamento da sirene do alarme de parada de raspa

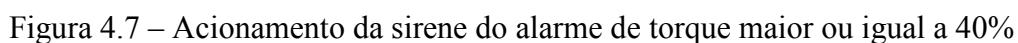
4.3.1.2.2 Lógica de alarme do torque da raspa dos espessadores maior ou igual a 40%.

Essa lógica é bem semelhante a lógica de alarme de parada de raspa. Os contatos abertos referentes aos sinais dos torques das raspas de cada espessador maior ou igual a 40% estão em paralelo e qualquer um desses contatos que estiver acionado, energiza a bobina da variável TQAI-28B-GERAL, como mostra a figura 4.6.



Figura 4.6 – Alarme de torque maior ou igual a 40%

A sirene é acionada caso qualquer um dos torques dos espessadores ultrapasse os 40%. Por meio do supervisório, o operador tem a opção de silenciar a sirene e tomar as providências para resolução do problema. Assim, como na sirene citada anteriormente, um minuto após o operador silenciar a sirene, se o alarme persistir ou o torque de outro espessador exceder os 40%, a sirene soará novamente, alertando o operador mais uma vez. Esse ciclo permanecerá até que o problema seja solucionado. A figura 4.7, exemplifica a lógica de acionamento da sirene. No supervisório, o operador consegue identificar facilmente de qual espessador é a raspa que está com um torque muito alto. Esse valor definido de 40%, é um valor de segurança que dá ao operador um certo tempo para tentar resolver o problema até que o problema se agrave ainda mais.



A área de espessamento da Hindalco do Brasil, é próxima ao rio do Funil, esse rio percorre parte da cidade de Ouro Preto. Portanto, um alarme para indicar se o pH do rio está dentro dos limites aceitáveis, impostos pelos órgãos ambientais, é de extrema importância.

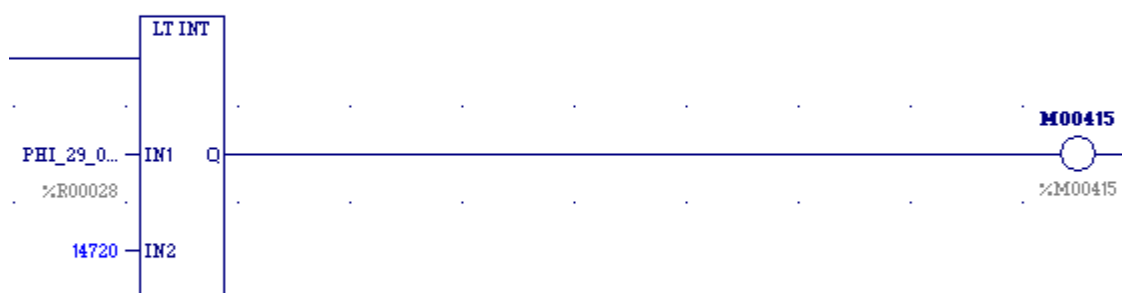
No início da lógica, conforme figura 4.8, é verificado se o pH é menor que 6,6, valor estipulado como limite inferior de pH aceitável. Caso seja menor, o endereço %M415 é acionado. Na sequência, é verificado se o pH é maior que o limite superior de 8,8. Caso seja maior, o endereço %M416 acionado.

SINALIZA ALARME DO PH DA SAIDA DO RIO FUNIL

FAIXA:
MEDIDOR PH: 02 A 12PH
ANALOG PLC: 0 A 32000

EX. DE CALCULO
CONTAGEM DE PLC = $[(8,8-2)/(12-2)]*32000 = 21760$

PH DO RIO < 6,6



PH DO RIO > 8,8

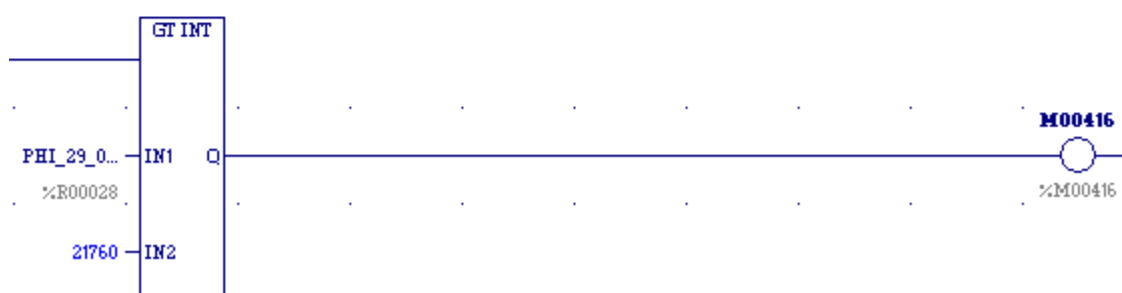


Figura 4.8– Alarme pH do rio

A sirene é acionada caso, qualquer um dos endereços %M415 ou %M416, estejam acionados. Da mesma forma que nas duas sirenes citadas anteriormente, por meio do supervisório, o operador tem a opção de silenciar a sirene e tomar as providências para resolução do problema. Dois minutos após o operador silenciar a sirene, se o alarme persistir a sirene soará novamente alertando o operador mais uma vez. Esse ciclo permanecerá até que o problema seja solucionado. A figura 4.9, exemplifica a lógica de acionamento da sirene. No supervisório, o operador consegue visualizar o valor do pH para que busque uma solução adequada a cada situação.

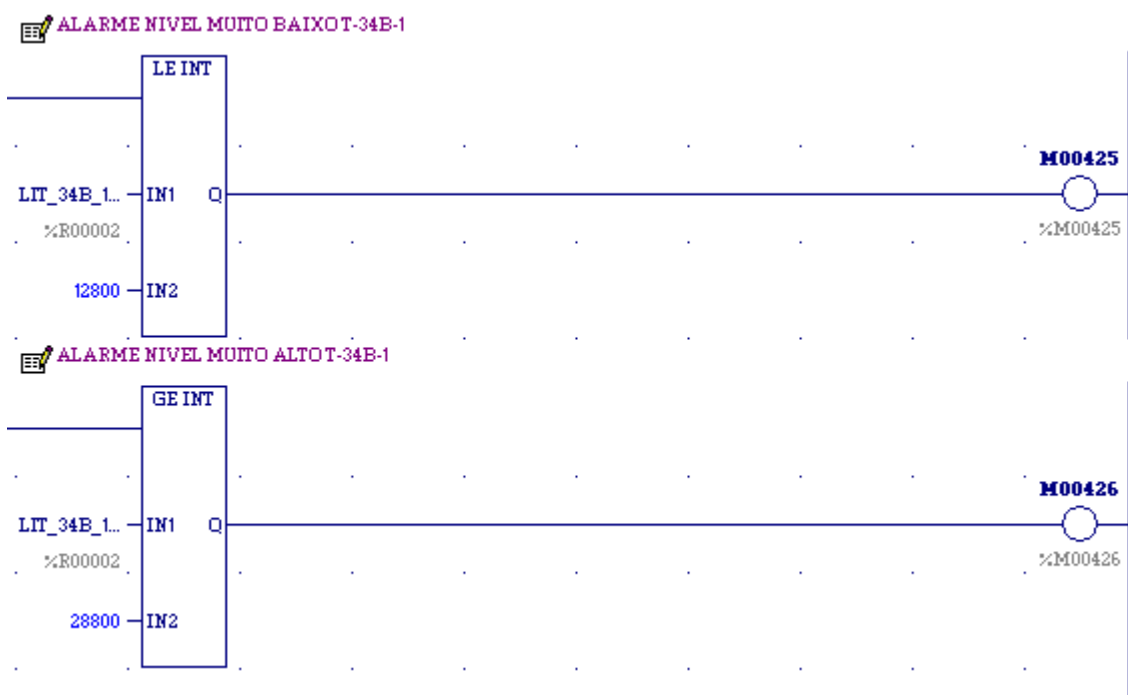


Figura 4.10 – Alarme nível baixo e alto do tanque T-34B-1

4.3.1.3 Rotina de acionamento dos inversores das bombas

A rotina a seguir, foi criada para realizar o acionamento dos inversores de todas as dez bombas dos cinco primeiros espessadores da área 28.

Inicialmente, na figura 4.11, foi verificado os possíveis defeitos que poderiam ocorrer. Devido a quantidade reduzida de entradas digitais, o retorno de defeito de cada inversor de frequência foi intertravado apenas eletricamente com o comando de acionamento e retorno de funcionando na gaveta do inversor. Portanto, não existe uma entrada digital dedicada que se refira a esse defeito.

Assim, o defeito tratado na lógica de PLC foi somente a falha na partida. Para isso, foi criado uma lógica de programação que avalia basicamente dois casos, quando a saída digital do PLC referente a determinado inversor é acionada, espera-se 5 segundos o retorno de funcionando. Caso esse retorno não chegue, a saída é desativada e é indicado falha na partida. O outro caso possível, é chegar o retorno de funcionando de um inversor sem que a sua saída digital do PLC estivesse acionada. Esse defeito também é tratado como falha na partida e impossibilita a ativação do inversor.

Uma vez gerado a falha na partida, a indicação de falha permanecerá até que o operador a rearme.

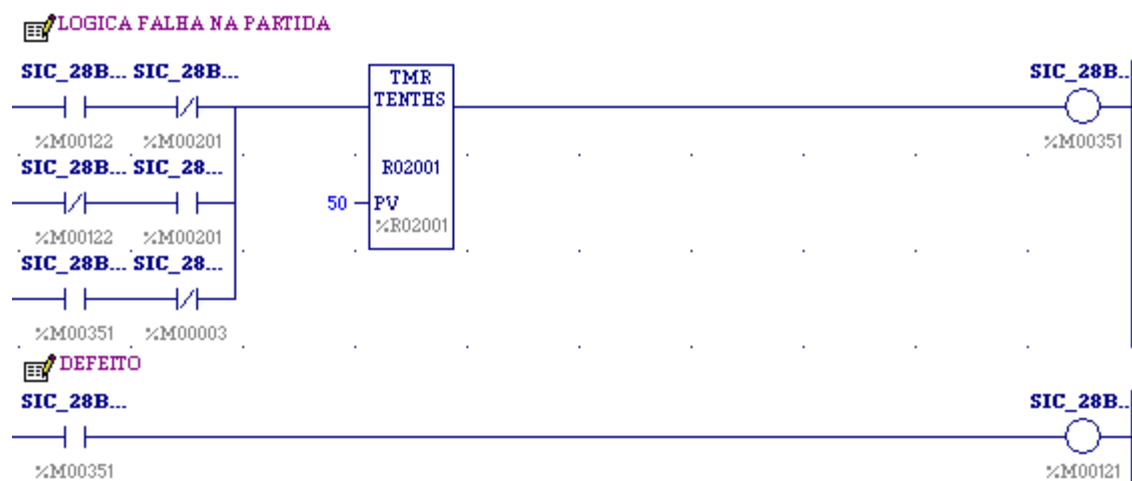


Figura 4.11 – Lógica de falha na partida

Posteriormente, figura 4.12, foi desenvolvida a lógica de acionamento dos inversores das bombas. A lógica consiste em um comando remoto simples através do supervisório. Os comandos liga e desliga, são acionados por botões criados na tela do supervisório referente a cada inversor da bomba. Como todas as bombas seguem a mesma lógica de acionamento, analisou-se o acionamento da bomba MP-28B-1A.

Uma vez acionado o botão liga e não havendo nenhum defeito, a variável de memória SIC-28B-1A-AUX é acionada e o seu contato aberto faz o selo do comando. Na sequência, na próxima linha, a variável SIC-28B-1A-AUX aciona a saída digital SIC-28B-1A-LIG-DESL, atrelada ao endereço físico %Q1 do PLC.

