

**FACULDADE PATOS DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

DIRCEU MATEUS DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DO CLP - CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMÁVEL, PARA REALIZAÇÃO DE
CONTROLE AUTOMÁTICO EM PROCESSOS
INDUSTRIAIS**

**PATOS DE MINAS
2018**

DIRCEU MATEUS DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DO CLP - CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMÁVEL PARA REALIZAÇÃO DE
CONTROLE AUTOMÁTICO EM PROCESSOS
INDUSTRIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Wesley Nunes

**PATOS DE MINAS
2018**

DIRCEU MATEUS DA SILVA

**TÍTULO: UTILIZAÇÃO DO CLP - CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMÁVEL, PARA REALIZAÇÃO DE CONTROLE
AUTOMÁTICO EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica –
FACULDADE PATOS DE MINAS

Data: 21 de Agosto de 2018.

Prof. Esp. Wesley Nunes

Orientador

Prof. Me Guilherme Fernandes de Souza Miguel (Examinador)

Prof. Esp. Gustavo Aparecido José Ferreira (Examinador)

Declarado Aprovado por essa banca
Patos de Minas 21 de Agosto de 2018

A handwritten signature in purple ink, appearing to be 'Saulo Gonçalves Pereira', written over a faint grid background.

Professor Dr. Saulo Gonçalves Pereira
Professor de TCC - FPM

Agradecimento

Agradecemos primeiramente a Deus, nossos familiares, aos colegas de faculdade, ao nosso orientador Wesley Nunes pela atenção e comprometimento, a todos os professores e demais funcionários que nos ajudaram nessa caminhada.

SILVA, Dirceu Mateus da. **Utilização do CLP - Controlador Lógico Programável, para Realização de Controle Automático em Processos Industriais. 2018.** 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia, Faculdade Patos de Minas, Patos de Minas, 2016.

ESTÁ AUTORIZADA INTEGRAL OU PARCIALMENTE A REPRODUÇÃO DESTE TRABALHO, PARA FINS DE ESTUDO E/OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

RESUMO

No processo de lixiviação de silicato de uma empresa metalúrgica, existe uma linha de produção que possui operação manual, onde os operadores realizam todos os comandos através de válvulas manuais. Havia problemas com desperdício de material e perdas de rendimento no processo devido à falta de automatização e estabilidade operacional no circuito de produção. Monitorar as variáveis que compõem esse processo é uma maneira segura de garantir a performance da linha de produção e assertividade nos parâmetros de limites aceitáveis. Com base nos problemas existentes na área, este estudo apresenta uma alternativa de controle de processo utilizando o CLP (Controlador Lógico Programável). A importância de fazer o monitoramento das variáveis de nível, vazão, condutividade e pH é evitar o desperdício ocorrido com transbordos dos tanques e permite a otimização do rendimento da planta. No final da pesquisa são expostos os resultados obtidos com o sistema de instrumentação aplicado.

Palavras-chave: Processo. Instrumentos. Rendimento. CLP.

ABSTRACT

In silicate leaching process in a metallurgical company, there is a production line having manual operation, where operators carry out all the commands by manual valves. There were problems with material waste and loss of income in the process due to lack automation and operational stability in the production circuit. Monitoring the variables that compose this process is a safe way to ensure the performance of the production line and the parameters assertiveness acceptable limits. Based on the existing problems in the area, the study presents a process control alternative using the PLC (Programmable Logic Controller). The importance of monitoring the level variables, flow, conductivity and pH and avoid waste occurred with transhipments of tanks and allows the optimization of the plant performance. At the end of the search are set out the results obtained with the instrumentation system applied.

Keywords: Process. Instruments. Income PLC.

Lista de figuras

Figura 1	– Regulador de esferas de Watt.....	15
Figura 2	– Sistema de controle de pressão mínima de combustível auto-operado.....	16
Figura 3	– Exemplo de um sistema de controle de malha aberta	17
Figura 4	– Subsistema de controle de malha aberta	17
Figura 5	– Diagrama de blocos do controle simples de malha fechada.....	18
Figura 6	– Sistema de controle de malha fechada.....	19
Figura 7	– Rampa do controle proporcional	20
Figura 8	– Sistema de controle proporcional.....	20
Figura 9	– Rampa do controle integral	21
Figura 10	– Sistema de controle integral.....	22
Figura 11	– Sistema do controle proporcional mais integral.....	22
Figura 12	– Rampa do controle proporcional mais integral.....	23
Figura 13	– Rampa do controle derivativo.....	24
Figura 14	– Sistema de controle derivativo	24
Figura 15	– Sistema de controle proporcional mais derivativo	25
Figura 16	– Sistema de controle proporcional integral derivativo	26
Figura 17	– Conceito abrangente de automação	28
Figura 18	– Partes de um controlador lógico programável.....	30
Figura 19	– Configuração da E/S fixa	30
Figura 20	– Configuração da E/S modular	31
Figura 21	– Ciclo de varredura de um CLP	32
Figura 22	– Evolução da unidade ao longo dos anos	33
Figura 23	– Linha 01 de lixiviação de silicato antes da instalação dos instrumentos.....	36
Figura 24	– Operador colhendo amostra da solução para análise.....	37

- Figura 25 – Bomba de operação manual instalada na bacia de contenção da
lixiviação de silicato.....38
- Figura 26 – Linha 01 de lixiviação de silicato após a instalação dos
instrumentos.....40

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	- Corrente Alternada
CAD	- Projeto Assistido Por Computador
CC	- Corrente Contínua
CNC	- Comando Numérico Computadorizado
Coord.	- Coordenador
CPU	- Unidade Central de Processamento
Ed.	- Edição
E/S	- Entrada/Saída
Esp.	- Especialista
FF	- <i>Foundation Fieldbus</i>
FINOM	- Faculdade do Noroeste de Minas
g/l	- Gramas/Litro
H	- Hidrogênio
HCL	- Ácido Clorídrico
LME	- <i>London Metal Exchange</i>
Log	- Logarítmo
mA	- Miliampere
MG	- Minas Gerais
Msc.	- Mestre
m ³ /h	- Metro cúbico/hora
NBR	- Norma Regulamentar Brasileira
PID	- Proporcional/Integral/Derivativo
pH	- Potencial de Hidrogênio
Prof.	- Professor
SI	- Sistema Internacional

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problematização	13
1.2 Objetivos	13
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	13
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	13
1.3 Procedimentos Metodológicos	14
2 CONTROLE DE PROCESSO	14
2.1. Conceito e Aplicação	15
2.2 Realimentação	16
2.3 Diagrama de Blocos	16
2.4 Tipos de Controle	16
2.4.1 <i>Controle Manual e Controle Automático</i>	16
2.4.2 <i>Controle em Malha Aberta</i>	17
2.4.3 <i>Controle em Malha Fechada</i>	18
2.5 Controladore	20
2.5.1 <i>Ação de Controle ON-OFF</i>	20
2.6 Características Dos Processos Industriais	20
2.6.1 <i>Processos de Fabricação</i>	20
3 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	21
3.1 CLP – Controlador Lógico Programável	22
3.1.1 <i>Partes de um CLP</i>	23
3.1.2 <i>Princípio de funcionamento do CLP</i>	27
4 ESTUDO DE CASO	28
4.1 Visão Geral da Empresa	28
4.2 O Processo Estudado: Lixiviação de Silicato	29
4.3 Análise do Problema	32
4.4 Aplicação do Controle	34
4.5 Resultados	36
CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	39

INTRODUÇÃO

O controle de processo é uma área da engenharia que vem sendo cada vez mais aperfeiçoada através de novas tecnologias e instrumentos que podem ser aplicados em qualquer processo produtivo, por mais simples que seja, a fim de garantir uma maior produtividade, otimizar o tempo de operação das plantas e dos processos produtivos gerando assim um maior rendimento.

Mesmo com os grandes avanços da automação industrial, ainda existem processos com alguns tipos de controles manuais, o que nem sempre garante máximo rendimento. Com a utilização de instrumentos de medição e controle é possível otimizar os processos, proporcionando uma operação estável e confiável, com dados disponíveis com maior facilidade.

Contudo, este trabalho tem a finalidade de estudar um processo produtivo aplicando os conceitos de controle de processo, instrumentação e automação para propor uma melhoria de controle industrial.

No primeiro capítulo têm-se os objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento do trabalho e os procedimentos metodológicos utilizados no decorrer do estudo de caso.

No segundo capítulo aborda-se os conceitos sobre controle de processo bem como as ações de controle e características dos processos industriais.

O terceiro capítulo contemplou um breve histórico do surgimento da automação e de redes de comunicação bem como sua aplicabilidade no meio industrial.

