

**CENTRO UNIVERSITARIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CLAUCIO JESUS MALAQUIAS**

**MAPEAMENTO DOS IMPACTOS DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL: UM ESTUDO  
DE CASO EM UMA MINERADORA DE GRAFITE NATURAL CRISTALINO  
SITUADA NA REGIÃO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS**

**FORMIGA – MG**

**2011**

CLAUCIO JESUS MALAQUIAS

MAPEAMENTO DOS IMPACTOS DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL: UM ESTUDO  
DE CASO EM UMA MINERADORA DE GRAFITE NATURAL CRISTALINO  
SITUADA NA REGIÃO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao curso de Engenharia de Produção do  
UNIFORMG, como requisito para a obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia de  
Produção.

Orientador: Prof. Daniel Gonçalves Ebias

FORMIGA - MG

2011

CLAUCIO JESUS MALAQUIAS

MAPEAMENTO DOS IMPACTOS DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL: UM ESTUDO  
DE CASO EM UMA MINERADORA DE GRAFITE NATURAL CRISTALINO  
SITUADA NA REGIÃO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao curso de Engenharia de Produção do  
UNIFORMG, como requisito para a obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia de  
Produção.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>o</sup> Daniel Gonçalves Ebias

Orientador

---

Prof. Ms. Christiane Pereira Rocha

Examinadora

FORMIGA - MG

2011

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial:

A empresa mineradora pela oportunidade de trabalho e disponibilização das informações necessárias para que este trabalho fosse concluído. Em especial ao José Claret.

Ao professor Daniel Gonçalves Ebias pelo tempo e empenho dedicado às orientações.

Aos amigos de graduação em especial Charles, Danilo, Grasielle, João Paulo e Jucélia pela amizade e troca de experiências.

Aos familiares pela paciência e momentos de ausência.

## Resumo

A presença da automação na economia global é cada vez maior e já ultrapassou as fronteiras das instalações industriais. A integração de dispositivos automáticos com ferramentas matemáticas e organizacionais tem proporcionado a criação de sistemas complexos aplicados a várias atividades humanas. A automação de processos industriais tem como principais objetivos alcançar maior produtividade, qualidade, aumentar a flexibilidade e reduzir custos de produção.

Baseado na hipótese de que a implantação de sistemas automatizados, em parte do processo de beneficiamento do minério de grafita em sua etapa de concentração básica, resulte no aumento dos índices de recuperação do minério otimizando o uso dos recursos disponíveis. Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso onde foram levantadas as necessidades do processo, efetuados testes em escala piloto de forma a monitorar e analisar os efeitos de algumas variáveis e propor melhorias para o sistema.

Os dados apresentados graficamente na pesquisa foram obtidos mediante a realização de amostragens do processo atual e testes realizados em uma planta montada em escala piloto com alto nível de automação. Os fluxogramas apresentados correspondem ao processo atual e ao projeto do novo fluxograma com a inserção dos instrumentos de medição e controle. A descrição do processo apresentada também é de suma importância para o entendimento do trabalho.

De posse dos resultados é possível destacar a vantagem competitiva mediante a automação do processo, reduzindo os desperdícios aumentando os níveis de informação e diagnósticos e ainda oferecer subsídios para os sistemas de supervisão, manutenção e tomada de decisão.

Palavras-chave: Automação, Mineral Grafita, Beneficiamento, Recuperação, Desperdícios.

## **ABSTRACT**

The presence of automation in the global economy is increasing and has surpassed the boundaries of industrial facilities. The integration of automated devices with mathematical and organizational tools has provided the creation of complex systems applied to various human activities. The automation of industrial processes has as main objectives to achieve greater productivity, quality, increase flexibility and reduce production costs.

Based on the assumption that the implementation of automated systems, part of the ore beneficiation process of graphite in its basic stage of concentration, results in increased rates of recovery of ore optimizing use of available resources. This paper aims to present a case study where we surveyed the needs of the process, conducted tests on a pilot scale in order to monitor and analyze the effects of some variables and propose improvements to the system.

The data presented graphically in the research were obtained through the implementation of the current process of sampling and testing in a pilot-scale plant built with a high level of automation. The flowcharts presented correspond to the current process and the design of the new flow diagram with the insertion of instruments of measurement and control. The description of the process presented is also extremely important for understanding the work.

With the results is possible to highlight the competitive advantage by automating the process, reducing waste by increasing the levels of information and diagnostics and also provide insight to the systems of supervision, maintenance and decision making.

**Keywords:** Automation, Mineral Graphite, Processing, Recovery and Waste.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Representação esquemática da estrutura da grafita .....	17
FIGURA 2 – Operação unitária e seus fluxos de alimentação e produtos .....	23
FIGURA 3 – Moinho tipo bolas.....	27
FIGURA 4 – Padrões de Fluxo em Máquinas de Flotação.....	29
FIGURA 5 – Pirâmide da automação .....	31
FIGURA 6 – Modelo CLP .....	34
FIGURA 7 – Tela sistema supervisório .....	38
FIGURA 8 – Modelo IHM .....	39
FIGURA 9 – Diagrama de controle em malha fechada .....	41
FIGURA 10 – Fluxograma do processo de mineração .....	47
FIGURA 11 - Mina de grafita.....	48
FIGURA 12 – Mina de grafita .....	48
FIGURA 13 – Fluxograma atual do processo.....	54
FIGURA 14 – Fluxograma projetado para o processo .....	58

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 – Descrição dos produtos fabricados pela empresa .....	50
TABELA 2 – Campos de aplicação dos produtos da empresa.....	51
TABELA 3 – Resultados obtidos no processo atual .....	55
TABELA 4 – Resultados obtidos no teste piloto .....	59
TABELA 5 - Comparativo entre as amostragens.....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

GRAFICO 1 – Resultados do processo atual.....	55
GRAFICO 2 – Resultados dos testes em escala piloto .....	60
GRAFICO 3 – Comparativo entre amostragens atuais e testes em escala piloto ...	61
GRAFICO 4 - Custos médios de produção por tonelada de produto .....	62

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Problema .....	12
1.2	Justificativa .....	12
1.3	Hipótese .....	13
2	OBJETIVOS .....	14
2.1	Objetivo Geral.....	14
2.2	Objetivos Específicos .....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
3.1	Processos de Produção.....	15
3.2	Mineral Grafita .....	16
3.2.1	Mineralogia e Geologia do mineral Grafita .....	16
3.2.2	Aplicação do mineral Grafita.....	19
3.3	Tratamento de Minérios.....	20
3.3.1	Teor de Minérios .....	21
3.3.2	Polpas e Sólidos Particulados de Minérios .....	22
3.3.3	Umidade de Minérios .....	22
3.3.4	Porcentagem de Sólidos em Polpas de Minério .....	22
3.3.5	Balanço de Massas .....	23
3.3.6	Quantificação de Processos .....	24
3.3.7	Curva de Seletividade de Minérios .....	25
3.3.8	Britagem de Minérios .....	25
3.3.9	Classificação Peneiramento de Minérios.....	26
3.3.10	Moagem de Minérios .....	26
3.3.11	Flotação de Minérios .....	28
3.3.12	Fluxogramas.....	29
3.4	Automação .....	30
3.4.1	Controladores .....	32
3.4.2.1	Controladores Programáveis .....	33
3.4.1.2	Fontes de Alimentação .....	34
3.4.1.3	Unidade Central de Processamento – CPU .....	35
3.4.1.4	Módulos de Saída.....	36

3.4.1.5	Módulos de Entrada.....	36
3.4.1.6	Terminal de Programação .....	37
3.4.2	Especificação de CLP.....	37
3.4.3	Sistemas Supervisórios .....	37
3.4.3.1	Interface Homem Máquina – IHM.....	38
3.4.3.2	Sistema de Supervisão Controle e Aquisição de Dados – SCADA .....	39
3.4.4	Software aplicativo.....	40
3.4.5	Malha de controle .....	40
3.4.6	Redes de Comunicação .....	41
3.4.7	Capacitação das equipes de projeto, operação e manutenção .....	43
3.4.8	Implementação de Projetos de Automação .....	43
3.4.9	Implantação do Projeto de Automação.....	44
4	METODOLOGIA .....	45
4.1	Classificação da Pesquisa.....	45
4.2	Coleta de Dados.....	46
4.3	Caracterização do Objeto .....	46
5	ANÁLISE E RESULTADOS.....	52
5.1	Mapeamento do Processo.....	52
5.2	Solução Proposta .....	56
6	CONCLUSÃO .....	63
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

O homem ao longo do tempo vem buscando ampliar sua capacidade de ação perante as necessidades do mundo atual. Aviões, automóveis e outros meios para atender às necessidades de transporte, instrumentos de pesquisa para o desenvolvimento de novas soluções, e as máquinas com o poder de reforçar a capacidade de manipulação.

Até poucas décadas a automação tratava-se apenas de um processo de mecanização, ou seja, as máquinas apenas substituiriam o esforço físico do homem. Entretanto, permanecia a necessidade de aplicação da capacidade humana de raciocinar. Portanto, passou-se a buscar dispositivos que pudessem receber informações, processá-las e tomar ações sobre o ambiente a ser controlado, surgindo assim a automação de máquinas e processos pouco dependente da capacidade humana de sentir, decidir e agir.

É certo que algumas atividades humanas ainda não puderam ser automatizadas, mas a presença da automação na economia global é cada vez maior e já ultrapassou as fronteiras das instalações industriais. A integração de dispositivos automáticos com ferramentas matemáticas e organizacionais tem proporcionado a criação de sistemas complexos aplicados a várias atividades humanas.

A automação desde o seu surgimento é objeto de diversos debates a respeito de seus efeitos sobre a redução de postos de trabalho. Em outra ótica pode-se argumentar que a implantação e manutenção de um sistema automático acarreta em grandes necessidades de mão de obra, contudo, com um grau de qualificação superior aos postos substituídos.

A automação de processos industriais tem como principais objetivos alcançar maior produtividade, buscar pela qualidade, aumentar a flexibilidade e reduzir custos de produção, contudo a experiência revela que isso nem sempre funciona para todas as organizações. O investimento para implantação é elevado, a nova instalação deve dispor, para sua manutenção, de recursos inclusive humanos muitas vezes dispendiosos, portanto torna-se necessário uma base sólida de projeto capaz de visualizar pontos negativos e positivos.

O processo de mineração e beneficiamento de grafite natural cristalino no Brasil é caracterizado pela baixa utilização de recursos tecnológicos em suas

operações, contudo, isso vem mudando nos últimos anos, percebe-se que a automação agrega valor ao produto e, principalmente, propicia maior vantagem competitiva através da padronização, flexibilidade, otimização no uso dos recursos e conseqüente redução nos custos de produção.

### **1.1 Problema**

Quais os impactos resultantes da implantação de um Sistema de Automação tendo como foco organizações que atuam no segmento de mineração de Grafite Natural Cristalino?

### **1.2 Justificativa**

Com a elevação da produtividade para atender a um mercado cada vez mais exigente e competitivo, torna-se essencial explorar ao máximo os processos de produção, aliado à busca da otimização na utilização de recursos sejam estes materiais ou intelectuais, redução de impactos ambientais aumento nos níveis de segurança e, contudo, proporcionar bens ou serviços de qualidade com o menor custo de produção.

A automação industrial desempenha papel de suma importância neste contexto, pois se implantada de forma estruturada, dedicando atenção especial ao levantamento de necessidades, definição de escopo e o uso correto das ferramentas disponíveis, pode colaborar na otimização de inúmeras operações que envolvem todo o processo produtivo, contudo se torna imprescindível estudar os efeitos oriundos da implantação de um sistema automatizado.

Diante do exposto, este trabalho justifica-se em estabelecer as etapas de implantação e análise de resultados inerentes à implantação de um sistema de automação. Todo este processo será analisado por meio de um estudo de caso referente à implantação de um sistema automatizado em uma planta mineradora de grafite natural cristalino instalada na região Centro Oeste do estado de Minas Gerais.

### 1.3 Hipótese

A automação é apontada hoje como o diferencial às empresas que pretendem se manter no mercado. Mercado este cada vez mais exigente na busca de produtos que satisfaçam suas necessidades, ou seja, produtos personalizados, com um custo baixo, qualidade assegurada e que atendam a requisitos mínimos de responsabilidade sócio-ambiental. Em consequência destas novas exigências as empresas estão migrando de processos com o emprego de pouca tecnologia para processos totalmente automatizados, que permitem maior flexibilidade de produtos possibilitando que o processo seja capaz de se adaptar às necessidades do mercado, custos menores de produção impactando diretamente no custo do produto para o mercado consumidor, produtos com qualidade assegurada, pois, a menor intervenção humana gera um percentual pequeno de produtos fora das especificações, além de possibilitar melhor controle do sistema de produção no sentido de otimizar sub-processos como, a cadeia de suprimentos, o gerenciamento de estoques e a otimização no uso de energia e de recursos naturais. Portanto este estudo baseia-se na hipótese de que a implantação de sistemas de automação em etapas do processo de mineração e beneficiamento do minério de grafite possa aumentar a recuperação mineral em sua concentração básica, reduzir o consumo de energia elétrica e água, aumentar a vida útil do corpo moedor e peças de desgaste dos moinhos e máquinas de flotação, variáveis relacionadas diretamente com os custos de produção. Para tanto se faz necessário mapear os resultados do processo mediante a implantação do sistema de automação.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos deste trabalho dividem-se em objetivo geral e objetivos específicos como segue:

### **2.1 Objetivo Geral**

Apresentar os resultados decorrentes da implantação de sistemas automatizados em uma mineradora de Grafite Natural Cristalino situada na região Centro Oeste do estado de Minas Gerais.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar o processo de concentração básica do mineral Grafita, coletando dados de produção com o objetivo de detectar pontos susceptíveis a melhoria por intermédio da implantação de sistemas automatizados.
- Realizar testes em escala piloto e mediante resultados propor soluções em automação para o processo de beneficiamento do minério de grafite.

### 3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este referencial abordará tópicos sobre o minério de grafita, processos de beneficiamento de minério de grafita e noções básicas de automação industrial com o propósito de fornecer fundamentação ao presente estudo.

#### 3.1 Processo de Produção

Morais e Castrucci (2007), enfatizam, que a definição do tipo de processo de produção é o fator que determina qual o tipo de sistema de controle automático deve ser implantado.