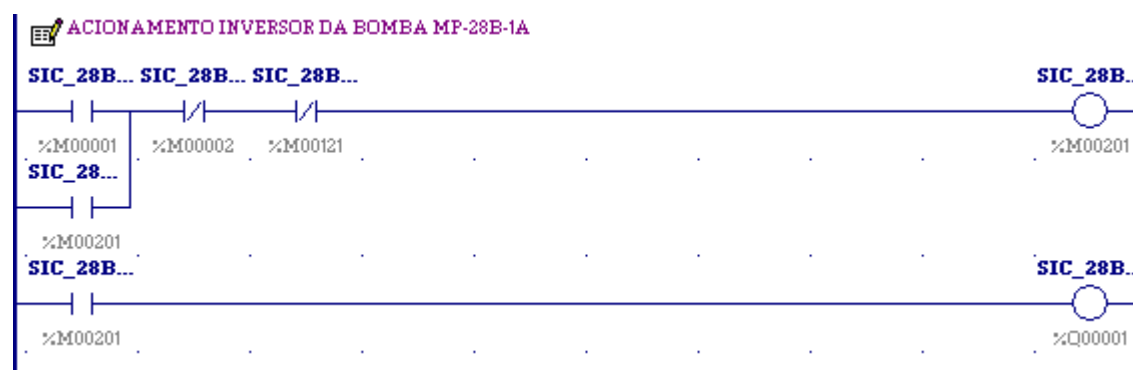


Figura 4.12 – Lógica de acionamento das bombas de underflow dos espessadores

4.3.1.4 Rotina de espelhamento das entradas analógicas (ESP_ANA)

Nessa rotina, os valores das entradas analógicas, representadas pelos endereços com o prefixo %AI, são movidas para variáveis inteiras que ocupam endereços de memórias, afim de serem utilizadas no decorrer do programa e serem mostradas no sistema supervisorio. Para que seja possível mover o valor de um endereço físico para um endereço de memória, utilizou-se o bloco ladder MOVE INT.

O valor inteiro expresso no centro do bloco, indica a quantidade de endereços que serão movidos. No caso apresentado na figura 4.13, todos os 16 endereços do cartão de entrada analógica ALG223. A operação iniciou-se do endereço de entrada analógica %AI1 até o %AI16 movendo para o %R1 até o %R16.

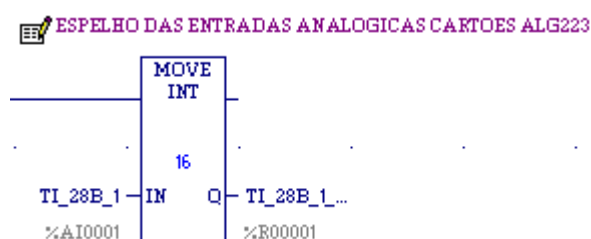


Figura 4.13 – Utilização do bloco MOVE INT de 16 endereços

Já na figura 4.14, apenas sete entradas analógicas foram movidas para endereços de memórias. A operação iniciou-se do endereço de entrada analógica %AI22 até o %AI28 movendo para o %R22 até o %R28. Esses endereços de entradas analógicas são referentes ao cartão de entrada analógica ALG221.

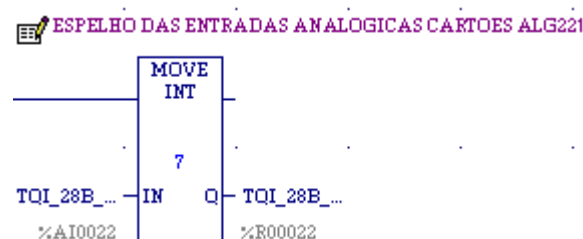


Figura 4.14 - Utilização do bloco MOVE INT de 7 endereços

Os medidores de vazão presentes no projeto, foram interligados nos endereços de entradas analógicas que vão do %AI17 até o %AI21. Inicialmente, utilizou-se o mesmo método de movimentação do endereço físico da entrada analógica para um endereço de memória, porém

observou-se um ruído na indicação de vazão, quando a tubulação em que foram instalados estava vazia. A indicação de vazão deveria ser zero, no entanto, apresentava alguns pequenos valores incorretos.

Visando atenuar esses ruídos, foi criada uma lógica para realizar a movimentação do endereço da entrada analógica para o endereço de memória somente quando o valor da entrada analógica for maior que 100, conforme figura 4.15. Esse valor é muito pequeno comparado a faixa da entrada analógica que varia de 0 a 32767, ou seja, o cartão de entrada analógica possui um conversor analógico digital de 15 bits.

Caso o valor da entrada analógica seja menor que 100, o valor 0 é movido para o endereço de memória respectivo.

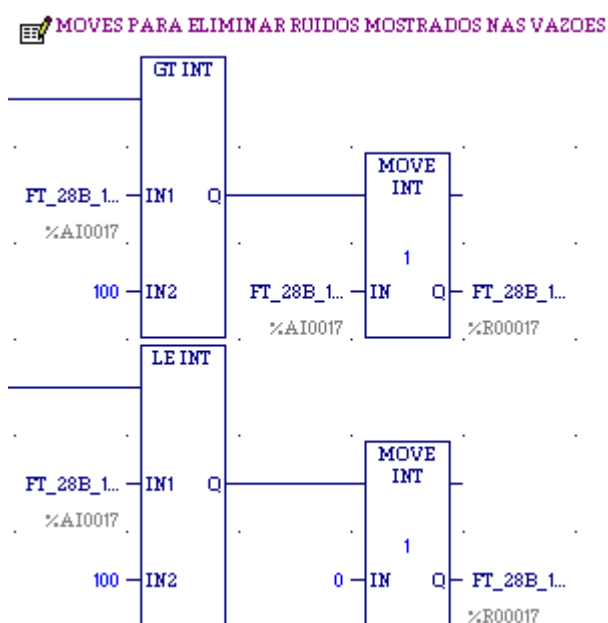


Figura 4.15 – Lógica de eliminação de ruídos das entradas analógicas relativas aos medidores de vazão

4.3.1.5 Rotina de espelhamento das entradas digitais (ESP_DIG)

Semelhante a rotina de espelhamento de entradas analógicas, essa rotina tem por finalidade transferir todos os endereços de entradas digitais do PLC, de prefixo %I, para endereços de memórias, %M. Essa movimentação permite que os estados das entradas digitais possam ser

manipulados no sistema supervisor, além de permitir a manipulação desses endereços de memória durante a lógica do programa do PLC.

A rotina consiste em um contato normalmente aberto, com o endereço da entrada física, acionando uma bobina endereçada com o endereço de memória correspondente, como mostrado na figura 4.16.

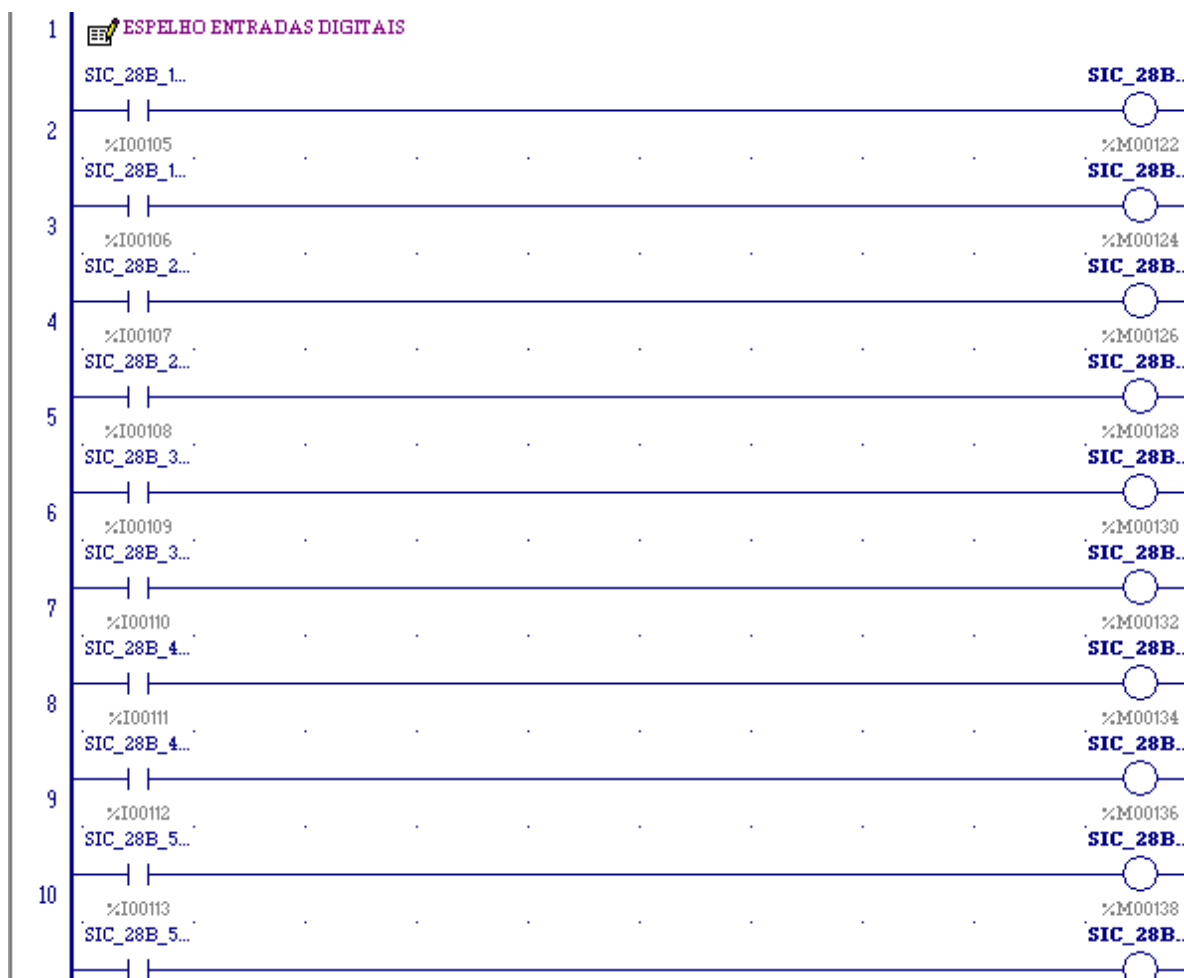


Figura 4.16 – Lógica espelhamento entradas digitais

4.3.1.6 Rotina de controle de vazão de underflow dos espessadores

Essa rotina, é usada para controlar a vazão de underflow dos cinco primeiros espessadores. Nesse projeto, o controle foi feito utilizando um controlador PID em malha fechada. A linguagem de programação ladder oferece um bloco PID, no qual são necessários incluir os endereços de setpoint, da variável do processo, do bit de manual e automático, da variável controlada, além dos parâmetros de ajuste do PID.

A seguir, as informações serão tratadas com base na bomba MP-28B-1A. As demais bombas seguem o mesmo modelo dessa bomba, portanto não serão referenciadas.

A figura 4.17, representa o bloco ladder PID ISA da bomba MP-28B-1A, controlada sua rotação pelo inversor de frequência SIC-28B-1A.

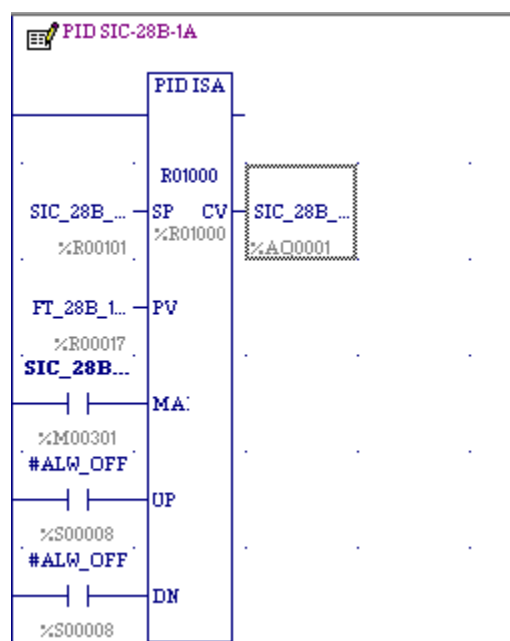


Figura 4.17 – PID SIC-28B-1A

A variável SIC-28B-1A_SP, é o setpoint de vazão definida pelo operador no supervisório. O processo informa ao operador o setpoint de vazão que irá trabalhar no underflow de cada espessador. A variável de processo é a variável referente ao medidor de vazão FT-28B-189. O bit de seleção manual e automático, variável SIC-28B-1A_MAN_AUT, é atuado pelo operador através do supervisório. A saída do bloco PID, a variável SIC-28B-1A, está atrelada ao endereço físico saída analógica %AQ1.