No quarto capítulo é realizada uma revisão bibliográfica sobre alguns tipos de medidores aplicados nos processos industriais.

O capítulo cinco trás o estudo de caso realizado em uma empresa metalúrgica onde existia um de seus processos com operação manual, onde foram colhidos dados para aplicação de controle com instrumentação.

O **sexto capítulo** mostra as conclusões e recomendações obtidas após o término deste estudo e por fim encontram-se as referências bibliográficas utilizadas para a realização do trabalho e os anexos para consulta do leitor.

1.1 Problematização

Atualmente a planta de lixiviação de silicato de uma empresa metalúrgica onde foi realizado o estudo de caso trabalha com várias etapas do processo que ainda depende de operações manuais, ou seja, intervenção direta do operador no campo, implicando em instabilidade operacional, perda de rendimento, além de expor o operador a uma postura ante ergonômica. Buscando alternativas para melhorar os controles e conseqüentemente dar maior rentabilidade ao processo, pensou-se na automatização destas operações, assim como a instalação de instrumentos de medição e equipamentos de controle automáticos que eliminarão a necessidade de intervenções manuais.

O controle e instrumentação da planta de lixiviação de silicato permitirá a manutenção do atual nível de alimentação de zinco via silicato, melhorando a rendimento da planta e otimizando o tempo operacional do processo.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo geral*

Desenvolver controle através de instrumentos de medição para fazer parte do processo de lixiviação de silicato tornando o controle de dosagem mais precisa e otimizar o rendimento e produção.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Realizar revisão bibliográfica;
- Controlar o processo de lixiviação de silicato através das lógicas de programação de acordo com as informações recebidas pela instrumentação de campo;
- Comparar o rendimento do processo antes e depois do sistema de instrumentação;
- Propiciar um material para o aprofundamento do tema, que pode vir a ser objeto de estudos futuros para melhoria do processo.

1.3 Procedimentos metodológicos

A primeira ação foi o estudo e pesquisa sobre o tema de controle de processo e instrumentação industrial onde foram realizados resumos e resenhas sobre os assuntos. Foi necessário estudar os processos de automação e redes de comunicação com o intuito de aperfeiçoar o conhecimento sobre os temas.

O estudo foi realizado a fim de verificar a possibilidade de aplicação de controle no processo de lixiviação de silicato em uma empresa metalúrgica de Minas Gerais – MG. Para tal estudo será analisado uma batelada de tanques de contínua do processo onde estão localizados oito tanques de concentrado de zinco.

O conhecimento do processo se deu a partir de visitas na área da empresa para levantamento dos problemas existentes, e, em seguida foi necessário a coleta de dados e padrões junto aos engenheiros e operadores desse processo.

Com os dados necessários para o estudo, foram realizadas várias pesquisas para proporcionar as melhores e mais rentáveis aplicações possíveis para esse processo, verificando se a automação proporcionará algum retorno positivo para a empresa. Contudo, ao fim desse projeto será possível verificar se a aplicação deste alcançou os objetivos esperados e pode ser aplicado no meio industrial.

2 Controle de processo

No princípio da evolução humana, não se conhecia meios de produção de energia. Assim, a energia era fornecida pelo trabalho humano ou de animais que eram domesticados. A revolução industrial iniciada na Inglaterra em meados no século XVIII, levou o mundo a importantes transformações tecnológicas e impactou consideravelmente os processos produtivos da época, (7)

Sobre a revolução industrial:

A Revolução Industrial teve início na Inglaterra, em meados do século XVIII. Caracterizou-se, basicamente, pela introdução de máquinas simples que surgiram para a substituição da força muscular pela mecânica e tarefas repetitivas executadas pelo homem. Com efeito, essas atividades produtivas passaram por uma evolução mais rápida, dando origem, na Inglaterra, à era Industrial. (12)

Com a evolução das máquinas a vapor foi possível transformar energia da matéria em energia mecânica, e o homem evoluiu seus processos quando passou a utilizar apuradamente o trabalho mental, que possibilitava o desenvolvimento de técnicas para controlar a nova fonte de energia. A partir desse momento, o trabalho braçal começou a ser substituído por máquinas e equipamentos, dando início a substituição do controle manual pelo controle automático dos processos.

2.1 Conceito e aplicação

Processo é uma sequência de etapas pré-definidas e equipamentos determinados de acordo com sua funcionalidade, que compõe uma contínua de transformação de matéria prima em um determinado objetivo. Os processos podem ter operação manual ou automática. (2)

O controle de um processo baseia-se na interação entre componentes e instrumentos que, a partir da configuração de um sistema, possa mostrar um resultado desejável do processo controlado. Pode-se resumir um sistema de controle de processo basicamente nos seguintes itens: (8)

- a) Elemento de medição: Detecta as variações do processo e fornece um sinal;
- b) Elemento de comparação: Compara um sinal de realimentação com a medida de referência, fornecendo um comando para que o próximo estágio corrija a diferença detectada na comparação;
- c) Elemento de correção: Recebe o comando do elemento de comparação e executa as medidas necessárias para resultar o produto desejado;
- d) Elemento final de controle: Dispositivo que atua diretamente no processo e tenta proporcionar a saída constante.

O controle é aplicado principalmente em indústrias que necessitam de precisão e baixo índice de falhas, onde a variável do processo é constantemente medida (entrada do sistema) e a variável manipulada é alterada pelo controlador, afetando assim, a variável do processo e o resultado final. A vantagem de se ter um processo controlado, é que a saída é sistematizada e mantém o padrão qualitativo e

quantitativo conforme a necessidade e também reduz o esforço humano, pois a operação exige apenas o trabalho mental ou sistêmico.

2.2 Realimentação

O sistema realimentado é aquele que estabelece uma relação de comparação entre uma saída e entrada de referência, através de instrumentos que realizam a medição das variáveis. Esse sistema utiliza a diferença da saída e entrada como meio de se controlar o processo. (8)

O sinal que surge do desvio da comparação entre a entrada e saída pode ser chamado de sinal de erro. Quando o sinal de realimentação é subtraído do sinal de referência, é chamado de realimentação negativa, e quando o sinal de realimentação é somado ao sinal de referência, é chamado de realimentação positiva. (3)

2.3 Diagrama de blocos

Para facilitar a identificação de cada componente dos sistemas de controle, é utilizado um método chamado diagrama de blocos.

Diagrama de blocos de um sistema é uma representação das funções desenhadas por cada componente e do fluxo de sinais. Os componentes principais de um sistema são representados por blocos e são integrados por meio de linhas que indicam os sentidos de fluxo de sinais entre os blocos. Estes diagramas são, então utilizados para representar as relações de dependência entre as variável que interessam à cadeia de controle.(7)

2.4 Tipos de controle

2.4.1 Controle Manual e Controle Automático

Controle manual é aquele que depende totalmente da ação animal ou humano para atingir determinado resultado ou produto. Ainda existe esse tipo de controle, principalmente em empresas de menor porte, de pequena produção ou artesanal.

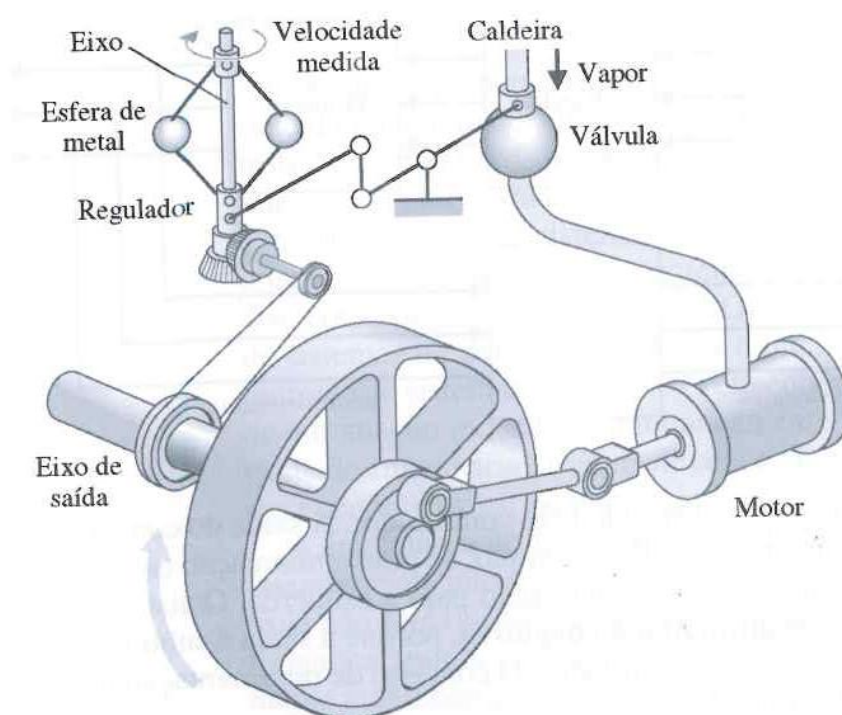
O controle automático baseia-se no uso de instrumentos e sistema que possuem um detector de erro, unidade de controle e atuador, que dispensam o

auxílio do operador, tornando a operação precisa e contínua. James Watt foi autor do primeiro controlador automático com realimentação, um regulador de esferas que foi desenvolvido em 1769 e era utilizado em processos industriais para controlar a velocidade de motor a vapor. Como retrata a figura 1, o controle era mecânico e media a velocidade do eixo de saída do motor, utilizando o movimento das esferas para fazer o controle da válvula de vapor, controlando assim, a quantidade de vapor entrando no motor. (5)

Os pesos esféricos ficam elevados e se afastam do eixo do regulador à medida que a velocidade do eixo de saída do motor a vapor aumenta, e através de ligações mecânicas, a válvula de vapor se fecha e o motor desacelera.