Os processos de produção podem ser classificados da seguinte forma:

- Discretos: Referentes à fabricação de produtos ou peças que podem ser contados como unidades individuais e na qual predominam as atividades discretas. São exemplos desse tipo de processo a produção de placas de metal estampadas, de automóveis, aviões, bens de capital, brinquedos, eletroeletrônicos, computadores, vestuário, tijolos, pneus e calçados.
- Bateladas: Relativos a bens cuja produção requer que determinadas quantidades de matérias-primas sejam combinadas de forma apropriada durante um dado período de tempo. Apesar de intermitentes (descontínuos), tais processos têm natureza contínua durante o período de atividade. São exemplos a fabricação de colas ou de alimentos, em que a mistura de insumos, em proporções calculadas, precisa ser mantida aquecida durante um tempo preestabelecido. Também podem ser classificadas nessa categoria as indústrias farmacêuticas, de bebidas, de produtos de limpeza, de alimentos, cerâmica, fundição e de embalagens.
- Contínuos: Referentes a sistemas em que as variáveis precisam ser monitoradas e controladas ininterruptamente. É o caso, por exemplo, de siderúrgicas, da produção de combustíveis, gás natural, produtos químicos, plásticos, papel e celulose, cimento e açúcar e álcool.

## 3.2 Mineral Grafita

Os primeiros sinais do uso da grafita, segundo Dana e Hurlbut (1984), estão associados aos homens das cavernas que utilizavam o mineral para desenhar nas paredes das cavernas, e também com os egípcios que o utilizavam para decorar porcelanas. Por volta do ano 1400 têm-se registros da confecção de cadinhos utilizando o minério de grafite, contudo, com o passar dos anos e as pesquisas de alguns estudiosos como Schelle e J. Berzelius descobriu-se que, o minério utilizado para escrever era composto por carbono puro.

Conforme Luz, Sampaio e Almeida (2004), a grafita pode ser encontrada em duas formas na natureza, que são na forma de flocos cristalinos e na forma amorfa. A grafita em flocos cristalinos é a forma do minério mais lavrada no planeta e também a mais rara podendo ser encontrada com até 97% de carbono na sua composição o que possibilita maior condutividade e resistência a corrosão que as demais formas do mineral.

### 3.2.1 Mineralogia e Geologia Grafita

Para Mantell (1968), podemos encontrar o carbono elementar em três formas na natureza, carbono diamante, grafita e carbono amorfo, sendo distinguidas por testes físicos e químicos, nos quais são detectadas diferenças de algumas variáveis como densidade, dureza e arranjo atômico.

Ainda segundo Mantell (1968), a Grafita é caracterizada por um arranjo atômico em camadas, segundo uma rede de planos hexagonais, conforme representado na FIG. 1, sendo este tipo de ligação o responsável por proporcionar ao mineral um caráter metálico, brilho submetálico, boa condutividade elétrica, dentre outros.

O cristal possui uma estrutura que consiste em um arranjo de anions  $C_4^-$  a metade dos triângulos em cada camada ocupada por cátions  $C_4^+$ . Na rede planar cada íon está cercado por três íons. A diferença nas intensidades das ligações nas duas direções são as responsáveis pelas propriedades de condução térmica, maior facilidade de dividir-se em laminas finas, densidade mais baixa comparada ao diamante e anisotropia da grafita. (MANTELL,1968).

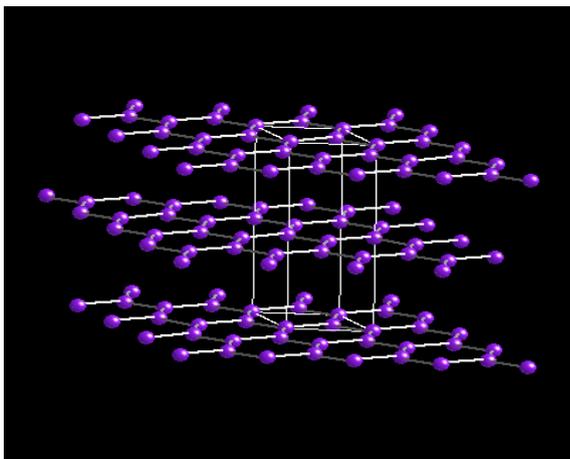


FIGURA 1 - Representação esquemática da estrutura da grafita

Fonte: Carbon and Graphite Handbook (1968)

A grafita encontra-se nas formas de laminais, agregadas em flocos (*flakes*) e disseminadas em rochas xistosas, é um mineral preto lustroso que cristaliza no sistema hexagonal, com simetria romboédrica. Os cristais da grafita possuem forma tubular de seis faces normalmente estriadas e se bem cristalizadas apresentam brilho metálico. (MANTELL, 1968)

O ponto de fusão da grafita é da ordem de 3550 graus Celsius na pressão de 88 kg/cm<sup>2</sup>, sublima-se entre 3300 e 3500°C na pressão de 1033 kg/cm<sup>2</sup> e a oxidação térmica na presença de oxigênio inicia-se na temperatura de 300°C.

Segundo Dana e Hurlbut (1984), a grafita em flocos é oriunda de ambientes geológicos típicos que incluem o contato ou metamorfismo regional em depósitos de calcários ou argilas com o mineral orgânico. Podem ocorrer segundo a distribuição homogênea em todo o corpo do minério ou concentrados em lentes na forma de pacotes, com um teor de carbono que pode variar de 5 a 40%. Usualmente as impurezas são minerais comuns de rochas metassedimentares como o quartzo, feldspato, mica, anfíbólio dentre outros, todos possuem características de fácil remoção desde que não seja necessária uma moagem muito fina do mineral. Em termos de diâmetro os flocos de grafita podem variar de 1 mm a mais de 2,5 cm com uma média de 0,25 cm. Em uma mesma jazida o minério pode variar de dureza e densidade, o mesmo pode acontecer entre jazidas diferentes. A grafita em flocos pode ser lavrada por método subterrâneo e a céu aberto, sendo necessário o uso de explosivos nos depósitos subterrâneos para desmonte do minério enquanto as

lavras a céu aberto empregam um mínimo de explosivos e equipamentos convencionais de escavação, como tratores, escavadeiras etc.

Dana e Hurlbut (1984), afirmam que a grafita em veio cristalino é encontrada em depósitos relativamente raros que fornecem grafita maciça cujos grãos ocorrem em vários tamanhos. Exibe uma morfologia acicular com cristais orientados perpendicularmente à rocha, sendo esta a única forma natural do elemento carbono também chamada de *lump* ou altamente cristalina. As impurezas encontradas são basicamente quartzo, feldspato, pirita, piroxênio, apatita e calcita. A grafita em veio cristalino é lavrada a céu aberto e por método subterrâneo. Em alguns casos utiliza-se a catação manual para separar grafita tipo *lump* para obtenção de concentrados com teores de carbono entre 90 e 99% com granulometria entre 10 cm e 3  $\mu\text{m}$ .

A grafita amorfa designada do termo amorfo, ou seja, incorreta, afirmam Dana e Hurlbut (1984), é um mineral com uma estrutura micro-cristalina, possui uma aparência preta terrosa e macia ao tato. Alguns depósitos deste mineral foram formados por metamorfismo de contato, outros, provavelmente são resultados da dinâmica regional do metamorfismo. A grafita amorfa pode ser encontrada com teor de carbono entre 75 e 90%, teores que estão diretamente relacionados à quantidade de sedimentos destes depósitos e seu tamanho pode variar entre 75 mm e 5  $\mu\text{m}$ . A natureza e a quantidade das impurezas vão depender da rocha a qual deu origem à jazida. Os depósitos economicamente viáveis exigem um teor de carbono mínimo de 8%. A lavra da grafita amorfa é usualmente subterrânea, o minério desmontado por explosivos é transportado à superfície por métodos convencionais.

Segundo Mantell (1968), o minério de grafita é geralmente encontrado com teores de carbono que variam de 5 a 15% de carbono, as principais impurezas consistem em silicatos, óxidos de ferro, silimanita, pirrotita, biotita, caolinita, alumina, granada e minerais sulfetados. As impurezas do minério e a granulometria de liberação do mesmo influenciam ou imprimem não só a rota de processamento do minério bruto, como também tem influência significativa nas etapas de descontaminação dos concentrados.

O processamento do minério de grafita tem seu início com as operações de britagem e moagem seguidas pelas etapas de concentração e purificação.

A concentração dos minérios de grafita segundo Dana e Hurlbut (1984), é feita, em geral, através do processo de flotação, processo este que permite a obtenção de concentrados de grafita com teores entre 80 e 95% de carbono, teores

acima de 95% de carbono só serão obtidos por meio de tratamento químico. O produto final possui granulometria que varia desde alguns milímetros até 3  $\mu\text{m}$ , dependendo de sua aplicação.

Processos de concentração por separação magnética e concentração gravítica são utilizados como etapas auxiliares de beneficiamento no processamento do minério de grafita, contudo o processo de concentração por meio de flotação é o mais utilizado em todo o mundo. A grafita responde bem a este processo utilizando-se como coletores óleos não polares como o óleo combustível e o querosene, e como espumantes o álcool ou óleo de pinho. O mineral grafita, possui características semelhantes à do carvão e à molibdenita nos aspectos físico-químicos de superfície o que possibilita a estes minerais uma flotabilidade natural. Para um aumento na seletividade do processo utiliza-se a adição de silicato de sódio diminuindo a flotação de ganga silicatada. A utilização de multi-estágios de moagem e flotação torna possível obter concentrados de até 90% de carbono. (DANA E HURLBUT, 1984).

As exigências do mercado atual demanda um concentrado com teores de carbono superiores a 98%, para tanto é necessário logo após as etapas de moagem e flotação submeter o mineral a tratamentos químicos, o mais conhecido é o processo de lixiviação no qual é necessário avaliar as características de cada minério para a determinação do tipo de tratamento. Na fase seguinte o minério é submetido às etapas de lavagem, filtragem e secagem, finalmente o produto é submetido a estágios de peneiramento e moagem em moinhos a jato ou de martelos para adequação da granulometria. (LUZ, SAMPAIO E ALMEIDA, 2004).

### **3.2.2 Aplicação do Mineral Grafita**

Sinônimo de qualidade e performance na nova geração de bens elétricos e eletrônicos e equipamentos esportivos, o mineral grafita de alto valor agregado vem aumentando sua demanda, superando as aplicações pelos mercados tradicionais como refratários, lubrificantes, lápis dentre outros, o que conseqüentemente aumenta a necessidade de investimentos para obtenção de produtos com maior qualidade. (LUZ, SAMPAIO E ALMEIDA, 2004).

Para Mantell (1968), o mineral grafita em suas diversas formas pode ser utilizado em inúmeras aplicações como pode-se ver a seguir:

- A grafita em flocos cristalinos é utilizada na composição de refratários, baterias; escovas de carbono; catalisadores; cobertura; cadinho; laminado; material de fricção; células a combustíveis; lubrificantes; lápis; plásticos e resinas.
- A grafita micro-cristalina ou amorfa é utilizada em aditivos de carbono; coberturas; material de fricção; lubrificantes; lápis e refratários.
- A grafita tratada na forma esfolheada ou expandida é utilizada em baterias; coberturas; laminados; gaxetas; isolantes; lubrificantes; pintura e vedação.

Para obter-se o minério em condições de comercialização é necessário tratar o mineral, retirando as impurezas e o adequando as condições ideais para utilização.

### **3.3. Tratamento de Minérios**

Segundo Luz, Sampaio e Almeida (2004), a história registra que, 400 anos antes da Era Cristã, os egípcios já recuperavam ouro de depósitos aluvionares, usando processos gravíticos.

A partir do século XVIII, com a invenção da máquina a vapor, que se caracterizou como o início da revolução industrial ocorrem inovações mais significativas na área de tratamento de minérios. Pela metade do século XIX, em 1864, o emprego do tratamento de minérios se limitava praticamente àqueles de ouro, cobre nativo e chumbo. Os grandes desenvolvimentos na área de beneficiamento de minérios ocorreram no final do século XIX, sendo a utilização industrial da flotação a inovação mais impactante.

Os minerais fazem parte dos recursos naturais de um país, ao lado das terras para agricultura, das águas, biodiversidade etc. Os estudos geológicos e hidrológicos básicos de um país ou região são realizados, via de regra, por seu serviço geológico ou entidade equivalente, que os disponibiliza para o público. No Brasil essa missão está a cargo da CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais) – Serviço Geológico do Brasil.

Como as matérias-primas minerais possíveis de serem utilizadas diretamente ou transformadas pela indústria encontram-se distribuídas de maneira escassa na crosta terrestre, cabe às empresas de mineração, com base nas informações

geológicas básicas, realizar a pesquisa mineral em áreas previamente selecionadas, em busca de depósitos de potencial interesse econômico. Feitas a quantificação e qualificação do corpo mineral, tem-se um depósito mineral. Quando este apresenta condições tecnológicas e econômicas de ser aproveitado, tem-se finalmente uma jazida mineral. (LUZ, SAMPAIO E ALMEIDA, 2004).

O minério é explotado da jazida por meio de operações de lavra (a céu aberto ou subterrânea) na mina. O produto da mina, o minério lavrado, é frequentemente denominado ROM (“run-of-mine”), que vem a ser a alimentação da usina de beneficiamento.

Para Luz, Sampaio e Almeida (2004), o preço de mercado de um determinado bem mineral, importante para a definição de uma jazida, está condicionado a um elevado número de variáveis. Entre outras, salienta-se: freqüência em que ocorrem esses minerais na crosta terrestre, complexidade na lavra e beneficiamento, distância da mina ao mercado consumidor etc. Vale ressaltar, porém, o aspecto circunstancial, pois em dependência da conjuntura político-econômica um depósito pode passar a ser uma jazida ou vice-versa.

Na indústria mineral, os minérios ou minerais são geralmente classificados em três grandes classes que são: Metálicos, Não-metálicos e Energéticos. Os minerais industriais se aplicam diretamente, tais como se encontram ou após algum tratamento, ou se prestam como matéria-prima para a fabricação de uma grande variedade de produtos. (LUZ, SAMPAIO E ALMEIDA, 2004).

Para melhor entendimento das operações envolvidas na indústria mineral é necessário conhecer alguns conceitos:

### **3.3.1 Teor de Minério**

Em tratamento de minérios segundo Chaves (1996), teor significa sempre a quantidade das substancias que nos interessam, referida à quantidade total da amostra. Pode-se definir teor como a massa de um elemento ou substancia pura, referido à massa total em consideração.

### **3.3.2 Polpas e Sólidos Particulados de Minérios**

Para Chaves (1996), no beneficiamento de minérios trabalha-se com sólidos particulados, ou seja, compostos de partículas. Estes sólidos podem ser manipulados com a umidade natural, ou seja, a seco o que acontece nas etapas de britagem, estocagem em pilhas e peneiramento. Estes sólidos também podem ser manipulados a úmido, algumas etapas do processo como peneiramento fino, moagem, classificação e as operações de concentração são via de regra, executadas a úmido. Isto significa que são adicionadas grandes quantidades de água formando uma mistura chamada de polpa, em que as partículas sólidas estão em suspensão em água. Na grande maioria dos casos é conveniente trabalhar a úmido o que facilita o transporte do minério, retira o excesso de calor, impede a geração de poeira etc.