A seguir, as figuras 4.17 e 4.18, apresentam a lógica desenvolvida que tem como objetivo suavizar quando o controlador passar de manual para automático ou o processo contrário, de automático para manual. A lógica garante que o processo não sofrerá variações bruscas com essas mudanças. Em manual, o setpoint do controlador é atualizado com o valor da variável de processo, além de, atualizar o endereço interno de saída do bloco PID com o valor de saída

definido no supervisório. Já em automático, ele transfere o valor de saída física para ser mostrada no supervisório.

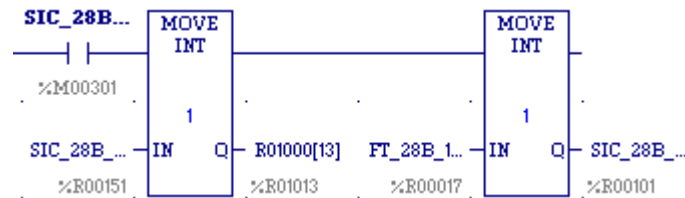


Figura 4.18 – PID em modo manual

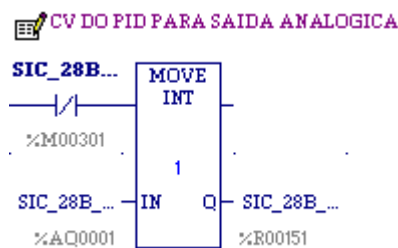


Figura 4.19 – PID em modo automático

4.3.1.6.1 Modo manual

Em modo manual, o operador atua diretamente na saída do bloco PID, ou seja, o operador define qual o percentual de 0 a 100% de sinal que será enviado para o inversor da bomba, ignorando o controlador PID.

Esse modo de operação, é indicado apenas para quando o medidor de vazão estiver em manutenção ou para testes operacionais.

4.3.1.6.2 Modo automático

Em modo automático o sinal enviado para o inversor da bomba é referente a saída gerada pelo bloco PID, que obedece internamente a seguinte equação:

$$CO = Kp * (E + Ki * \int Edt + Kd * \frac{dE}{dt})$$

Onde:

- CO = Saída do Controlador;

- $E = PV - SP$;
- K_p = Ganho Proporcional;
- K_i = Ganho Integral;
- K_d = Ganho Derivativo.

Com base no erro entre setpoint e variável de processo, o PID gerará uma saída afim de atenuar esse erro. A velocidade de atuação, a precisão dessa atuação e o overshoot são ajustados através dos parâmetros do PID, mostrados na figura 4.20.

The screenshot shows a software window titled "PID - Project Values". It contains several input fields and checkboxes for configuring a PID controller. The "Control" section has checkboxes for "Enable" (checked), "Override", and "Manual". The "Tuning" section has input fields for "Proportional" (0.80 % / %), "Integral" (0.300 rep/sec), and "Derivative" (0.00 sec). Below this, there are fields for "Sample Period" (0.01 sec), "Dead Band Upper" (0), "Upper Clamp (+)" (32000), "Error Term" (SP-PV), and "Derivative Action" (Error). On the right side, there are three vertical sliders for "SP", "PV", and "CV", each with a "0%" label at the top. Below the sliders are fields for "SP/PV Range" (0), "SP Value" (0), "Bias" (0), "Dead Band Lower" (0), "Lower Clamp (-)" (0), "Min Slew Time" (0 sec), and "Output Polarity" (POS). There are also buttons for "Update Project", "Update Controller", and "Help >>".

Figura 4.20 – Parâmetros PID SIC-28B-1A

4.3.1.6.2.1 Ajuste dos parâmetros do PID

Para ajustar os parâmetros do controlador PID, foi utilizado o método de tentativa e erro. O ajuste foi realizado conforme descrito pela National Instruments (2018):

“Neste método, os termos I e D são definidos para zero e o ganho proporcional é aumentado até a saída do loop começar a oscilar. Quando se aumenta o ganho proporcional, o sistema torna-se mais rápido, mas deve-se tomar cuidado para não torná-lo instável. Uma vez que P foi definido para obter uma resposta rápida

desejada, o termo integral é aumentado a fim de parar as oscilações. O termo integral reduz o erro de estado estacionário, mas aumenta o overshoot. Um certo valor de overshoot é sempre necessário para um sistema rápido de modo que possa responder às mudanças imediatamente. O termo integral é novamente ajustado para atingir um mínimo erro de steady state. Uma vez que o P e I foram definidos para que o sistema de controle seja rápido com o steady state mínimo e constante, o termo derivativo é aumentado até que o loop seja aceitavelmente rápido em relação ao seu ponto de referência. Aumentar o termo da derivada diminui o overshoot, aumentando o ganho, mantendo a estabilidade e ainda fazendo com que o sistema seja altamente sensível ao ruído. Muitas vezes, os engenheiros têm a necessidade de fazer a compensação de uma característica de um sistema de controle para melhorar outro, e assim atender às suas necessidades. ”

4.3.1.7 Rotina de reset dos comandos do supervisor

Essa rotina foi criada para limpar os comandos enviados pelo supervisor. Nesse projeto, essa rotina é utilizada para limpar os comandos de liga, desliga, rearme das bombas, “Cala Sirene” e os comandos para inibir os alarmes de parada de raspa do espessador que estiver isolado.

Inicialmente, como mostrado na figura 4.21, criou-se um contato de pulso chamado de PULSOTP, no qual é acionado de 2 em 2 segundos.

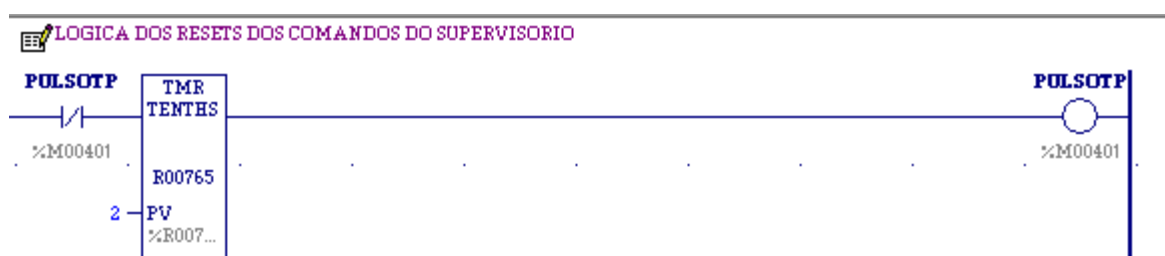


Figura 4.21 – Geração de um contato pulsante de 2 em 2 segundos

O contato pulsante PULSOTP, aciona a linha que contém a lógica de limpeza dos comandos. Utilizou-se um bloco ladder SHFR WORD que realiza a movimentação dos bits das variáveis. Como esse bloco é referente a uma variável do tipo word, ou seja, 16 bits, e como o endereço do primeiro comando inicia-se no endereço de memória %M1, serão processados os 16 endereços seguintes, do %M1 a %M16.

Após a operação realizada pelo SHFR WORD, o resultado é enviado para uma variável auxiliar do tipo word, a AUX_003. A variável AUX_003 passa por um bloco NOT WORD que inverte seus bits e o resultado é enviado para uma outra variável word AUX_004.

Por fim, conforme a figura 4.22, é realizado uma operação AND bit a bit (bloco ANDWORD) entre o vetor de endereços que vai de %M1 a %M16 e a variável AUX_04. O resultado é enviado para o vetor de endereços de %M1 a %M16. A operação AND bit a bit só resulta estado lógico “1” caso os bits correspondentes das duas palavras forem “1”, caso contrário, escreve o sinal logico “0”. Assim, nunca teremos um caso em que ambos bits serão “1”, por isso o vetor de endereços é sempre limpo.

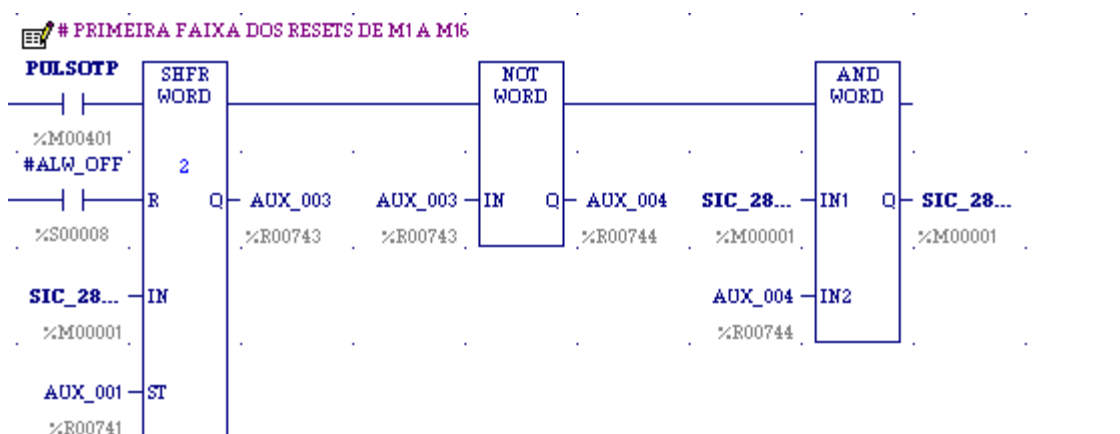


Figura 4.22 – Lógica para limpeza dos comandos do supervisório

Esse procedimento foi replicado para os vetores de endereços de memórias de %M17 a %M32 e %M33 a %M48. Com isso, os 48 endereços de memórias do tipo booleano, do %M1 a %M48, foram os endereços destinados aos comandos de todas as bombas, reconhecimentos dos alarmes e inibição dos alarmes das rasps.

4.4 Sistema supervisório

O sistema supervisório foi desenvolvido com a finalidade de oferecer ao operador uma ferramenta de fácil manuseio para monitorar e manipular todos os equipamentos da área. A implementação do sistema supervisório, possibilitou ao operador uma maior comodidade para gerenciamento das bombas de underflow dos espessadores e das variáveis críticas da área.

Além disso, a ferramenta oferece os recursos de geração de alarmes e de registro de todas as variáveis presentes no banco de dados, permitindo aos operadores e supervisores um maior controle sobre a operação dessa parte do processo de espessamento da Hindalco.

As telas do sistema supervisório foram projetadas para serem o mais simples possível e intuitivas afim de, facilitar a adaptação dos operadores com esse novo cenário.

Como relatado anteriormente, utilizou-se o sistema supervisório que havia disponível na empresa, o GE iFIX na versão 3.5.

4.4.1 Driver de comunicação

O driver de comunicação GE9 permite a interligação das variáveis de memória do PLC com o banco de dados do sistema supervisório. Como pode ser visto na figura 4.23, no driver foi criado um novo projeto no qual foram definidas faixas de endereços de memórias que foram utilizadas no programa de PLC. Foram definidas apenas duas faixas, uma para variáveis inteiras de endereços %R e uma para variáveis booleanas expressas pelos endereços %M.