A figura 1 mostra o regulador de esfera de Watt. (5)

Figura 1 – Regulador de esferas de Watt



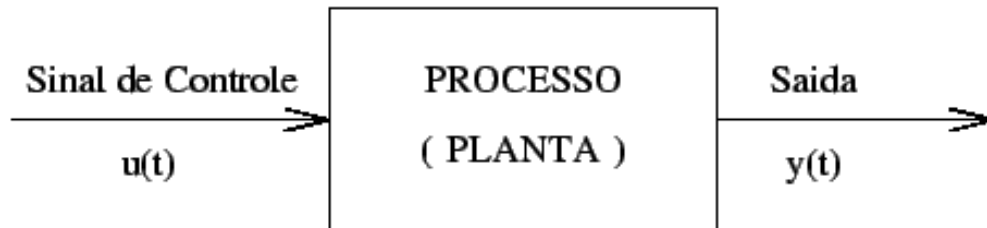
Fonte: (5)

2.4.2 Controle em Malha Aberta

Em um sistema de malha aberta, a entrada do processo é escolhida de acordo com o usual e a experiência, sem utilizar o método da comparação, de tal forma que o resultado da saída seja o desejado. A saída não é modificada, e acompanha as etapas do processo somente nas condições da operação, são

controles operados por base de tempo e não por realimentação, conforme mostrado na figura 2. (3)

Figura 2 – Exemplo de um sistema de controle de malha aberta



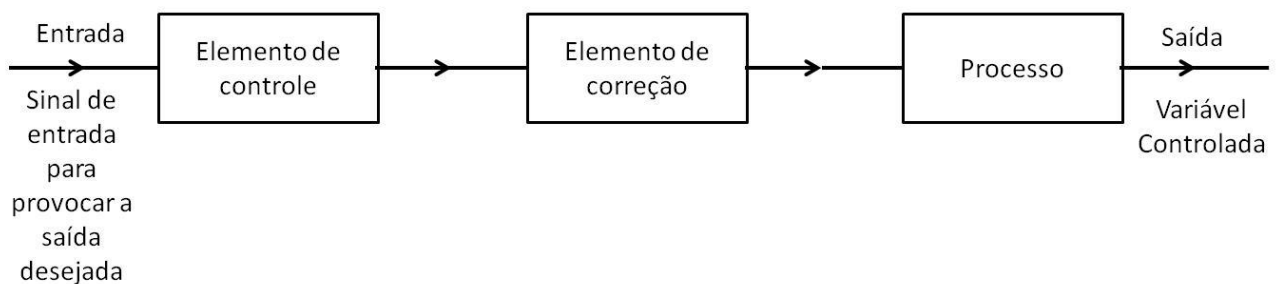
Fonte: (3)

Os elementos básicos (subsistemas) de um sistema em malha aberta são:

- Elemento de controle: Esse determina a ação que se deve tomar visando a entrada do sistema de controle.
- Elemento de correção: Ele responde ao sinal de saída do elemento de controle e age de forma a posicionar a variável controlada ao valor desejado.
- Processo: É a planta sistema que oferece a variável a ser controlada.

Na figura 3 é representado um subsistema de controle de malha aberta.

Figura 3 – Subsistema de controle de malha aberta



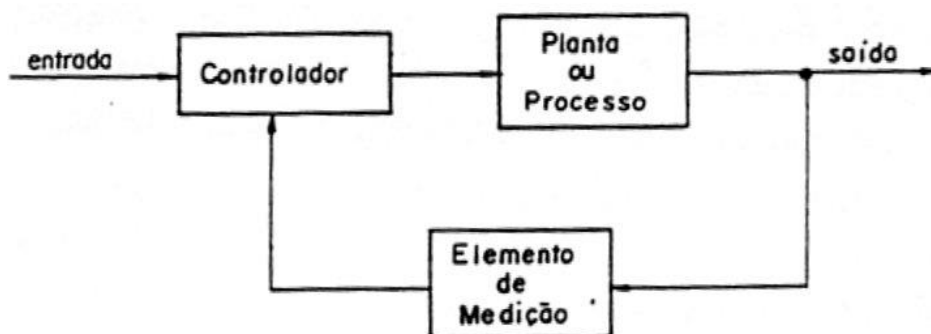
Fonte: (3)

2.4.3 Controle em Malha Fechada

A característica principal de um controle em malha fechada é realimentação, que compara a saída com a entrada do processo, onde a saída interfere diretamente na ação de controle. A saída é sempre medida e comparada com a entrada do

processo para amenizar as falhas, reduzir o índice de erros e garantir que o resultado final seja satisfatório. A figura 4 expõe um exemplo de malha fechada. (7)

Figura 4 –Diagrama de blocos do controle simples de malha fechada

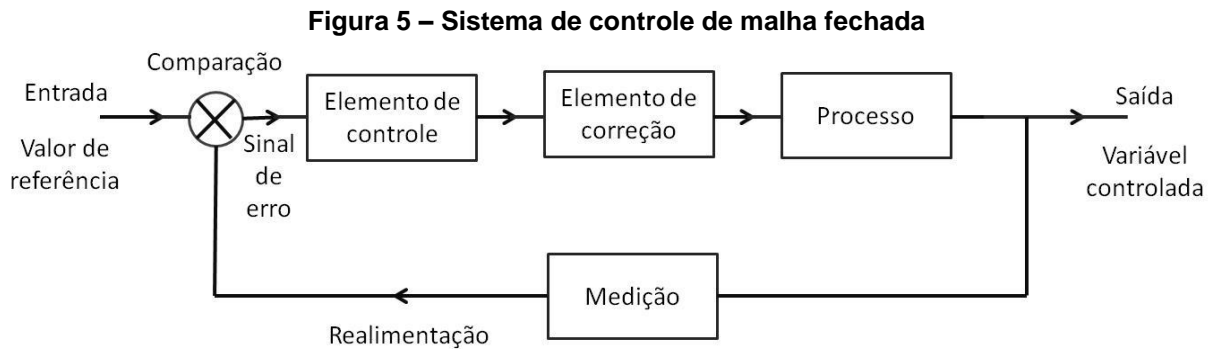


Fonte: (7)

Os elementos básicos (subsistemas) de um sistema em malha fechada são:

- a) Elemento de comparação: Compara o valor de referência com o valor medido e indica o erro mostrando o quanto o valor de saída está desviando do valor esperado. O erro é igual o sinal de referência menos o sinal medido.
- b) Elemento de controle: Ele fornece a ação a ser tomada em caso de erro.
- c) Elemento de correção: Age de forma a corrigir o erro, provocando mudanças no processo.
- d) Processo: É o sistema onde a variável é controlada e fornece os dados.
- e) Elemento de medida: Esse elemento gera um sinal que retrata a variável controlada e fornece um sinal realimentado para o elemento de comparação para que esse elemento verifique se existe algum erro.

A figura 6 expõe um exemplo de malha fechada.



Fonte: (3)

2.5 Características dos processos industriais

Processo é uma série de etapas que evolui progressivamente, que passam por uma série de mudanças graduais sucessivamente, com o objetivo de fornecer um produto ou resultado. (7)

2.5.1 Processos de Fabricação

Contínuos: No processo contínuo o objetivo ou produto final é obtido sem as interrupções na fabricação, em um só sistema.

Descontínuos: São conhecidos como processo de batelada, que são feitos por etapas e podem acontecer entradas de matéria prima após os ciclos.

