



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO E TÉCNICAS FUNDAMENTAIS



MÁRCIO LEANDRO COTA

PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE MELHORIA DE
EQUIPAMENTOS NO SISTEMA DE FILTRAGEM DE POLPA MINERAL:
O CASO DO DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DUTOVIÁRIO DE
UMA EMPRESA MINERADORA

OURO PRETO - MG

2017

MÁRCIO LEANDRO COTA
malecos@gmail.com

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE MELHORIA DE EQUIPAMENTOS NO
SISTEMA DE FILTRAGEM DE POLPA MINERAL: O CASO DO DEPARTAMENTO
DE TRANSPORTE DUTOVIÁRIO DE UMA EMPRESA MINERADORA**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Ouro Preto como
parte dos requisitos para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico

Professor orientador: DSc. Washington Luis Vieira da Silva

OURO PRETO – MG

2017

C843p

Cota, Márcio Leandro.

Proposta de implantação de melhoria de equipamentos no sistema de filtragem de polpa mineral [manuscrito]: o caso do departamento de transporte dutoviário de uma empresa mineradora / Márcio Leandro Cota. - 2017.

65f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Washington Luís Vieira da Silva.

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

1. Minérios de ferro - Manutenção. 2. Otimização estrutural. 3. Minérios de ferro - Análise. I. Silva, Washington Luís Vieira da. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO E TÉCNICAS FUNDAMENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA

Aos 31 dias do mês de Março de 2017, às 11h 00min, na sala 19, localizado na Escola de Minas – Campus - UFOP, foi realizada a defesa de Monografia do aluno, **Márcio Leandro Cota** sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: DSc. Washington Luís Vieira da Silva, Prof^ª. DSc. Maria Perpetuo Socorro Mol Pereira, Prof^ª. DSc. Elisangela Martins Leal. O candidato (a) apresentou o trabalho intitulado: **“Proposta de Implantação de Melhoria de Equipamentos no Sistema de Filtragem de Polpa Mineral: o caso do Departamento de Transporte Dutoviário de uma Empresa Mineradora”**, sob orientação do DSc. Washington Luís Vieira da Silva. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideram o(a) aluno(a) APROVADO com a nota/conceito 9,8.

Ouro Preto, 31 de Março de 2017.

Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva
Professor Orientador

Prof.ª DSc. Elisangela Martins Leal
Professora Avaliadora

Prof.ª DSc. Maria Perpetuo Socorro Mol Pereira
Professora Avaliadora

Márcio Leandro Cota
Aluno(a)

À minha família dedico mais esta etapa
vencida, sem o incentivo e compreensão deles,
não seria possível chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

- Em primeiro lugar, a Deus por me fortalecer em cada dia dessa caminhada árdua;
- Aos meus pais, que sempre fizeram de tudo para que os filhos tivessem acesso à educação;
- A meu irmão, que certa vez me disse: “Tenho certeza que você será um excelente engenheiro” – Bom, talvez eu não seja excelente, mas engenheiro eu já sou;
- À minha esposa e filha, que souberam suportar minha ausência em detrimento da dedicação acadêmica necessária;
- Ao professor doutor Washington Luis Vieira da Silva pelo apoio e orientação imprescindíveis para elaboração deste trabalho;
- Às lideranças da empresa onde trabalho, pelo incentivo e flexibilização dos meus horários.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

RESUMO

COTA, Márcio Leandro. **Proposta de implantação de melhoria de equipamentos no sistema de filtragem de polpa mineral: o caso do departamento de transporte dutoviário de uma empresa mineradora.** 2017 (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

Este trabalho objetiva analisar os equipamentos de filtragem de polpa de minério de ferro do departamento de transporte dutoviário de uma indústria mineradora, verificando as possíveis causas relacionadas à redução da disponibilidade do mesmo, propondo adequações, através da aplicação de melhoria de equipamentos, para mitigar esse problema e reduzir também a inserção de particulado grosseiro no interior do duto, causada pelas falhas nesse componente. Para isso, foi realizada uma pesquisa detalhada sobre os métodos de manutenção, planejamento de manutenção e melhoria de equipamentos. A metodologia utilizada é de natureza qualitativa, classificada como exploratória e bibliográfica, envolvendo o estudo de caso. A partir do levantamento de dados intrínsecos do sistema, pôde-se perceber que as intervenções relativas a falhas dos equipamentos de filtragem representaram a totalidade dos registros de causas de indisponibilidade num determinado período. Através da observação direta foi possível determinar quais eram os pontos que necessitavam de melhorias, sendo um deles a parte estrutural dos equipamentos e o outro relacionado ao método de manutenção aplicado nos mesmos. Assim, foram propostas alterações estruturais na carcaça dos filtros para proporcionar melhor distribuição do fluxo, também foi proposta a inclusão de novos elementos filtrantes com sistema tubular e de válvulas que os tornasse independentes para uso e foi também recomendada a alteração no método utilizado para determinar o momento de aplicação de manutenção. Com a implantação das melhorias citadas, espera-se conseguir elevação dos níveis de disponibilidade do sistema, redução do tempo de manutenção e minimização da inserção de particulado grosseiro no interior do duto.

Palavras-chave: Manutenção. Melhoria. Disponibilidade. Filtragem. Polpa.

ABSTRACT

COTA, Márcio Leandro. *Proposal for implantation of equipment improvement in the mineral slurry filtration system: the case of the dutover transport department of a mining company.* 2017 (Graduation in Mechanical Engineering). Universidade Federal de Ouro Preto.

This work aims to analyze the iron ore pulp filtration equipment of a mining industry pipeline transportation department, verifying the root causes related to its availability reduction, proposing adjustments through the application of equipment improvements in order to mitigate this problem and also to reduce the coarse particle introduced in the pipeline caused by this component failure. For this, a detailed research was done on maintenance methods, maintenance planning and equipment improvement. The evaluation methodology involving the case study is qualitative, classified as exploratory and bibliographical. From the intrinsic system data gathering was possible to perceive that the failures interventions of the filtration equipment represented a totality of the unavailability records causes in a certain period. Through direct observation was possible to define which points need improvement, being one of them, an equipment structural part and another related to the maintenance method of applied on it. Thus, structural changes were proposed in the filter housing to provide better distribution of the flow, it was also proposed the inclusion of new filter elements with tubular and valve systems that would make them independent for use and a change was also recommended in the method used to determine the time of maintenance application. After quoted solutions implementation, it is expected to raise system availability levels, to reduce maintenance time and minimize coarse particle insertion inside the pipeline.

Keywords: *Maintenance. Improvement. Availability. Filtering, Slurry.*

LISTA DE SÍMBOLOS

% - símbolo de porcentagem (valor dividido por cem) [x/100]

D – diâmetro interno de tubulações de escoamento [m]

f – fator de atrito interno em tubulações ou condutos [adimensional]

g – aceleração da gravidade local [m/s²]

H_{fd} – Perda de carga em ramais hidráulicos [m]

K – coeficiente de perda de carga localizada causada por acessórios em tubulações [adimensional]

L – comprimento linear de ramais hidráulicos [m]

US\$ – símbolo monetário da moeda norte americana [dólar]

V – velocidade de escoamento de fluidos em condutos e tubulações [m/s]

Δp – variação diferencial de pressão medida entre dois pontos distintos [Pa]

Σ – símbolo representativo de somatório matemático simples de parcelas

LISTA DE ABREVIACOES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

MES - *Manufacturing Execution Systems* – Sistema de Execução e Produção

NBR – Norma Brasileira

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção

PDCA – *Plan; Do; Check; Act.* – Planejar; Executar; Checar; Agir

SAP - *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung* - Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sequencial tratativo para anomalias.....	14
Figura 2 – Subdivisão da manutenção preventiva.....	16
Figura 3 – Organograma tipicamente utilizado em grandes empresas.....	20
Figura 4 – Procedimentos metodológicos utilizados.....	25
Figura 5 - Terminal portuário para carregamento de minério de ferro.....	29
Figura 6 - Caminhão fora de estrada usado em mineração.....	30
Figura 7 - Planta de beneficiamento mineral.....	31
Figura 8 - Fluxograma do processo produtivo, da extração até o beneficiamento.....	32
Figura 9 - Estação de bombeamento de polpa mineral com bombas hidrostáticas.....	33
Figura 10 - Distribuição geográfica de alguns minerodutos em operação pelo Brasil.....	34
Figura 11 – Interface automatizada para controle de mineroduto.....	35
Figura 12 - Fluxograma gerência mineroduto.....	36
Figura 13 – Desenho filtro.....	37
Figura 14 – Carcaça de filtro com flanges de conexão.....	38
Figura 15 – Comparativo chapa perfurada nova outra usada com orifícios obstruídos.....	39
Figura 16 – Aspecto e caracterização de particulado grosseiro retino no filtro.....	41
Figura 17 – Montagem local da chapa perfurada e detalhe para remoção da mesma.....	42
Figura 18 – Amassamento na chapa perfurada que eleva o tempo de manutenção de troca.....	44
Figura 19 – Planilha eletrônica com registros das intervenções diárias para limpeza da chapa perfurada do filtro.....	45
Figura 20 – Informações numéricas e gráfico com demonstração de queda da disponibilidade para o período.....	47
Figura 21 – Registro de causas de indisponibilidade produtiva. <i>Software</i> MES.....	48
Figura 22 – Desenho em perspectiva da condição estrutural disponível para utilização.....	49
Figura 23 – Esquemas possíveis de operação do sistema filtrante.....	50
Figura 24 – Imagem em perspectiva com proposta para nova estrutura dos equipamentos.....	51
Figura 25 – Primeiros quatro arranjos operacionais possíveis com a implantação da melhoria, utilizando bomba (A).....	52

Figura 26 - Outros quatro arranjos operacionais possíveis com a implantação da melhoria utilizando bomba (B).....	53
Figura 27 – Imagem do local onde estão instalados os componentes de filtragem.....	54
Figura 28 – Defasagem pequena entre eixos axiais dos flanges de entrada e saída.....	55
Figura 29 – Representação da distribuição de fluxo interna no filtro. À esquerda, condição atual. À direita, condição com a implantação da proposta.....	56
Figura 30 – Esquematização do processo de aumento da obstrução e conseqüente empenamento da chapa perfurada.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de custo entre meios distintos de escoamento de produção	6
Tabela 2 – Variáveis e indicadores adotados.....	27

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Formulação do problema.....	1
1.2 – Justificativa.....	5
1.3 – Objetivos.....	8
1.3.1 – Geral.....	8
1.3.2 – Específicos.....	8
1.4 – Estrutura do trabalho.....	9
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 – Manutenção – Origem e fundamentos.....	10
2.2 – Tipos de Manutenção.....	11
2.2.1 – Manutenção corretiva.....	12
2.2.2 – Manutenção preventiva.....	14
2.2.3 – Manutenção preditiva.....	16
2.3 – Planejamento e Controle da Manutenção.....	18
2.4 – Melhoria de equipamentos.....	20
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	23
3.1 – Tipo de pesquisa.....	23
3.2 – Materiais e métodos.....	24
3.3 – Variáveis e indicadores.....	26
3.4 – Instrumentos de coleta de dados.....	27
3.5 – Tabulação de dados.....	28
3.6 – Considerações finais do capítulo.....	28
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29

4.1 – Caracterização do setor.....	29
4.2 – A gerência encarregada do transporte mineral	32
4.3 – O sistema de filtragem e sua rotina de manutenção	37
4.4 – Proposta de melhoria de equipamento.....	49
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	58
5.1 – Conclusões.....	58
5.2 – Recomendações	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Nesse primeiro capítulo do trabalho, serão introduzidos alguns conceitos sobre filtragem de polpa mineral, apresentado um problema intrínseco ao referido processo, alguns dos impactos causados em razão de sua ocorrência. Serão abordados o objetivo geral e os específicos do trabalho, justificando seu estudo. Ao final do capítulo será apresentado um esquema resumido sobre a estrutura utilizada.

1.1 – Formulação do problema

A abertura comercial entre países, facilitação de importações e flexibilização de crédito tem alavancado o aparecimento de novos seguimentos industriais, sejam eles fornecedores de serviços exclusivos ou de produtos diferenciados. Um dos resultados observados é o acirramento da concorrência entre setores fabris que dispõem de processos produtivos similares.

De acordo com Alves (2009), em qualquer organização focada em competitividade, os processos de gestão são delineados pelos objetivos organizacionais, cada dia mais complexos e exigentes, que promovem crescimento das oportunidades de negócios, mas ao mesmo tempo, um aumento ainda mais expressivo das ameaças para esses negócios, nas empresas que são mal geridas.

Conforme Renóet *al* (2010), a globalização elevou a concorrência entre as empresas e o aumento da estabilidade dos processos produtivos passou a ser parte essencial do desenvolvimento de competências estratégicas, de forma que a sobrevivência dos empreendimentos se viu dependente da capacidade de inovação e realização de melhorias contínuas nos processos, a fim de garantir posição consolidada no mercado.

Para Barros e Lima (2011), a crescente complexidade dos sistemas industriais fez com que a confiabilidade e disponibilidade dos ativos das empresas, assim como seu consequente aperfeiçoamento, tenha se tornado alvo das atenções das lideranças, uma vez que a análise dessas questões e o modo de geri-las desempenham papel estratégico na sustentabilidade do empreendimento.