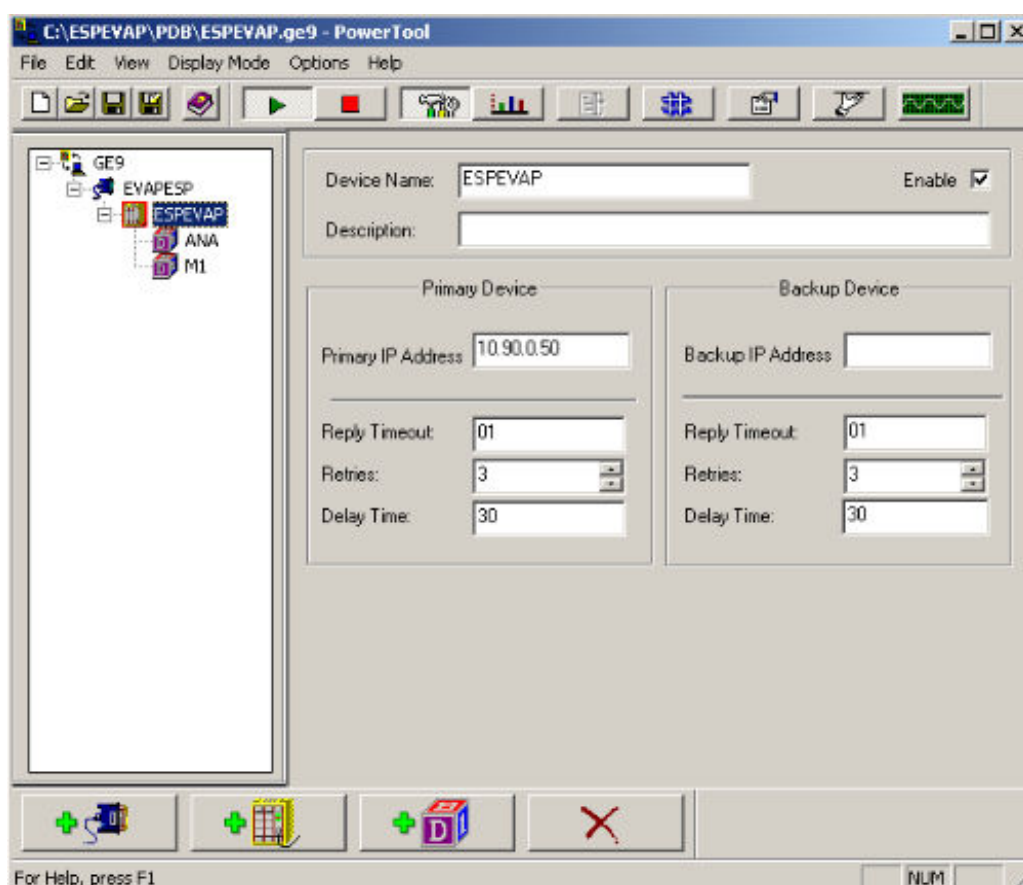


Figura 4.23 – Driver GE9

4.4.2 Ferramentas do sistema supervisor GE iFIX

A plataforma GE iFIX fornece ao desenvolvedor diversas ferramentas para enriquecer o sistema supervisor. A seguir, serão mencionadas algumas ferramentas utilizadas e a sua importância para o projeto.

4.4.2.1 Proficy iFIX Workspace

Proficy iFIX Workspace é uma plataforma oferecida para criação das telas de operação. É possível criar quantas telas forem necessárias para a aplicação. Essa plataforma é onde serão inseridos os objetos gráficos, as imagens, os textos e os links para interface com as variáveis do banco de dados. Além disso, é possível implementar as animações em objetos e criar pontos de chamadas de outras telas ou funções. A figura 4.24 apresenta a visão geral do iFIX Workspace.

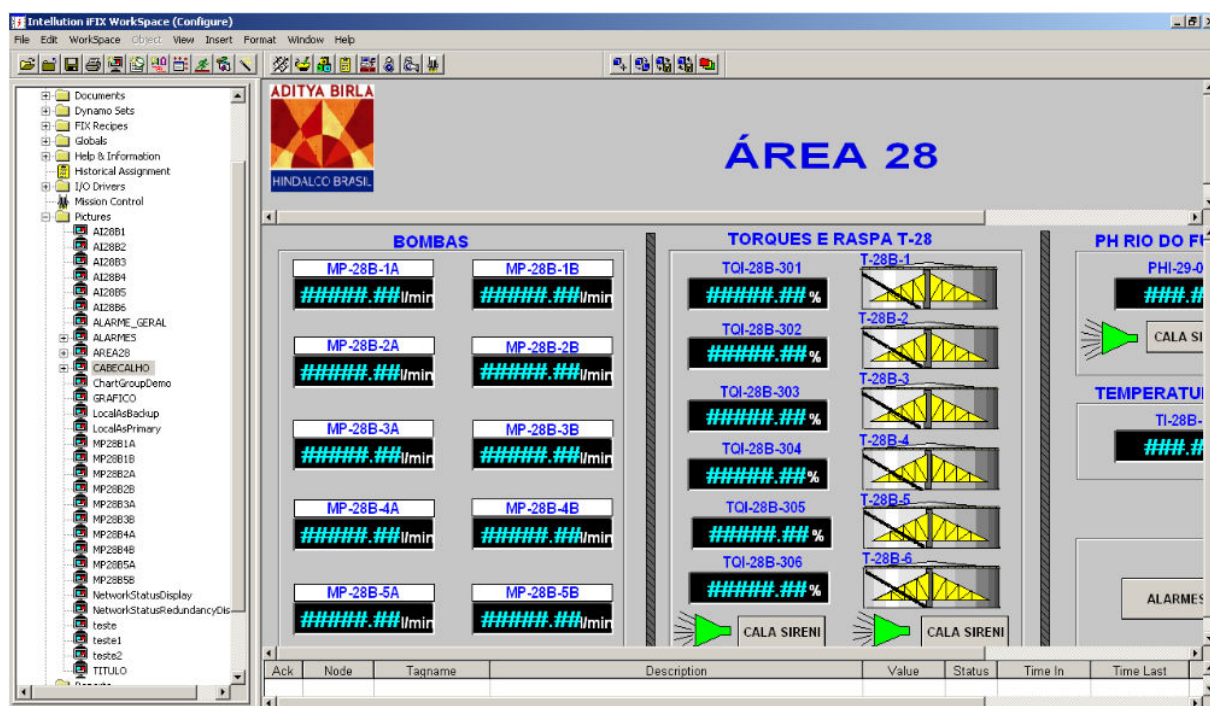
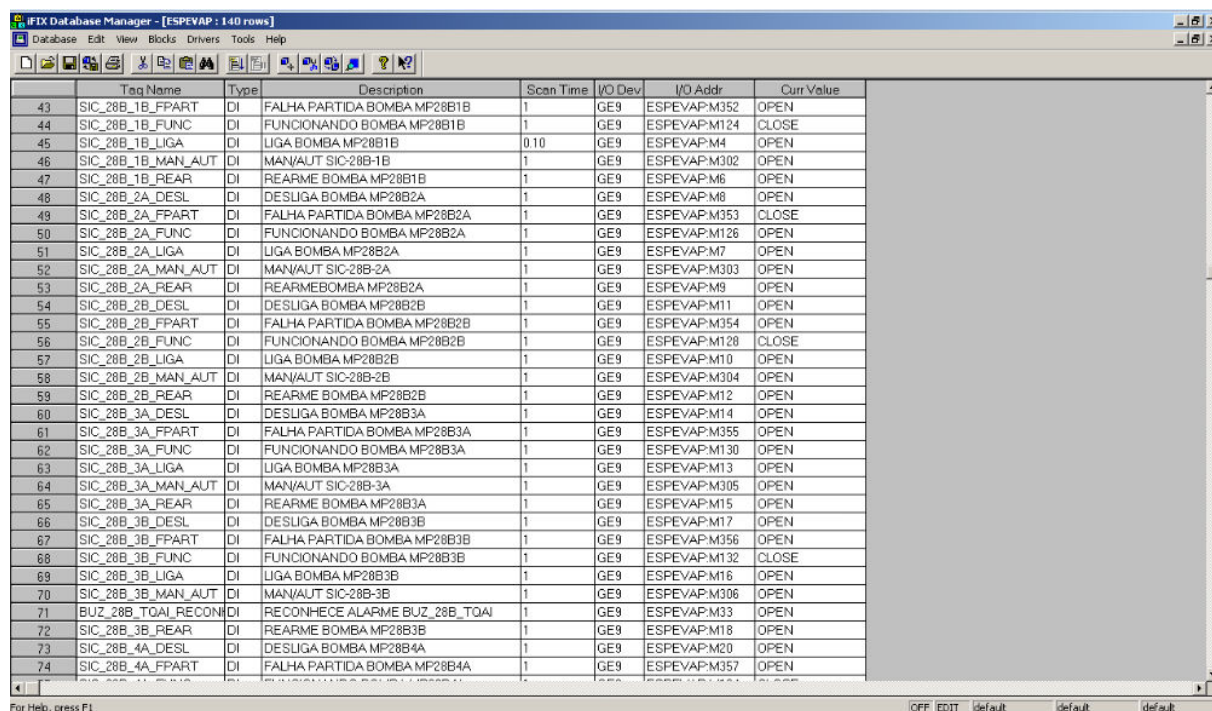


Figura 4.24 – Visão geral do iFIX Workspace

4.4.2.2 Proficy iFIX Database Manager

Essa ferramenta é responsável por oferecer subsídios de criação e manuseio do banco de dados do sistema supervisor. No banco de dados, são criadas todas as variáveis que serão

utilizadas na aplicação. Essas variáveis podem ser de diversos tipos, numéricas, alfanuméricas, booleanas, strings, entre outros. O banco de dados do projeto, mostrado na figura 4.25, foi nomeado de ESPEVAP pois a intenção desse supervisor é futuramente integrar todas as variáveis da área de espessamento e evaporação da Hindalco.



The screenshot shows the iFIX Database Manager interface for the 'ESPEVAP' database. The table contains 140 rows of data, each representing a variable. The columns are: Tag Name, Type, Description, Scan Time, I/O Dev, I/O Addr, and Curr Value. The variables are organized by pump unit (1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A) and include status (FALHA, LIGA, DESL), function (FUNCIONANDO, REARME), and alarm (BUZ) signals.

	Tag Name	Type	Description	Scan Time	I/O Dev	I/O Addr	Curr Value
43	SIC_28B_1B_FPART	DI	FALHA PARTIDA BOMBA MP28B1B	1	GE9	ESPEVAP:M352	OPEN
44	SIC_28B_1B_FUNC	DI	FUNCIONANDO BOMBA MP28B1B	1	GE9	ESPEVAP:M124	CLOSE
45	SIC_28B_1B_LIGA	DI	LIGA BOMBA MP28B1B	0.10	GE9	ESPEVAP:M4	OPEN
46	SIC_28B_1B_MAN_AUT	DI	MAN/AUT SIC-28B-1B	1	GE9	ESPEVAP:M302	OPEN
47	SIC_28B_1B_REAR	DI	REARME BOMBA MP28B1B	1	GE9	ESPEVAP:M6	OPEN
48	SIC_28B_2A_DESL	DI	DESLIGA BOMBA MP28B2A	1	GE9	ESPEVAP:M8	OPEN
49	SIC_28B_2A_FPART	DI	FALHA PARTIDA BOMBA MP28B2A	1	GE9	ESPEVAP:M353	CLOSE
50	SIC_28B_2A_FUNC	DI	FUNCIONANDO BOMBA MP28B2A	1	GE9	ESPEVAP:M126	OPEN
51	SIC_28B_2A_LIGA	DI	LIGA BOMBA MP28B2A	1	GE9	ESPEVAP:M7	OPEN
52	SIC_28B_2A_MAN_AUT	DI	MAN/AUT SIC-28B-2A	1	GE9	ESPEVAP:M303	OPEN
53	SIC_28B_2A_REAR	DI	REARME BOMBA MP28B2A	1	GE9	ESPEVAP:M9	OPEN
54	SIC_28B_2B_DESL	DI	DESLIGA BOMBA MP28B2B	1	GE9	ESPEVAP:M11	OPEN
55	SIC_28B_2B_FPART	DI	FALHA PARTIDA BOMBA MP28B2B	1	GE9	ESPEVAP:M354	OPEN
56	SIC_28B_2B_FUNC	DI	FUNCIONANDO BOMBA MP28B2B	1	GE9	ESPEVAP:M128	CLOSE
57	SIC_28B_2B_LIGA	DI	LIGA BOMBA MP28B2B	1	GE9	ESPEVAP:M10	OPEN
58	SIC_28B_2B_MAN_AUT	DI	MAN/AUT SIC-28B-2B	1	GE9	ESPEVAP:M304	OPEN
59	SIC_28B_2B_REAR	DI	REARME BOMBA MP28B2B	1	GE9	ESPEVAP:M12	OPEN
60	SIC_28B_3A_DESL	DI	DESLIGA BOMBA MP28B3A	1	GE9	ESPEVAP:M14	OPEN
61	SIC_28B_3A_FPART	DI	FALHA PARTIDA BOMBA MP28B3A	1	GE9	ESPEVAP:M355	OPEN
62	SIC_28B_3A_FUNC	DI	FUNCIONANDO BOMBA MP28B3A	1	GE9	ESPEVAP:M130	OPEN
63	SIC_28B_3A_LIGA	DI	LIGA BOMBA MP28B3A	1	GE9	ESPEVAP:M13	OPEN
64	SIC_28B_3A_MAN_AUT	DI	MAN/AUT SIC-28B-3A	1	GE9	ESPEVAP:M305	OPEN
65	SIC_28B_3A_REAR	DI	REARME BOMBA MP28B3A	1	GE9	ESPEVAP:M15	OPEN
66	SIC_28B_3B_DESL	DI	DESLIGA BOMBA MP28B3B	1	GE9	ESPEVAP:M17	OPEN
67	SIC_28B_3B_FPART	DI	FALHA PARTIDA BOMBA MP28B3B	1	GE9	ESPEVAP:M356	OPEN
68	SIC_28B_3B_FUNC	DI	FUNCIONANDO BOMBA MP28B3B	1	GE9	ESPEVAP:M132	CLOSE
69	SIC_28B_3B_LIGA	DI	LIGA BOMBA MP28B3B	1	GE9	ESPEVAP:M16	OPEN
70	SIC_28B_3B_MAN_AUT	DI	MAN/AUT SIC-28B-3B	1	GE9	ESPEVAP:M306	OPEN
71	BUZ_28B_TQAI_RECON	DI	RECONHECE ALARME BUZ_28B_TQAI	1	GE9	ESPEVAP:M33	OPEN
72	SIC_28B_3B_REAR	DI	REARME BOMBA MP28B3B	1	GE9	ESPEVAP:M18	OPEN
73	SIC_28B_4A_DESL	DI	DESLIGA BOMBA MP28B4A	1	GE9	ESPEVAP:M20	OPEN
74	SIC_28B_4A_FPART	DI	FALHA PARTIDA BOMBA MP28B4A	1	GE9	ESPEVAP:M357	OPEN