### **3.3.3 Umidade de Minérios**

Umidade é a quantidade de água presente nos sólidos. Ela pode ser calculada dividindo a massa de água encontrada pela massa de sólidos isenta desta umidade. É o que se chama de umidade base seca e é a referência mais utilizada em tratamento de minérios. Outros ramos da engenharia utilizam a umidade base úmida. (CHAVES 1996).

### **3.3.4 Porcentagem de Sólidos**

Para Chaves (1996), porcentagem de sólidos é a massa de sólidos dividida pela massa de polpa. Sempre que em tratamento de minérios nos referimos à porcentagem de sólidos, referimo-nos à porcentagem de sólidos em peso.

### 3.3.5 Balanço de Massas

Este é o conceito mais importante do tratamento de minérios segundo Chaves (1996), é uma ferramenta que consiste na aplicação pura e simples da lei de Lavoisier, ou seja, todas as massas que entram numa determinada operação, são as mesmas massas que saem em seus produtos, não há geração nem consumo de massa no tratamento de minérios.

O balanço de massa corresponde à soma das vazões mássicas de minério, (alimentação= concentrado+rejeito).

Estudemos o conceito de balanços de massa através do exemplo da operação unitária mostrada conforme FIG. 2.

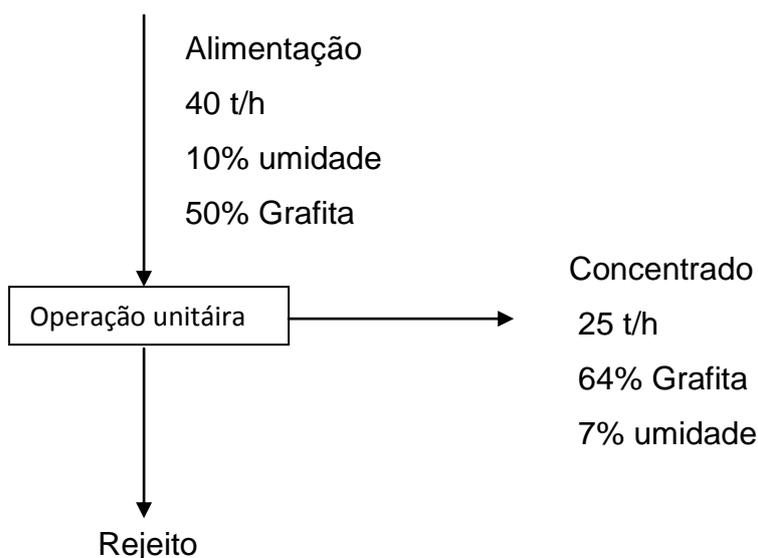


FIGURA 2- Operação unitária e seus fluxos de alimentação e produtos.

Fonte: Chaves (1996)

Como já foi dito anteriormente o balanço de massas corresponde à soma das vazões mássicas de minério, conforme o exemplo da FIG. 2, tem-se:  $40+25+X$ , onde  $X$  é a vazão de rejeito da operação. Conforme a lei de Lavoisier teremos, uma vazão de rejeito de 15 t/h. Para a alimentação existem  $40 \times 0,5 = 20$  t/h correspondente a quantidade de minério de grafita e no concentrado teremos  $25 \times 0,64 = 16$  t/h de grafita. Conforme a lei de Lavoisier no que se refere a massa de grafita contida no rejeito só pode ser  $20 - 16 = 4$  t/h.

Este balanço,  $20 = 16 + 4$  é chamado de balanço metalúrgico e corresponde à aplicação da lei de Lavoisier para o metal contido no sistema. Portanto podemos calcular o teor de grafita no rejeito como:

$$\frac{(4\text{t/h grafita})}{(15\text{t/h totais})} \times 100 = 26,7\% \text{ de grafita no rejeito.}$$

Na alimentação existem  $40 \times 0,1 = 4\text{t/h}$  de água contida, no concentrado,  $25 \times 0,07 = 1,75\text{ t/h}$  de água contida. Conforme Lavoisier a água contida no rejeito será  $4 - 1,75 = 2,25\text{ t/h}$ . Este balanço  $4 = 1,75 + 2,25$  é chamado de balanço de água.

Um processo de beneficiamento de minério representado por um fluxograma é composto por várias operações unitárias. Cada uma delas deve ter os seus balanços de massas, metalúrgicos e de água.

### 3.3.6 Quantificação de Processo

Para Chaves (1996), em toda atividade de engenharia o tratamento de minérios deve produzir um bem necessário à utilização industrial, em condições econômicas saudáveis, ou seja, produzindo lucro. E a quantificação de processo medirá exatamente o desempenho das nossas operações unitárias. Existe uma grande quantidade de índices criados para a quantificação dos processos de tratamento de minérios. Alguns pesquisadores relacionam trinta e sete índices diferentes desenvolvidos por alguns pesquisadores e engenheiros entre os anos de 1913 e 1970. Na realidade, apenas dois destes índices, a recuperação e o enriquecimento são realmente úteis e significativos para qualquer operação, os demais são aplicados apenas em casos particulares, como demonstrado na equação 01.

$$\text{Recuperação} = \frac{\text{t/h de concentrado}}{\text{t/h de alimentação}}$$

Equação 01: Cálculo de Recuperação

É de suma importância a extensão do conceito de recuperação para o elemento ou substância de interesse contido no minério e objeto da operação de tratamento. Como exemplo, podemos citar a recuperação do ouro contido num cascalho, ou a grafita contida em uma rocha. Usa-se então o termo recuperação metalúrgica. Note que utilizamos o termo recuperação metalúrgica para substâncias metálicas e não metálicas.

Define-se enriquecimento conforme equação 02:

$$\text{Enriquecimento} = \frac{\text{teor do elemento útil no concentrado}}{\text{teor do elemento útil na alimentação}}$$

Equação 02: Cálculo do Enriquecimento

### **3.3.7 Curva de Seletividade de Minérios**

Todo processo de beneficiamento de minério ou operação de concentração visa obter o máximo enriquecimento aliado à máxima recuperação. Na prática isto é impossível de ser obtido simultaneamente, pois sendo a alimentação composta de partículas que tem uma composição química própria, que será mantida independente de seu destino rejeito ou concentrado. (CHAVES, 1996)

### **3.3.8 Britagem de Minérios**

Britagem pode ser definida como conjunto de operações que objetiva a fragmentação de blocos de minérios vindos da mina, levando-os à granulometria compatível para utilização direta ou para posterior processamento. É um estágio no processamento de minérios que utiliza, em sucessivas etapas, equipamentos apropriados para a redução de tamanhos convenientes, ou para a liberação de minerais valiosos de sua ganga. (LUZ, SAMPAIO E ALMEIDA, 2004).

### 3.3.9 Classificação e Peneiramento de Minérios

Luz, Sampaio e Almeida, (2004), afirmam que a classificação e o peneiramento têm como objetivo separar um material em duas frações conforme os tamanhos de suas partículas.

Essas frações são separadas por meio de telas com suas aberturas definidas. Quando se adiciona água ao material para facilitar a passagem dos finos através da tela do sistema chama-se de peneiramento a úmido, onde o material retido na tela da peneira é denominado *oversize*, e o material passante na tela é denominado *undersize*.

Os equipamentos utilizados no peneiramento industrial podem ser divididos em três tipos.

- Grelhas: Que são barras dispostas paralelamente com espaçamento regular. As grelhas podem ser vibratórias ou rotativas, estas últimas são conhecidas como peneiras rotativas ou *Trommel*.
- Crivos: Formados por chapas perfuradas com furos de dimensões determinadas
- Telas: Constituídas por fios metálicos trançados de forma a deixar aberturas de dimensões determinadas.

### 3.3.10 Moagem de Minérios

Para Luz, Sampaio e Almeida, (2004), a moagem é o estágio no qual as partículas são reduzidas pela combinação de impacto, pressão, abrasão e atrito, a um tamanho adequado à liberação do mineral, geralmente, a ser concentrado nos processos subseqüentes. Cada minério tem uma malha ótima para ser moído, dependendo de muitos fatores incluindo a distribuição do mineral útil na ganga e o processo de separação que vai ser usado em seguida.

Para Luz, Sampaio e Almeida, (2004) a moagem é a área da fragmentação que requer maiores investimentos, maior gasto de energia e é considerada uma operação importante para o bom desempenho de uma instalação de tratamento. A sub-moagem do minério resulta num produto grosso com liberação parcial do mineral útil, inviabilizando o processo de concentração. Neste caso, a recuperação

parcial do mineral útil e a baixa razão de enriquecimento respondem pela inviabilidade do processo. A sobre moagem também não é desejada, pois ela reduz o tamanho das partículas, desnecessariamente, o que acarretará maior consumo de energia e perdas no processo de concentração.

É conclusivo que a moagem deve ser muito bem estudada na etapa de dimensionamento e escolha de equipamentos e muito bem controlada na etapa de operação da usina, pois o bom desempenho de uma instalação industrial depende em muito da operação de moagem.

Os tipos de moinhos mais utilizados são: moinho cilíndrico (barras, bolas ou seixos) como exemplo da FIG. 03, e ainda moinhos de martelos entre outros.



FIGURA 3: Moinho tipo bolas

Fonte: Arquivo da empresa Mineral (2011).

### 3.3.11 Flotação de Minérios

O processo de flotação é talvez o processo mais importante do ponto de vista da tonelagem de minérios processados no mundo. A flotação consiste em um processo de separação feita em suspensão aquosa chamada de polpa. As partículas são obrigadas a percorrer um trajeto e num dado instante, as partículas que se deseja flotar são levadas a abandoná-lo tomando um rumo ascendente. A diferenciação se baseia na capacidade das partículas se prenderem a bolhas de ar, tornando a densidade do conjunto bolha mais partículas, menor que a do fluído ou da polpa, fazendo com que o conjunto se desloque verticalmente para a superfície, enquanto que as demais partículas mantêm inalterada sua rota. Esta capacidade de atrair ou repelir as bolhas é obtida mediante a adição criteriosa de compostos químicos. (LUZ, SAMPAIO E ALMEIDA, 2004)

Estes compostos químicos mais conhecidos como reagentes, possuem propriedades capazes de tornar seletivamente hidrofóbicos determinados minerais. As moléculas do reagente migram da solução para a superfície da partícula do minério recobrando-o. Desta forma quando surgem as bolhas de ar, o mineral apresenta uma nova superfície revestida com a substancia reagente. A substância capaz de adsorver-se ao mineral e torná-lo hidrofóbico é denominado coletor e o mecanismo de absorção e geração de hidrofobicidade é denominado coleta. É importante destacar a importância da seletividade do coletor por não trazer junto à partícula do mineral que se deseja flotar, minerais não interessantes para o sistema.

No processo de flotação é adicionado à polpa outra substancia tensoativa, ou seja, substancia espumante no intuito de gerar uma espuma estável para o sistema. (LUZ, SAMPAIO E ALMEIDA, 2004)

As máquinas de flotação são tanques divididos em células, projetados para recebimento das polpas alimentadas continuamente, por uma de suas laterais e descarregadas pela lateral oposta. A polpa flotada sobe e é descarregada por transbordo sobre calhas dispostas ao longo da extensão da máquina. Na lateral utilizada como saída do material não flotado da máquina encontra-se um dispositivo para a regulação do nível de polpa dentro da mesma. É instalado no fundo da célula um rotor suspenso por um eixo conectado a um acionamento que gira e tem a função de manter a polpa agitada e adicionar no fundo da célula o ar necessário para a formação das bolhas. Neste mesmo rotor é instalado um estator que será o

responsável por fragmentar as bolhas de ar em tamanho ideal para carrear no fluxo ascendente o maior número de partículas coletadas, conforme FIG.4. (PERRY, 1963).

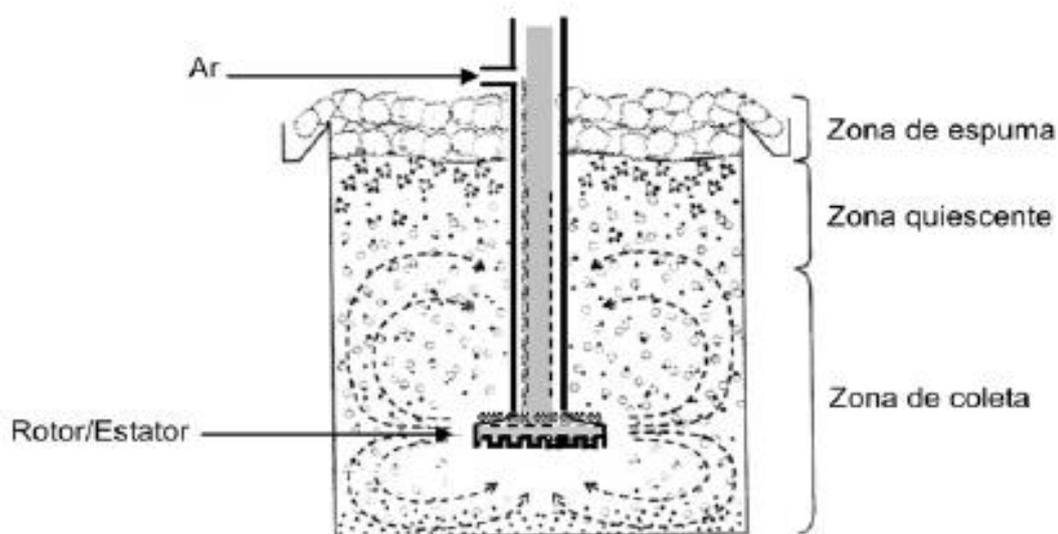


FIGURA 04: Padrões de Fluxo em Máquinas de Flotação

Fonte: Perry (1963)

### 3.3.12 Fluxogramas de Processos

Uma operação unitária sozinha nunca é suficiente para fornecer um produto final. Geralmente são necessárias várias operações unitárias que combinadas, levam do minério inicial ao produto final. A figura que representa as operações unitárias de um processo produtivo é chamada de fluxograma. A escolha da sequência destas operações é que determina o sucesso de um dado circuito. A mistura de minério e água é chamada de polpa. Uma polpa de um concentrado qualquer, obviamente, não pode ser comercializada desta forma, é necessário retirar a água desta mistura, razão pela qual as operações de desaguamento e secagem têm participação garantida em qualquer fluxograma. (LUZ, SAMPAIO e ALMEIDA, 2004).

### 3.4 Automação

Segundo Morais e Castrucci (2007), entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção ou da redução de custos, assim aperfeiçoando o complexo objetivo das indústrias e dos serviços.

É comum pensar que a automação resulta tão somente do objetivo de reduzir custos de produção. Isso não é verdade: ela decorre das necessidades tais como maior nível de qualidade, expressa por especificações numéricas de tolerâncias, maior flexibilidade de modelos para o mercado, maior segurança pública e dos operários, menores perdas materiais e energéticas, mais disponibilidade e qualidade da informação sobre o processo e melhor planejamento e controle da produção.