Segundo Viana (2002), a utilização de equipamentos sofisticados e de alta produtividade só é justificada a partir do momento em que se utiliza os mesmos de forma racional e produtiva, visto que a exigência de disponibilidade para os mesmos é bem alta.

Essa afirmação traz à tona a importância da manutenção e sobretudo do planejamento de manutenção para o sucesso dos empreendimentos, garantindo tal disponibilidade.

Para Pinto e Xavier (2001), as práticas de manutenção nem sempre foram sistematizadas. Apenas atividades triviais e reparos realizados após a quebra de equipamentos eram realizados.

Xenos(1998), classifica os métodos de manutenção em cinco tipos:

- Manutenção corretiva: feita sempre depois que ocorre uma falha num equipamento;
- Manutenção preventiva: manutenção realizada periodicamente e tida como a principal atividade de manutenção de qualquer empresa;
- Manutenção preditiva: tipo de manutenção que permite prever o limite de vida para peças e componentes;
- Melhoria dos equipamentos: método de melhoria gradativa e contínua dos equipamentos através de alterações no seu projeto, padrão de operação e manutenção;
- Prevenção de manutenção: atividades conduzidas juntamente com o fabricante dos equipamentos, desde a fase de projeto, visando redução de volume de serviços de manutenção exigidos durante a operação.

Essa classificação parte de um tipo de manutenção menos nobre, a corretiva, finalizando com uma categoria muito mais eficiente, a prevenção de manutenção. A forma como é sequencialmente apresentada sugere exatamente a maneira como se deu a evolução da manutenção desde o início de sua utilização, e torna possível analisar que os métodos de manutenção mais evoluídos contribuem para a eliminação da necessidade de execução de práticas menos estratégicas, indicando que a adoção da manutenção preventiva se torna imprescindível nas organizações.

De acordo com Pinto e Xavier (2001), a manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda de desempenho nos equipamentos e deve obedecer um plano de manutenção baseado em intervalos de tempo pré-estipulados.

Nota-se que, para a execução da manutenção preventiva faz-se necessária criação prévia de um plano específico, que se adequa a cada equipamento.

Segundo Xenos (1998), uma importante variante da manutenção é a melhoria de equipamentos, entendida como as alterações gradativas e contínuas realizadas nas máquinas, com intuito de melhorar suas características, o padrão de operação e manutenção.

Integrando as considerações sobre manutenção preventiva e melhoria de equipamentos fica evidente que é preciso embutir outros conceitos além do preventivo ao plano de manutenção e que esse plano tende a se tornar cada vez mais eficaz à medida que novas técnicas são agregadas a ele.

Pinto e Xavier (2001) citam que nem sempre os fabricantes de equipamentos fornecem dados precisos para a adoção de planos de manutenção preventiva, e que condições operacionais e ambientais influem significativamente na expectativa de degradação dos componentes, tornando necessário uma definição de periodicidade de substituição de itens estipulada para cada instalação.

Tal citação converge para uma indicação de que a atuação preventiva adequando os equipamentos às necessidades locais parece uma boa alternativa para obtenção de bons resultados para a manutenção. Baseado nesse entendimento, será utilizada tal fundamentação para análise e estudo das condições de operação e aplicações de manutenção para garantia de integridade de equipamentos específicos em uma indústria mineradora, que utiliza tecnologia de escoamento e transporte de produto através de duto de longa distância, conhecido como mineroduto.

Segundo Chaves (2002), um mineroduto pode ser definido como o modo de transporte de sólidos granulares misturado com um líquido, normalmente água, que funciona como o veículo de transporte. Como sólido granular pode-se citar o carvão, minério de ferro, minério de cobre, concentrados de cobre, ferro ou fosfato, calcário, rejeitos de beneficiamento, lascas de madeira, bagaço de cana etc.

O produto escoado pela tubulação da empresa avaliada é a polpa de minério de ferro. No departamento responsável por este escoamento, existem equipamentos destinados a filtragem da polpa mineral a ser bombeada. A função desses filtros é reter particulado grosseiro, de tamanho maior que o estipulado pelo projeto. A indisponibilidade no sistema de filtragem permite a penetração de partículas indesejadas no fluxo de polpa mineral que será bombeada, tornando-a muito heterogênea.

Segundo Bozolla (2015), uma característica das polpas heterogêneas é a de facilitar a formação de um leito móvel na porção inferior da seção circular do tubo durante o bombeamento.

Esse leito móvel pode evoluir para um leito fixo que representa o primeiro indício de que a tubulação está caminhando para uma possível obstrução total. Ainda segundo Bozolla (2015), o comportamento de deslocamento desse particulado grosseiro que promove formação de leito, em meio ao fluxo de polpa, durante o bombeamento, seria algo semelhante a uma saltitação.

Macintyre (1997), afirma que a superfície interna de encanamentos se modifica com o passar do tempo, entre outros motivos, pela deposição de elementos em suspensão no fluido transportado, que eleva a rugosidade dessa superfície.

Tais colocações explicam a elevação do fator de atrito e por conseguinte da perda de carga em tubulações, devido a existencia de particulado grosseiro junto à polpa bombeada.

Ainda de acordo com Macintyre (1997), a perda de carga representa a energia cedida e, portanto, perdida pelo fluido durante seu escoamento, em função da existência de atrito interno desse fluido contra as paredes da tubulação por onde o mesmo escoar.

A indisponibilidade do sistema de filtragem da empresa avaliada, além de culminar em lançamento indesejado de particulado grosseiro no bombeamento, também eleva os custos futuros com sistemas de limpeza, diminui a capacidade produtiva do equipamento e promove o aumento desnecessário e imprevisto da demanda na carteira de serviços das equipes de manutenção.

Diante do exposto, o presente trabalho se dispõe a estudar as possibilidades de adequação do sistema de filtragem da polpa mineral com intuito de elevar a disponibilidade do sistema e promover minimização de necessidades de intervenções de manutenção para remoção de particulados fora de especificação, através da análise da seguinte problemática:

Como propor melhorias efetivas para os equipamentos de filtragem de polpa mineral do setor de transporte dutoviário de uma empresa mineradora?

1.2 – Justificativa

A disponibilidade física de equipamentos é o principal produto da manutenção, segundo Viana (2002). O mesmo autor cita que, é de fundamental importância a disponibilização dos equipamentos para a operação, atingindo o maior número de horas possíveis, e que isso deve ser feito observando o comportamento operacional do maquinário e identificando “equipamentos-problema”, responsáveis pela maior redução de disponibilidade física da planta.

Para Pinto e Xavier (2001), a manutenção deve ter caráter estratégico. Precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização. É necessário que deixe de ser apenas eficiente e se torne eficaz, abandonando a atuação meramente reparadora e passando a atuar no intuito de manter a função dos equipamentos disponível, reduzindo paradas não planejadas.

Ainda segundo Pinto e Xavier (2001), no que se refere à competitividade, é citado que para atingimento desse critério é preciso otimizar o custo, adotando as melhores práticas de manutenção, com destaque para a Engenharia de Manutenção aplicada a novos projetos. Esse setor deve buscar alta performance, determinar causas fundamentais de falhas e se engajar para alcançar qualidade do serviço, traduzida em redução de trabalho.

Em se tratando de contenção de custos, o sistema de transporte dutoviário se destaca positivamente dos demais meios disponíveis.

De acordo com Toffolo (2008), o sistema dutoviário apresenta uma série de vantagens sobre os outros meios de transporte, principalmente flexibilidade, menor custo e maior segurança. A tabela 1, adaptada de Toffolo (2008), mostra dados que consolidam a informação sobre a vantagem competitiva dos minerodutos, no que se refere ao custo. Essa tabela traz um comparativo de distâncias máximas obtidas durante o transporte de uma tonelada de petróleo utilizando-se meios distintos para isso. A análise é feita para um mesmo custo fixo de 1 (um) dólar americano.

Tabela 1 - Comparativo de custo entre meios distintos de escoamento de produção

Tabela comparativa para transporte de 1 tonelada de derivados de petróleo por meios distintos		
Custo	Meio	Distância atingida
US\$	Avião (aéreo)	8 km
US\$	Caminhão (rodoviário)	30,5 km
US\$	Trem (ferroviário)	72,5 km
US\$	Navio (naval)	322 km
US\$	Oleoduto (dutoviário)	383 km

Fonte: Adaptado de Toffolo (2008)

Através da análise da tabela 1, é possível verificar que o meio de transporte mais custoso é o aéreo, onde se percorre apenas 8 quilômetros com emprego de US\$ 1,00, ao passo que o transporte por duto aparece como o meio de transporte mais viável economicamente, haja visto que transporta a mesma quantidade de petróleo por 383 quilômetros com o emprego do mesmo valor de US\$ 1,00.

Para Xenos (1998), um dos fatores que mais afetam os custos de manutenção é o projeto de equipamentos, que tem confiabilidade intrínseca e que não pode ser melhorada apenas com as atividades de manutenção, mas somente com introdução de melhorias, que devem ser feitas pelo pessoal de manutenção, mesmo para equipamentos que já estejam em operação, visando aumentar confiabilidade do projeto original.

Tubino (2007) avalia positivamente a atuação da manutenção no melhoramento contínuo, citando que, cada vez que um problema é identificado, tratado como oportunidade de melhoria de processo e posteriormente solucionado, resulta na elevação do sistema produtivo para um patamar superior de qualidade.

As colocações remetem à necessidade de uma atuação de manutenção promovedora de alterações, que resultem não só na solução de falhas momentâneas, mas que promova atualização ou readequação do ativo mecânico, de forma a prepara-lo para novas realidades de requerimento produtivo e mitigue a necessidade de intervenções sucessivas. Esse entendimento pode ser utilizado para embasar um estudo que realize análises e possíveis sugestões de melhorias no processo de filtragem de polpa da empresa avaliada.

A configuração dos equipamentos destinados à filtragem de polpa na empresa em questão se manteve inalterada por mais de trinta anos. Fatores como a elevação de produção, alterações negativas na qualidade da matéria prima, redução do efetivo operacional, aumento de intervenções específicas de manutenção nesses equipamentos e novas preocupações com a integridade do duto, remeteram a necessidade de melhoria do sistema, que começou a apresentar baixa disponibilidade e a afetar diretamente o processo produtivo, além de não mais garantir uma eficiente retenção do particulado grosseiro fora de especificação.

Informações oriundas do departamento de engenharia do setor específico da empresa avaliada neste trabalho demonstram que, em se tratando da tubulação do mineroduto, um dos fatores que mais influencia para a redução da relação de volume deslocado em função do tempo e conseqüentemente na produtividade, é a perda de carga.

A equação (1) de Darcy e Weisbach *apud* Macintyre (1997) é utilizada para o cálculo de perda de carga:

$$H_{fd} = \left[\frac{f \times L}{D} + \sum K \right] \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (1)$$

Onde os termos da equação são os seguintes:

H_{fd} = perda de carga [m];

f = fator de atrito [adimensional];

L = comprimento linear da tubulação [m];

D = diâmetro da tubulação [m];

V = velocidade escoamento do fluido [m/s];

g = aceleração da gravidade local [m/s²];

K = somatório de todas as perdas de carga localizadas inseridas pelos acessórios da tubulação [adimensional];

De acordo com a equação (1), é possível verificar que essa perda de carga é tanto maior quanto maior for o fator de atrito (f) da tubulação e quanto menor for o diâmetro (D) do tubo.

Essas duas variáveis estão diretamente relacionadas à inserção do particulado grosseiro na tubulação.

Na observância do cotidiano de manutenção aplicado especificamente nos filtros de polpa, e em face de sua condição atual não atender plenamente ao propósito de projeto, o trabalho em questão se justifica no sentido de buscar entendimento para as causas de falhas e proposição de alteração estrutural no equipamento, que promova plenamente a elevação de sua capacidade e retomada de funcionalidade.

1.3 – Objetivos

1.3.1 – Geral

Propor melhorias para o equipamento de filtragem e para o sistema de manutenção aplicado ao mesmo, visando a elevação de sua disponibilidade e atenuação das ocorrências de inserção de particulado fora de especificação no interior do duto.

1.3.2 – Específicos

- Realizar estudo teórico sobre: manutenção, métodos de manutenção, planejamento e controle de manutenção e melhoria de equipamentos.
- Elaborar procedimento metodológico para conhecer os indicadores que interveem na disponibilidade física do sistema de filtragem.
- Comparar dados obtidos com a base teórica para propor melhorias nos equipamentos através de alterações nos métodos de manutenção e alterações estruturais nos seus componentes.

1.4 – Estrutura do trabalho

O presente trabalho será subdividido em cinco capítulos. O conteúdo de cada um deles pode ser tratado sucintamente da seguinte forma:

No capítulo 1 é feita a apresentação das situações que caracterizam um problema específico da empresa avaliada, introduzindo uma justificativa para o estudo. Determinação do objetivo geral e específicos para o estudo.

Em seguida, no capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica acerca dos conceitos fundamentais de manutenção, assim como daqueles mais específicos, que se relacionam de forma mais direta com o assunto foco do trabalho. Também é abordado o estudo de algumas ferramentas para melhoria contínua, afim de buscar embasamento e referência para proposição de uma solução para a problemática.

No capítulo 3 são tratadas as características de desenvolvimento do trabalho, dando ênfase à natureza e classificação do projeto, os métodos e instrumentos utilizados para a coleta de informações e as formas de avaliação utilizadas.