Figura 4.25 – Banco de dados ESPEVAP

Quando as variáveis são criadas, é definido qual o driver de comunicação que se conectará, além do endereço de memória do PLC a qual aquela variável está vinculada. A figura 4.26 mostra um bloco de variável analógica criada no banco de dados para ser usada no projeto.

Figura 4.26 – Bloco de uma variável no banco de dados

4.4.3 Telas de operação

O sistema supervisório foi dividido basicamente em cinco telas de operação, essa divisão foi necessária devido a natureza diferente de cada uma delas. Assim, o operador pode interagir com o processo de forma mais rápida.

4.4.3.1 Tela principal

A tela principal, figura 4.27, é a tela inicial e a mais usada do sistema supervisório. Nela, estão as informações gerais sobre as variáveis da área e todos os subsídios para que o operador consiga acessar as demais telas.

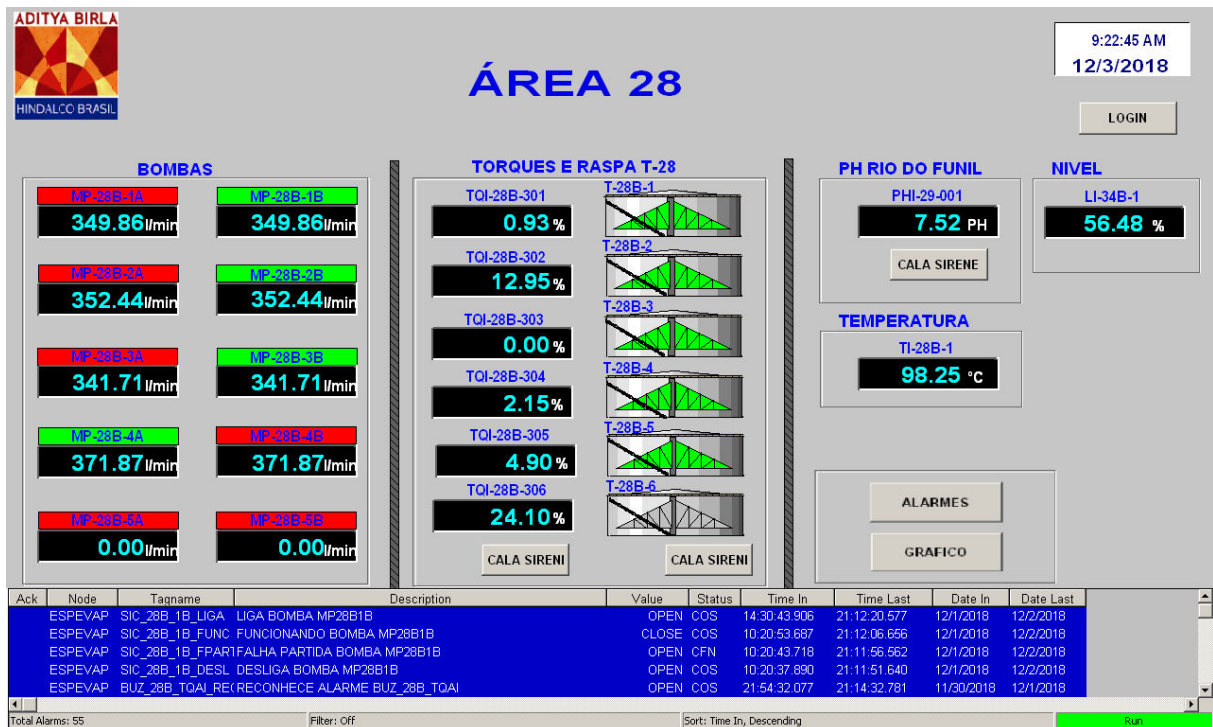


Figura 4.27 – Visão geral da tela principal

Para que possa ser analisada com mais detalhes, a tela foi dividida em cinco partes que serão mostradas e comentadas a seguir.

4.4.3.1.1 Parte de underflow dos espessadores

Nessa parte, é possível visualizar o estado de cada bomba e a vazão de underflow dos espessadores, além de oferecer recursos para que as telas de acionamentos das bombas sejam abertas, como mostrado na figura 4.28.

Para animação do estado de cada bomba, foi usado o recurso de mudança de cores da placa de identificação das bombas. As cores dos estados foram definidas conforme tabela abaixo:

Tabela 4.2: Cores de animação dos estados das bombas

<i>Estado da bomba</i>	<i>Cor</i>
Em funcionamento	Verde
Pronto para partir	Vermelho
Defeito	Amarelo

Além disso, o operador pode acessar a “Tela de acionamento da bomba de underflow” de determinada bomba, apenas clicando sobre a sua identificação ou indicação de vazão.



Figura 4.28 – Estado das bombas e indicação da vazão do underflow dos cinco espessadores

4.4.3.1.2 Parte da indicação do torque e estado da raspa dos espessadores

Essa parte da tela é destinada a indicação do torque e o estado operacional das raspas dos seis espessadores da Área 28.

Referente ao torque do mecanismo que movimenta a raspa, a tela possui a sua indicação, identificada, variando de 0 a 100%. Quando a medição do torque está em condição de alarme, ou seja, acima dos 40%, a sua indicação muda para a cor vermelha. Essa cor vermelha tem por objetivo alertar o operador também usando recursos visuais. Abaixo, é possível visualizar também, o botão de “Cala Sirene” usado para silenciar a sirene de alarme de torque alto quando ela soar.

Já a parte das raspas, é possível visualizar o estado de operação das mesmas. Para ser de fácil visualização e bastante intuitivo, foi utilizado também o recurso de mudança de cores das raspas. As cores e os estados foram definidos da seguinte forma:

Tabela 4.3: Esquema de cores de animação das raspas

<i>Estado da raspa</i>	<i>Cor</i>
Operando	Verde
Parada (Alarme)	Vermelho
Parada (Espessador isolado)	Cinza

Clicando sobre o esboço do espessador, o operador acessará a “Tela de inibição de alarme de raspa parada”.

Na sequência, é apresentado o botão de “Cala Sirene” usado para silenciar a sirene de alarme de parada de raspa dos espessadores.

A figura 4.29 apresenta a medição de torque e o estado das raspas dos espessadores.

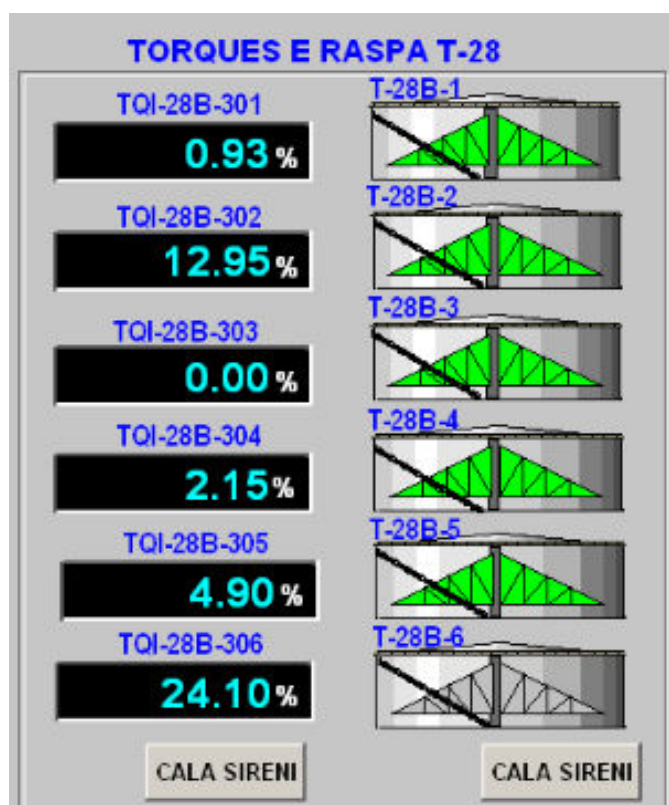


Figura 4.29 – Torque e raspas dos espessadores

4.4.3.1.3 Parte de acesso as telas de Gráfico e Alarmes

Essa parte da tela, foi criada apenas para permitir acesso as telas de Gráficos e Alarmes do sistema supervisorio. Trata-se de dois botões, que ao serem clicados, executa uma lógica para abertura das duas telas, como mostrado na figura 4.30.



Figura 4.30 – Acesso as telas de Gráficos e Alarmes

4.4.3.1.4 Parte de resumo dos últimos alarmes

Nessa parte da tela principal, possui um quadro que apresenta um resumo dos últimos alarmes gerados pelas variáveis da área. Assim, o operador possui um controle fácil dos últimos alarmes gerados, sem que seja necessário acessar a tela de Alarmes, conforme figura 4.31.

Ack	Node	Tagname	Description
	ESPEVAP	PHIA_29_001_STAT	STATUS ALARME PHIA_29_001
	ESPEVAP	AI_28B_4_ADM	ALARME PARADA RASPA T-28B-4
	ESPEVAP	AI_28B_3_ADM	ALARME PARADA RASPA T-28B-3
	ESPEVAP	AI_28B_1_ADM	ALARME PARADA RASPA T-28B-1
	ESPEVAP	AI_28B_2_ADM	ALARME PARADA RASPA T-28B-2

Figura 4.31 – Quadro resumo dos últimos alarmes

4.4.3.1.5 Parte da indicação das variáveis críticas da área.

Essa parte é usada para disponibilização dos valores das variáveis críticas para a operação da área, como mostra a figura 4.32. Possui as indicações do pH do rio, do nível do tanque T-34B-1 e temperatura do espessador T-28B-1.

Além da indicação do pH, o operador também consegue identificar quando a variável está em condição de alarme pois, a indicação de pH muda para a cor vermelha. O botão de “Cala

Sirene”, da mesma forma que nos alarmes de parada de raspa e no torque alto, silencia a sirene de pH fora dos limites definidos.