A automação é dividida em níveis de complexidade que seguem:

- As automações de menor complexidade são as especializadas como as dos aparelhos de telefonia celular, aparelhos de TV, automóveis dentre outros, realizam-se fisicamente com microprocessadores de pequenas memórias, ou seja, são aplicações dedicadas montadas em placas de circuito impresso instaladas no interior do equipamento.
- As automações de maior complexidade são os grandes sistemas de automação que se estendem por áreas extensas e envolvem muitas centrais de processamento de variados tipos de capacidade. Como exemplo podemos citar os sistemas de controle de voo nos aeroportos e os controles de defesa militar. Sua programação envolve a plena engenharia de *software* de tempo real. (OGATA, 2003).

Ainda segundo Morais e Castrucci (2007), há um imenso número de automações indústrias e de serviços que são consideradas de média complexidade, tais como os sistemas industriais, processos químico, gerenciadores de energia, dentre outros, os quais podendo perfeitamente realizar-se com o emprego de Controladores Lógicos Programáveis e *softwares* aplicativos. É neste último nível de complexidade que se encontra fundamentado este estudo.

Na automação de um processo produtivo, é necessário empregar dispositivos mecânicos, elétricos e eletrônicos que desempenhem funções equivalentes às

humanas nas atividades de supervisão e controle, tais como coleta e análise de dados e correção de rumos. Para o atributo dos sentidos humanos, foram desenvolvidos os sensores ou instrumentos de medição, que medem e informam os dados sobre o andamento do processo. Para as funções executadas pelo cérebro humano, foram criados dispositivos denominados controladores, que recebem e processam as informações fornecidas pelos sensores, calculando as medidas a adotar e emitindo instruções para os atuadores. Esses são os dispositivos que executam as ações que seriam realizadas pelos membros humanos para corrigir variações detectadas pelos outros dispositivos ou alterar as respostas do processo. Estes dispositivos utilizados nos sistemas de controle serão detalhados a seguir.

A FIG. 5, para Morais e Castrucci (2007), representa a pirâmide da automação, a qual estabelece todos os níveis de um sistema de automação facilitando seu entendimento.



FIGURA 5: Pirâmide da Automação

Fonte: Morais e Castrucci (2007).

Iniciando pela base da pirâmide tem-se:

- ✓ 1º Nível - Este é o nível das máquinas, sensores, atuadores, dispositivos e componentes de chão de fábrica.

- ✓ 2º Nível – Este nível é composto pelos controladores lógicos e hardwares das interfaces homem máquina (IHM) que podem concentrar informações do 1º nível.
- ✓ 3º Nível – Responsável por proporcionar o controle do processo produtivo. Constituído de bancos de dados com informações de índices de qualidade e produção, relatórios e estatísticas de processo, também é responsável por armazenar os algoritmos de operação e controle.
- ✓ 4º Nível – Responsável pela realização de todo o planejamento e controle da produção e controle da logística da empresa.
- ✓ 5º Nível – Responsável pela administração dos recursos da empresa, neste nível encontram-se os softwares de gestão e de auxílio às tomadas de decisão.

### 3.4.1 Controladores

Segundo Moraes e Castrucci (2007), o controlador é um dispositivo que monitora e pode alterar as variáveis de saída de um sistema dinâmico por meio do ajuste das variáveis de entrada do sistema. Por essa razão, as variáveis de saída recebem o nome de controladas e as variáveis de entrada são chamadas de manipuladas. Podem ser variáveis, seja de entrada ou de saída, temperatura, pressão, nível, vazão, densidade, tempo, velocidade, potência, tensão (elétrica), corrente, frequência, estado (ligado ou desligado), peso, dimensão e posição.

Em intervalos periódicos de tempo (*scan time*), realiza uma varredura das entradas, lendo os sinais provenientes do campo, e os processa, comparando-os com os valores de referência predeterminados, após esta análise envia conforme a necessidade sinais aos instrumentos de controle por meio das saídas de controle. Os controladores podem realizar operações de conversão de sinais analógicos em digitais ou vice-versa e também comunicar-se com a interface homem-máquina, responsável pela interação do sistema com o operador.

### 3.4.1.1 Controladores Programáveis

Segundo Morais e Castrucci (2007), no fim da década de 1960, os circuitos integrados permitiram o desenvolvimento de minicomputadores que foram logo utilizados para controle *on-line* de processos industriais. Na década de 1970, os controladores passaram a ter microprocessadores e assim foram denominados Controladores Programáveis (CLPs). Na década de 1980, houve aperfeiçoamento das funções de comunicação dos CLPs, sendo então utilizados em rede.

O CLP é o tipo de controlador de maior aplicação na indústria. Possui elevada capacidade de processamento. Funciona em tempo real, é projetado para controlar múltiplas entradas e saídas e também para funcionar em ambientes hostis, pois suporta grandes variações de temperatura e tem imunidade a ruídos elétricos e resistência à vibração e impacto.

Ainda segundo Morais e Castrucci (2007), os programas são, em geral, construídos em uma aplicação específica em um microcomputador e depois carregados no CLP por cabo ou via rede, sendo armazenados em memórias não voláteis. O equipamento é fornecido com um *software* de programação que possibilita ao usuário desenvolver aplicativos voltados às suas necessidades específicas. Inicialmente, a linguagem de programação utilizada era proprietária, desenvolvida de forma isolada por cada fabricante, e não permitia interação entre dispositivos de fabricantes diferentes. Porém, a partir de 1993, a norma IEC 1131 (*International Electrotechnical Commission*) estabeleceu padrões para a linguagem que passaram a ser adotados internacionalmente.

Atualmente, as principais características dos Controladores Programáveis conforme Ogata (2003) são:

- Programação em linguagem de alto nível, caracterizando um sistema bastante amigável com relação ao operador;
- Simplificação nos painéis elétricos, ou seja, diminuição dos cabos de comando, reduzindo custo de implantação e facilitando a manutenção;
- As alterações podem ser realizadas através do programa aplicativo, exigindo pouca alteração da fiação de comando;

- Os controladores podem realizar uma grande variedade de tarefas de controle através de funções matemáticas;
- A comunicação em rede permite que controladores e computadores façam a coleta e troca de dados entre os níveis do sistema de automação;

Ogata (2003), diz que a arquitetura de um CLP é composta basicamente de:

- Fonte de alimentação
- Unidade Central de Processamento – *Central Processing Unit* (CPU)
- Memórias do tipo fixa ou volátil
- Dispositivos de entrada e saída (digitais ou analógicas)
- Terminal de programação



FIGURA 6 – Modelo CLP

Fonte: Catálogo Siemens (2010)

### 3.4.1.2 Fonte de Alimentação

A maioria dos CLPs são alimentados em tensão contínua, por este motivo se faz necessário converter sinais de corrente alternada em sinais de tensão contínua. As fontes de alimentação além de fornecer energia para as unidades de processamento, também são utilizadas para fornecer o potencial elétrico necessário para a energização dos instrumentos de campo como, transmissores e atuadores e ainda proporcionar a atuação das entradas e saídas digitais as quais recebem e

enviam sinais discretos a instrumentos de campo como válvulas *on/off*, termostatos, pressostatos dentre outros. (OGATA, 2003).

### 3.4.1.3 Unidade Central de Processamento - *Central Processing Unit* - (CPU)

Para Moraes e Castrucci (2007), a CPU é a parte responsável pelo processamento, ou seja, a execução do programa inserido anteriormente, responsável por processar os dados adquiridos pelas entradas e saídas e atualização das memórias de dados e da memória de processamento.

A memória EPROM, (*Erasable Programmable Read-only Memory*), não é uma memória do tipo volátil que se perde com a desenergização do sistema, portanto ela armazena o programa monitor, ou seja, o software aplicativo com todas as linhas de programação, telas de visualização, algoritmos de controle, ou seja, armazena o programa elaborado pelo fabricante que faz o *start-up* do sistema de automação.

Esta memória é a responsável por gerenciar a sequência de operações e cálculos para execução dos controles de variáveis. Este tipo de memória não é acessível ao usuário do controlador, pois são funções específicas de engenharia de controle e automação.

A memória do usuário armazena o programa aplicativo do usuário. A CPU processa o programa contido e atualiza a memória de dados internos e a memória de imagem.

Esta memória possui dois estados:

- *Run*: em operação com varredura cíclica
- *Stop*: parado, quando se carrega o programa aplicativo.

A memória de dados é a responsável por armazenar os dados referentes ao processamento do programa do usuário, isto é, uma tabela de valores manipuláveis onde são escritos os dados pelo operador a controlador faz a leitura e executa as ações tomando como referencia estas informações e escreve nesta mesma tabela a posição da variável de controle para que o operador possa ter sua visualização. Esta é uma memória do tipo volátil. (MORAIS e CASTRUCCI, 2007).

#### **3.4.1.4 Módulos de Saída**

Para Morais e Castrucci (2007), os módulos de saída dos controladores são acionados mais usualmente por três métodos:

- Saída à relé
- Saída a Transistor
- Saída analógica (por nível de tensão ou corrente)

Os módulos de saída dos controladores lógicos programáveis são utilizados com sinais analógicos por níveis de tensão que podem ser configurados e os mais encontrados estão nas faixas de 0 a 10Vdc, 10 a 20 Vdc e 20 a 30 Vdc, também utiliza-se as saídas analógicas por níveis de corrente elétrica que podem ser configuradas e as mais encontradas estão nas faixas de 0 a 20 mA e 4 a 20 mA.

Os módulos conhecidos como digitais acionados por relés ou transistores, possuem estados que correspondem apenas a 1 ou 0 (ligado ou desligado).

#### **3.4.1.5 Módulos de Entrada**

Os módulos de entrada dos controladores são acionados por sinais de níveis de tensão para os tipos digitais e geralmente são dotadas de opto isoladoras em cada um dos circuitos, ou seja, um diodo emissor de luz é que sensibiliza o componente de base. Os módulos de entrada também podem ser analógicos, por sinais em níveis de tensão que podem ser configurados e os mais encontrados estão nas faixas de 0 a 10 Vdc, 10 a 20 Vdc e 20 a 30 Vdc, também utiliza-se as saídas analógicas por níveis de corrente elétrica que podem ser configuradas e as mais encontradas estão nas faixas de 0 a 20 mA e 4 a 20 mA. (MORAIS e CASTRUCCI, 2007).

#### **3.4.1.6 Terminal de Programação**

Trata-se de um periférico que serve de meio de comunicação entre o usuário e o controlador, nas fases de implementação e modificações do *software* aplicativo, podendo ser um computador ou um dispositivo portátil, permitindo alterações *on-line*, ou seja, o programa continua sendo executado durante as alterações, diagnóstico de falhas, e monitoramento do aplicativo permanecem ativos. (OGATA, 2003).

#### **3.4.2 Especificação de CLPs**

Para Morais e Castrucci (2007), alguns fatores devem ser considerados durante a especificação de um Controlador Lógico Programável, dentre eles pode-se citar:

- A existência de dispositivos de proteção de hardware;
- Compatibilidade entre as instalações elétricas e os pontos de entrada e saída;
- Tipo de endereçamento a ser utilizado;
- Tipos de sinais aceitáveis;
- Compatibilidade com os instrumentos de controle;
- Memória requerida para o aplicativo;
- Número de pontos a serem controlados;
- Compatibilidade com redes de comunicação já existentes.

#### **3.4.3 Sistemas Supervisórios**

Os sistemas supervisórios são sistemas de monitoração e operação de plantas que propiciam a coleta e o gerenciamento de dados ou variáveis de processo, podendo gerar bancos de dados para fins de registros históricos com a geração de relatórios diversos ou auxiliar no gerenciamento da planta. São geralmente utilizados em plantas com um número considerável de pontos de controle, ou seja, o número de entradas e saídas que possui o sistema de controle.

Estes sistemas exigem um processamento rápido das operações na correção de variáveis, indicações de alarme e falhas do sistema.

Atualmente existem dois grandes grupos de sistemas supervisórios que são as IHM's (Interface Homem Máquina) e os sistemas SCADA (Supervisão Controle e Aquisição de Dados). (OGATA, 2003).

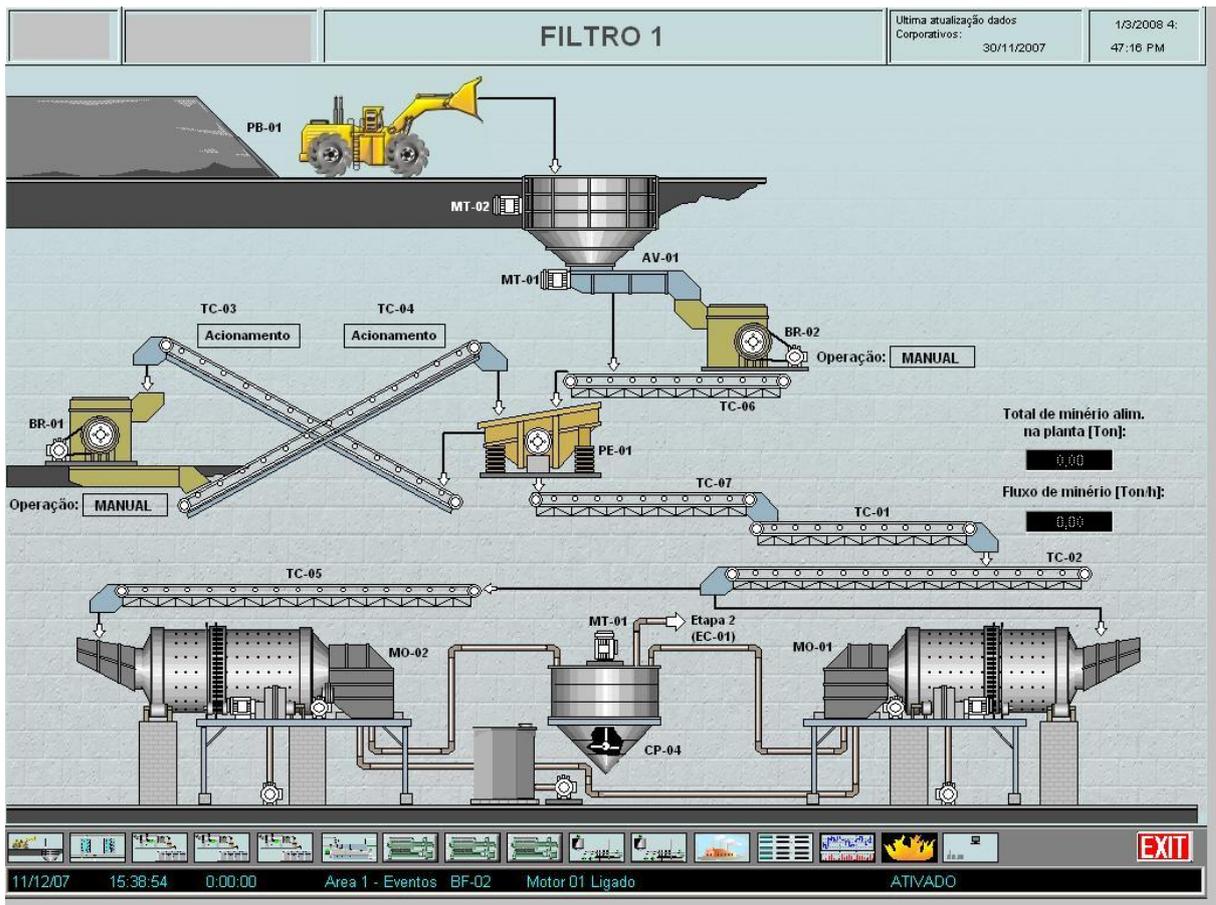


FIGURA 7: Tela sistema supervisório

Fonte: Dados da empresa Mineral

### 3.4.3.1 Interface Homem Máquina – IHM

Ogata (2003), descreve que há algumas décadas os primeiros sistemas supervisórios utilizados pelo homem para integrar-se aos sistemas de controle automático foram os painéis sinópticos que eram compostos por sinaleiros possuindo apenas status de ligado e desligado e botoeiras para possíveis intervenções, o que demandava uma grande quantidade de cabos para sinalização,

um número elevado de mão-de-obra na sua implantação, grande espaço disponível para sua instalação, além de limitar o nível de informação dos operadores.