No capítulo 4, busca-se a avaliação da possibilidade de aplicação de melhorias estruturais no equipamento estudado, vislumbrando os prováveis benefícios que sua implantação possa trazer para o sistema.

No capítulo 5 finaliza-se o trabalho, com conclusões acerca da proposta de implantação das melhorias no equipamento destinado à filtragem de polpa mineral, assim como sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo, são abordados assuntos relativos à fundamentação teórica do estudo. Uma análise cronológica das origens da manutenção, os tipos de manutenção empregados no passado e na atualidade, o planejamento e controle da manutenção e o emprego da melhoria de equipamentos.

2.1 – Manutenção – Origem e fundamentos

De acordo com a norma ABNT NBR 5462 (1994), a manutenção pode ser entendida como a combinação de ações técnicas e também administrativas, incluindo nessas ações a própria supervisão, que somadas, destinam-se a manter ou recolocar um item ou equipamento num estado no qual ele possa desempenhar uma determinada função requerida.

Para Xenos(1998), as atividades de manutenção existem para evitar a degradação de equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e também pelo próprio uso.

Bechtold (2010) também reforça a função manutenção, citando que máquinas e equipamentos se desgastam com o tempo e que peças sofrem desajustes periódicos, necessitando, portanto, de intervenções de manutenção para que se evite prejuízos e diminuição produtiva.

Viana (2002), cita que a origem da palavra manutenção vem do latim *manus tenere*, que significa manter o que se tem. Já segundo Monchy(1989), o termo manutenção teria origem no vocabulário militar e seu sentido seria de manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material em um nível constante.

Ainda de acordo com Viana (2002), a manutenção está presente na história humana desde o momento em que começamos a manusear instrumentos de produção.

Uma avaliação de Pinto e Xavier (2001), mostra que a manutenção passou por quatro gerações evolutivas a partir de 1930, conforme texto a seguir:

A primeira geração compreende o período antecedente à Segunda Guerra Mundial, onde a indústria ainda dispunha de equipamentos pouco mecanizados, muito simples e também superdimensionados. Não era prioritária a questão da produtividade. Trabalhava-se com um tipo de manutenção tida hoje como corretiva, ou seja, atuava-se nos equipamentos apenas quando os

mesmos apresentavam avarias e apenas a habilidade de realizar reparos era avaliada como competência dos executores.

Na segunda geração, que vem junto ao pós-guerra, começa-se a observar o surgimento de um novo tipo de manutenção, a preventiva. Sua utilização, naquele momento, se fazia extremamente necessária, pois a demanda por produtos era alta e o contingente de mão de obra baixo. Disponibilidade e confiabilidade eram, portanto, buscados e a indústria passou a estar dependente do bom funcionamento das máquinas. A nova ideia era de que as falhas poderiam e deveriam ser evitadas. Fizeram isso inicialmente praticando intervenções preventivas em intervalos fixos pré-determinados. Em função disso, os custos de manutenção se elevaram e foi preciso trabalhar com novos sistemas de planejamento e controle de manutenção.

A terceira geração, datada da década de 70, o conceito de manutenção preditiva é reforçado, passa-se a utilizar computadores e *softwares* no planejamento, controle e acompanhamento de manutenção. Confiabilidade é a palavra do momento, contudo seu resultado não é plenamente observado devido à falta de interação entre áreas de engenharia da manutenção e produção.

Já na quarta geração, a disponibilidade aparece como medida de grande importância para a manutenção. Continua-se buscando firmemente a confiabilidade e a minimização das falhas prematuras. Há consagração da prática de análise de falha como metodologia eficaz na melhora de performance de equipamentos. A utilização da manutenção preditiva é fortalecida com intuito de reduzir a incidência de ações preventivas que tinham como inconveniente o impacto negativo na produção. As intervenções corretivas passam a ser tratadas como indicadores de ineficácia da manutenção.

2.2 – Tipos de Manutenção

Conforme Trojanet *al*(2013), pode-se verificar que entre o pessoal encarregado de manutenção ainda existe alguma confusão quanto à nomenclatura utilizada para definir os tipos de manutenção. Ele atribui tal confusão aos seguintes fatos:

- Adoção de nomes diferentes de uma indústria para outra;
- Neologismo próprio por vezes derivado de traduções de línguas estrangeiras;
- Disseminação mal explicada ou entendida e que acaba ganhando costume local particular.

De qualquer forma, verifica-se na literatura, que a grande maioria dos autores faz distinção irrelevante entre os tipos de manutenção aplicáveis. Por vezes, apenas algumas terminologias são alteradas, mas a essência na forma de atuação é perfeitamente comparável. As distribuições mais comuns são aquelas onde se destacam as manutenções corretiva, preventiva e preditiva.

Para formalizar o estudo acerca de cada um dos tipos de manutenção aplicados, são trazidos conceitos análogos que abordam suas características e suas terminologias mais usuais, facilitando, pois, o entendimento das nomenclaturas utilizadas neste trabalho.

2.2.1 – Manutenção corretiva

Para Monchy (1989, p.38), “não se deve fazer nada enquanto não houver fumaça”. Tal colocação representa bem a forma de atuação do método de manutenção corretiva, ideia confirmada pela citação de Xenos (1998), que diz que a manutenção corretiva é aquela executada sempre após a ocorrência de uma falha.

Segundo a ABNT NBR-5462 (1994), a manutenção corretiva é a intervenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida novamente.

De acordo com Pinto e Xavier (2001), manutenção corretiva pode ser definida como a atuação em um fato já ocorrido, podendo este ser uma falha ou um desempenho não esperado de um equipamento, não havendo, portanto, tempo para o planejamento do serviço, que acaba sendo executado de forma imediata, sem preparação.

Ainda de acordo com Pinto e Xavier (2001), a manutenção corretiva se divide em dois tipos: manutenção corretiva planejada e manutenção corretiva não-planejada. O primeiro tipo citado seria aquele onde se executa intervenções para correção de falhas emergenciais, porém

com um planejamento prévio de atuação frente a tal ocorrência, já o segundo tipo citado trata da intervenção mediante uma falha emergencial aleatória, a qual não estava prevista ou pelo menos que não se tinha um plano de atuação elaborado para executar após o seu acontecimento.

A análise dessas colocações remete para um pensamento de que esse modo de atuação não seja interessante sob nenhuma circunstância para equipes de manutenção, contudo, Xenos (1998) destaca alguns pontos positivos em relação a sua aplicação, sugerindo que atuar corretivamente pode ser economicamente favorável, se comparado à uma atuação baseada em estudos e planos que visam prevenir a ocorrência de falha, porém o autor reitera que se o método corretivo for realmente escolhido, alguns cuidados devem ser tomados para garantir sua mínima eficiência, como a avaliação do impacto de parada de produção em função da quebra do equipamento, disponibilização de itens de reposição para rápida substituição e mapeamento das ocorrências para evitar reincidências.

Falconi (2004) explica que qualquer desvio das condições normais de operação é definido como uma anomalia, que exige ação corretiva e, sugere uma sequência tratativa conforme está esquematizado na figura 1:

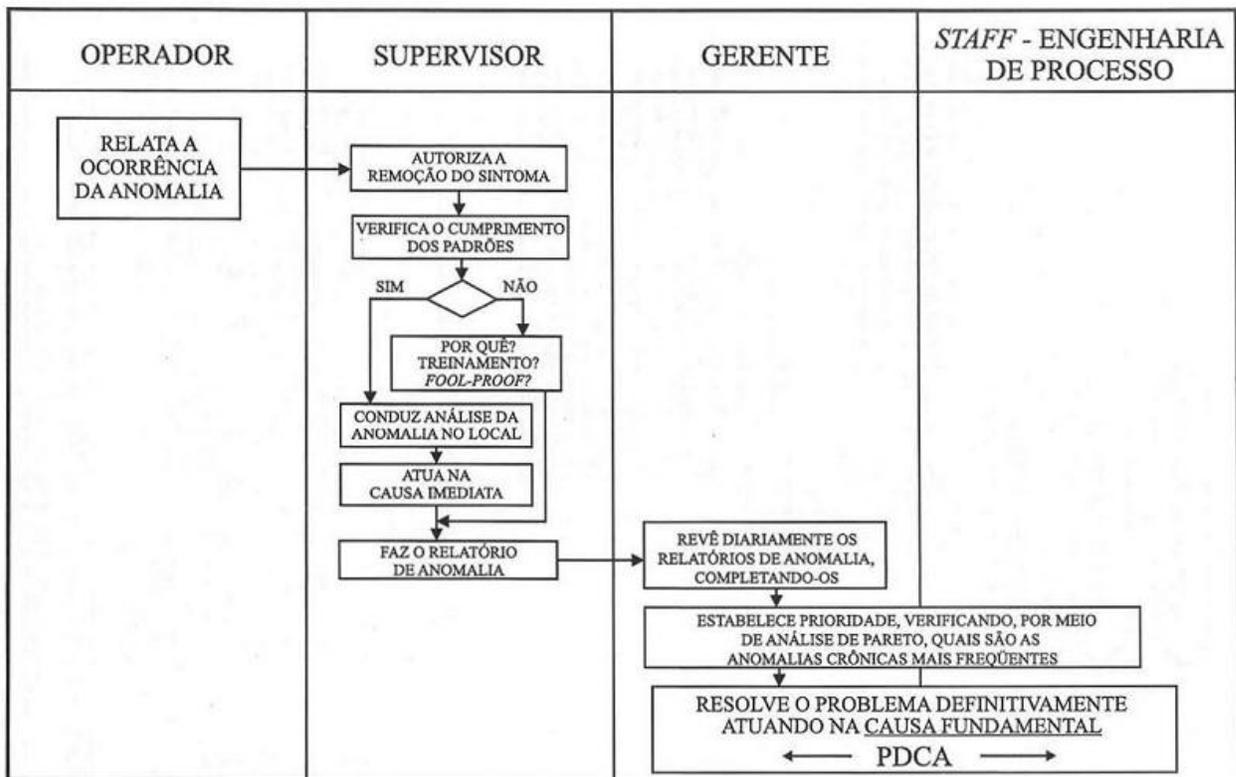


Figura 1 – Sequencial tratativo para anomalias
 Fonte: Falconi, 2004

De acordo com a figura 1, pode-se perceber o caráter reativo do método corretivo, uma vez que se inicia somente após ocorrência da anomalia, descaracterizando qualquer indício de planejamento mantenedor.

2.2.2 – Manutenção preventiva

Bechtold (2010), classifica a manutenção preventiva como sendo aquela que se baseia na prevenção de defeitos que possam originar parada ou baixo rendimento dos equipamentos, sendo efetuada, basicamente, levando-se em consideração a análise de estudos estatísticos, estado do equipamento, local de instalação do equipamento e dados fornecidos pelo fabricante, como: (condições ótimas de funcionamento, periodicidade de lubrificação, entre outros).

Viana (2002), retrata a manutenção preventiva como todo aquele serviço realizado em máquinas que não estejam em falha. Ainda de acordo com Viana (2002), um dos fatos mais desagradáveis no cotidiano de produção é uma pane inesperada de equipamento, que ocasiona parada de produção e elevação dos custos de manutenção e custos produtivos, configurando em um contraponto do objetivo primaz da manutenção industrial.

De acordo com Gurskie Rodrigues (2008), a função da manutenção não é consertar o equipamento quebrado, mas se antecipar à quebra.

Xenos (1998), defende a ideia de que a manutenção preventiva, feita periodicamente, deve ser a principal atividade das equipes de manutenção em qualquer empresa.

Conforme Bechtold (2010), algumas das razões mais importantes para a adoção da manutenção preventiva seriam os aspectos relacionados à segurança pessoal ou da instalação, em caso de falha, e os riscos de agressão ao meio ambiente no caso de avarias que possam provocar emissão de poluentes e gerar danos ambientais.

De acordo com Pinto e Xavier (2001), a manutenção preventiva deve obedecer a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo. Sua utilização em determinados setores, como na aviação, é imperativa, pois o fator segurança se sobrepõe aos demais, e dever ser garantido.

Para Fogliato e Ribeiro (2009), a manutenção planejada substitui o comportamento reativo para uma atitude pró-ativa, que evita a quebra e conseqüente parada de linha.

Segundo Monchy (1989), a manutenção preventiva visa os seguintes objetivos:

- Aumentar a confiabilidade de equipamentos, reduzindo falhas de serviço;
- Redução de custos com falha e melhoria de disponibilidade;
- Elevação da vida eficaz de um equipamento;
- Melhoria de planejamento de trabalho e relações com equipes de produção;
- Redução e regularização de carga de trabalho;
- Facilitação de gerenciamento de estoque e previsão de consumos;
- Elevação de segurança (menos improvisações de risco);
- Redução das panes imprevistas, “surpresas”.

Diferentemente de alguns autores, Bechtold (2010) subdivide a manutenção preventiva em dois segmentos, a preventiva sistemática e a preditiva, citando que a preventiva sistemática

pode gerar custos altos, devido eventual intervenção para troca desnecessária (prematura). Tal avaliação é sistematizada na figura 2.