O valor do nível do T-34B-1 também é mostrado na tela. Foram usados os recursos de texto e de mudança de cor para expressar os alarmes. Quando o nível está em condição de alarme, a sua indicação muda para a cor vermelha e aparece um texto indicando qual a situação de alarme, nível alto ou nível baixo do tanque T-34-B-1.

A temperatura do espessador T-28B-1 é apenas mostrado na tela para controle operacional. Não são gerados alarmes para essa indicação.

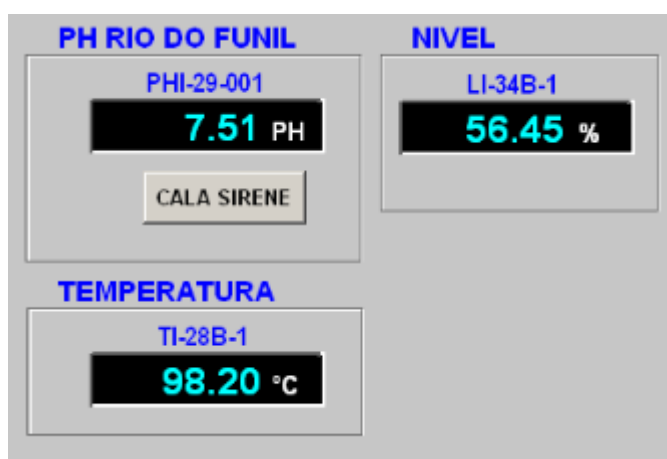


Figura 4.32 - Indicação das variáveis críticas da área

4.4.3.2 Tela de gráficos

Essa tela foi criada para expressar o comportamento das variáveis do sistema por meio de gráficos. A tela permite aos operadores e supervisores um acompanhamento melhor sobre as condições atuais e históricas do processo.

Atualmente, a Hindalco possui um padrão de tela de gráficos adotada em suas principais aplicações por isso, a tela foi elaborada com base nesse padrão. Foram realizadas algumas alterações afim de atender as demandas do atual sistema supervisório.

Nessa tela de gráficos, figura 4.33, é possível visualizar as variáveis na forma real ou histórica. A forma real expressa o comportamento da variável no instante analisado. No caso

das variáveis históricas, a tela permite que o operador defina uma data inicial para análise do comportamento dessas variáveis.

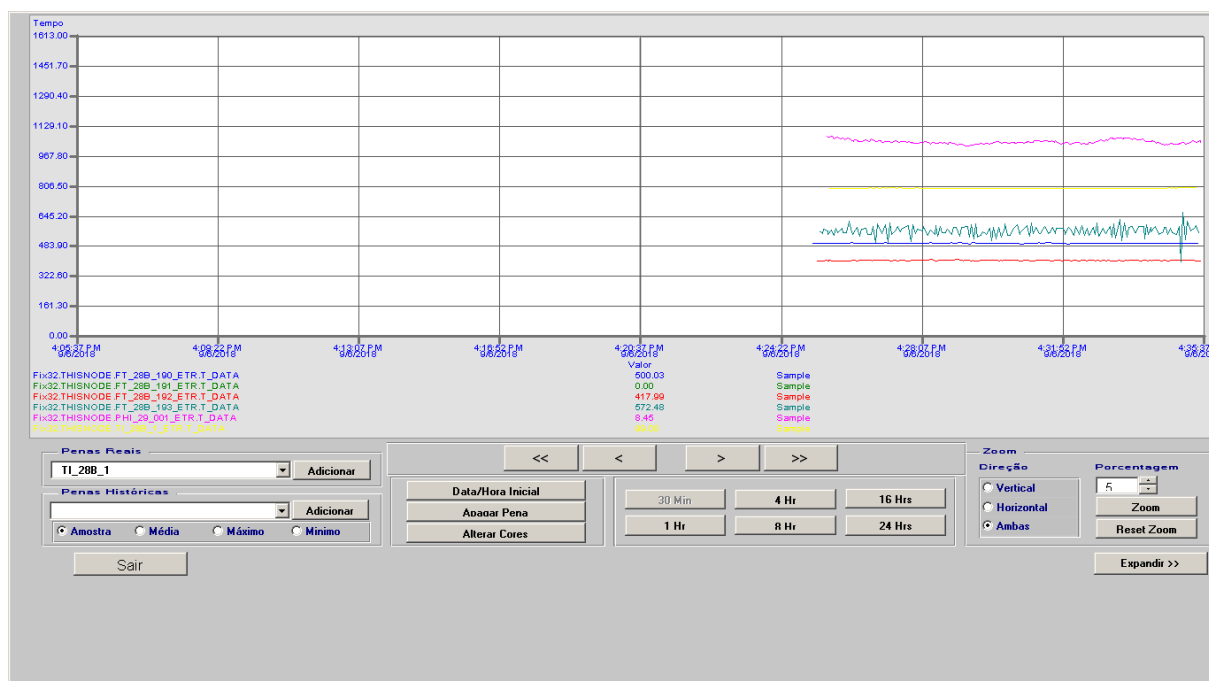


Figura 4.33 – Tela de gráficos

4.4.3.3 Tela de Alarmes

Tela desenvolvida com a finalidade de listar todos os alarmes gerados pelas variáveis do banco de dados. Esses alarmes têm por objetivo, orientar o operador a respeito das condições dos equipamentos e instrumentos da área.

Os alarmes podem ser dos tipos: muito baixo (LOLO), baixo (LO), alto (HI), muito alto (HIHI).

A tela de alarmes, permite o operador reconhecer e excluir os alarmes gerados, além de organizar os alarmes da forma que for desejada, conforme mostra a figura 4.34.

4.4.3.5 Tela de acionamento das bombas de underflow dos espessadores

A tela foi criada para que o operador consiga realizar o acionamento das bombas de underflow dos espessadores. Além disso, a tela permite o controle de vazão de underflow, como pode ser visto na figura 4.36. Para efeito de análise, pode-se dividir essa tela em duas partes.

A primeira parte é dedicada ao acionamento das bombas, conforme. Nela, estão presentes os botões para comandos (liga, desliga e rearme), a indicação do estado da bomba (Funcionando, pronto para partir ou Defeito), além de um espaço destinado para especificação do defeito.

Quando o operador clica em um dos botões de comandos das bombas, existe um script, desenvolvido em VBA, que escreve o sinal lógico “1” na variável de banco de dados referente. Essas variáveis de banco de dados, como citado anteriormente, estão atreladas aos endereços de memórias do PLC presentes na lógica de acionamento das bombas. Uma vez, escrito o sinal lógico “1”, esse valor permanecerá até que a rotina de PLC “reset dos comandos do supervisório” seja executada e limpe o estado da variável.

Para as animações do estado das bombas foram usados os recursos de textos e cores, da seguinte forma:

Tabela 4.4: Textos e cores de animação dos estados das bombas

<i>Estado da bomba</i>	<i>Texto mostrado</i>	<i>Cor</i>
Em funcionamento	Funcionando	Verde
Pronto para partir	PPP	Vermelho
Defeito	Defeito	Amarelo

A segunda parte da tela, é dedicada ao controle de vazão de underflow dos espessadores. Nela o operador poderá definir o estado do controlador (manual ou automático) e intervir no processo de acordo com a necessidade. Em manual, o operador escreverá o valor desejado diretamente na saída de 0 a 100%. Já em automático, o operador definirá o setpoint de vazão e o controlador PID, criado no programa do PLC, atuará na saída afim de manter um a variável

de processo o mais próximo possível do setpoint informado pela operação. Uma animação de texto indica o estado de manual ou automático do controlador.

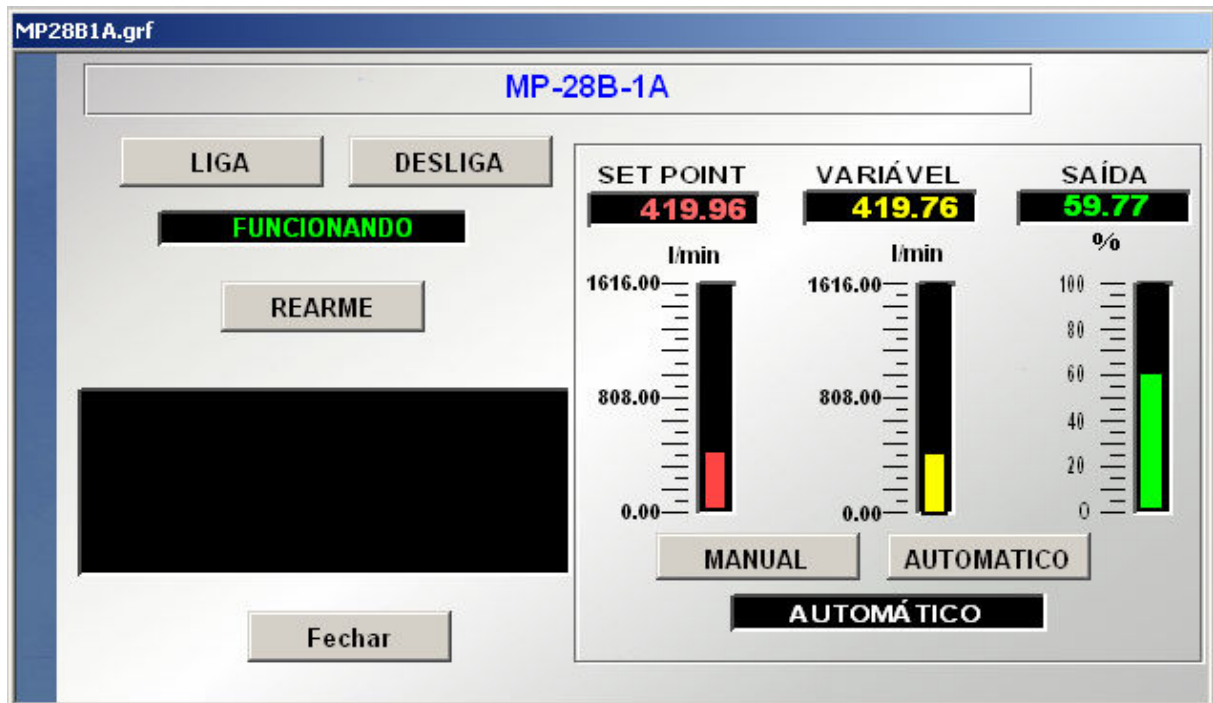


Figura 4.36 – Tela de acionamento das bombas de underflow dos espessadores

5 RESULTADOS

Concluído a etapa de desenvolvimento, o sistema foi observado de perto durante alguns dias afim de realizar todos os testes necessários e corrigir os possíveis erros. Durante esse período, foram realizados alguns ajustes, tanto no programa de PLC, quanto em algumas telas do sistema supervisorio, com o objetivo de atender todos os requisitos da equipe de operação.

Os equipamentos e instrumentos foram sendo migrados para o PLC de forma gradativa para que não houvesse perdas operacionais na área de espessamento. Inicialmente, todos os instrumentos presentes no painel antigo foram transferidos para o painel de PLC. Na sequência, migrou-se todas as bombas reservas da área, realizaram-se os testes de plataforma, e após findar-se os testes, foram disponibilizadas para operação. Assim, com as bombas reservas operando, as bombas principais puderam enfim serem desligadas e migradas para o novo painel. Na figura 5.1 é possível visualizar o painel de PLC criado pela equipe de elétrica da empresa.