Monovariáveis: O processo monovariável é aquele que possui uma variável reguladora e influencia apenas uma variável controlada.

Multivariáveis: O processo multivariável é aquele que possui uma variável reguladora e influencia mais de uma variável controlada. Esse tipo de processo é predominante em meios industriais.

Instáveis: São processos que mudam suas variáveis a todo tempo, que podem variar seu padrão a todo tempo.

Estáveis: Que tem um controle de estabilidade, que se mantém constante, sem muitas variações.

3 Automação industrial

Desde os tempos remotos o ser humano vem tentando tornar a sua vida mais fácil e prática, principalmente em atividades relacionadas ao trabalho. No fim da idade média, provocados pelos grandes avanços ocorridos na época, pesaram na ideia em que a máquina poderia substituir certas atividades braçais que eram executadas por humanos. (10)

As primeiras formas de desenvolvimento do processo de automação ocorreram com a criação de equipamentos de controle e medição elétrica e pneumática, mas a automação ganhou maior destaque com as máquinas de comando numérico nos anos 50. Essas máquinas eram constituídas de válvulas e outros componentes elétricos que logo foram substituídos por transistores e placas de circuitos integrados.

A evolução aconteceu de forma rápida e logo os componentes foram substituídos por CNC (Comando numérico computadorizado) onde todos os comandos são dados através de computadores, podendo assim integrar diretamente ao CAD (Projeto assistido por computador), permitindo maior rentabilidade, padronização do produto conforme projeto e agilidade na produção, mas, as máquinas tinham alto custo e serem muito frágeis (10).

Com o passar dos anos os CNC's foram tomando cada vez mais espaço e ganhando mercado, principalmente nas grandes e médias indústrias, e, nos dias atuais, os meios automatizados dominam o mercado e são aplicados com redes de comunicação e vem evoluindo a cada ano, (10).

Automação é todo processo que necessita de interferência mínima do operador nas atividades, e estas são executadas de forma sistêmica e de atuação própria. A automação é uma área interdisciplinar e está ligada diretamente a instrumentação, pois os instrumentos de controle e medição tem importante participação nos processos automatizados. (11)

A figura 6 ilustra o conceito de automação evidenciando sua interdisciplinaridade.

Figura 6 – Conceito abrangente de automação



Fonte: (10)

Atualmente a automação não é vista apenas como uma opção, e sim como uma necessidade nas grandes empresas, pois o mercado está cada vez mais competitivo e cheio de novidades, e isso leva as empresas a investirem em sistemas automatizados para ganhar tempo para atividades ligadas à intelectualidade e não ficarem presos a serviços braçais. A automação proporciona uma redução considerável no custo de produção, padronização dos produtos, agilidade em fabricações, evita desgastes ergonômicos dos operários e proporciona conforto a todos os usuários.

3.1 CLP – Controlador lógico programável

O controlador lógico programável é um dos dispositivos de controle de processos mais utilizado nas indústrias. Um CLP tem a função de um computador programável é utilizado em sistemas de controle industriais e foram criados para substituir as grandes salas de controles que antes utilizavam relés. (9)

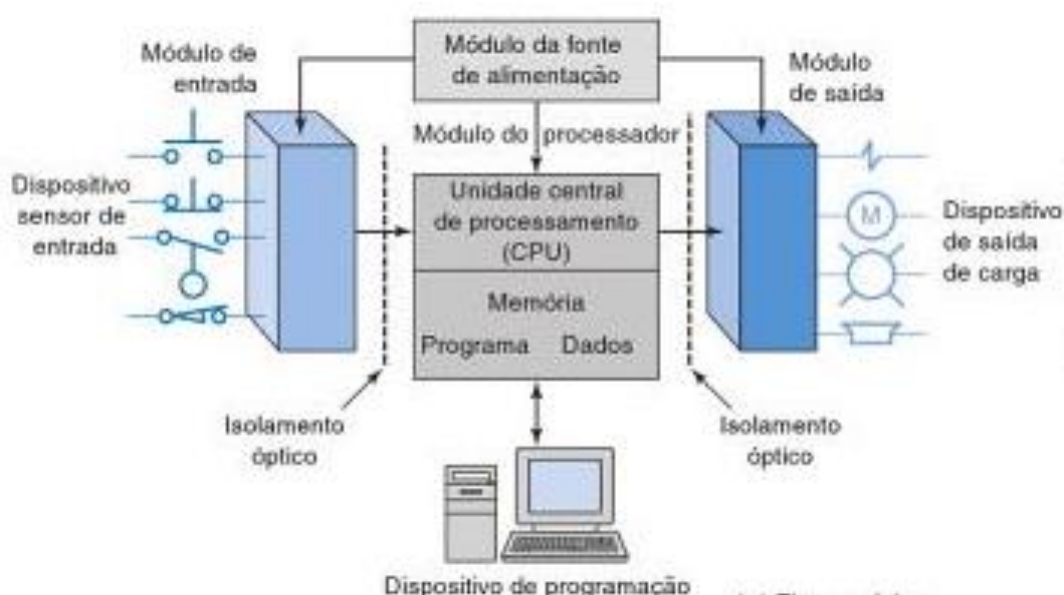
O CLP foi criado em 1968 com o nome de MODICON. Esse nome era derivado do nome do seu primeiro fabricante, Modular Digital Controller, e seu idealizador e inventor foi Richard Morley. A ideia de Richard era construir um equipamento mais robusto, confiável, flexível e de fácil manuseio e modificação. (1)

O primeiro processo em que se utilizou um CLP foi na G.M., em uma linha de automóveis, em vários testes para calibragem de automóveis. No início dos anos 70 ocorreu uma evolução muito grande na tecnologia de microprocessadores, o que levou os CLP's a ganharem flexibilidade e inteligência, melhorando a interface com o operador e ganhando capacidade computacional aritmética de dados e comunicação. Entre os anos de 1974 e 1975 eles ganharam capacidade de memória, controle de servomecanismos, controle sobre entradas, saídas remotas, variáveis analógicas e de posicionamento. Com essas evoluções já era possível aplicar os CLP's em várias áreas da indústria, tornando o processo mais simples, fácil e barato, pois reduziu-se com instalações e fiação elétrica. (1).

3.1.1 Partes de um CLP

Um CLP pode ser dividido em partes, conforme figura 7, onde mostra a CPU, unidade central de processamento, a seção de entrada/saída, a fonte de alimentação e o dispositivo de programação.

Figura 7 – Partes de um controlador lógico programável

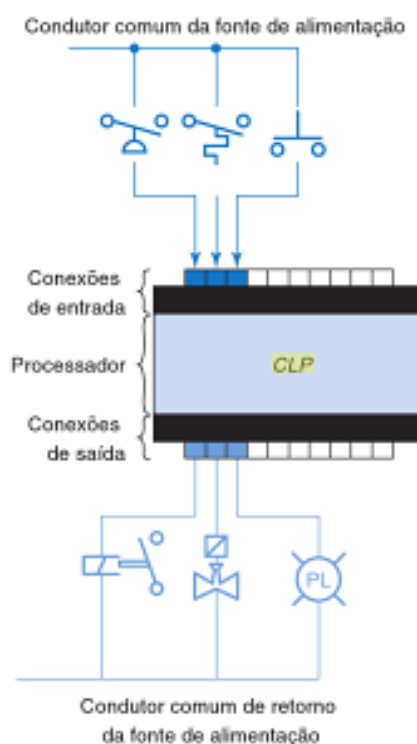


Fonte: (9)

Existem dois modos de incorporar as entradas e saídas dos CLP's: Fixas e moduladas. A E/S, entrada/saída, fixa é característica dos CLP's de pequeno porte,

onde o processador e a E/S são montados juntos e tem um número fixo de conexões para as entradas e saídas, conforme figura 8. (9)

Figura 8 – Configuração da E/S fixa



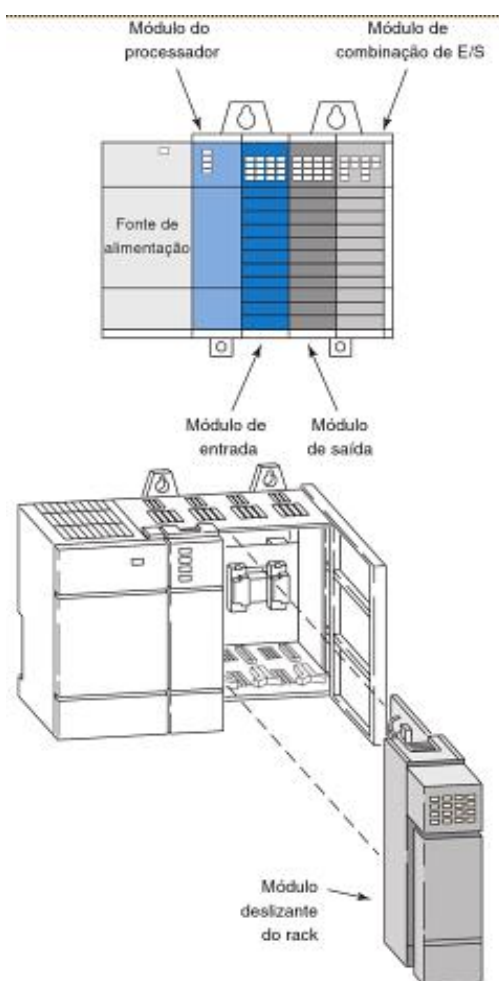
Fonte:(9)

A E/S fixa tem a vantagem de possuir baixo custo e o número de conexões pode ser expandido, e uma desvantagem é a falta de flexibilidade, pois a quantidade e tipos de entrada é estabelecida pela unidade.