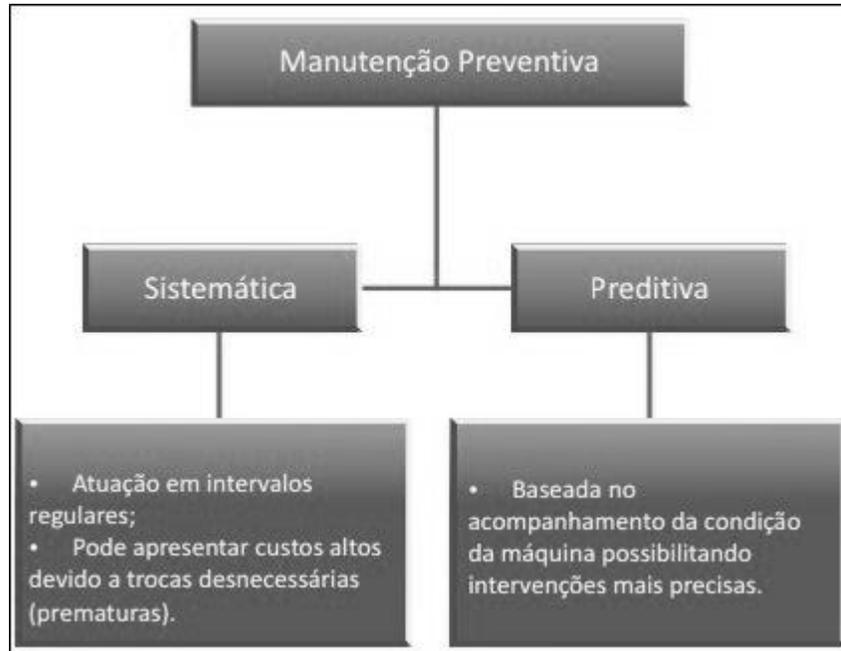


Figura 2 – Subdivisão da manutenção preventiva
Fonte: Adaptado de Bechtold, 2010

Pela observação da figura 2, é possível analisar que a manutenção preventiva apresenta aspecto negativo no que diz respeito a intervenções desnecessárias. Trojanet *et al* (2013) comenta que, algumas das causas para esse tipo de ocorrência são; filosofia errada de aplicação exagerada de manutenção preventiva, sem considerar o binômio custo x benefício e também a natural insegurança dos homens de manutenção gerada pelo excesso de falhas ocorridas.

2.2.3 – Manutenção preditiva

Para Tavares (1999), a manutenção preditiva é o conjunto de atividades de acompanhamento das variáveis ou parâmetros que indicam a performance ou desempenho dos equipamentos, de modo sistemático, visando definir a necessidade ou não de intervenção, onde se

utiliza qualquer recurso de predição, como a análise de vibração, ultrassonografia e termografia, por exemplo.

Conforme Pinto e Xavier (2001), o objetivo da manutenção preditiva é de prevenir falhas nos equipamentos através de acompanhamento de parâmetros diversos, privilegiando a disponibilidade, uma vez que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, devido as medições e verificações serem efetuadas com os equipamentos em funcionamento.

Ainda segundo Pinto e Xavier (2001), normalmente esse tipo de acompanhamento permite a preparação antecipada do serviço que será executado, além de favorecer as decisões e alternativas relacionadas à produção.

Bechtold (2010) considera a manutenção preditiva como uma grande evolução e uma quebra de paradigma na manutenção, por levar em consideração o estado real do equipamento na prevenção das falhas, atuando na troca ou no ajuste e permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

Ainda de acordo com Bechtold (2010), as condições básicas para a adoção de uma sistemática de manutenção preditiva passam pelos seguintes pontos:

- o equipamento ou sistema deve aceitar algum tipo de monitoramento a custos aceitáveis e com tecnologia acessível e de fácil utilização;
- o equipamento deve ser considerado estratégico a tal ponto de compensar os custos de implementação;
- as falhas devem poder ser monitoradas, avaliadas e mensuradas de maneira correta e fidedigna;
- as equipes envolvidas devem ter capacidade de montar uma sistemática de acompanhamento, análise e diagnóstico de falhas.

Para Xenos (1998), a manutenção preditiva permite otimizar a troca de peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estarão próximos do seu limite de vida.

Viana (2002) destaca que, o objetivo da manutenção preventiva é determinar o tempo correto da necessidade da intervenção mantenedora, com isso evitando desmontagens para inspeção, e utilizar o componente até o máximo de sua vida útil.

Xenos (1998) explica que a manutenção preventiva tem sido divulgada como algo bastante avançado e alheio a outros métodos de manutenção, devido ao uso de tecnologia

avançada, e que por isso, em muitas empresas, ainda é comum designa-la a uma equipe independente de engenheiros e técnicos altamente especializados com seus próprios sistemas e métodos de controle.

De acordo com Viana (2002), empresas nacionais que optaram pela metodologia de manutenção preditiva, geralmente a fazem seguindo quatro técnicas; Ensaio por ultrassom, análise de vibrações mecânicas, análise de óleo lubrificante e termografia.

Xavier (2002) integra ao método da manutenção preditiva, uma variante pouco mencionada no Brasil; a manutenção detectiva. Segundo Xavier (2002), nesse tipo de manutenção, o foco seria a detecção de falhas nos sistemas de comando ou proteção, muito utilizados nos processos automatizados das indústrias e cada vez mais presentes, porém com complexidade elevada, que torna praticamente imperceptíveis as falhas para o pessoal de operação e manutenção. Como exemplo, o autor cita o circuito de comando para partida de um gerador elétrico de um hospital. No caso de falta de energia, se o sistema de comando não funcionar, o gerador não entra em operação.

2.3 – Planejamento e Controle da Manutenção

De acordo com Gurski e Rodrigues (2008), a complexidade da função da manutenção exige avançados processos de gestão, que responda adequadamente ao gerenciamento dos custos, à disponibilidade de equipamentos, às demandas de saúde, segurança e meio ambiente e também ao enquadramento de normas e certificações, tudo isso de forma que aloque os recursos de forma eficiente.

Tais avaliações trazem à tona o nível de relacionamento extremamente abrangente das equipes de manutenção com outras áreas que compõem um empreendimento. Notadamente, percebe-se que as interações interpessoais e departamentais devem ser exploradas ao máximo para se conseguir alcançar os objetivos comuns para o negócio.

Viana (2002) considera equivocado o pensamento de atrelar produção à operação, analisando que a produção engloba as atividades de manutenção e operação, ocupando nível hierárquico equivalente.

Conforme análise de Pinto e Xavier (2001), para harmonizar todos os processos que interagem na manutenção, é fundamental a existência de um sistema de controle da manutenção, que permita a identificação clara de alguns aspectos:

- quais serviços serão feitos?
- quando os serviços serão feitos?
- quais recursos serão necessários para execução dos serviços?
- quanto tempo será gasto para executar um serviço?
- quais materiais serão aplicados na execução da atividade?
- quais equipamentos, dispositivos e ferramentas serão necessários?

Tavares (1999), relata que o planejamento e controle da manutenção desempenha importantes funções estratégicas dentro da área de produção, através do manejo das informações e da análise de resultados, garantindo apoio à gerência, no que se refere à programação e controle, assessorando órgão competente na seleção e administração de contratos de serviços, na manutenção do patrimônio técnico e na avaliação das necessidades de treinamento de pessoal, bem como revisando as programações e instruções de manutenção e avaliando os pontos de perda de produtividade.

Segundo Branco (2008), a implantação dos recursos de manutenção parte do pressuposto de uma estrutura adequada para planejar, controlar, programar, alocar e executar os serviços.

Para Rosa (2006), a gestão do planejamento e controle da manutenção deve considerar algumas ações como premissas básicas para sua atuação, tais como a determinação de plano de trabalho de manutenção preventiva ao longo de prazos pré-estabelecidos, criação de mecanismos de atendimento às paralisações e serviços emergenciais e atendimento aos pedidos de modificação e melhoria dos equipamentos.

De acordo com Branco *apud* Lambet *al* (2013), a área de PCM traz inúmeras vantagens para as empresas. A otimização do tempo através do melhor acesso à informação; o aumento da produtividade e disponibilidade dos equipamentos por meio de paradas programadas nos momentos mais apropriados; o estabelecimento e o registro de rotinas e padrões de trabalho; a análise de indicadores. Os planos corretivos utilizados para o cumprimento das metas estão entre os principais benefícios com a implantação desse órgão de suporte à gestão da manutenção.

Conforme Viana (2002), a tendência de mercado é que a Manutenção ocupe um nível de gerência departamental, da mesma forma que a operação. Além disso, o Planejamento e Controle da Manutenção, deve atuar como um órgão staff, ou seja, de suporte à manutenção, sendo ligado diretamente à gerência de departamento, como pode ser visualizado pela figura 3.

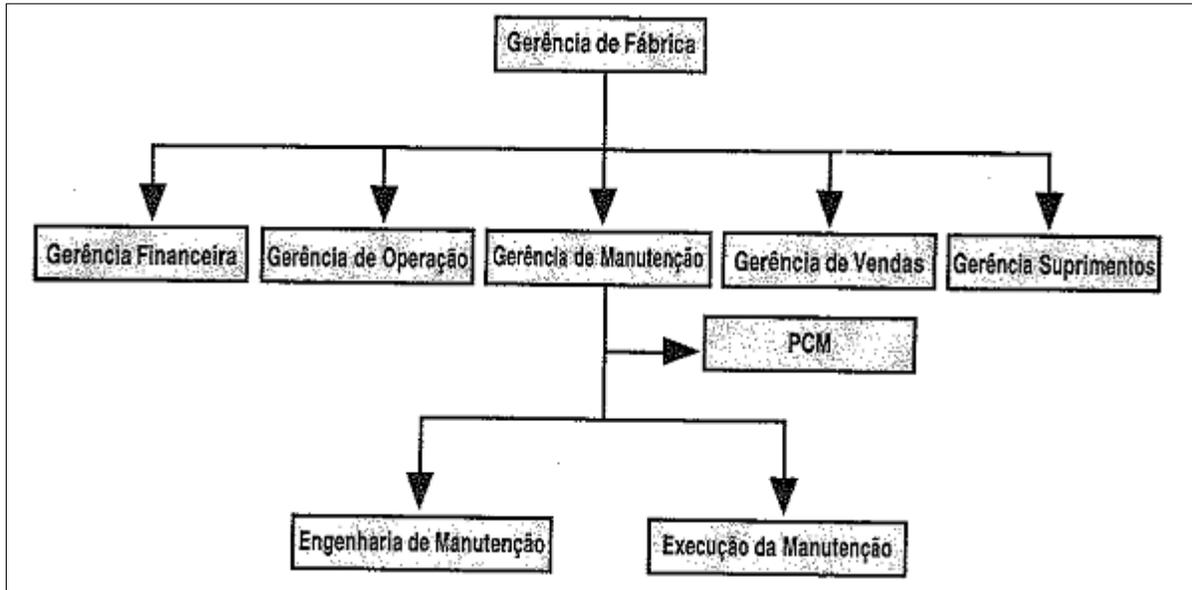


Figura 3 – Organograma tipicamente utilizado em grandes empresas
Fonte: Viana, 2002

Percebe-se pela observação da figura 3 que, o PCM se configura como o entreposto entre o nível gerencial estratégico e os órgãos executores e de engenharia, atuando como um elo conectivo que facilita a integração dos níveis hierárquicos, direcionando e analisando corretamente todo o fluxo de informação, de forma que torne possível a tomada de decisões compartilhadas.

2.4 – Melhoria de equipamentos

Segundo Heckl e Moormann (2010), existem numerosos conceitos disponíveis para melhoria de processos, dentre os quais o “*Kaizen*”.

Para Paniago (2008), o *Kaizen* é uma palavra de origem japonesa cujo significado seria melhoria contínua.

De acordo com Oishi (1995), por meio do *Kaizen* busca-se, na empresa, a melhoria de vertentes econômica, técnica e de eficácia.

Imai (1996) sugere que quando aplicado apropriadamente, o *Kaizen* pode melhorar a qualidade e reduzir consideravelmente os custos, sem requerer necessariamente investimento significativo ou introdução de tecnologia inédita.

Conforme Monchy (1989), algumas atividades complementares, além dos serviços preventivos e corretivos são necessárias à manutenção. Entre essas atividades, o mesmo autor destaca os trabalhos de melhoramento e modernização de equipamentos, que consistem em modificar máquinas ou subconjuntos de modo a aumentar sua segurança, sua confiabilidade e suas condições de receber manutenção, elevando sua disponibilidade e reduzindo custos provenientes de falhas.

A condição ou característica intrínseca de um equipamento receber manutenção é definida por Pinto e Xavier (2001) através do termo Manutenibilidade. A Manutenibilidade de um equipamento, segundo os autores, pode ser melhorada em qualquer etapa de sua vida útil, para isso necessitando da atuação da Engenharia de Manutenção de modo constante, agregando conhecimento e vivência do pessoal de chão de fábrica, na busca por benefícios como intercambialidade, manobrabilidade, simplicidade de operação e otimização dos tempos médios e máximos de intervenção.

Para Viana (2002), a engenharia de manutenção possui uma grande importância, como fator de desenvolvimento técnico-organizacional da manutenção industrial, promovendo o progresso tecnológico através da aplicação de conhecimentos científicos e empíricos na solução de dificuldades encontradas nos processos e equipamentos, perseguindo a melhoria da manutenibilidade do maquinário e maior produtividade através da implantação de projetos que atinjam os objetivos traçados.