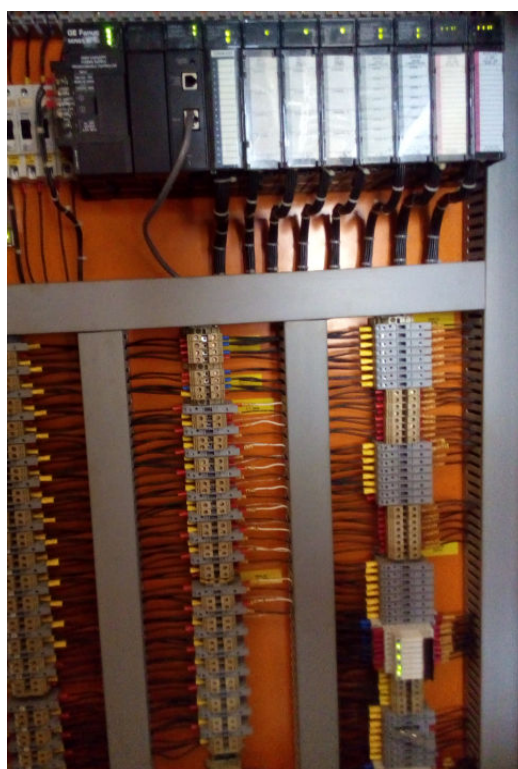


Figura 5.1 Painel do PLC

Após esses testes, o painel de PLC e o sistema supervisório desenvolvidos foram entregues para a equipe de operação. De posse do novo sistema, os supervisores da operação realizaram treinamentos e atualizaram os procedimentos operacionais de modo a incluir a nova forma de controle da área.

Realizadas as etapas de comissionamento e de testes, foi possível analisar os ganhos reais proporcionados pelo trabalho. A tela de gráficos, foi uma importante ferramenta usada para avaliar o comportamento das variáveis da área de espessamento e o ganho representado pela adoção do novo sistema de controle.

5.1 Controle de vazão de underflow dos espessadores

A figura 5.2 apresenta o gráfico de comportamento da vazão de underflow do espessador T-28B-2. Durante esse período, a bomba MP-28B-2A estava em operação e o controle do inversor da bomba em automático, com o setpoint definido pelo operador em 350 l/min.

É possível observar, por meio da comparação do valor de setpoint e do gráfico da vazão, que o controle de vazão de underflow do espessador mostrou-se eficaz e o controlador PID desenvolvido está com os parâmetros bem ajustados.

De maneira geral, obteve-se resultados semelhantes para o controle de vazão nos outros espessadores, portanto, será apresentado apenas o comportamento da vazão de underflow do T-28B-2.

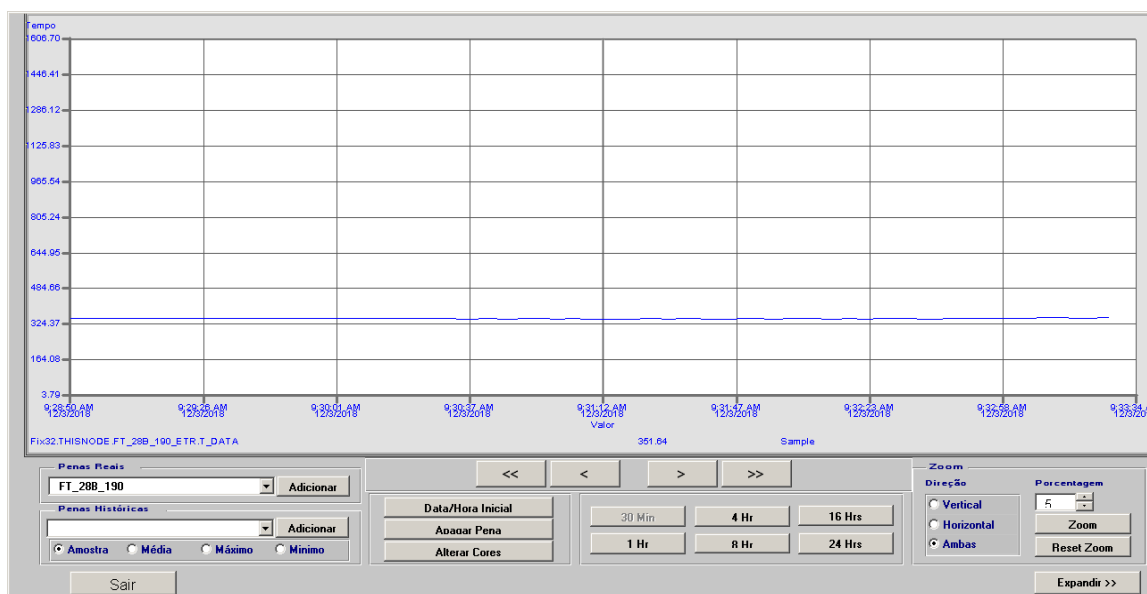


Figura 5.2 – Gráfico da vazão de underflow do espessador T-28B-2

5.1 Variáveis críticas da área 28

Conforme descrito no decorrer do trabalho, algumas variáveis críticas da área 28, foram monitoradas afim de obter um maior controle operacional da área. A seguir, serão expostos alguns gráficos dessas variáveis com a área em operação normal.

A figura 5.3, retrata a indicação do pH do rio do Funil, durante a análise o pH estava apresentando poucas variações e se encontrava dentro dos limites ambientais aceitáveis.

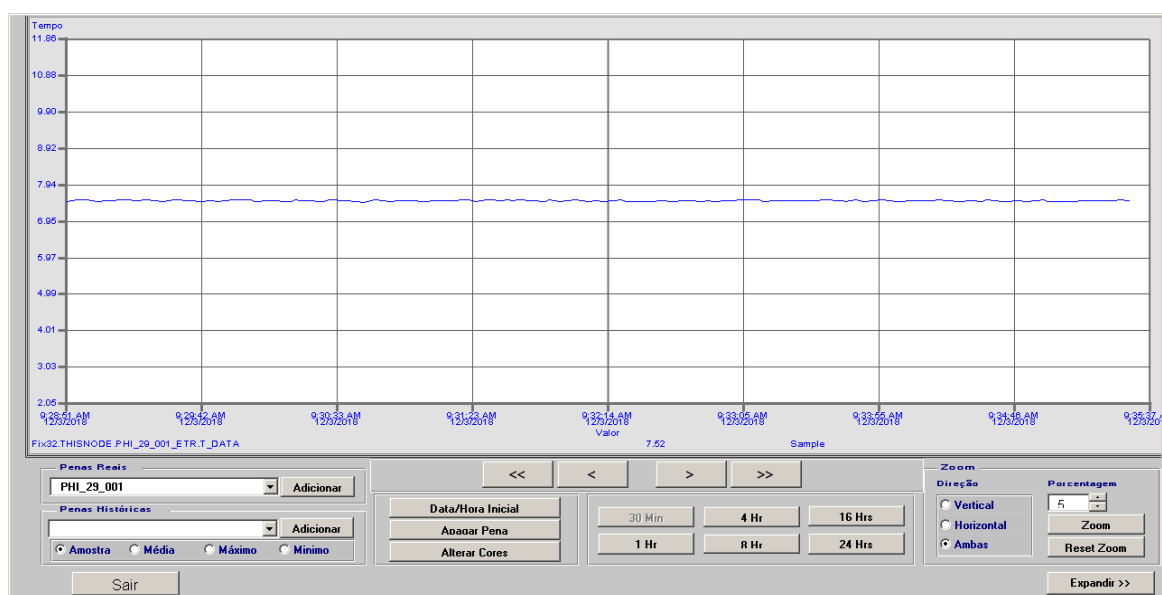


Figura 5.3 – Gráfico do pH do rio do Funil

Na Figura 5.4, é possível visualizar a temperatura do espessador T-28B-1. No momento analisado, a temperatura indicava uma constância de valores, o que é bastante procurado pela operação. O valor encontrava-se dentro dos limites ideais do processo de espessamento de 99°C a 103°C.

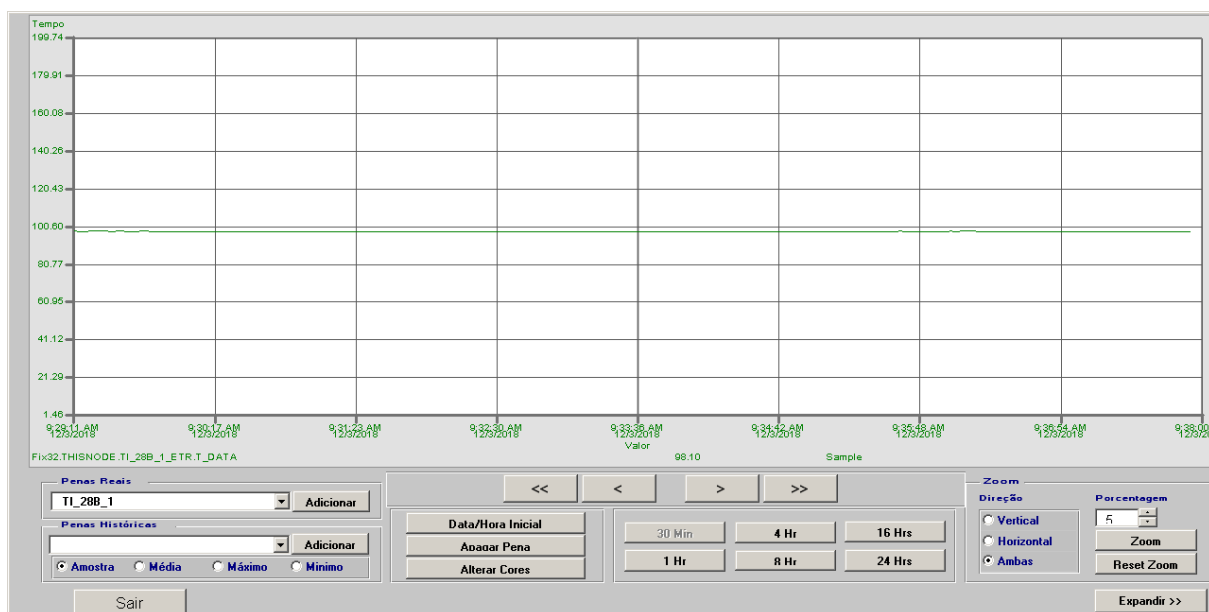


Figura 5.4 – Gráfico da temperatura do espessador T-28B-1

Já na figura 5.5, é exposto o gráfico de torque do espessador T-28B-5. Foi escolhido o torque do T-28B-5 de forma aleatória, apenas para demonstração da análise comportamento do torque dos espessadores de maneira geral. O valor, no decorrer do tempo, também não apresenta grandes variações e está muito abaixo do valor de alarme definido como 40%. Com isso, é possível perceber que o sistema de raspagem do T-28B-5 está em um perfeito funcionamento.

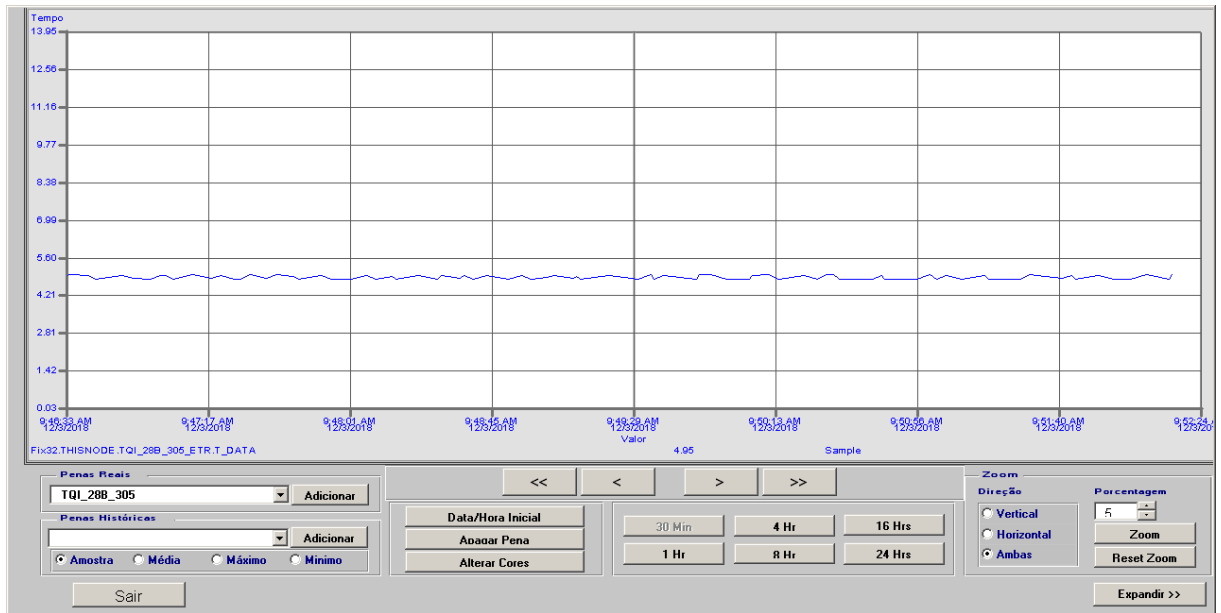


Figura 5.5 – Gráfico do torque do espessador T-28B-5

6 CONCLUSÃO

Com a execução deste trabalho, foi possível automatizar a parte do processo de espessamento que foi proposta. O controle das vazões de underflow dos espessadores, possibilitou uma maior estabilidade da operação da área 28 da Hindalco. Os acionamentos das dez bombas do processo passaram a ser realizados de forma remota e o monitoramento das variáveis críticas ficou mais eficaz.