Com a evolução dos sistemas surgiram as IHM'S digitais com *software* proprietário para sua programação, com telas de cristal líquido, conjunto de teclas para operação e navegação ou ainda telas *touch screen* que permitem visualizar em tempo real as variáveis de processo.

Por possuírem construção mais robusta, são utilizadas a nível de chão de fabrica, ou seja, ambientes agressivos caracterizados por condições severas de operação.

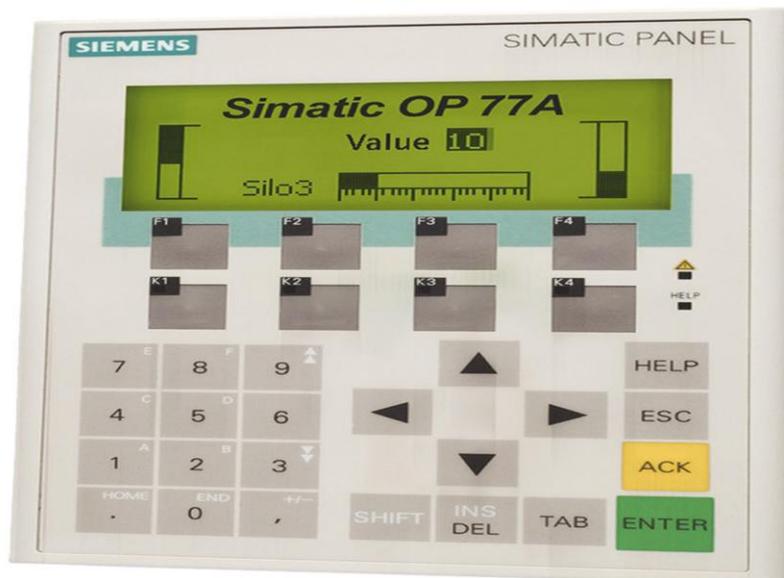


FIGURA 8 – Modelo IHM

Fonte: Catálogo Siemens (2010)

### 3.4.3.2 Supervisão Controle e Aquisição de Dados – SCADA

Segundo Moraes e Castrucci (2007), os sistemas SCADA (Supervisão Controle e Aquisição de Dados), são sistemas utilizados para monitorar e supervisionar variáveis e componentes do sistema de controle possuem telas animadas que representam a planta por áreas, o que facilita sua rápida interpretação assim como a atuação por parte da equipe de processo e manutenção permitindo

gerar gráficos de tendências baseados no histórico das variáveis de processo, maior desempenho da produção por meio da rapidez de leitura e intervenção. O sistema permite a geração de uma grande quantidade de dados referentes ao processo, para que o sistema seja conciso e não sobrecarregue e prejudique a velocidade e integridade dos dados trafegados na rede de comunicação, é importante escolher apenas informações essenciais. Outro fato importante é salientar a importância destes dados para os sistemas gerenciais.

#### **3.4.4 Software Aplicativo**

O desenvolvimento de *software* para automação industrial, diz Ogata (2003), foi impulsionado pela adoção dos protocolos digitais, tanto sob a forma de *software* embarcado quanto de ferramentas de *software* para supervisão, controle, calibração e configuração remota de instrumentos de campo. Com a evolução surgiu a necessidade de criação de programas para tratamento da grande quantidade de dados transmitidos do campo para as salas de controle, bem como para geração de informações úteis para outros setores da empresa.

#### **3.4.5 Malha de Controle**

Para Moraes e Castrucci (2007), malha de controle compreende o circuito composto pelos sensores, controladores e atuadores, que realiza ações básicas necessárias para controlar automaticamente um processo produtivo. Um processo pode ser composto por apenas uma ou por milhares de malhas de controle que, em conjunto, executam a automação total de uma máquina ou uma unidade produtiva.

Um dos conceitos na teoria de controle é o de malha fechada com realimentação, na qual a variável de saída é realimentada ao controlador. Neste conceito há a comparação do valor da variável de saída com o valor de referência (*set point*), em função da diferença entre estes o sistema aumenta ou diminui o valor da entrada, até que a saída alcance o valor definido. Conforme representado na FIG. 09.

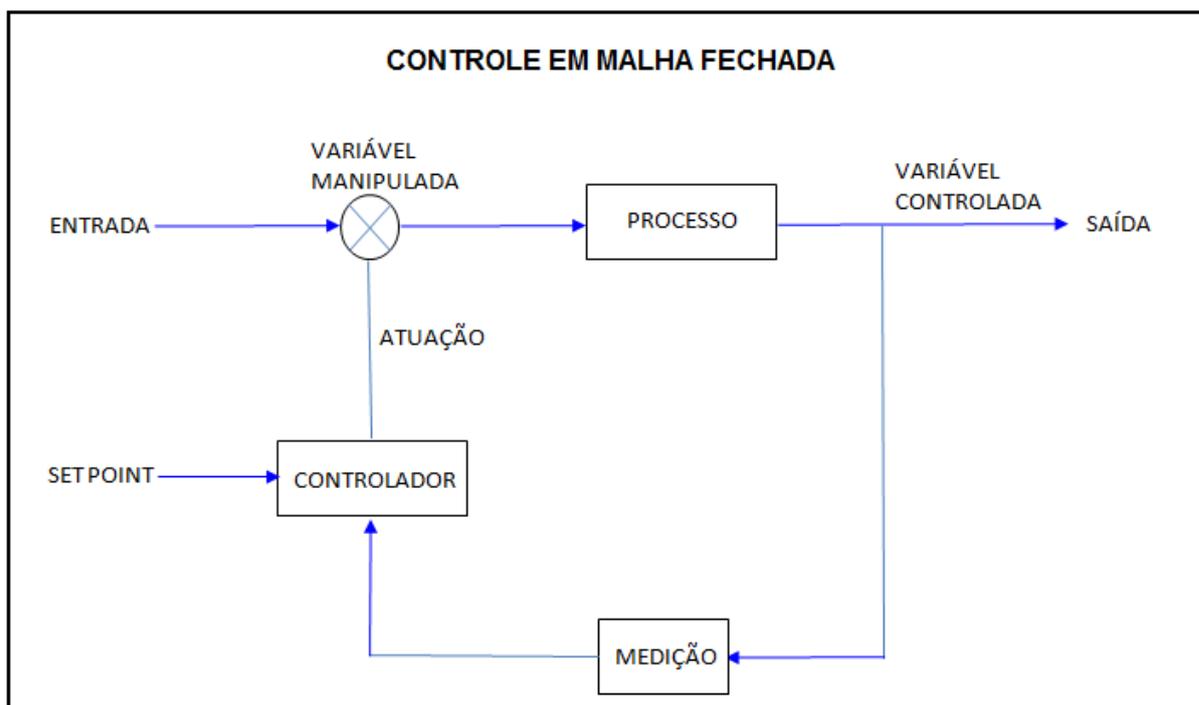


FIGURA 9 – Diagrama de Controle em Malha Fechada

Fonte: Ogata (2003)

Ainda conforme Moraes e Castrucci (2007), o conceito de malha aberta é definido por não possuir realimentação, este tipo de controle é adequado aos processos em que seria muito longo o período de tempo necessário para as variáveis de saída apresentarem mudanças em função da realimentação. Para a eficiência deste tipo de controle é fundamental que o comportamento do processo controlado seja perfeitamente conhecido para que as respostas sejam adequadamente antecipadas, o inconveniente da malha aberta é que na ocorrência de variações imprevistas o sistema fica impossibilitado de corrigir sua atuação.

### 3.4.6 Redes de Comunicação

Para Albuquerque (2009), as redes de comunicação desenvolvidas para os sistemas de automação, possuem inúmeras vantagens sobre redes de comunicação convencionais, por sua facilidade de implantação e manutenção sua flexibilidade de configuração e diagnóstico dos ativos de rede, além de possuírem protocolos abertos o que facilita a integração de equipamentos de diversos fabricantes e ainda grande capacidade de expansão. As redes de comunicação são as responsáveis

pelo elo entre as camadas de um sistema de automação, por este motivo são itens que merecem cuidados com sua especificação e implantação. A evolução tecnológica e as mudanças nas demandas do mercado levaram ao desenvolvimento de sistemas de controle conhecidos como Barramento de Campo Distribuído, que tem como principais características a inteligência distribuída com o uso de micro-controladores ao longo do barramento, a redução de custo de implantação, e a utilização de unidades de conexão como *gateways* e *repeaters*. Atualmente os sistemas mais utilizados são os chamados Sistemas de Controle Distribuído, que tem como principais características a implementação mais completa para sistemas abertos, flexibilidade completa para topologias de rede e ferramentas de desenvolvimento mais amigáveis.

Para a especificação de uma rede de comunicação industrial é necessário observar alguns parâmetros como:

- Taxa de transmissão: Quantidade de dados trafegados na rede em um determinado período de tempo;
- Topologia Física da Rede: Disposição construtiva da rede na qual os dispositivos são encontrados. As mais utilizadas são a construção em anel, em estrela e em barramento;
- Meio Físico de Transmissão: Está relacionado ao cabeamento utilizado para a conexão dos dispositivos de rede, podem ser utilizados cabos coaxiais, par trançado e fibra óptica;
- Tecnologia de Comunicação: Pode ser definida como a forma de comunicação entre os nós da rede, são tipicamente utilizadas as tecnologias mestre/escravo e produtor/consumidor;
- Algoritmo de Acesso ao Barramento: Os nós de rede utilizam um algoritmo para acessar ou disponibilizar informações na rede, pode ser do tipo varredura ou cíclico. (MORAIS E CASTRUCCI, 2007).

### **3.4.7 Capacitação Técnica das Equipes de Projeto Operação e Manutenção**

Segundo Moraes e Castrucci (2007), este é um ponto importante para a gestão da automação, tanto para o cliente quanto para a organização de projeto e engenharia. Este é um grande desafio enfrentado pelas empresas contemporâneas, principalmente no Brasil, pois com a rápida evolução das necessidades de inovação de produtos também tem-se uma grande evolução de tecnologias. A disseminação da informação e conhecimento para garantir a capacitação dos recursos humanos deve acompanhar o mesmo ritmo, pois, os funcionários que não acompanharem ficarão inabilitados ao exercício de suas funções.

A transferência do conhecimento dentro da área de automação industrial para o processo só é efetivo quando os profissionais das áreas de produção conseguem assimilar esse conhecimento, se este fato não ocorre o sistema pode não gerar os resultados esperados. (OGATA, 2003)

### **3.4.8 Implementação de Projetos de Automação**

Moraes e Castrucci (2007), dizem que na implementação de um sistema de automação o primeiro objetivo da equipe de projeto deve ser a eficiente e segura coleta de informações do processo o qual se deseja automatizar, deve-se utilizar as diversas formas de representação gráfica, de sistemas dinâmicos e eventos, mostrando a relação funcional entre os diversos componentes do sistema, os diagramas utilizados para representação de processos são:

- Diagramas de blocos: Neste é possível visualizar as várias operações e sequência de processamento em forma de blocos retangulares interligados por setas indicando a sequência de operações.
- Diagramas de Fluxo de Processo: Estes devem mostrar as operações do processo do início ao fim, devem incluir também todas as tubulações e equipamentos envolvidos. Eles são subdivididos em Diagramas de Fluxo de Processo propriamente dito e Fluxograma Índice de Processo. Estes últimos devem conter os balanços de massa e energia da planta, deve mostrar

pontos de origem e destino de matérias-primas, subprodutos e produtos, base de cálculo utilizada e projeto da planta.

De posse destas informações já é possível estabelecer a lista de instrumentos e a lista de entradas e saídas, especificar o tipo de operação automática, montar os diagramas de controle lógico, diagramas de controle dinâmico e desenvolvimento do *software* de controle. (OGATA, 2003).

### 3.4.9 Implantação do Projeto de Automação

A automação de processos produtivos requer uma extensa cadeia de atividades iniciando desde a pesquisa científica até o *start-up* da unidade produtiva. Estas atividades relativas à automação demandam mão-de-obra de elevada qualificação dentre estas podemos destacar: (MORAIS E CASTRUCCI, 2007).

- ✓ Concepção e projeto. Esta etapa gera o maior conteúdo de trabalho criativo e requer a participação de equipes multidisciplinares constituídas de pessoal especializado.
- ✓ Elaboração de normas e protocolos de automação.
- ✓ Elaboração de estratégias de controle. Requer ação conjunta da engenharia de controle e engenharia de processo a qual conhece as variáveis relevantes e suas relações causa e efeito.
- ✓ Especificação e dimensionamento dos sistemas de instrumentação.
- ✓ Desenvolvimento do *software* aplicativo.
- ✓ Projeto das redes de comunicação de dados entre os instrumentos de campo e os hardwares de controle e supervisão, definição de protocolos e meios de comunicação.
- ✓ Implantação e operação do sistema. Envolve seleção, aquisição, instalação, ajuste, configuração e teste dos instrumentos, dispositivos, equipamentos e *software* da plataforma de automação, bem como da rede de comunicação de campo, e a sua integração.

## **4. METODOLOGIA**

Este trabalho trata-se de uma pesquisa com enfoque voltado ao levantamento de informações que possam permitir mapear os impactos inerentes à automação de parte do processo de mineração e beneficiamento do minério de grafite natural cristalino. Estudo de caso realizado em uma empresa do segmento de mineração situada na região centro oeste do estado de Minas Gerais, Brasil. Empresa presente no mercado a mais de setenta anos com mais de oitocentos colaboradores e que busca novas tecnologias com o intuito de otimizar o seu processo produtivo.