Xenos (1998) cita que um dos pontos fracos das equipes de manutenção é a falta de investigação exaustiva das causas de uma falha após sua ocorrência. O autor comenta que em geral, os profissionais se dão por satisfeitos apenas com a ação de remoção da anomalia e reestabelecimento do funcionamento do equipamento, quando o correto seria extrair informações a partir do evento para promover melhoria contínua, alterando projeto ou padrões operacionais e mantenedores, por exemplo.

Conforme as colocações citadas sobre as influências da melhoria de equipamentos, fica evidente a sua importância e contribuição para o desenvolvimento da manutenção, buscando alterações que promovam benefícios para a produção, redução de custos e facilitação das intervenções, assim como maior disponibilidade para o equipamento, que remete também a melhoria da utilização de tempo pelas equipes mantenedoras.

Os próximos capítulos abordam um estudo específico e aprofundado sobre a possibilidade de aplicação de melhoria em equipamentos de mineração, classificando a metodologia e explicitando resultados, análises e conclusões.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, são descritas as características sobre o desenvolvimento desse trabalho, trazendo informações apuradas sobre sua natureza, detalhes oriundos da área específica onde foi embasada a pesquisa e descrição dos instrumentos empregados para coleta de dados, assim como explicações sobre variáveis e indicadores utilizados.

3.1 – Tipo de pesquisa

Para Silva e Menezes (2001), as pesquisas podem ser classificadas em dois tipos, quantitativa e qualitativa. Segundo as mesmas autoras, a pesquisa quantitativa é aquela onde se utiliza métodos estatísticos, cálculos e mensuração numérica.

Já para a pesquisa qualitativa, Boente e Braga (2004) citam que a mesma se trata de um método que envolve abordagens interpretativas do assunto estudado, de forma que o pesquisador avalia situações e características do meio ao seu redor, analisando os fenômenos que ali ocorrem.

Creswell (1998) reforça o exposto, citando que tal análise dos fenômenos, deve ser realizada com o intuito de interpretar problemas envolvidos, através de uso de empirismo, verificação de histórico de ocorrências, fatos e fatos.

Cabem ainda outras classificações quanto aos tipos de pesquisas. A pesquisa exploratória é uma delas. Gerhardt e Silveira (2009) consideram uma pesquisa exploratória como sendo aquela onde há objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema estudado, de modo a torná-lo mais explícito e permitindo a construção de hipóteses. Gil (2002) complementa, citando que, por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso.

Em se tratando dos meios investigativos normalmente utilizados, pode-se citar dois de maior relevância; o estudo de caso e a pesquisa bibliográfica.

O estudo de caso, de acordo com Alyrio (2008), é definido como o estudo profundo e exaustivo de objetos, de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. Depende fortemente do contexto do estudo, e seus resultados não podem ser generalizados.

Conforme Marconi e Lakatos(2003), a pesquisa bibliográfica abrange todas as obras e textos já publicados anteriormente acerca do tema de estudo, sendo a finalidade de sua utilização a de colocar o pesquisador em contato direto com a maior quantidade de informação possível sobre o assunto.

Diante do que foi explanado, define-se que este trabalho se caracteriza como uma pesquisa qualitativa, exploratória e bibliográfica, uma vez que aborda fundamentos teóricos básicos sobre manutenção, trazendo considerações e definições de alguns dos autores mais referenciados no assunto. O trabalho também estuda as possíveis causas para a elevada taxa de intervenções e baixa disponibilidade de um sistema específico empregado para filtração mineral numa indústria mineradora, mostrando características intrínsecas desse sistema, na busca pelo entendimento e proposição de medidas mitigadoras das falhas, o que o caracteriza também como um estudo de caso.

3.2 – Materiais e métodos

Esta pesquisa traz em seus primeiros capítulos, um levantamento bibliográfico sobre métodos de manutenção. Tais informações são utilizadas como embasamento para direcionar os pensamentos e proposição de ações.

A pesquisa em si, partiu da avaliação da necessidade de melhoria para o sistema de filtração de polpa mineral, uma vez que as taxas de disponibilidade se mostravam cada vez menores.

Para melhor entendimento sobre o tema específico do trabalho, faz-se necessário levantar informações intrínsecas ao processo e aos equipamentos. Essas informações são coletadas em catálogos técnicos de equipamentos, procedimentos operacionais, históricos de manutenção e de intervenções de operação e relatos de profissionais mantenedores envolvidos na rotina, além de discussões envolvendo a engenharia de processos e de manutenção. Os índices de redução de produção atrelados às intervenções também podem servir como referência.

Outros aspectos que devem ser levados em consideração são: levantamento de custos para implementação de um projeto de melhoria e uma possível redução de custos futuros em detrimento desta ação; avaliação de melhor momento para se agir/implantar, em caso de ações de

adequação ou de reformulação dos planos preventivos; formulação de bases que possam remeter ao convencimento da gerência de que os investimentos ou alterações realmente se justificam; e por fim, a busca por consultoria ou empresa especializada que possa fornecer profissionais capacitados para discutir tecnicamente o problema, projetar ou redesenhar equipamentos e emitir orçamentos para uma possível implantação dos melhoramentos.

As equipes de manutenção e operação do setor da empresa avaliada utilizam alguns *softwares* para gerir informações sobre os equipamentos utilizados. Planilhas, gráficos e bancos de dados são alimentados frequentemente, alocando registros importantes que servem como base para parte da análise desse estudo.

Os procedimentos metodológicos utilizados no trabalho podem ser vistos na figura 4.



Figura 4 – Procedimentos metodológicos utilizados
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Conforme observa-se na figura 4, o estudo parte da avaliação de necessidade de atuação em algum processo ou equipamento. É da natureza da empresa avaliada, buscar soluções e melhorias para seus processos, através da aplicação de *kaizen*, por exemplo.

No segundo tópico, analisa-se as condições operacionais e de manutenção do equipamento, na busca pelo entendimento sobre a situação favorável ou desfavorável que o mesmo apresenta perante o processo produtivo e em função de sua manutenibilidade. O próximo passo é a proposição de uma melhoria, a partir da troca de experiências, observação de históricos interventivos e envolvimento das equipes multidisciplinares.

Desenvolvida uma ideia inicial, é feito um processo de formalização e adequação técnica do mesmo, vinculando expertise de alguma consultoria ou de profissional especialista, que possa elaborar projeto legal e emitir orçamento.

De posse do projeto formalizado e do levantamento de custos de implantação, faz-se necessário expor todos os benefícios de sua aplicação, informando entre outros detalhes, um cronograma de implantação que gere mínimo ou nenhum impacto sobre a produção.

3.3 – Variáveis e indicadores

Para bom entendimento do problema analisado, é imprescindível estudar as variáveis e indicadores. Marconi e Lakatos (2003) citam a importância de variáveis na investigação de situações complexas, quando se sabe que um efeito não tem apenas uma causa, mas pode sofrer influência de vários fatores.

Ainda segundo Marconi e Lakatos (2003), uma variável pode ser considerada como uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores, discernível em um objeto de estudo e possível de mensuração.

Caridade *apud* Lages e França (2010), considera os indicadores como dados ou informações, preferencialmente numéricos, que representam um determinado fenômeno e que são utilizados para medir um processo ou seus resultados, que podem ser obtidos durante a realização de uma atividade ou ao seu término.

As variáveis e indicadores deste estudo estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis e indicadores adotados

Variáveis	Indicadores
Processo de filtragem	<ul style="list-style-type: none"> - granulometria do fluido - tipo de filtro - chapa perfurada - dimensões do filtro - vazão do fluido - pressão do fluido
Melhoria de equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> - disponibilidade do sistema - tipo de manutenção empregada no sistema - custo com implantação de melhoria - redução de custos pós-implantação - tempo gasto para atuação de manutenção

Fonte: Pesquisa direta (2017)

3.4 – Instrumentos de coleta de dados

Nessa etapa, determina-se os instrumentos necessários para realização de coleta de informações necessárias para a conclusão do estudo.

Os dados necessários para este trabalho foram obtidos da seguinte maneira:

- Pesquisa bibliográfica;
 - Diálogo com profissionais envolvidos nas atividades relacionadas;
 - Observação direta;
 - Planilha de controle de intervenção;
 - Relatório informatizado de indisponibilidade;
 - Relatório informatizado de custo direto com substituição de componente específico;
 - Subsídio técnico fornecido por consultoria especializada.

A pesquisa bibliográfica fornece embasamento teórico necessário para referenciar o desenvolvimento do estudo. O diálogo com profissionais, sobretudo empregados de “chão-de-fábrica”, facilita o entendimento dos fenômenos, assim como a própria observação direta.

Dados oriundos de relatórios informatizados sobre custos e indisponibilidade, além de levantamento de histórico de intervenções, salvos em planilha eletrônica, clarificam a visão sobre a situação problema, quantificando seu impacto. E por fim, o apoio da consultoria é fundamental para uma aproximação mais concreta das possibilidades reais e para a determinação de custos de implantação.

3.5 – Tabulação de dados

A importação dos dados mensuráveis será feita a partir do *software* SAP R3P, também o MES (*Manufacturing Execution System*), além do Microsoft Excel. A tabulação dos dados será feita com utilização do Microsoft Excel.

3.6– Considerações finais do capítulo

A metodologia utilizada neste trabalho foi contextualizada ao longo deste capítulo. Foi abordado o tipo de pesquisa, os materiais e métodos empregados, as variáveis e indicadores e as formas de coleta de dados. Também foram citados os *softwares* que serão utilizados para realizar a tabulação de dados.

No próximo capítulo, todos os dados e informações obtidas através dos meios de pesquisa e instrumentos de coleta são analisados, convergindo o estudo para uma possível proposição de melhoria aplicável ao equipamento estudado ou ainda a sistematização de novos planos mantenedores, com alguma alteração que traga benefícios ao processo.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, abordam-se informações sobre a empresa onde se fez o estudo, características de seu processo e dados sobre o cenário onde ocorre o problema foco.

Além disso, os resultados provenientes da análise dos dados oriundos dos instrumentos de coleta são avaliados, de modo a permitir a possibilidade de proposição de melhorias ou alterações no sistema.

4.1 – Caracterização do setor

O ramo de atuação da empresa avaliada é o de mineração. Dados fornecidos pela própria empresa, relatam que a mesma foi fundada no ano de 1974 e três anos depois suas plantas industriais já estavam prontas e em operação. O principal produto da empresa são as pelotas de minério de ferro para redução direta, produto utilizado na fabricação do aço. Seus principais clientes são complexos siderúrgicos asiáticos, para os quais a empresa precisa exportar as pelotas de minério. A exportação é através do transporte transoceânico realizado por navios cargueiros. A empresa conta com um terminal próprio no litoral do estado do Espírito Santo, por onde escoam toda sua produção, conforme pode ser visto pela figura 5.



Figura 5 - Terminal portuário para carregamento de minério de ferro
Fonte: Pesquisa direta(2017)

A empresa tem unidades industriais em Minas Gerais e no Espírito Santo, além de escritórios de vendas em países da Europa e da Ásia.

No complexo industrial de Minas Gerais, estão localizadas as frentes de lavra, que são minas à céu aberto, de onde é extraída a matéria prima. O minério de ferro em questão é o itabirito, que tem baixo teor de ferro. Sua extração se dá por meio de utilização de equipamentos de perfuração, desmonte, carregamento e transporte. Em geral, máquinas pesadas de grande robustez.

Afigura 6 ilustra um caminhão fora de estrada, tipicamente utilizado em mineradoras. O funcionário de pé, próximo à roda dianteira dá a dimensão do equipamento.



Figura 6 - Caminhão fora de estrada usado em mineração
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Para elevar o teor de ferro do mineral extraído, é preciso processá-lo em uma usina de beneficiamento. Através do britamento do material *in natura*, posterior moagem e remoção de lama e de sílica, a partir de processos físico-químicos, o minério tem o percentual relativo de ferro aumentado e fica então adequado para os processos posteriores.

A figura 7 mostra uma instalação de beneficiamento mineral em Minas Gerais.



Figura 7 - Planta de beneficiamento mineral
Fonte: Pesquisa direta (2017)

A unidade mineira da empresa extrai e beneficia o minério de ferro, misturando o produto com água para que se transforme em polpa e possa ser transportado até a planta do Espírito Santo. Lá, essa polpa é novamente processada e transformada em pelotas (pelotização).

A figura 8 ilustra o fluxograma do processo, desde a extração mineral, até o final do processo de beneficiamento.