Na E/S modular, os módulos são construídos separadamente podendo ser plugados. Esse modelo consiste em um *rack*, uma fonte de alimentação, um módulo de processador, módulos de entrada/saída, e uma interface de operação para programação e monitoramento. Os módulos e o processador do CLP são plugados na placa mãe e pode se comunicar com todos os módulos do *rack*.

A figura 9 mostra a E/S modular.

Figura 9 – Configuração da E/S modular



Fonte: (9)

A fonte de alimentação fornece corrente contínua para todos os componentes que estão plugados no *rack*, e, para CLP's de maior porte não é utilizada a alimentação com dispositivos de campo, e sim por uma fonte de CC (corrente contínua) ou CA (corrente alternada). (9)

O processador é o comando do CLP e consiste em um microprocessador para construção lógica e controle da comunicação entre módulos e reque uma memória para armazenar os resultados das operações lógicas. A CPU é responsável por receber as lógicas que o usuário inserir em lógica ladder. "O programa do CLP é executado como parte de um processo repetitivo referido como

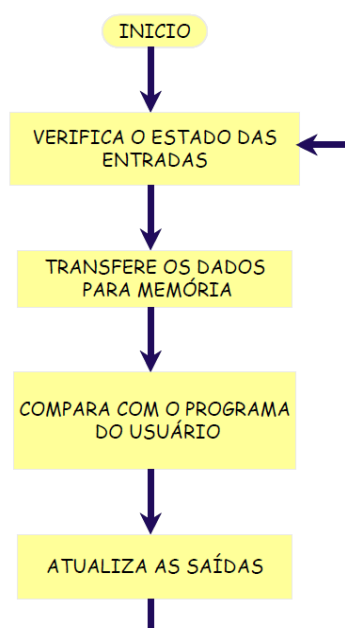
varredura, no qual a CPU faz a leitura do estado ligado ou desligado, e, depois de completado as etapas do programa executa o diagnósticos internos e as tarefas de comunicação” (9).

O dispositivo de programação é utilizado para inserir o programa na memória do processador. O computador pessoal é o dispositivo mais usado para elaborar as lógicas, geralmente em ladder, e podem ser transferidas ao CLP via link ou ethernet. O programa é uma série de comandos elaborados de acordo com a necessidade do usuário.

3.1.2 Princípio de funcionamento do CLP

Os CLP's possuem funcionamento sequencial fazendo uma varredura nas etapas do processo, conforme mostra a figura 10, e quando uma etapa está sendo executada, as outras ficam inativas. O tempo gasto total para realização do ciclo é chama de *clock*.

Figura 10 – Ciclo de varredura de um CLP



Fonte: (4)

Cada etapa baseia-se em:

Início: No início do processo, é verificadas as condições de funcionamento da CPU, memórias, circuitos auxiliares, estado das chaves, a existência do programa inserido pelo usuário, emite um aviso de erro e desativa todas as saídas.

Verificação do estado das entradas: Nessa etapa é lida cada entrada do processo, verificando se ocorreu algum acionamento.

Comparação com o programa do usuário: O CLP atualiza a memória imagem da saída a partir da comparação com as instruções que o usuário inseriu no programa para acionamento das entradas.

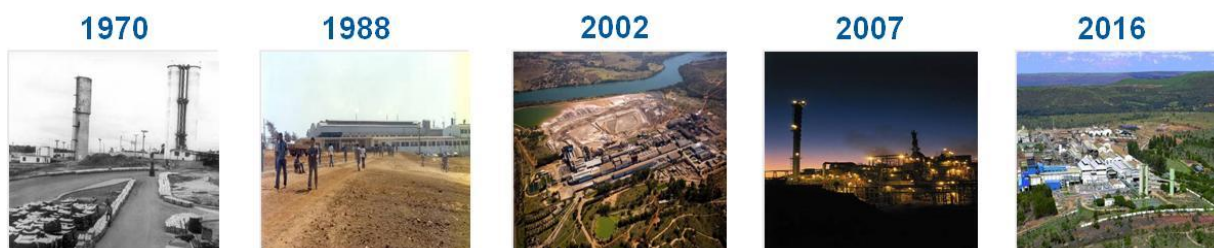
Atualização das saídas: As saídas são acionadas ou desativadas de acordo com a determinação do CLP e um novo ciclo é iniciado. (6)

4 Estudo de caso

4.1 Visão geral da empresa

O estudo de caso foi realizado em uma empresa metalúrgica no estado de Minas Gerais MG, processo de autoclave e planta de ácido, que então, iniciou o processo de expansão que, em 2001 elevou sua capacidade de produção de 110 mil para 160 mil toneladas anuais de zinco. A figura 11 mostra a evolução da fábrica durante os anos.

Figura 11 – Evolução da unidade ao longo dos anos.



Fonte: arquivo da empresa.

É uma das maiores produtoras globais de zinco, sendo líder mundial de produção de óxido de zinco. É a única metalúrgica de zinco do mundo com tecnologia de tratamento integrado de concentrados com qualidades químicas diferentes. Os produtos resultantes do processo são:

- Zinco SHG – Utilizado na indústria automobilística, placas de sinalização, eletrodomésticos e torres de transmissão elétrica.

- Zamac – Utilizado em peças de motor de carro e fundição sob pressão e centrifugada.
- Ligas especiais (Galfan, Zn4E, Ligas customizadas) – Utilizadas em galvanização em geral, postes de luz e torres de transmissão elétrica.
- Pó de zinco – Utilizado em tintas e pilhas alcalinas.
- Óxido de zinco – Utilizado em borrachas, cereais, iogurtes, rações animais e cosméticos.

4.2 O Processo estudado: lixiviação de silicato

O objeto desse estudo de caso se aplica à Lixiviação de Silicato. Esta etapa do processo de produção possui a função de solubilizar o zinco contido no concentrado silicatado sob a forma de sulfato de zinco através da adição de solução de ácido sulfúrico. A lixiviação do concentrado de zinco silicatado inicialmente deve ser feita com acidez mais branda devido às reações do ácido com carbonatos presente no concentrado e, para que ocorra a lixiviação total do zinco é necessário o aumento de acidez e tempo de residência em tanques.

Na tabela 1 são mostradas as reações químicas ocorridas nessa etapa do processo:

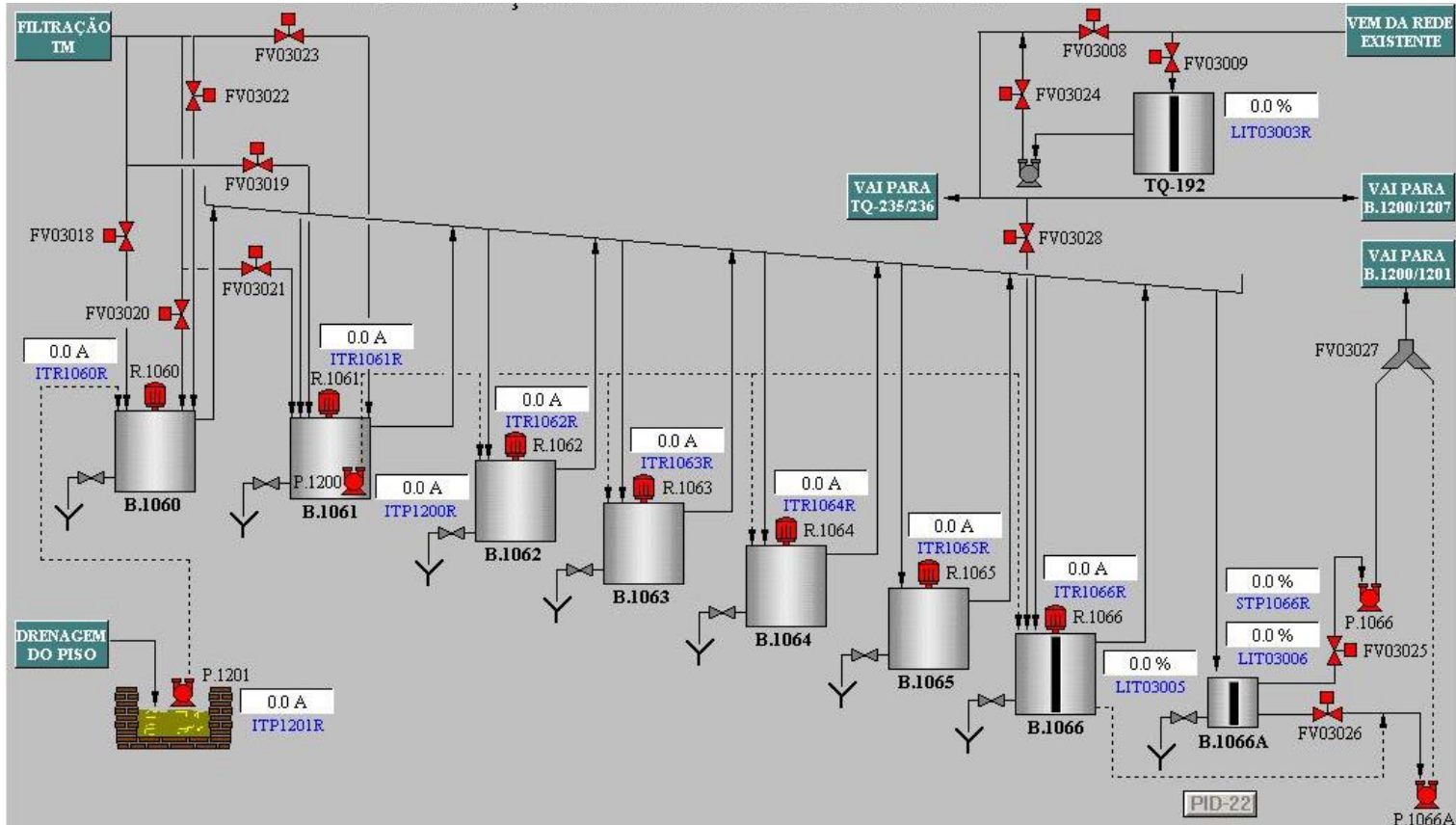
Tabela 1 – Reações químicas ocorridas no processo de lixiviação de silicato

Simplificada	Específica
Silicato de zinco + ácido Sulfúrico + Água → sulfato de zinco + Sílica + Água + Ácido	$ZnSiO_2 + H_2SO_4 + H_2O \rightarrow ZnSO_4 + SiO_2 + H_2O + 2H^+$
Carbonato de cálcio + Carbonato de magnésio + Ácido sulfúrico → sulfato de cálcio + Sulfato de magnésio + dióxido de carbono + Água	$CaCO_3 + MgCO_3 + 2H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + MgSO_4 + 2CO_2 + 2H_2O$

O processo consiste em uma contínua conforme mostra a figura 12. A contínua consiste em 8 tanques para o processo de lixiviação (B.1060, B.1061, B.1062, B.1063, B.1064, B.1065, B.1066, B.1066A) e 1 tanque de solução de ataque (TQ-192). O tanque B. 1060 recebe alimentação de poupa de zinco da filtração de zinco, a partir daí acontece o processo de lixiviação, onde a poupa passa de um tanque para o outro através de calhas. A vazão de alimentação é controlada através de válvula de controle manual.

Ao chegar ao tanque B.1066, é inserida a solução de ataque no concentrado de zinco através de uma válvula de acionamento manual, onde o mesmo fica em residência para que a reação aconteça. Após o tempo de residência o concentrado vai para o tanque B.1066A, de onde segue para outra etapa do processo.

Figura 12 – Linha 01 de lixiviação de silicato antes da instalação dos instrumentos
 Fonte: arquivo da empresa.

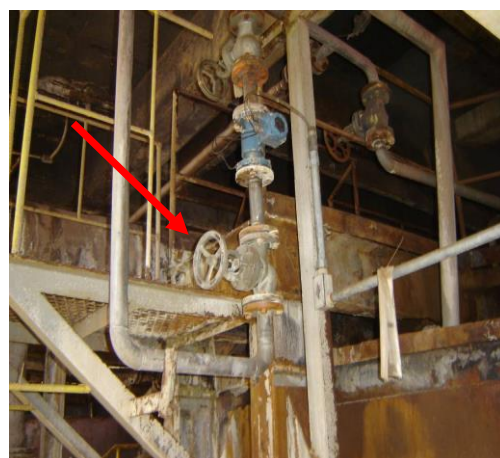


4.3 Análise do problema

A qualidade e recuperação do sulfeto de zinco está diretamente ligada ao pH da solução no processo de lixiviação de silicato. A análise de pH da solução, acontece de modo manual, onde o operador colhe amostras da solução diretamente no processo, de hora em hora, e leva até o laboratório local para realização das análises. Dependendo do resultado da amostra, é necessária a adição de solução de ácido sulfúrico para melhorar a qualidade do sulfato de zinco.

A dosagem do ácido sulfúrico (também conhecido como solução de ataque) é realizada de modo manual, onde o operador atua diretamente no processo, abrindo e fechando válvulas de controle. Os processos de dosagem nem sempre são confiáveis e precisos, o que compromete o resultado final da recuperação do zinco. A figura 13 mostra como são coletadas as amostras para medição do pH e a válvula de controle manual localizada no processo.

Figura 13 – (a) Operador colhendo amostra da solução para análise de Ph. (b) Válvula de controle manual localizada no processo.

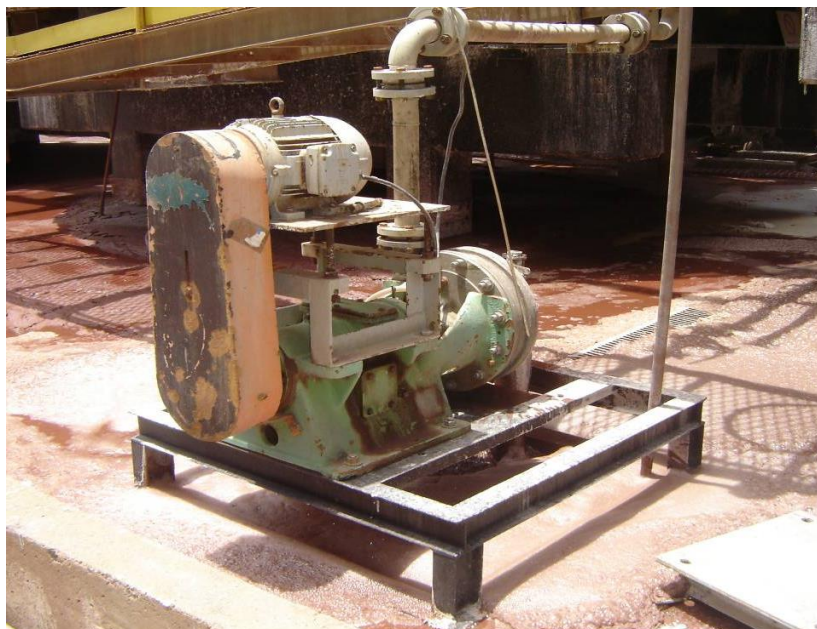


Fonte: arquivo da empresa.

Um grande problema encontrado nessa etapa é a quantidade de transbordos devido o processo de produção ser baseado em sistema de flotação, onde o sulfeto de zinco passa de tanque a tanque através de espumação. O funcionamento da bomba de poço da bacia de contenção da lixiviação de silicato tem o funcionamento dependente do comando do operador, que causa um constante trabalho de

verificação da situação do local. A figura 14 mostra a bomba de controle manual localizada no processo.

Figura 14 – Bomba de operação manual instalada na bacia de contenção da lixiviação de silicato



Fonte: arquivo da empresa.

A estabilidade do processo é necessária para a qualidade do produto final, atingimento das especificações dos clientes e evitar perdas durante o processo de flotação, o que o processo manual nem sempre garante. Evitando perdas no processo, é possível aumentar o rendimento da planta de lixiviação de silicato, para isso, algumas variáveis podem ser controladas:

- Se o nível do tanque sobe até o transbordo, é necessário aplicar um monitoramento de nível nos tanques para evitar o problema e evitar desperdícios no processo.
- Se a dosagem da solução de ataque é realizada conforme os níveis de acidez do concentrado, é necessário um controle de pH e condutividade para que os comandos de dosagem sejam realizados de acordo com a variação dessas grandezas, evitando assim, perdas de recuperação de zinco.
- Se realizado o monitoramento da vazão de entrada dos tanques, pode-se regular a entrada de material automaticamente de acordo com as grandezas e suas variações, garantindo assim que o material esteja na sua faixa ideal.