Para que se possa mapear os impactos da proposta de automação será essencial a participação da empresa envolvida no sentido de oferecer os subsídios necessários, como abertura de seus balanços de massa e energia, dados como custo de produção, dentre outros, para o desenvolvimento do trabalho.

O trabalho será fundamentado em análise documental do processo de beneficiamento do minério, balanços de massa, balanços de energia, folhas de custos de produção, capacitação de pessoal e atendimento às solicitações de clientes, que serão algumas das informações necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

O objetivo é propor, analisadas as viabilidades técnicas, a automação do circuito primário de concentração básica do processo de beneficiamento de grafite, melhorando a eficiência e elevando a recuperação mineral, etapa esta que consiste de processos de moagem e flotação em células e colunas do minério lavrado.

### **4.1 Classificação da Pesquisa**

Para definir de forma científica, pesquisa significa utilizar um conjunto de procedimentos para buscar respostas para uma questão apresentada. Objetivada e sistematizada por utilizar um método específico para obter determinado conhecimento, a pesquisa científica atém-se apenas à realidade empírica, ou seja, ao que existe e que está ao alcance da experiência. (RUDIO, 1999).

A pesquisa realizada é do tipo experimental utilizada no nível explicativo. Para Acevedo e Nohara (2009), a pesquisa experimental visa explicar as relações de causa e efeito entre conceitos envolvidos no fenômeno objeto de estudo. Para

estabelecer esta relação o pesquisador necessita manipular e controlar as variáveis independentes, ou seja, aquelas que causam ou explicam a variável principal e verificar os resultados.

Quanto aos procedimentos adotados nesta pesquisa para levantamento de dados leva a mesma a classificação de pesquisa documental que segundo Gil (2002), utiliza de materiais que ainda não receberam tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetos da pesquisa. Gil (2002), afirma que a pesquisa documental apresenta uma série de vantagens sobre as demais formas de pesquisa como:

- Basear-se em documentos que constituem fonte rica e estável de dados;
- Baixo custo de realização;
- Não exige contato com os sujeitos que podem ser influenciados em suas respostas dependendo das circunstâncias.

## **4.2 Coleta de Dados**

O objetivo da coleta de dados é avaliar os impactos da automação dentro do processo de beneficiamento do minério de grafite, confrontando dados de produção do sistema atual perante os testes realizados em planta piloto na etapa de concentração básica do mineral. O estudo terá como referência os dados de produção, perante a análise de documentos da empresa obtidos no primeiro semestre de 2010 confrontados com os resultados obtidos nos testes piloto realizados e documentados neste mesmo período, identificando informações importantes que podem impactar diretamente no negócio da empresa.

## **4.3 Caracterização do Objeto**

O presente estudo foi realizado em uma mineradora de Grafite Natural Cristalino, fundada em 1939, e que concentra suas atividades na mineração e no beneficiamento do minério de grafite natural cristalino de alta qualidade. Em suas três plantas, todas localizadas próximas a importantes jazidas, no estado de Minas Gerais, Brasil, a empresa beneficia o minério, gerando cerca de 70.000 toneladas

anuais de grafite de diferentes características. Todos os processos, desde a prospecção do minério até a entrega do produto final, são certificados ISO 9001:2008.

O processo de beneficiamento do mineral grafita, tem seu início na fase de pesquisa e de avaliação, quando são realizados estudos de dimensionamento e caracterização das reservas de minério, estendendo-se esses estudos também à fase do processo de lavra conforme FIG. 11 e FIG. 12. A seguir pode-se visualizar o fluxograma do processo de mineração mediante a FIG. 10. Outro fator preponderante é a preocupação na preservação do meio ambiente, cumprindo rigorosamente a legislação ambiental brasileira.

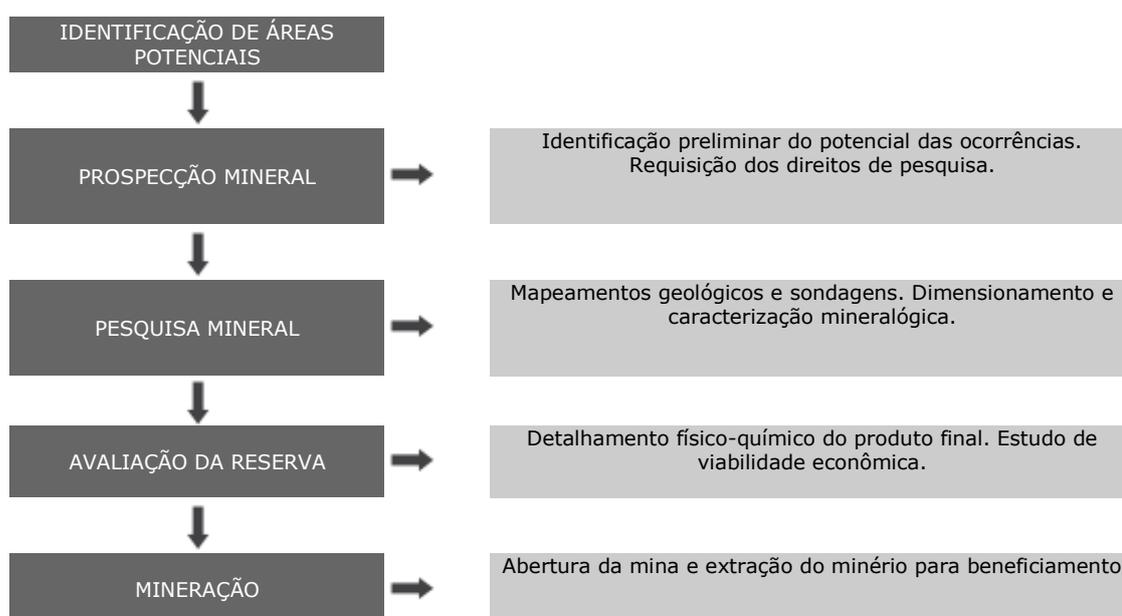


FIGURA 10- Fluxograma do Processo de Mineração

Fonte: Dados da empresa



FIGURA 11- Mina de Grafita

Fonte: Dados da empresa



FIGURA 12- Mina de Grafita

Fonte: Dados da empresa

Após a etapa de mineração o produto é transportado para o pátio de minério onde passa pela etapa de homogeneização. A deposição desse minério no pátio de alimentação é sistematizada para formar pilhas de alimentação em camadas. O objetivo é reduzir a variabilidade natural do minério.

Na etapa seguinte chamada de Concentração Mecânica, onde o minério é submetido a sucessivas moagens e processo de separação mecânica das impurezas presentes no grafite. A concentração mecânica objetiva a máxima recuperação do grafite presente no minério, preservando suas características físicas. Encontra-se nesta etapa do processo o foco do nosso estudo, onde será analisada a possibilidade de aplicação de ferramentas e instrumentos de automação que busquem a sua otimização, reduzindo assim as perdas no processo.

A próxima etapa é chamada de concentração química, a qual consiste em submeter o minério previamente concentrado mecanicamente, pelos processos sucessivos de moagem e flotação, a um tratamento químico capaz de remover as impurezas remanescentes de outras etapas obtendo-se um concentrado com até 99,8% de carbono. Importante salientar que a empresa possui uma estação de tratamento capaz de neutralizar todo o resíduo desta etapa de forma a não poluir o meio ambiente.

Após o tratamento químico o produto é submetido à lavagem para controle de pH e redução do percentual de umidade por meio da utilização de filtros tipo prensa, seguindo para a etapa de secagem que se dá por meio de secadores rotativos. Algumas aplicações por exigirem produtos com granulometrias específicas exigem que o produto seja submetido a novos processos de moagem onde são utilizados moinhos tipo martelo e tipo jatos.

Finalmente o produto é embalado em sacos valvulados ou em *big-bags* acomodados sobre pallets.

A empresa objeto de estudo com seu portfólio de produtos, é responsável por suprir grande parte da demanda de grafite natural cristalino no mercado nacional e ainda fornece seus produtos para vários outros países atendendo as mais diversas aplicações como podemos ver na TAB.1 e TAB. 2.

TABELA 1 – Descrição dos produtos fabricados pela empresa

GRAFMAX	Grafites de alta pureza e características físicas modificadas de acordo com a aplicação. Grafites de alta performance.
SUPERGRAF	Produtos de grafite granulados de alta pureza, livres de Enxofre, Fósforo e Nitrogênio
GRAFLAKE	Produtos de grafite tipo floco em diversos teores, granulometria média maior que 150 microns.
GRAFINE	Produtos de grafite tipo floco fino em diversos teores, granulometria média inferior a 150 microns.
MICROGRAF	Produtos de grafite micronizado, em diversos teores com tamanho médio de partícula entre 4 e 75 microns.
GRAFEXP	Grafites expansíveis de alta pureza com diversos tamanhos de partículas e índices de expansibilidade
HIDROGRAF	Dispersões de grafite em água.
OILGRAF	Dispersões de grafite em óleo
GRAFSOLO	Formulações lubrificantes específicas contendo grafite

Fonte: Dados da empresa Mineral (2010).

TABELA 2 – Campos de aplicação dos produtos da empresa

PRODUTO	LINHA DE APLICAÇÃO	DISCRIMINAÇÃO
GRAFMAX	Energia portátil	Baterias Alcalinas Baterias de Íon de Lítio Células Combustíveis Baterias de Zinco Carbono
SUPERGRAF	Metalurgia	Carburantes para Ferros Nodulares Carburantes para Ferros Cinzentos Aditivos de Carbono para Aços Especiais Aditivos de Carbono
GRAFLAKE GRAFINE	Refratários	Monolíticos Magnesita Carbono Alumina Carbono Cadinhos Peças de Sistemas de Lingotamento Contínuo
GRAFINE MICROGRAF GRAFEXP	Peças e componentes	Escovas de Carbono Pastilhas e Lonas de Freios Metalurgia do Pó Grafite Flexível Lápis Metais Sinterizados
HIDROGRAF OILGRAF MICROGRAF	Lubrificantes	Forjarias Conformação de Metal a Quente Pós para Lubrificantes
MICROGRAF GRAFEXP	Polímeros	Plásticos Retardantes de Chamas PTFE Borrachas
GRAFSOLO	Agricultura	Lubrificantes de Sementes

Fonte: Dados da empresa Mineral (2010).

## 5. ANALISE E RESULTADOS

### 5.1 Mapeamento do Processo

A FIG. 13 representa, a fase do processo de concentração básica do minério de grafite natural cristalino, onde o minério blendado no pátio é alimentado em uma moega e levado por meio de uma sequência de transportadores tipo correia até a caixa empolpadora, onde é adicionado água ao minério. A adição de água possui regulagem manual feita pelo operador a uma vazão pré-estabelecida para que seja possível a realização da etapa seguinte. Após empolpado o minério é levado por gravidade por meio de tubulações até ao estagio de classificação a úmido por meio de telas metálicas, onde é possível separar as partículas maiores das menores e direcioná-las. Este equipamento de classificação a úmido é conhecido como Trommel conforme FIG. 13. O *undersize*, ou seja, o passante nas telas destes dois equipamentos é direcionado por gravidade por meio de tubulações a dois moinhos tipo barras. O *oversize*, ou seja, o retido nas telas é novamente empolpado com a adição de água a uma vazão pré-estabelecida com regulagem manual. Esta polpa é direcionada a outros dois moinhos tipo bolas.

A próxima etapa consiste no primeiro estágio de moagem do circuito de beneficiamento do minério de grafite. A moagem do *undersize* dos classificadores é realizada por moinhos tipo barras, denominados moinhos Faço 1 e 2 conforme FIG. 13 e o *oversize* passa ao estagio de moagem realizado por moinhos tipo bolas, moinhos 18 e 23 conforme FIG. 13. Após a etapa de moagem a polpa é transportada por gravidade até o tanque condicionador ou homogeneizador AG41 conforme FIG.13.

Após homogeneizada a polpa é transportada por gravidade até a próxima etapa do processo que consiste no primeiro estágio de flotação, feito em células, representados na FIG. 13 pelas máquinas de flotação denominadas IZ05 E IZ12. Nesta etapa a polpa é alimentada pela caixa de entrada localizada em uma das extremidades da máquina de flotação. Na caixa de entrada ou caixa de alimentação, são adicionadas substâncias coletoras e tensoativas, também nesta caixa adiciona-se água com vazão pré-estabelecida controlada manualmente determinando a porcentagem de sólidos condicionando a polpa ao melhor estado para o processo de flotação. Na célula de flotação acontece a injeção de ar comprimido em pequena

pressão e com vazão controlada manualmente pelo operador conforme os resultados da flotação. Esta injeção de ar é a responsável pela formação de pequenas bolhas pelo rotor da célula. As bolhas são as responsáveis pela condução em fluxo ascendente do minério até a superfície da polpa. O concentrado flotado, forma sobre a polpa uma camada de espuma que tem o seu nível controlado de forma manual, esta espuma (concentrado), é retirada mediante a utilização de um raspador e direcionada para a calha de concentrado instalada em toda a extensão de uma das laterais da máquina de flotação. O controle do nível da camada de espuma é importante para que permita transbordar apenas o concentrado e também não permitir retornar material flotado (concentrado) para a polpa.

O processo tem seguimento com novas etapas de moagem, flotação em células e colunas, tratamento químico, lavagem, secagem, moagens especiais e embalagem, não sendo estas etapas foco do presente trabalho.

Mediante a utilização de balanços de massas foi possível detectar deficiências no processo produtivo. Os resultados apresentados apontaram a ineficiência do processo de moagem, mais especificamente uma sub-moagem do minério, o que propicia uma baixa desagregação entre as partículas do mineral, ou seja, uma grande quantidade do mineral era descartado juntamente com o rejeito nas etapas seguintes do processo por não apresentar condições ideais para sua recuperação. Os resultados são apresentados dos balanços de massas do processo atual são apresentados na TAB. 03 e GRAF. 01.

A análise conjunta dos resultados insatisfatórios obtidos perante as amostragens do processo atual possibilitou, mediante uma equipe multidisciplinar, o levantamento dos pontos susceptíveis à aplicação de sistemas de controle automático das variáveis. Esta análise direcionou o foco das ações às etapas da concentração básica.

Para que testes pudessem ser realizados de forma a não gerar interferências no processo foi proposta a instalação de uma planta em escala piloto possibilitando simular o processo atual mediante diversas condições.