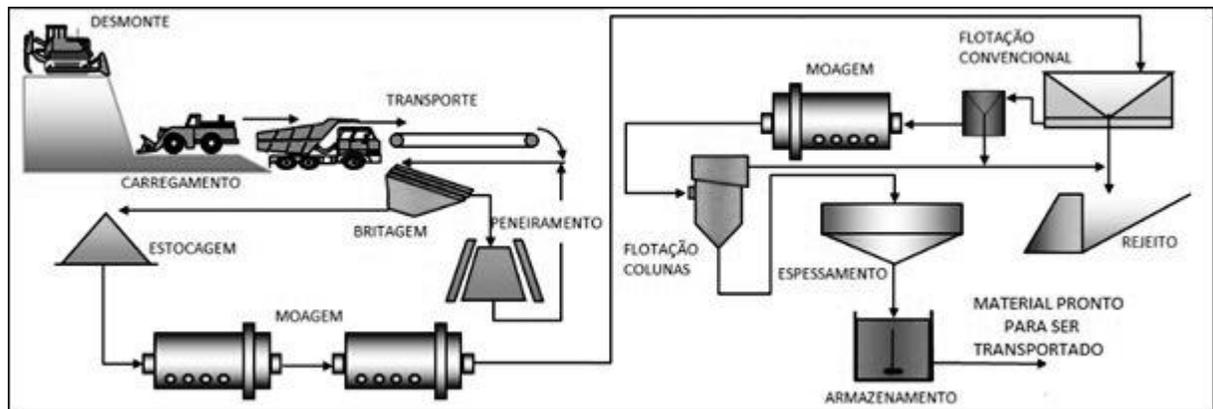


Figura 8 - Fluxograma do processo produtivo, da extração até o beneficiamento

Fonte: Pesquisa direta (2017)

O sequenciamento produtivo mostrado na figura 8 apresenta as etapas de extração mineral, britagem e peneiramento para redução inicial de particulado, seguido de moagem, conjunto de flotação, espessamento e por fim, o armazenamento em tanques.

Após todas essas etapas, o produto, então em forma de polpa mineral, está pronto para ser transportado da unidade mineira para a planta capixaba. Essa função de transporte é responsabilidade da gerência de mineroduto.

4.2 – A gerência encarregada do transporte mineral

O empreendimento estudado foi pioneiro no Brasil em relação ao meio alternativo utilizado para escoamento da produção mineral. Até seu surgimento, na década de 70, a forma imperativa para tal escoamento eram os ramais ferroviários. Para realizar o transporte de seu produto, de Minas Gerais para o Espírito Santo, a empresa utiliza três minerodutos, com aproximadamente 400 quilômetros de extensão, cada. Estações de bombeamento equipadas com propulsores hidrostáticos, promovem o deslocamento do fluido mineral por dentro da tubulação.

Na figura 9 é possível ver uma instalação de bombeamento de polpa mineral com utilização de bombas hidrostáticas (bombas de deslocamento positivo).



Figura 9 - Estação de bombeamento de polpa mineral com bombas hidrostáticas
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Este trabalho foi realizado exatamente na gerência responsável pela operação e manutenção dos minerodutos da empresa. A função da gerência é de garantir transporte mineral com segurança e qualidade, além de prover a disponibilidade dos equipamentos, confiabilidade do sistema e garantir a integridade dos componentes.

Os dutos de transporte mineral têm custo operacional significativamente mais baixo comparado aos outros meios de escoamento de produção utilizados em seguimentos similares. Esse fator tem sido responsável pelo aparecimento de novos empreendimentos minerários que estão fazendo uso de tal tecnologia. No Brasil, atualmente, existem pelo menos quatro grandes minerodutos em operação, estando três deles no estado de Minas Gerais, com destaque para o mais recentemente construído, que é inclusive o maior mineroduto do mundo, com cerca de 520 quilômetros de extensão.

A figura 10 mostra a distribuição de alguns minerodutos na região sudeste e outro na região norte do país.

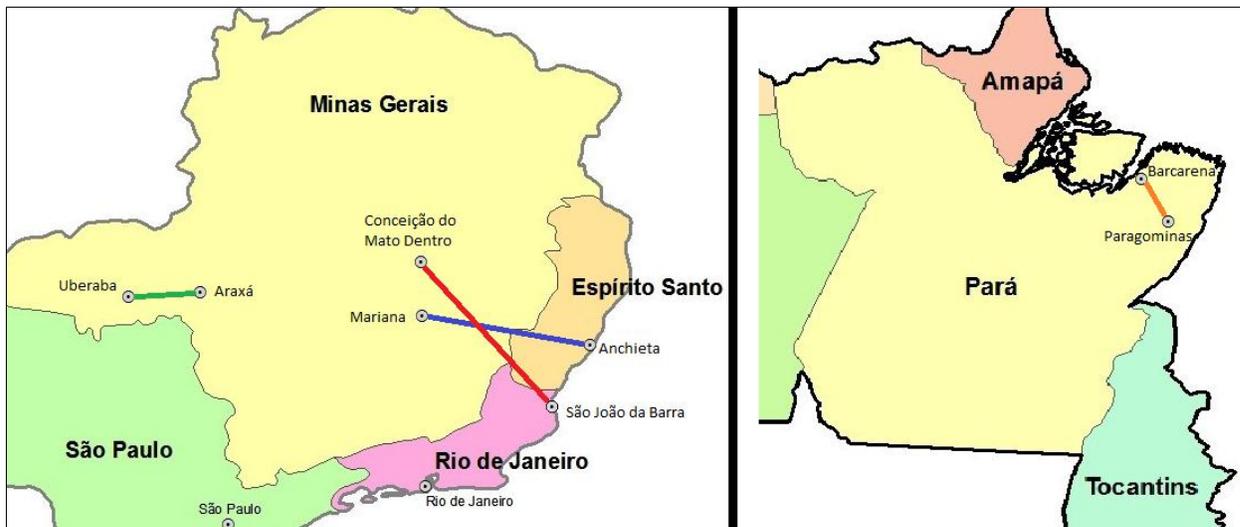


Figura 10 - Distribuição geográfica de alguns minerodutos em operação pelo Brasil
 Fonte: Pesquisa direta (2017)

Todo o controle operacional dos minerodutos da empresa avaliada é realizado através de sistemas automatizados. *Softwares* específicos, aliados a sistemas operacionais, controladores lógicos programáveis, transmissão de dados por fibra ótica e redes industriais para instrumentação de campo compõem o pacote de ferramentas necessárias para gerenciamento em tempo real de toda a estrutura.

Uma interface gráfica, criada exclusivamente para cada sistema presente, garante a facilidade e rapidez na análise das condições de cada equipamento, carregando para o controlador de processo informações como; o estado de funcionamento, temperatura de componentes, valores de pressão, vazão, rotação, corrente de motores, níveis de tanques de armazenamento, tempo de funcionamento e informações químicas intrínsecas da polpa bombeada.

A figura 11 ilustra uma tela de interface para controle operacional que permite, entre outras coisas, comandar equipamentos através do computador onde está instalada.

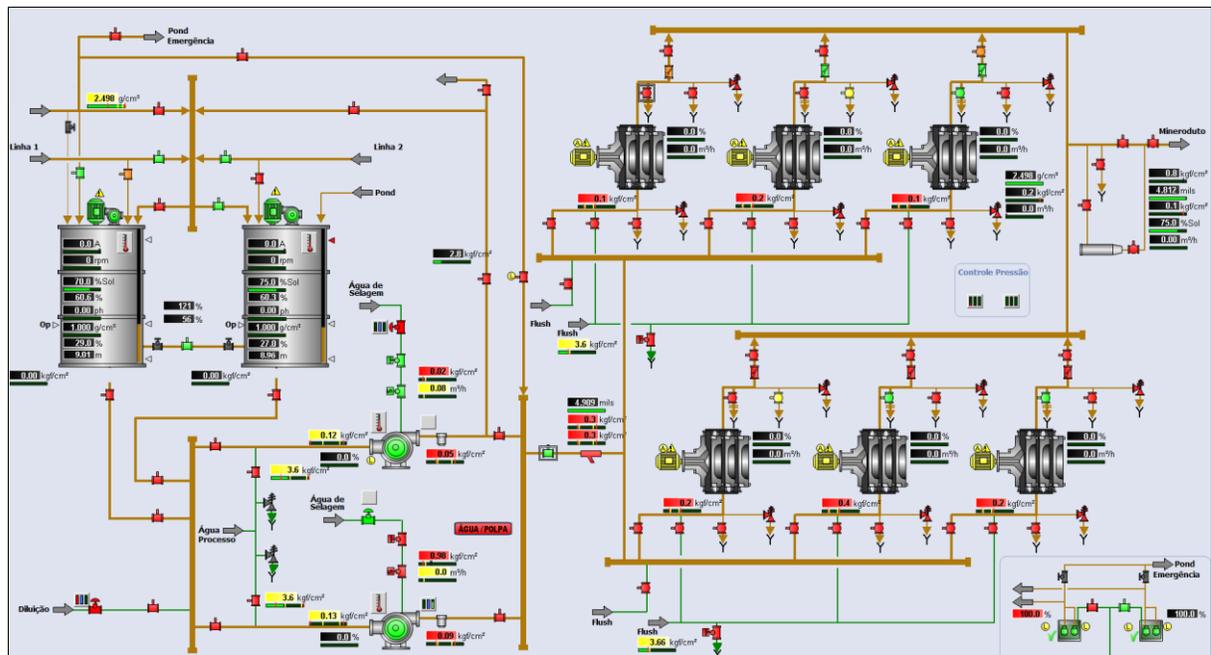


Figura 11 – Interface automatizada para controle de mineroduto

Fonte: Pesquisa direta (2017)

Para o bom funcionamento dos minerodutos, é imprescindível que haja um controle efetivo e ininterrupto de algumas especificações da polpa mineral, dentre elas a granulometria e homogeneidade do fluido. Como foi mencionado no primeiro capítulo desse trabalho, é indesejável que haja particulado grosseiro e, portanto, fora de especificação, agregado à polpa que os minerodutos bombeiam. Fica à cargo do sistema de filtragem, a retenção desse particulado, impedindo que o mesmo adentre a tubulação principal.

Nos projetos de minerodutos, são contemplados sistemas de filtragem para a polpa, visando justamente reter impurezas de tamanho significativo, particulado inadequado e outros corpos estranhos.

A figura 12 mostra o fluxograma do processo produtivo da gerência de mineroduto, contemplando os equipamentos mais representativos.

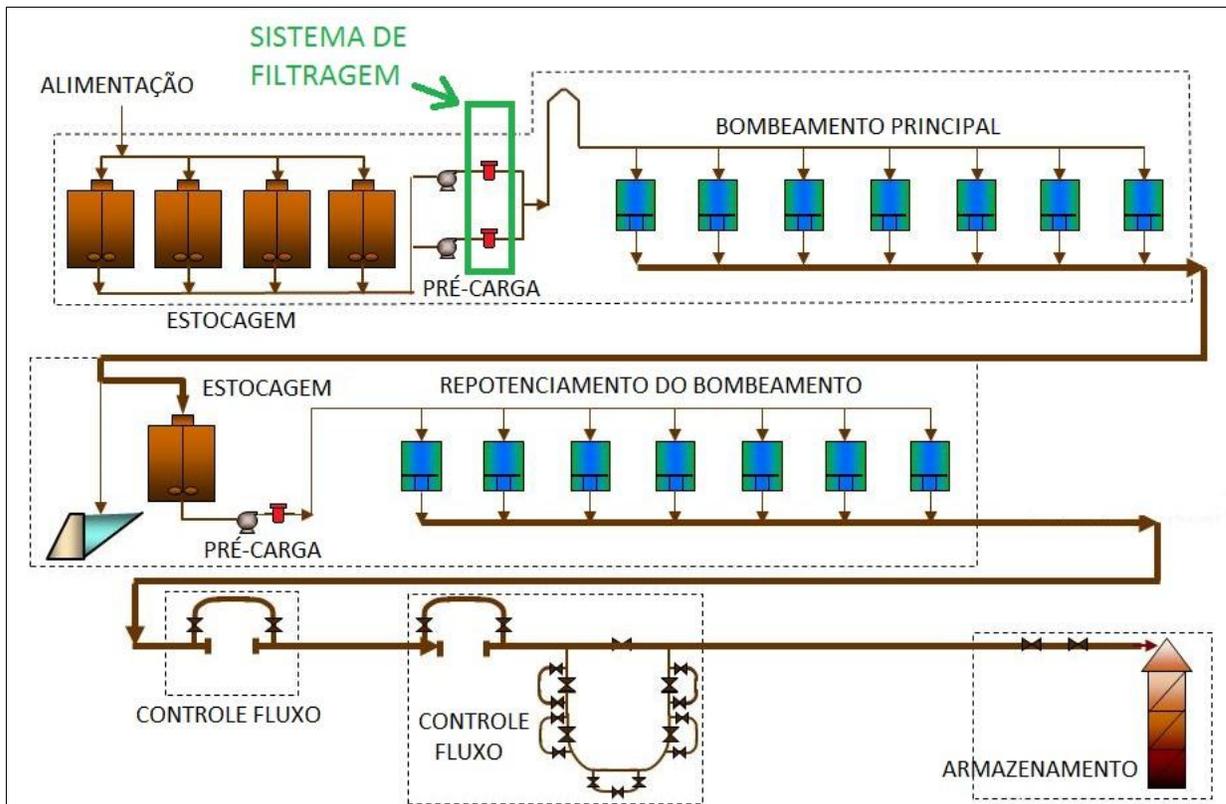


Figura 12 - Fluxograma gerência mineroduto
 Fonte: Pesquisa direta (2017)

Estão destacados em cor verde na figura 12, os filtros para retenção de particulado grosseiro. Eles estão situados à jusante das bombas centrífugas que alimentam a estação principal de bombeamento, na linha de recalque. As bombas centrífugas e os seus respectivos filtros são referenciados nesse trabalho da seguinte forma:

- bomba (A) com filtro (A*);
- bomba (B) com filtro (B*).