4.4 Aplicação do Controle

Para evitar transbordos e aumentar o rendimento da planta de lixiviação de silicato, é necessária a instalação de instrumentos de medição e controle de pH, condutividade, vazão e nível, além de válvulas de controle.

Foram instalados os instrumentos de medição e controle da seguinte forma (conforme mostra figura 15):

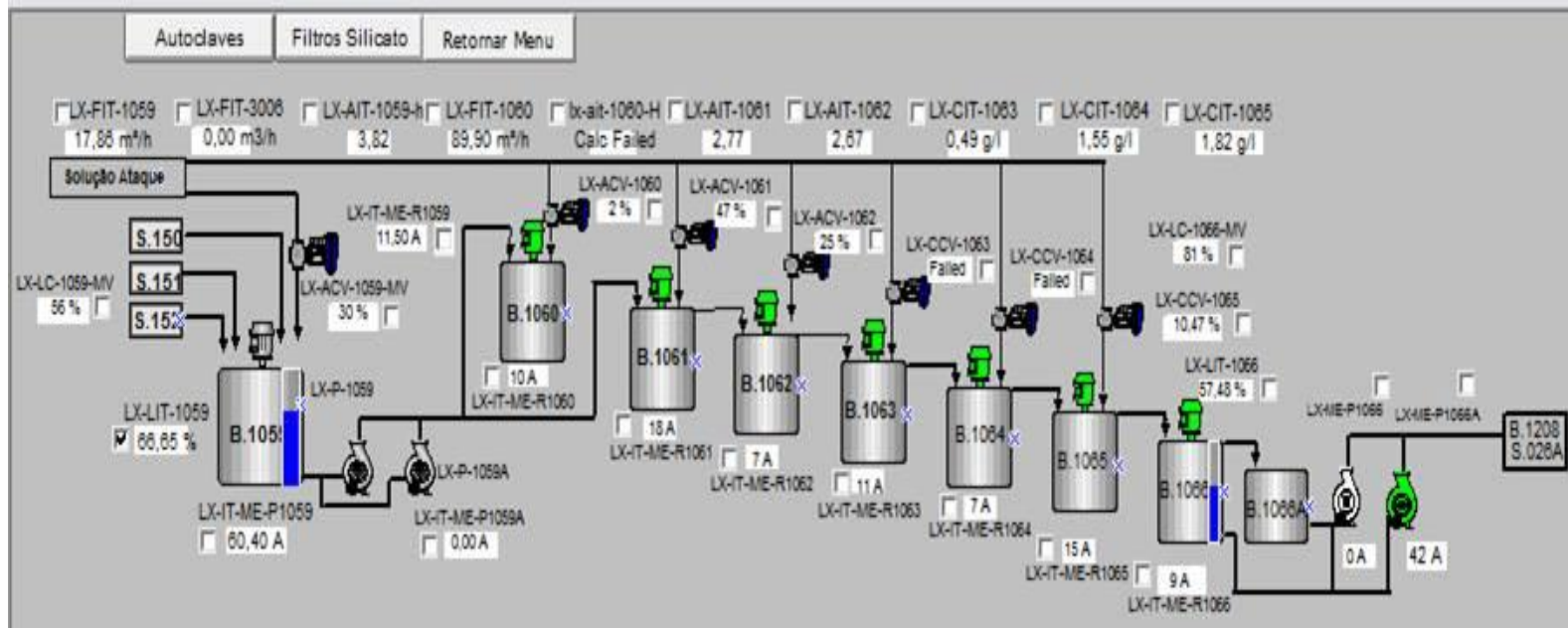
- Instalado controle de vazão na linha de alimentação de solução de ataque, onde se realiza o registro e transmissão com interface CLP/campo/CLP.
- Em todos os tanques foram instalados uma malha fechada para acionamento da válvula, o dispositivo está montado no painel principal de controle, esse envia um sinal via rede para o comando pneumático da válvula de controle e é interligado aos instrumentos instalados no campo.
- Na saída dos tanques B.1060, B.1061 e B.1062 foram instaladas malhas fechadas de medição de pH, que enviam um sinal via rede para o CLP realizar o comando da válvula.
- Na saída dos tanques B.1063, B.1064 e B.1065 foram instaladas malhas fechadas de medição de condutividade do concentrado, que enviam um sinal via rede para o CLP realizar o comando da válvula.
- No tanque B.1066A foi instalada uma malha de controle de nível que comunicam com o bombeamento da contenção e do espessador, que leva o material para continuidade do processo.
- O concentrado faz seu tempo de residência nos tanques B.1066 e B.1066A.

Todos os instrumentos foram interligados a rede pelo sistema Foundation Fieldbus.

Utilizado o instrumento de medição de nível tipo ultrasônico que tem um bom desempenho em materiais pastosos que é o caso do concentrado de zinco. O medidor de vazão utilizado foi o tipo eletromagnético de inserção.

O medidor de pH utilizado consiste no método da comparação tradicional pelo eletrodo de medição e de referência, e o condutímetro indutivo que tem ótimo desempenho lidando com o material do processo. Aplicado válvulas para modulação do sistema.

Figura 15 – Linha 01 de lixiviação de silicato após a instalação dos instrumentos.

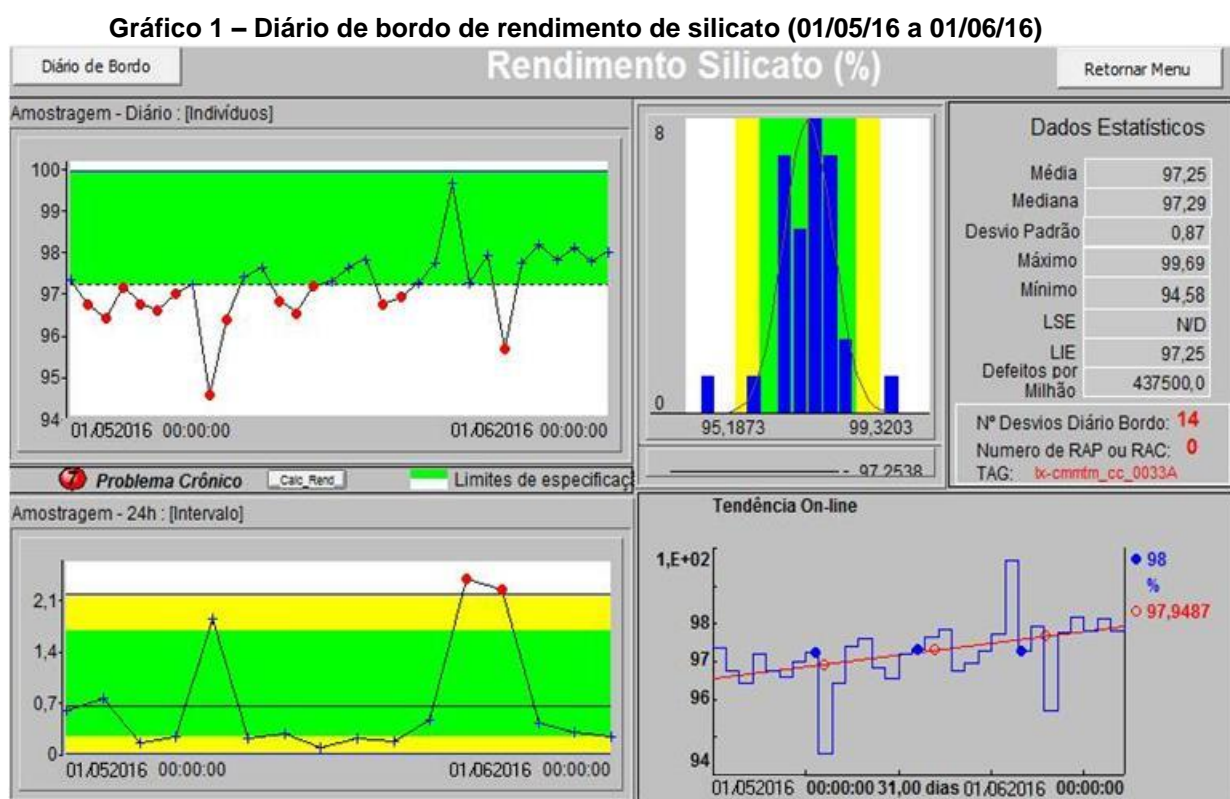


Fonte: arquivo da empresa.