### FLUXOGRAMA CONCENTRAÇÃO BÁSICA

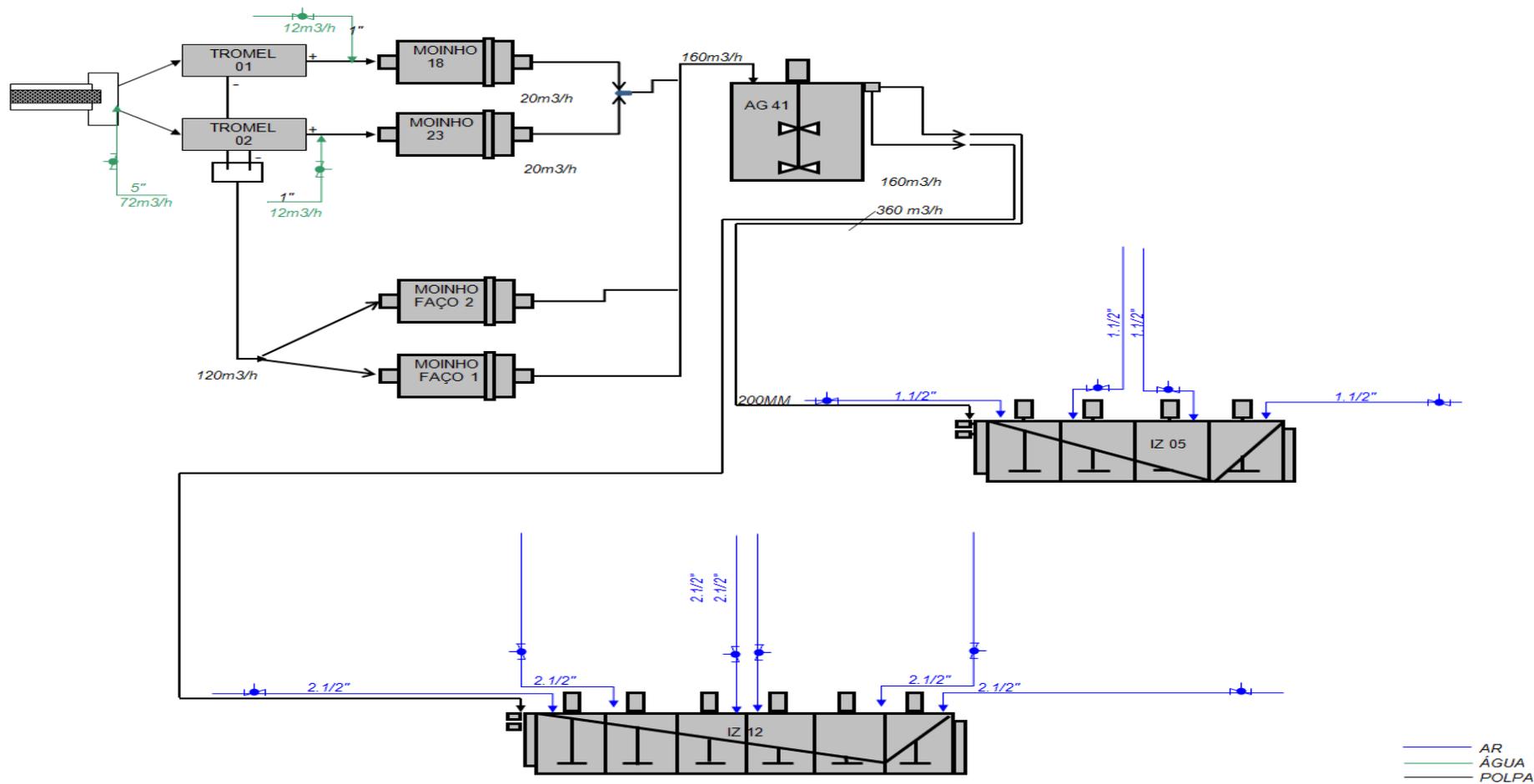


FIGURA 13: Fluxograma atual do processo

Fonte: Dados da empresa

TABELA 3 - Resultados obtidos no processo atual.

Amostragens	Teor (%c)						Recuperação (%)	
	IZ 12			IZ 05			IZ 12	IZ 05
	Alim.	Conc.	Rej.	Alim.	Conc.	Rej.		
1	8,25	40,23	2,90	8,25	48,03	3,05	75,23	80,32
2	7,92	41,03	2,48	7,92	46,74	2,96	76,96	79,91
3	8,44	40,74	2,24	8,44	47,84	2,88	74,54	81,59
4	8,13	42,19	2,88	8,13	45,83	3,38	76,71	81,94
5	8,06	42,06	2,68	8,06	46,92	3,16	76,25	80,62
Média	8,16	41,25	2,64	8,16	46,83	3,09	75,94	80,88
Desvio Padrão	0,20	0,85	0,28	0,20	0,89	0,19	1,02	0,86

Alim = alimentação; Conc = concentrado; Rej. = rejeito

Fonte: Dados da empresa

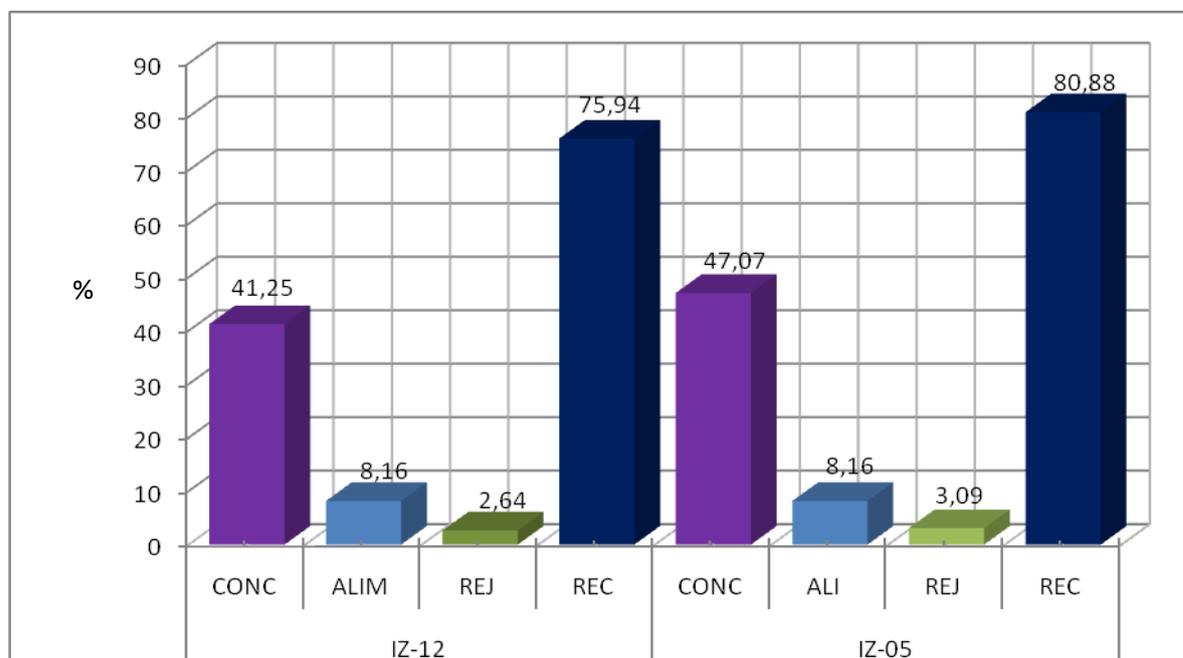


GRAFICO 1 – Resultados do processo atual

Fonte: Dados da empresa

## 5.2 Solução Proposta

Verificou-se que, durante a operação da etapa de concentração básica a alimentação de minério passa por períodos de interferências que geram paradas por motivos diversos. Como descrito anteriormente o minério é empalpado por meio da adição de uma determinada quantidade de água, que é adicionada ao processo na caixa empalpadora de entrada para a etapa de classificação do minério, posteriormente a polpa classificada é transferida para a etapa de moagem. Contudo, notou-se que os operadores muitas vezes não percebiam as variações e paradas do sistema de alimentação de minério, desta forma permitiam a continuar a adição de água ao processo, e por conseqüência reduzir consideravelmente a porcentagem de sólidos nas etapas de classificação e moagem, além de desperdiçar uma grande quantidade de água. A redução de sólidos na etapa de moagem tem como conseqüência a redução da eficiência da moagem, aumentando o contato ou o atrito do corpo moedor dos moinhos com os sólidos presentes. Esta situação traz como resultado uma sobre-moagem do minério o que impossibilita o aproveitamento dos flocos do mineral, produto de maior valor de mercado. A ocorrência inversa, ou seja, uma grande quantidade de sólidos presentes no sistema de moagem reduz o contato do minério com o corpo moedor ocasionando uma sub-moagem, impossibilitando a desagregação de todo o minério prejudicando as etapas seguintes do processo de beneficiamento.

A proposta de solução mediante esta situação consiste em automatizar a adição de água ao processo neste ponto, de forma a absorver as variações do processo e estabilizar a porcentagem de sólidos nas etapas seguintes.

A proposta consiste na implantação de um sistema de controle em malha fechada, utilizando transmissores de densidade para a medição da variável a ser controlada (DIT01, DIT02 e DIT03 conforme FIG.14). Para processamento e controle a proposta consiste em utilizar entradas e saídas analógicas com sinal em corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA instaladas em CLP existente para controle da planta em estudo. Como algoritmo de controle será utilizada a densidade medida da polpa para cálculo dos sólidos presentes. Como instrumento de controle propõe-se a utilização de uma válvula de controle tipo esfera seguitada com atuador

pneumático e posicionador com sinal de entrada em corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA, (FV01, FV02 e FV03 conforme FIG. 14).

Em complemento propõe-se automatizar a adição de água nas células de flotação IZ-05 e IZ-12 conforme FIG. 14, de forma a controlar o percentual de sólidos presentes nas mesmas. O controle será estabelecido em malha fechada, utilizando como instrumento de medição da variável a ser controlada um transmissor de densidade (DIT04 conforme FIG. 14). Para processamento e controle propõe-se utilizar entradas e saídas analógicas com sinal em corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA instaladas no CLP existente para controle da planta em estudo. Como instrumento de controle propõe-se a utilização de uma válvula de controle tipo esfera seguímentada com atuador pneumático e posicionador com sinal de entrada em corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA, (FV04 conforme FIG. 14).

Com base nos testes realizados em escala piloto em que os resultados estão expostos na TAB. 04 e no GRAF. 02, propõe-se a automação do controle de nível e vazão de ar das células de flotação.

O controle de nível nas máquinas de flotação é motivado pela necessidade de se manter estável a camada de espuma, reduzindo as perdas de minério para rejeito e reduzir a contaminação do concentrado. Para tanto, propõe-se a implantação de um sistema de controle em malha fechada com a utilização de sensores de nível tipo ultrasônico com sinal de saída em níveis de corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA instalados em pontos estratégicos das células. Para controle e processamento propõe-se utilizar entradas e saídas analógicas com sinal em corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA instaladas no CLP da planta em estudo. Como instrumento de controle propõe-se a utilização de um atuador com acionamento pneumático, posicionador com sinal de entrada em corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA.

Para a formação de bolhas em quantidade e tamanho ideais faz-se necessário o controle da vazão de ar. A proposta para este controle consiste na instalação de medidores de vazão tipo turbina com sinal de saída em corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA, enviando sinal até entradas analógicas instaladas junto ao CLP de controle e processamento. Serão utilizadas saídas analógicas com sinal em corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA para atuar os instrumentos de controle. Os instrumentos utilizados consistem em válvulas com atuador pneumático e posicionador eletro pneumático com sinal de entrada em corrente elétrica na faixa de 4 a 20 mA.

### FLUXOGRAMA PROPOSTO CONCENTRAÇÃO BÁSICA

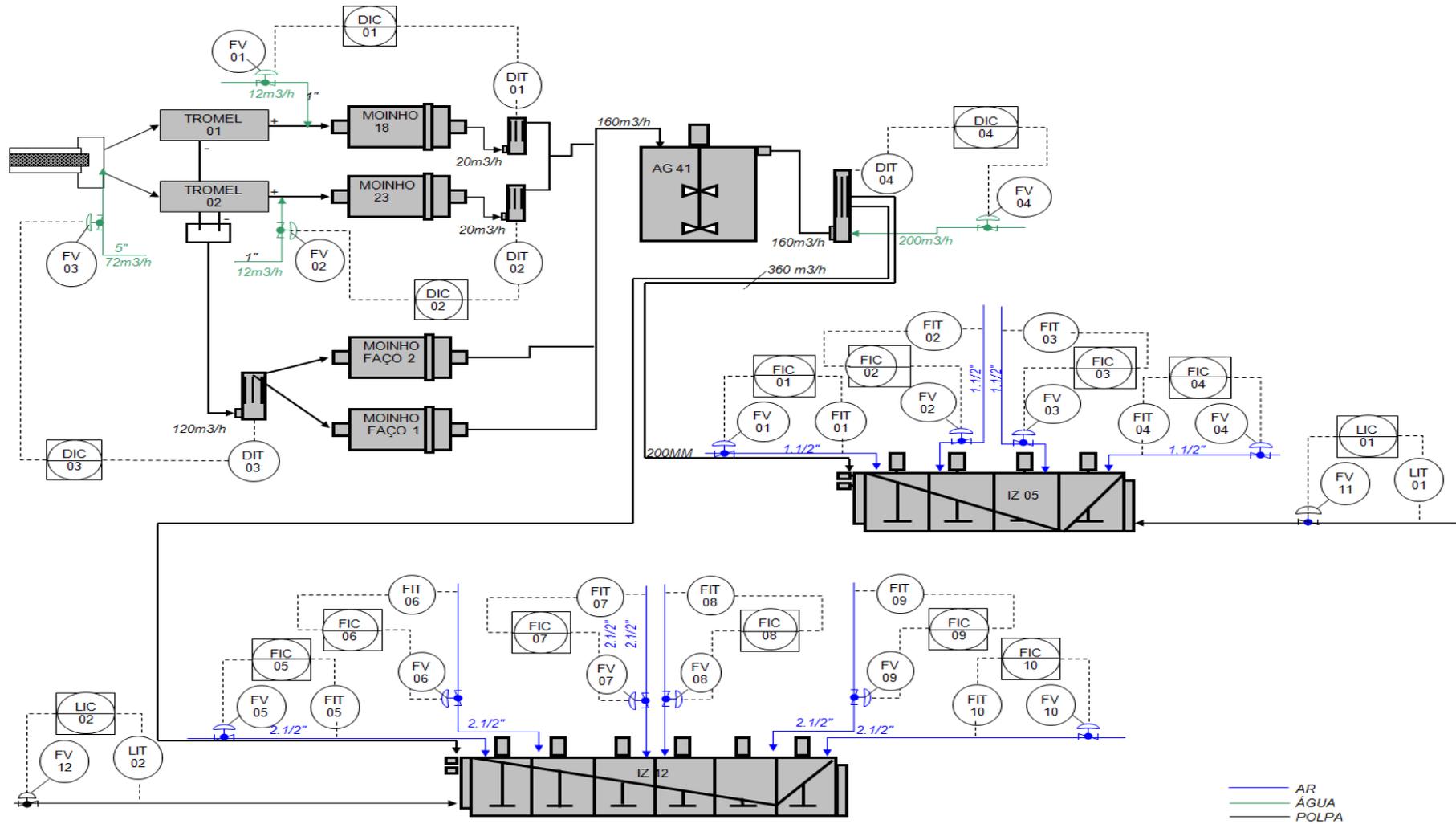


FIGURA 14: Fluxograma projetado para o processo

O uso de simulações por meio de planta piloto em menor escala, montada na unidade produtiva em estudo, é justificado pelo fato de ser possível realizar testes sem interferir no processo. Para fazer a adequação dos limites de cada variável de acordo com os valores pré-estabelecidos pela operação, várias simulações foram realizadas.