Para funcionamento do mineroduto, é preciso que pelo menos uma das duas bombas centrífugas fique em operação, e que o seu respectivo filtro esteja em plena condição de uso, de forma que o conjunto forneça fluxo suficiente para os propulsores da estação principal de bombeamento. Os propulsores principais necessitam de uma vazão e pressão mínima em seus ramais de sucção para promover o escoamento do fluido sob alta pressão no duto.

4.3 – O sistema de filtragem e sua rotina de manutenção

Os filtros de polpa estudados nesse trabalho são estruturas tubulares fechadas, compostas de conexões de entrada e saída para o fluxo e providas de um elemento filtrante em seu interior. O elemento filtrante é formado por uma chapa perfurada de aproximadamente 8mm de espessura e com furos circulares de 6mm de diâmetro, dispersos ao longo da superfície dessa chapa, que é fixada no interior da carcaça cilíndrica do filtro através de guias de aço.

A figura 13 mostra o desenho técnico da unidade filtrante, composta de carcaça, suportes, flanges e chapa perfurada.

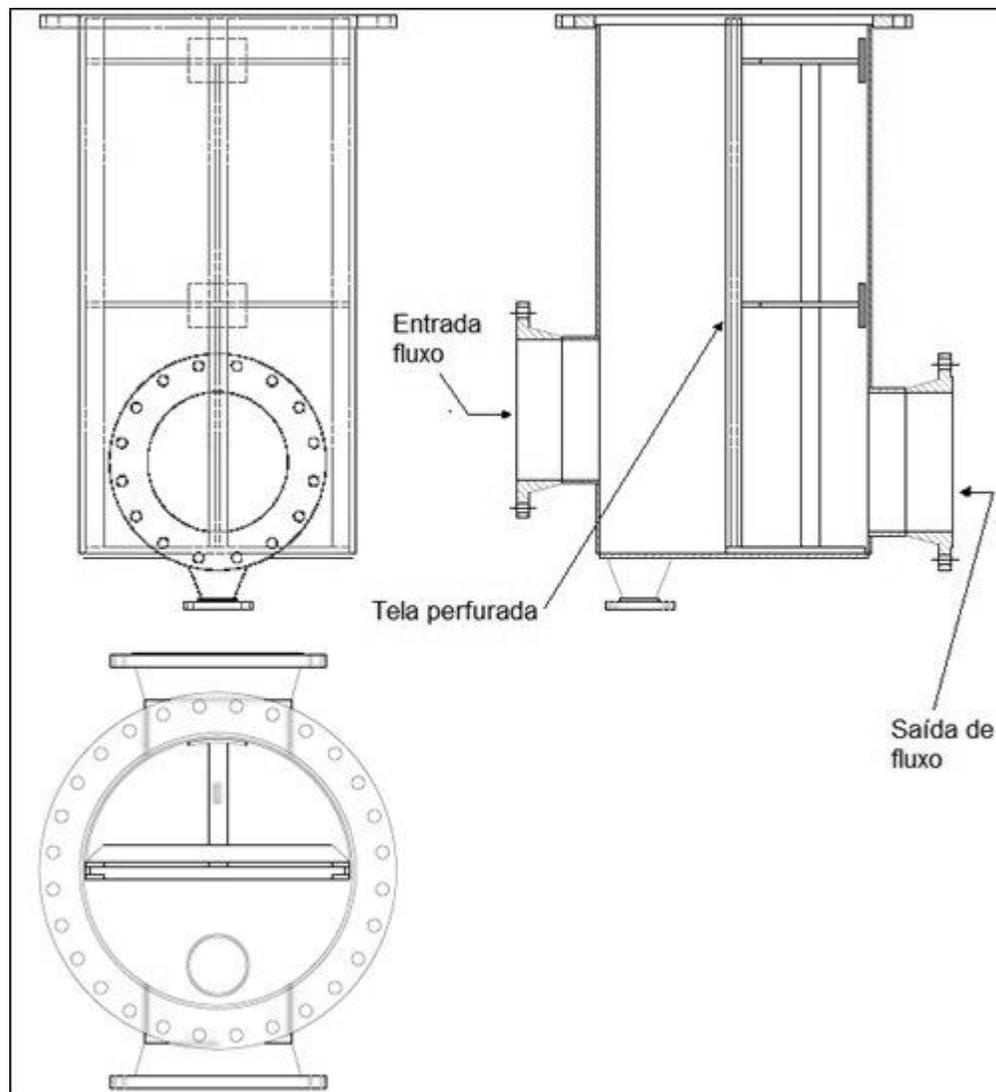


Figura 13 – Desenho do filtro
Fonte: Pesquisa direta (2017)

O princípio de funcionamento do filtro é básico. O flange de entrada é conectado na tubulação de recalque de uma bomba centrífuga, recebendo então o fluxo de polpa bombeado por ela. O fluido penetra pelo tubo de entrada da carcaça do filtro e encontra a restrição da chapa perfurada, que permite a passagem do fluxo apenas pelos furos cilíndricos de sua superfície. A presença do filtro na linha da bomba centrífuga promove elevação da perda de carga no ramal hidráulico, contudo a pressão que a bomba imprime no fluido é suficiente para garantir a vazão do material pelo sistema. A passagem do material através do filtro garante que apenas a polpa adequada seja direcionada ao sistema de bombeamento principal, pois a chapa perfurada retém todo o particulado com dimensões superiores às dos furos circulares.

A figura 14 destaca uma carcaça de filtro, indicando o sentido de passagem do fluxo:



Figura 14 – Carcaça de filtro com flanges de conexão
Fonte: Pesquisa direta (2017)

As intervenções e atividades de manutenção normalmente realizadas nos filtros são as seguintes: limpeza, troca da chapa perfurada, recuperação da estrutura de fixação e de suporte da chapa perfurada e recuperação da carcaça.

A demasiada obstrução dos furos da chapa perfurada, em detrimento de aglomeração de particulado grosseiro na mesma, acaba por reduzir a área de passagem projetada de fluxo, o que culmina em elevação da perda de carga no trecho e conseqüentemente redução da vazão e da pressão à jusante do elemento filtrante. Essa queda da pressão é observada através de transmissores de pressão instalados na tubulação e este evento é usado como parâmetro para determinar o momento de realização de limpeza no filtro.

Na figura 15 é possível observar uma chapa nova e uma chapa usada, retirada após apresentar obstrução demasiada de seus orifícios. O objeto circulado em azul na imagem é uma caneta esferográfica, ela foi ali colocada para facilitar a percepção de dimensões da chapa perfurada.

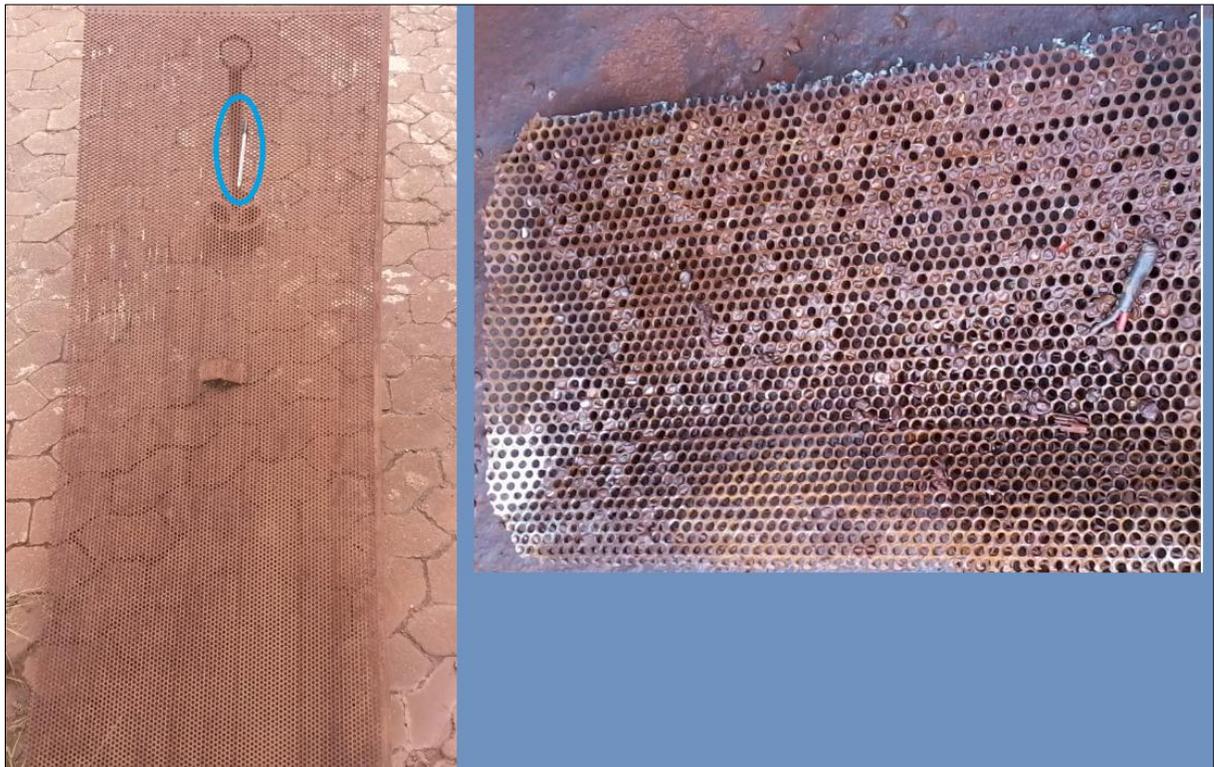


Figura 15 – Comparativo chapa perfurada nova outra usada com orifícios obstruídos
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Para o procedimento de limpeza da chapa perfurada, promove-se a retirada da tampa de manutenção, citada na figura 14, e aplica-se jato direcionado de água, sob alta pressão, que

geralmente é suficiente para remoção de todo particulado retido nos orifícios. Essas partículas escoam então pela tubulação de dreno.

Nafigura 16, é possível observar o aspecto e as informações características do material particulado que fica retido nos orifícios da chapa perfurada e que é retirado nas intervenções de limpeza.

PARTICULADO COLETADO DURANTE LIMPEZA FILTRO



CARACTERIZAÇÃO E SEPARAÇÃO DO PARTICULADO



Figura 16 – Aspecto e caracterização de particulado grosseiro retido no filtro
Fonte: Pesquisa direta (2017)

A troca, propriamente dita, da chapa perfurada, se dá por ocasião da constatação de sua ruptura ou amassamento, após abertura do filtro para inspeção.

Em casos de simples ruptura, ao contrário do que acontece nas ocorrências de amassamento, a troca da chapa perfurada é realizada em um tempo relativamente pequeno, bastando retirar a chapa danificada e instalar uma nova. Esse procedimento geralmente não leva mais que trinta minutos.

A figura 17 mostra uma chapa perfurada perfeitamente posicionada nos guias do suporte e demonstra o processo de remoção da mesma.

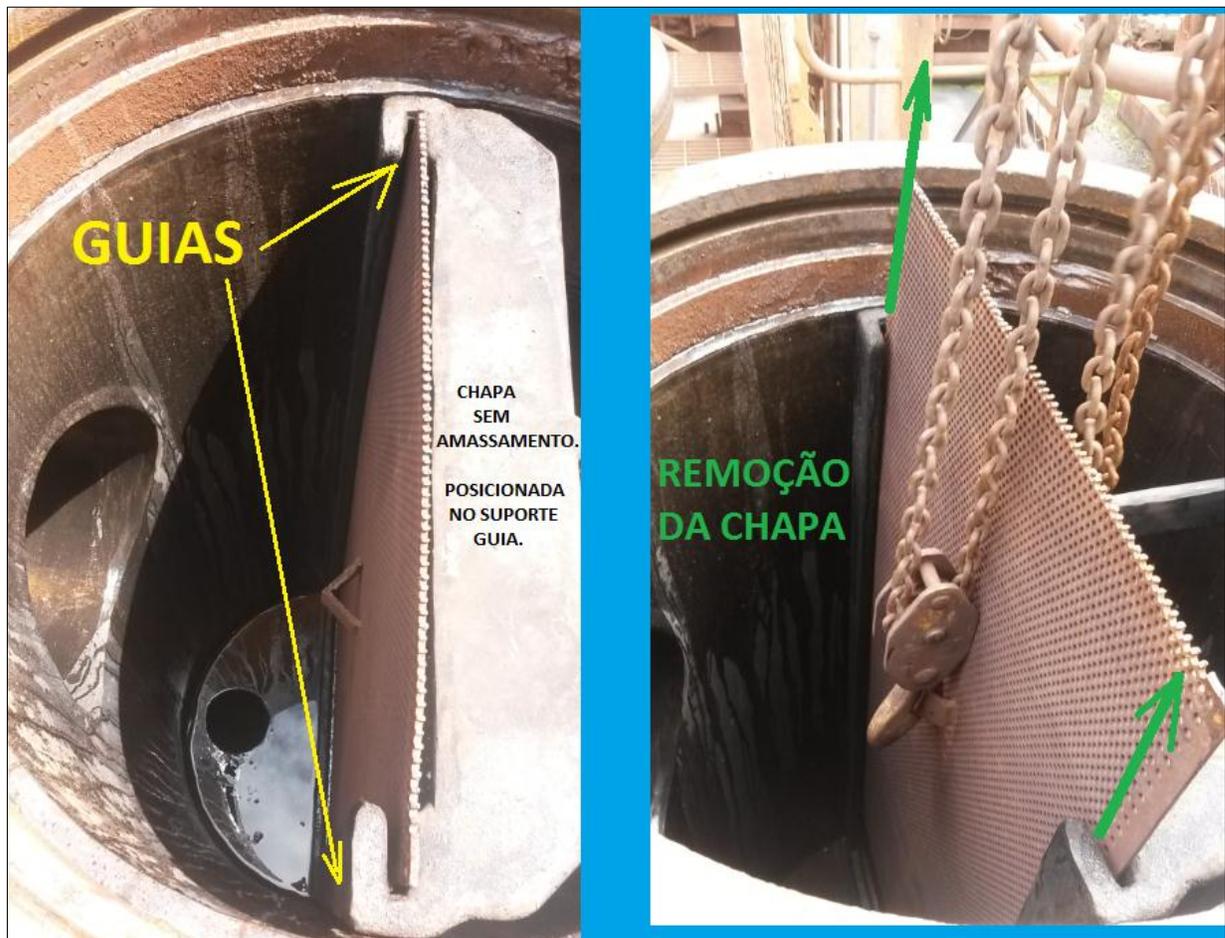


Figura 17 – Montagem local da chapa perfurada e detalhe para remoção da mesma
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Frequentemente, também é necessário realizar trabalhos de recuperação na parte estrutural dos filtros, trabalhos geralmente caracterizados por solda com arco elétrico, corte com oxiacetileno, aplicação de resina de revestimento e serviços de caldeiraria.