O operador passou a trabalhar em apenas uma cabine de operação, aumentando a sua produtividade. Outro ponto que merece destaque, é que, devido a manobra remota de alguns equipamentos, diminuiu-se o tempo do operador na área, reduzindo a sua exposição aos riscos que uma indústria química possui.

Além disso, a operação da área passou a ser registrada em banco de dados, possibilitando a análise de eventos históricos. Com isso, por meio de ferramentas gráficas, a equipe de operação e processos controla a área de espessamento com maior confiabilidade e possui subsídios para melhorar os procedimentos operacionais.

Por fim, toda a demanda recebida foi atendida com sucesso e tanto o programa do PLC quanto o sistema supervisório desenvolvido mostraram-se eficientes e totalmente funcionais. Atualmente, o produto gerado por este trabalho, encontra-se em operação na empresa Hindalco do Brasil, na área 28, correspondente ao processo de espessamento de lama.

Afim de incentivar trabalhos futuros, são feitas as seguintes sugestões:

- I. Inclusão de mais um rack no painel de PLC, para possibilitar a inserção de mais variáveis pertinentes ao processo de espessamento.
- II. Desenvolver uma tela principal do sistema supervisório, com base na localização dos equipamentos em campo.
- III. Desenvolver uma tela de registro de atividades do sistema supervisório, para que seja possível, analisar as ações tomadas pelo operador.

- IV. Criar totalizadores de vazão de lama para um maior controle do material que está circulando entre os espessadores.
- V. Elaborar alertas visuais para a indicação de temperatura do espessador T-28B-1.

REFERÊNCIAS

ANTONELLI, P. L. **Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs)**. In: PROGRAMA DE QUALIFICAÇÃO E REQUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL DO MINISTÉRIO DO TRABALHO. Brasil, 1998.

AQUARIUS. **GE iFIX Sistema Supervisório**. Disponível em: <<https://www.aquarius.com.br/produto/ge-ifix/>>. Acesso em 22 nov. 2018.

BUENO, T. B. **Automatização de uma empilhadeira de minérios utilizando um controlador lógico programável**. 2010. 99 p. Monografia (Trabalho de Final de Curso em Engenharia de Controle e Automação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2010.

FERREIRA, J. A. F. **Ambiente Integrado em Eclipse para desenvolvimento de Programas IEC 61131-3**. 2015. 133p. Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto, 2015.

FIGUEIREDO, W. S.; SILVA, F. C.; SANTOS, E. C.; SANTOS, V. M.; GALDINO, L. **Automatização de uma retificadora Industrial para cilindros de serigrafia**. Revista Acadêmica, n. 15, p. 156-172. 2015

GÓIS, C. C., LIMA, R. M. F., MELO, A. C., “**Sedimentação de resíduo Bayer utilizando floclulantes hidroxamatos e poliacrilamida**”, Revista Escola de Minas, v. 56, n.2, pp. 119-122, Ouro Preto, Minas Gerais, 2003.

GOMES, B. S. SENAI-RJ - **Automação com foco na solução**. In: FIRJAN - SENAI-RJ - DIRETORIA DE TECNOLOGIA. Rio de Janeiro, 2004.

GUIMARÃES, F. A. V. **Revisão nos métodos de Dimensionamento de espessadores e comparação dos modelos industriais**. 2010. 235p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2010.

HABASHI, F. **A short history of hydrometallurgy.** *Hydrometallurgy*, n.79, pp. 15-22, 2005.

HIND, R. A., BHARGAVA, S. K., GROCOTT, S. C., “**The surface chemistry of Bayer process solids: a review**”, *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, n. 146, pp.359-374, 1999.

JUNIOR, A. S. **Estudo sobre controle automático utilizando Controlador Logico Programável – PLC.** 2003. 92 p. Monografia (Trabalho de Final de Curso em Ciência da Computação) – Centro Universitário do Triângulo, Uberlândia, Minas Gerais, 2003.

LARA, A. F. M. **Espessamento e transporte de pasta Mineral.** 2011. 76p. (Trabalho de Final de Curso em Especialização em Engenharia de Recursos Minerais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2011.

MELLO, M., S. **CLP – Controlador Lógico Programável.** Disponível em: http://www.ice.edu.br/TNX/encontrocomputacao/artigos-internos/aluno_marilourdes_silva_clp.pdf. Acesso em 10 out. 2018.

MOTTA, M.; FILHO, E. B. S.; ALVES, M. C. **Lama vermelha da indústria de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas.** *Revista Matéria*, v.12, n.2, p. 322-338. 2007.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Explicando a teoria PID.** Disponível em: < <http://www.ni.com/white-paper/3782/pt/>>. Acesso em 1 dez. 2018.

PAIOLA, C. E. G. **O papel do supervisório no atual contexto tecnológico.** *Revista InTech* 138, n.1, p. 6-18. 2011

PAIOLA, C. E. G.; GRANITO A. R.; OLIVEIRA C. S.; GOMES D. L. **Operação remota de plantas de mineração e saneamento.** *Revista InTech* 138, n.1, p. 48-54. 2011.

PETRUZELLA, F. D. **Controladores Lógicos Programáveis.** 4. ed. São Paulo: AMGH, 2014.

RIBEIRO, W. L.; LEITE, C. A. **Curso Básico de PLC – Apostila do curso de básico de PLC pelo SENAI – Araxá. Minas Gerais, 2003.**

ROSA, D. S.; FERRAZ, G. R. S.; VILELA, C. E. C. **Projeto de um sistema de automação via PLC Controlador Lógico Programável.** IN XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino de Pós-Graduação, 2008, Vale do Paraíba. Anais eletrônicos... Vale do Paraíba: UNIVAP/FEAU, 2008. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2008/anais/arquivosINIC/INIC0447_02_A.pdf>. Acesso em: 01 out. 2018.

SOUZA, R. B. **Uma arquitetura para Sistemas Supervisórios industriais e sua aplicação em processos de elevação artificial de petróleo.** 2005. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2005.

ANEXO I – Relação dos instrumentos e equipamentos integrados ao painel do PLC

Tabela AI.1: Relação dos inversores.

Inversores de Frequência	Código:
Inversor de frequência da bomba A de underflow do espessador 1 - Danfoss VLT Aqua Drive	SIC-28B-1A
Inversor de frequência da bomba B de underflow do espessador 1 - Danfoss VLT Aqua Drive	SIC-28B-1B
Inversor de frequência da bomba A de underflow do espessador 2 - Danfoss VLT Aqua Drive	SIC-28B-2 ^a
Inversor de frequência da bomba B de underflow do espessador 2 - Danfoss VLT Aqua Drive	SIC-28B-2B
Inversor de frequência da bomba A de underflow do espessador 3 - Danfoss VLT Aqua Drive	SIC-28B-3A
Inversor de frequência da bomba B de underflow do espessador 3 - Danfoss VLT Aqua Drive	SIC-28B-3B
Inversor de frequência da bomba A de underflow do espessador 4 - Danfoss VLT Aqua Drive	SIC-28B-4A
Inversor de frequência da bomba B de underflow do espessador 4 - Danfoss VLT Aqua Drive	SIC-28B-4B
Inversor de frequência da bomba A de	SIC-28B-5A

underflow do espessador 5 - Danfoss VLT Aqua Drive	
Inversor de frequência da bomba B de underflow do espessador 5 - Danfoss VLT Aqua Drive	SIC-28B-5B

Tabela AI.2: Relação das sirenes de alarme.

Sirenes:	Código:
Sirene de alarme de PH alto do Rio do Funil	BUZ-28B-PHIA
Sirene de parada de raspa de um dos espessadores	BUZ-28B-AI
Sirene para torque do mecanismo de movimentação da raspa acima de 40%	BUZ-28B-TQAI

Tabela AI.3: Relação dos medidores de vazão.

Medidores de vazão de underflow dos espessadores:	Código:
Medidor de vazão do underflow espessador 1 – Magnetic Flowmeter AXF 100G	FT-28B-189
Medidor de vazão do underflow espessador 2– Magnetic Flowmeter AXF 100G	FT-28B-190
Medidor de vazão do underflow espessador 3 – Magnetic Flowmeter AXF 100G	FT-28B-191
Medidor de vazão do underflow espessador 4 – Magnetic Flowmeter AXF 100G	FT-28B-192
Medidor de vazão do underflow espessador 5 – Magnetic Flowmeter AXF 100G	FT-28B-193

Tabela AI.4: Relação dos medidores de torque

Medidores de torque da raspa dos espessadores:	Código:
Medidor de torque da raspa do espessador 1 – Inclínômetro IFM	TQI-28B-1

Medidor de torque da raspa do espessador 2 - Inclinômetro IFM	TQI-28B-2
Medidor de torque da raspa do espessador 3 - Inclinômetro IFM	TQI-28B-3
Medidor de torque da raspa do espessador 4 - Inclinômetro IFM	TQI-28B-4
Medidor de torque da raspa do espessador 5 - Inclinômetro IFM	TQI-28B-5
Medidor de torque da raspa do espessador 6 - Inclinômetro IFM	TQI-28B-6

Tabela AI.5: Relação dos retornos de alarme de parada de raspa

Retorno de parada de raspa	Código:
Retorno de alarme de parada de raspa do espessador 1	AI-28B-1
Retorno de alarme de parada de raspa do espessador 2	AI-28B-2
Retorno de alarme de parada de raspa do espessador 3	AI-28B-3
Retorno de alarme de parada de raspa do espessador 4	AI-28B-4
Retorno de alarme de parada de raspa do espessador 5	AI-28B-5
Retorno de alarme de parada de raspa do espessador 6	AI-28B-6

Tabela AI.6: Relação do medidor de PH

Medidor de PH do rio	Código:
Medidor de PH do rio do funil – DIGIMED TH-401	PHI-29-001

Tabela AI.7: Relação do medidor de nível

Medidor de nível	Código:
------------------	---------

Medidor de nível do tanque T-34-B1 – Transmissor de pressão SMAR LD301	LIT-34B-1
---	-----------

Tabela AI.8: Relação do medidor de temperatura

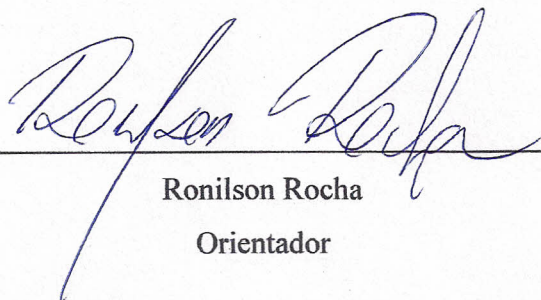
Medidor de temperatura	Código:
Medidor de temperatura do tanque T-28B-1 – YOKOGAWA YTA	TIT-28B-1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS



Certifico que o aluno **Lucas Túlio Fernandes da Silva**, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado “**AUTOMATIZAÇÃO DAS BOMBAS DE RETIRADA DO UNDERFLOW E SUPERVISÃO DE VARIÁVEIS DO PROCESSO DE ESPESSAMENTO DE LAMA**”, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.



Ronilson Rocha
Orientador

Ouro Preto, 18 de dezembro de 2018.