TABELA 4 - Resultados obtidos no teste piloto.

Amostragens	Teor (%C)						Recuperação (%)	
	IZ 12			IZ 05			IZ 12	IZ 05
	Alim.	Conc.	Rej.	Alim.	Conc.	Rej.		
1	7,95	42,34	1,87	7,95	47,24	2,35	78,41	84,06
2	8,21	41,17	1,72	8,21	46,86	2,16	78,39	83,82
3	8,19	42,04	1,84	8,19	48,12	1,78	77,95	84,86
4	8,02	42,21	2,03	8,02	46,78	2,84	78,29	84,06
5	8,14	41,97	1,69	8,14	47,52	2,08	7,57	83,54
Média	8,10	41,95	7,83	8,10	47,30	2,24	64,12	84,07
Desvio Padrão	0,11	0,46	0,14	0,11	0,55	0,39	31,61	0,49

Alim = alimentação; Conc = concentrado; Rej. = rejeito

Fonte: Dados da empresa.

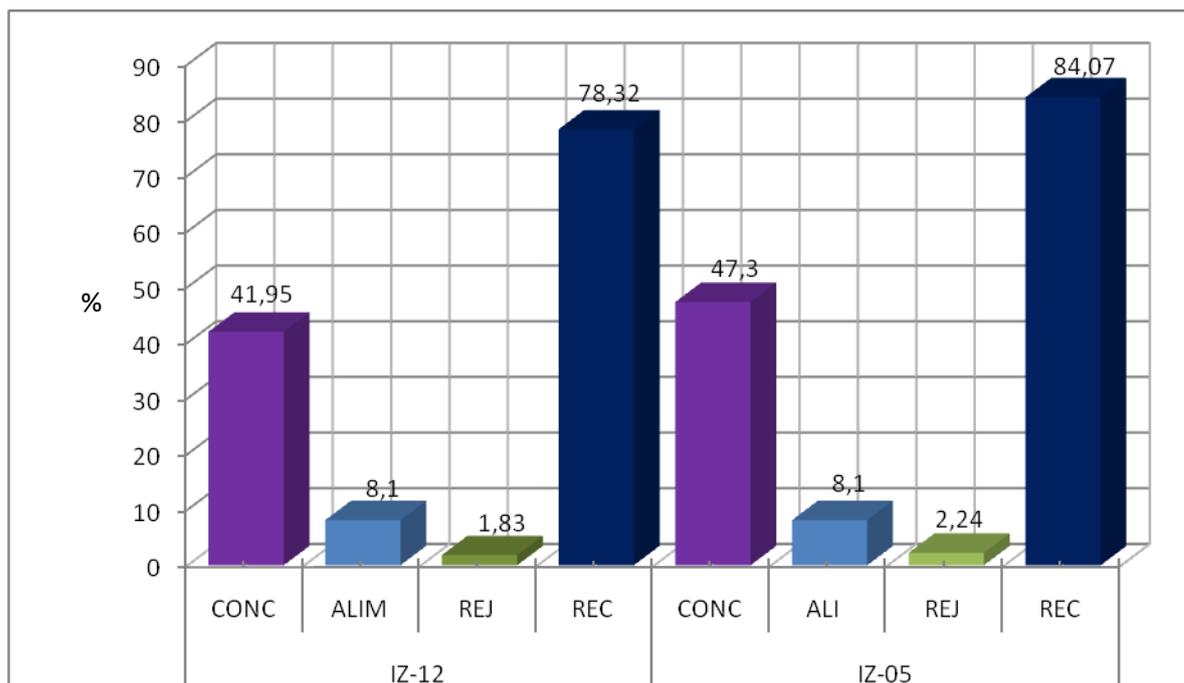


GRAFICO 2 – Resultados dos testes em escala piloto.

Fonte: Dados da empresa Mineral (2010).

O resultado final mostrou-se bastante satisfatório, conforme apresentado na TAB. 3, uma vez que os testes foram executados com clareza e o resultado do processo mediante o controle das variáveis envolvidas está de acordo com o esperado.

Mediante a realização dos testes e comparando-se os resultados do processo atua conforme exposto na TAB. 05 e GRAF. 03 podemos observar um considerável ganho nos índices de recuperação mineral no processo.

TABELA 5 – Comparativo entre as amostragens

Amostragem	IZ-12		IZ-05	
	Atual	Teste	Atual	Teste
Recuperação	75,94	78,32	80,88	84,07

Fonte: Dados da empresa Mineral (2010)

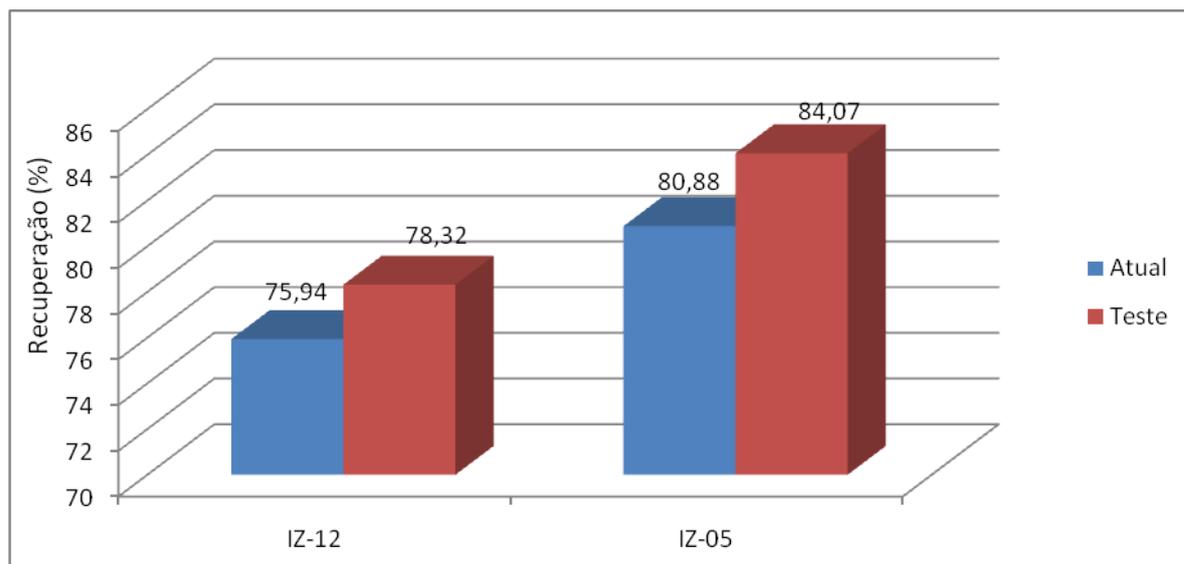


GRÁFICO 3 – Comparativo entre amostragens atuais e testes em escala piloto.

Fonte: Dados da empresa Mineral (2010).

Conforme as fontes de dados da empresa, o custo médio atual de produção por tonelada de produto pode ser decomposto conforme apresentado abaixo, e os percentuais de cada etapa determinado conforme GRAF. 04. Salientando-se que nestes números não são considerados os valores da jazida, ou seja, desconsidera-se o investimento na aquisição da mesma.

- Mineração ;
- Transporte;
- Concentração Básica;
- Moagens adicionais;
- Flotação;
- Filtragem;
- Secagem;
- Embalagem;
- Transporte.

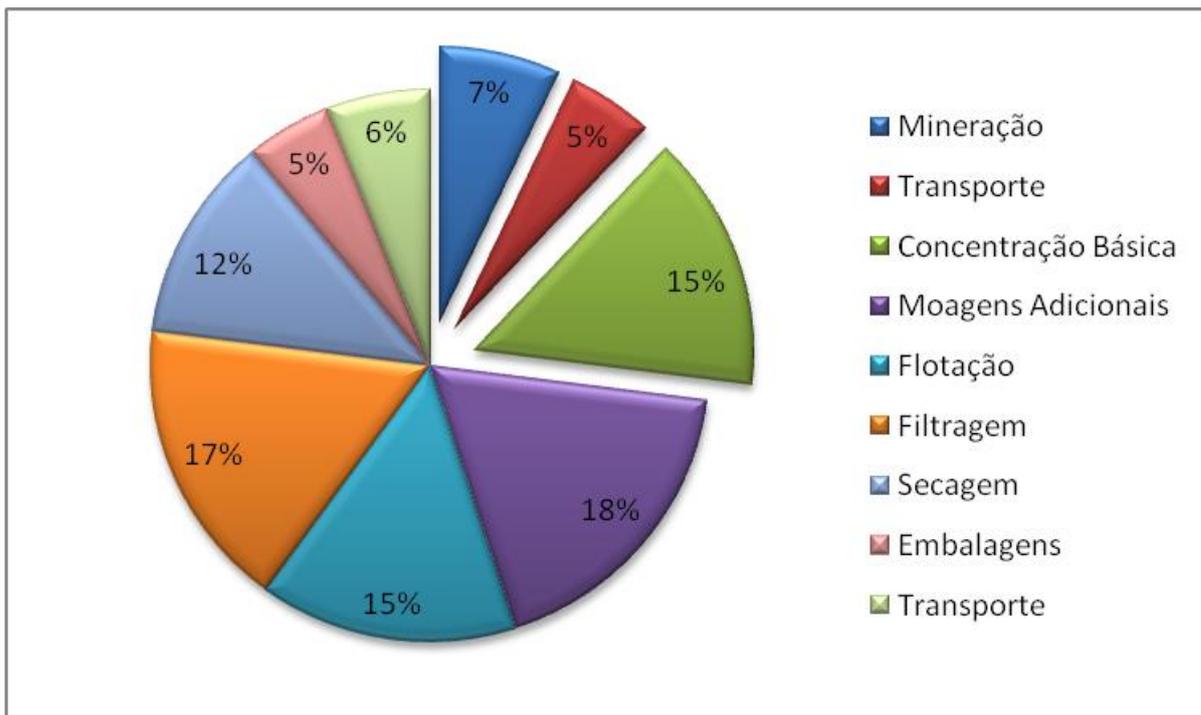


GRÁFICO 4 – Custos médios de produção por tonelada de produto.

Fonte: Dados da empresa Mineral (2010).

Conforme apresentado no Graf. 4, os custos envolvidos até a etapa de concentração básica do minério, representam 27% do custo de produção por tonelada de produto.

Mediante os resultados obtidos nos testes em escala piloto o sistema obterá um acréscimo de aproximadamente 3,5% na recuperação mineral. Esta situação representa que o sistema estaria reduzindo os desperdícios nesta etapa em 3,5% dos custos envolvidos no processo.

Fato importante a ser mencionado é que grande parte dos custos do processo até a etapa de concentração básica é composto pelo suprimento de água ao sistema, custos estes que são decompostos em custos com manutenção de barragens, energia necessária para o bombeamento da água até a planta de beneficiamento e o tratamento de efluentes.

Outro aspecto a ser citado é o considerável aumento de produtividade visto que se obtivermos uma maior recuperação mineral na etapa de concentração básica certamente haverá mais concentrado do minério a ser beneficiado nas etapas seguintes, segundo informações da empresa Mineral este ganho de produtividade pode aproximar-se de 1% até o final do processo.

## 6. CONCLUSÃO

De forma a maximizar a utilização dos recursos utilizados na produção, aumentar o desempenho, proporcionar qualidade e minimizar os seus custos, um processo industrial deve ser muito bem estruturado e controlado. A eficiência de um controlador pode ser avaliada pela capacidade em manter a variável controlada próximo ao seu valor desejado.

No presente estudo a utilização de um controlador lógico programável (CLP) e instrumentos específicos de medição e controle das variáveis de processo, proporcionaram mediante resultados obtidos pelos testes em escala piloto, uma considerável redução nos desperdícios e a otimização no uso dos recursos utilizados no beneficiamento do minério de grafite natural cristalino.

Na fase de concentração básica da grafita as variáveis de processo estão intrinsecamente ligadas, de forma que a variação em uma pode causar variação em outra. O sistema de controle e supervisão utilizado monitorou sem gerar interferência e apresentou os efeitos e a interação destas variáveis no processo. Desta forma pode-se avaliar respostas, extrapolar ou interpolar dados do processo e analisar a estabilidade diante destas situações.

A integração da automação proposta com o sistema supervisório da planta, possibilita a operação e supervisão de toda esta etapa do processo da sala de operação, de forma a reduzir o esforço físico do operador de campo, em contrapartida requer treinamento e qualificação do pessoal de operação de painel e manutenção de campo e software.

Dentre os benefícios obtidos com a automação desta etapa do processo, destacam-se o aumento nos índices de recuperação do mineral e a redução no consumo de água em função do uso racional e controlado deste recurso natural imprescindível para a maioria dos processos de mineração. Como resultado direto da redução do consumo de água apresenta-se a redução dos custos com energia no bombeamento, manutenção de reservatórios e tratamento de efluentes.

Com os resultados obtidos é possível destacar a vantagem competitiva do processo automatizado, mediante a redução dos custos, ganhos nos níveis e objetividade de informação e maior capacidade e agilidade de diagnóstico de falhas, além de apresentar oportunidades de melhorias, ferramentas envolvidas nos sete desperdícios da manufatura enxuta.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACEVEDO, Claudia Rosa; NOHARA, Juliana Jordan. **Monografia no curso de administração**. 3. ed. São Paulo: Atlas , 2009.

ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga; **Redes Industriais**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Ensino Profissional, 2009.

CHAVES, Arthur Pinto; **Teoria e prática do tratamento de minérios volume 1**. São Paulo: Signus, 1996.

CHAVES, Arthur Pinto; **Teoria e prática do tratamento de minérios volume 2**. São Paulo: Signus, 1996.

DANA, James Dwight. **Manual de Mineralogia**. 1 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

LUZ, Adão Benvindo et al. **Tratamento de minérios**. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

MANTELL, L. Charles. **Carbon and Graphite Handbook**. New York: Interscience Publishers, 1968.

MORAIS, Cícero Couto de; CASTRUCCHI, Plínio de Lauro. **Engenharia de controle industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**, 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

PERRY, Robert. H. **Chemical Engineers' Handbook**, 4.ed. New York McGraw Hill, 1963.

RUDIO, F. V. Introdução ao projeto de pesquisa científica. 24. ed. Petrópolis: Vozes, 1999.