4.5 Resultados

Diante dos estudos e aplicações, conclui-se que o sistema de controle e instrumentação da etapa de lixiviação de silicato proporcionou melhor rendimento ao processo. As medições e controle da acidez garantem uma boa lixiviação do zinco contido, evita a diluição do zinco na planta caso a concentração estiver abaixo do especificado. O controle preciso do pH com parâmetros para cada tanque, proporcionou maior recuperação de zinco e redução no consumo de solução de ataque.

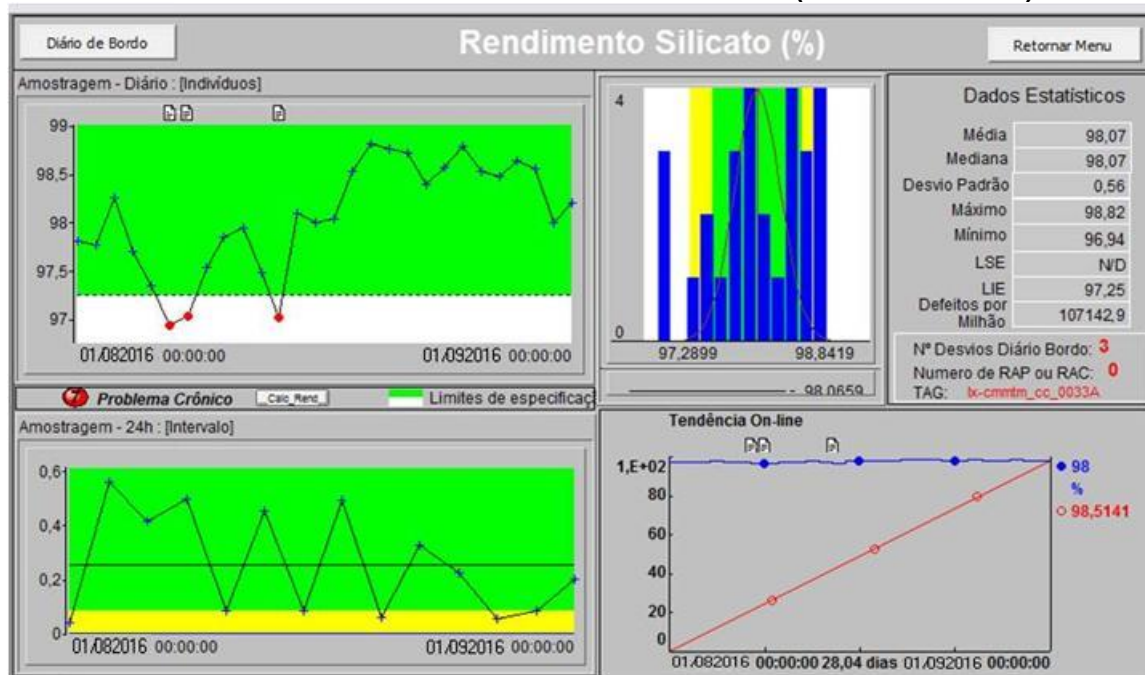
Os gráficos 1 e 2 a seguir, são amostragens do diário de bordo da produção. Neles podemos identificar uma melhora significativa na estabilidade do processo e rendimento da planta.



Fonte: arquivo da empresa.

Observa-se no gráfico1 que, no período de um mês (01/05/2016 a 01/06/2016) ocorreram 14 desvios, o que gerou um desvio padrão de 0,87 e média de rendimento de 97,25%. Essa era a situação antes da instalação dos instrumentos de medição e controle.

Gráfico 2 – Diário de bordo de rendimento de silicato (01/08/16 a 1/09/16)



Fonte: arquivo da empresa.

Após a instalação do sistema de instrumentação, pode-se observar no gráfico 2 que, em comparação com o período sem a instalação dos instrumentos, ocorreram 3 desvios no mesmo intervalo de tempo (01/08/2016 a 01/09/2016), o desvio padrão caiu de 0,87 para 0,56 e média de rendimento subiu de 97,25% para 98,07%. Houve uma melhora na estabilidade no processo, pois o rendimento se manteve na faixa prevista por um maior período, o que é uma situação relevante para a produção.

Com tudo, o sistema de controle de processo aplicado à planta estudada teve um ganho de rendimento em 0,82%, que, em vista do volume de produção final de zinco de 151.500 t/ano, corresponde a 1.242,3 t/ano.

O preço atual da tonelada de zinco de acordo com a LME (*London Metal Exchange*) é de US\$ 1.981,00 e o custo de produção é de ± US\$ 1.300,00. Considerando um custo de implantação do sistema automatizado de ± US\$ 734.00,00, esse custo se dilui em aproximadamente 10,4 meses, levando em

consideração o rendimento estável e de acordo com o mês de referência, tornando viável e satisfatório a aplicação desse sistema.

5 Considerações Finais

Diante do exposto com o estudo de caso, o sistema de controle de processo através do uso do CLP tem influência sobre alguns pontos relevantes para o processo, sendo eles:

- Automação do processo de lixiviação de silicato;
- Ganho de rendimento na planta;
- Diminuição de desperdício no processo.

Com a automação do processo é feito o controle da dosagem de solução de ataque no processo, possibilitando melhor recuperação de zinco no concentrado de silicato, trazendo aumento na produção final de zinco. A melhora do rendimento pode ser verificada na comparação dos gráficos 1 e 2, que mostra a melhora do rendimento atrás do diário de bordo com evidência do período de um mês.

A automação possibilita também maior comodidade do operador, que pode visualizar todos os acontecimentos do processo via supervisório e pode realizar comandos a partir dele, sem necessidade de intervenção diretamente no processo, minimizando o risco de acidentes com o operador, uma vez que, estava exposto ao risco de ser atingido por substâncias químicas e perigosas.

Com o uso do CLP foi possível monitorar todas as variáveis importantes para o bom funcionamento da planta, com o controle de nível é possível monitorar o tanque para que não ocorram desperdícios no processo, garantindo máximo aproveitamento. A instrumentação possibilita coleta de dados confiáveis, mas precisa de manutenções preventivas e calibrações para o seu bom funcionamento.

Portanto, o controle de processo através do CLP possibilita melhor estabilidade nos processos industriais, no caso do processo estudado, possibilitou o aumento de rendimento da planta de lixiviação de silicato, o que se pode diluir o investimento gerado com a instalação do processo, tornando-o viável e lucrativo em pouco tempo depois da implantação.

Referências

- 1-BEGA, Egídio Alberto. Instrumentação Industrial. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- 2-BERNARDO, Ferreira Nivaldo. Utilidades de Processos. São Paulo: Exames-jeanrenard, 2013.
- 3-BOLTON W. Engenharia de Controle.Tradução: Valcere Vieira Rocha e Silva. Editora: Makoron Books. São Paulo,1995.
- 3-BOLTON W. Instrumentação e Controle.Tradução: Luiz Alberto de Godoi Vidal. Editora: Hemus. São Paulo, 2002.
- 4-COSTA, Luiz Augusto A. Especificando Sistemas de Automação Industrial. 1 ed. Dezembro de 2011.
- 5-DORF Richard C, BISHOP Robert H. Sistemas de Controle Modernos. 11 ed. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2009.
- 6-EURÍPEDES, Silva Marcelo. Curso de Automação Industrial Engenharia. 2007. 73 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Automação Industrial, Eep – Escola de Engenharia de Piracicaba, Cotip, Piracicaba, 2007.
- 7-OLIVEIRA Adalberto Luiz de Lima. Fundamentos de Controle de Processos. Senai. Esperito Santo. 1999.
- 7-OLIVEIRA Alberto Luiz de Lima. Instrumentação – Elementos Finais de Controle.Senai. Esperito Santo, 1999.
- 8-OGATA Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno. 4 ed. Editora Pearson. São Paulo, 2010.
- 9-PETRUZELLA, Frank D. Controladores Lógicos Programáveis. 4 ed. Editora Bookman. 2012
- 10-ROSARIO João Maurício. Automação Industrial. 2 ed. Editora Baraúna. São Paulo, 2009.
- 11-RIBEIRO, Marcos Antônio. Instrumentação. 8 ed. Salvador, 1999.
- 11-RIBEIRO, Marcos Antônio. Instrumentação e Automação para Operador. 1ed. Salvador, 2002.
- 12-SILVEIRA Paulo Roberto da, SANTOS, Winderson E. Automação e controle discreto. 9 ed., São Paulo: Editora Érica, 2010.