Um dos eventos mais críticos para a manutenção é o caso em que ocorre amassamento da chapa perfurada, que acontece geralmente após extenso período de operação do sistema com obstrução elevada do filtro. Esse tipo de falha causa perda da funcionalidade do sistema de filtragem, pois uma vez amassada, a chapa perfurada passa a não mais reter o particulado grosseiro e ou corpos estranhos. O deslocamento interno da chapa provoca a abertura de um grande vão lateral, não restritivo, entre a chapa e a carcaça do filtro, por onde preferencialmente o fluido “contaminado” começa a passar. Além desse inconveniente, o amassamento da chapa perfurada também eleva substancialmente o tempo de manutenção gasto para sua substituição, requerendo utilização de ferramentas especiais para promover sua retirada. Esses problemas podem ser melhor entendidos através da observação da figura 18.



Figura 18 – Amassamento na chapa perfurada que eleva o tempo de manutenção de troca
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Observa-se pelas práticas utilizadas no sistema de filtragem, que o tipo de manutenção adotado é caracteristicamente corretivo, uma vez que atuações programadas não são predominantes na rotina.

No primeiro capítulo desse trabalho, foram detalhados alguns motivos que levaram à necessidade de atuação no sistema de filtragem de polpa, no sentido de promover alterações e melhorias no mesmo. Um dos fatores, foi a elevação da quantidade de atuações mantenedoras corretivas nesse equipamento.

Idealizados inicialmente para não necessitar de intervenções constantes, os filtros começaram a apresentar alto índice de falhas, como pode ser constatado pela figura 19, que traz a imagem de uma planilha eletrônica utilizada para registrar as ocorrências relacionadas à limpeza, devido entupimentos, e também substituição da chapa perfurada, em função de rompimento ou amassamento. Para a data analisada, a totalidade dos registros se referiu apenas a entupimentos, embora como dito, a mesma planilha também sirva para registro das ocorrências de troca da chapa perfurada.

INSPEÇÃO NOS FILTROS DAS BOMBAS DE CARGA -									
23 intervenções apenas no dia 03/07									
Mostrar apenas dados da <input type="text"/> Mostrar apenas dados da <input type="text"/> Desfazer filtragem. Mostrar tudo.									
Data Inspeção	Tipo	Bomba	Horímetro	Tela foi trocada?	Horas operadas desde última inspeção	Vida útil da tela	Informações		Responsável pelos lançamentos
1229	03/07/13	A	17788	Não	4	7	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	05:20:42	1
1230	03/07/13	A	17790	Não	2	9	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	05:21:13	1
1231	03/07/13	C	17793	Não	3	12	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	11:38:45	*
1232	03/07/13	C	17794	Não	1	1	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	11:39:14	*
1233	03/07/13	C	17795	Não	1	2	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	11:40:08	*
1234	03/07/13	C	17796	Não	1	3	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	11:40:18	*
1235	03/07/13	C	17797	Não	1	4	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	11:43:27	*
1236	03/07/13	C	17798	Não	0	4	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	12:23:50	*
1237	03/07/13	C	17798	Não	1	5	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	15:35:32	*
1238	03/07/13	C	17799	Não	1	6	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	15:36:07	*
1239	03/07/13	C	17800	Não	1	7	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	15:36:21	*
1240	03/07/13	C	17800	Não	0	7	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	15:36:33	*
1241	03/07/13	C	17800	Não	0	7	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	15:36:51	*
1242	03/07/13	C	17801	Não	1	8	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	17:49:30	*
1243	03/07/13	C	17802	Não	1	9	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	17:49:41	*
1244	03/07/13	C	17803	Não	1	10	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	17:49:52	*
1245	03/07/13	C	17804	Não	1	11	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	18:56:18	*
1246	03/07/13	B	17804	Não	0	11	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	00:45:05	*
1247	03/07/13	B	17805	Não	1	12	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	00:45:15	*
1248	03/07/13	B	17806	Não	1	13	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	00:45:31	*
1249	03/07/13	B	17807	Não	1	14	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	00:45:41	*
1250	03/07/13	B	17808	Não	1	15	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	00:45:57	*
1251	03/07/13	B	17809	Não	1	16	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	00:46:55	*
1252	04/07/13	B	17810	Não	1	17	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	00:47:07	*
1253	04/07/13	A	17811	Não	1	18	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	02:35:26	*
1254	04/07/13	A	17812	Não	1	19	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	02:35:51	*
1255	04/07/13	A	17813	Não	1	20	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	05:12:09	*
1256	04/07/13	A	17814	Não	1	21	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	05:12:22	*
1257	04/07/13	A	17815	Não	1	22	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	05:12:48	*
1258	04/07/13	A	17816	Não	1	23	Limpeza linha 1. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	06:34:25	*
1259	04/07/13	A	17816	Não	0	23	Limpeza linha 2. Tela em boas condições. Muito material agarrado na tela e muita lama	06:34:52	*

Figura 19 – Planilha eletrônica com registros das intervenções diárias para limpeza da chapa perfurada do filtro
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Pela observação da figura 19, pode-se perceber que a quantidade de manutenções num período de apenas um dia, atingiu um valor igual a 23 (vinte e três). Analisando que cada uma dessas intervenções leva em média trinta minutos para ser executada, pode-se concluir que, diante dessa situação, a atenção dos profissionais responsáveis pela área específica fica praticamente

toda voltada para o equipamento defeituoso, não sobrando muito tempo para se dedicarem à outras frentes de serviço.

A principal causa para as demasiadas intervenções em apenas um único dia, está relacionada ao excesso de particulado grosseiro presente na polpa, oriundo de alguma falha de processo para adequação granulométrica do material no departamento de beneficiamento mineral, responsável por adequar o produto para o transporte dutoviário.

Outro aspecto levantado no início do trabalho,foia perda de disponibilidade dos equipamentos da gerencia de transporte dutoviário, em função das demasiadas paradas relacionadas aos filtros.

Todas as vezes que ocorre falha simultânea nos dois equipamentos destinados à filtragem, todo o sistema produtivo fica comprometido, pois, não sendo possível proceder com a retenção dos particulados grosseiros, opta-se por paralisar o bombeamento principal, até que algum dos dois filtros esteja novamente disponível. Essa decisão é tomada partindo-se do princípio de que a perda de produção naquele momento é menos impactante para o departamento, que os prováveis danos de longo ou médio prazo,possivelmente desencadeados no mineroduto, em função da inserção desse particulado indesejado.

A empresa utiliza um *software* comercial para controlar seus índices produtivos. Nafigura 20 é apresentada uma tabela contendo informações sobre o impacto na disponibilidade do sistema principal,em função do impedimento de utilização do conjunto de filtragem. A mesma figura também traz um gráfico onde pode ser percebida a queda do índice relacionado à produção ao longo de um período avaliado, em detrimento da mesma causa.

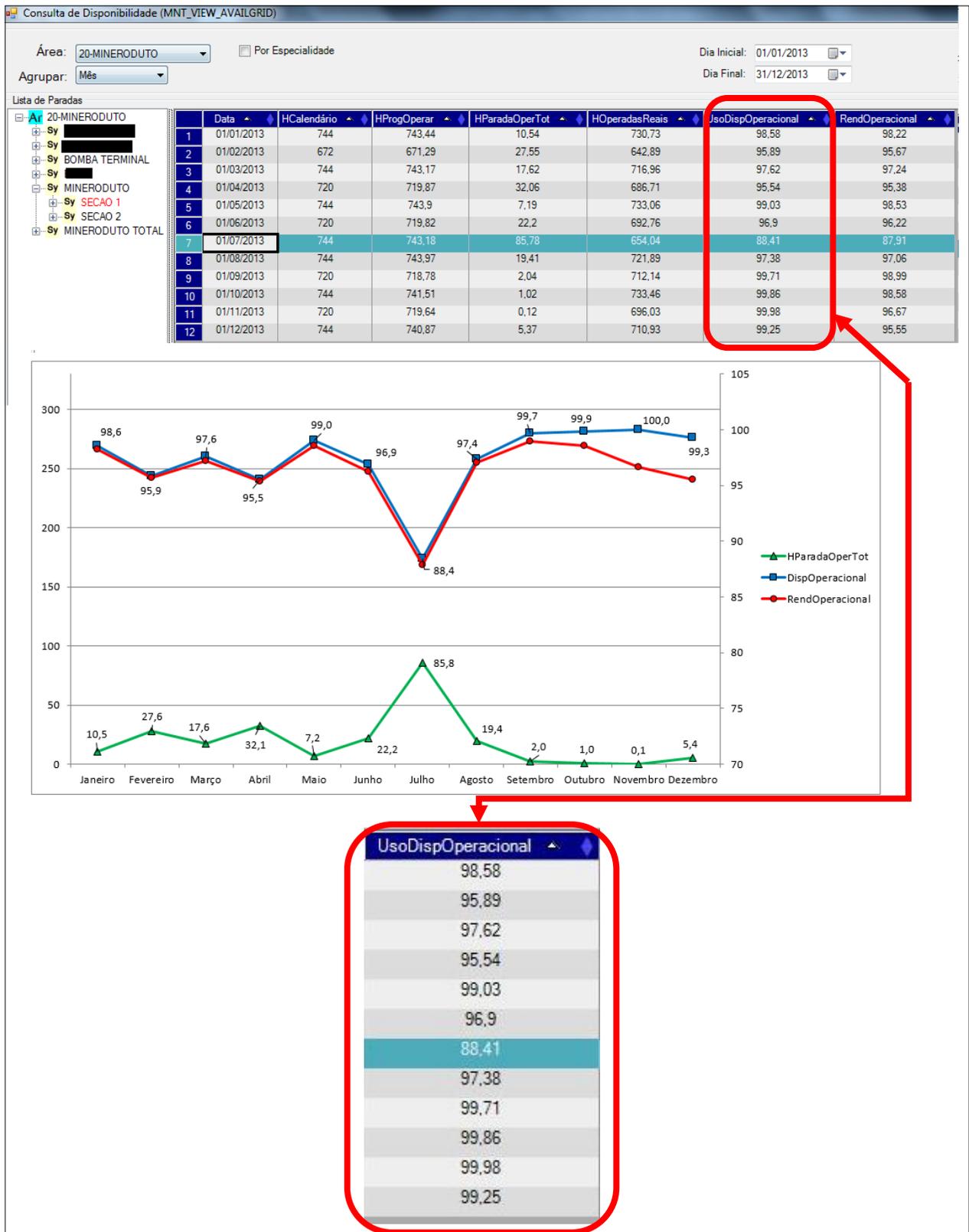


Figura 20—Informações numéricas e gráfico com demonstração de queda da disponibilidade para o período
 Fonte: Pesquisa direta (2017)

Através da observação da figura 20, é possível perceber uma elevação significativa nas horas paradas em função de intervenções operacionais no sétimo mês do período avaliado. A consequência dessa elevação de manutenções foi a redução da disponibilidade operacional para um índice abaixo de 90%, algo bem inferior aos valores registrados para os outros meses.

As descrições para as intervenções relatadas podem ser vistas na figura 21, que mostra os registros relacionados a indisponibilidades ocasionadas por desvios operacionais durante um período de avaliação. É possível notar que os registros contidos, estão em sua totalidade relacionados às falhas no sistema de filtragem.

Consulta de Restrições (MNT_VIEW_RESTRGRID_A)

Parâmetros
 Dia Inicial: 01/07/2013 00:00 Dia Final: 31/07/2013 23:59
 Área: 20-MINERODUTO
 Motivos:

Origem de Restrição
 Área:
 Equipamento:
 Componente do Local:
 Motivo:

Eq	Equipamentos	Sy	Sistema	Data Inicial	Data Final	Tempo Restr (h)	Intervenção	Descrição
1	SECAO 1		SECAO 1	03/07/2013 19:29:00	03/07/2013 20:00	0.52	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
2	SECAO 1		SECAO 1	03/07/2013 19:29:00	03/07/2013 20:00	0.52	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
3	SECAO 1		SECAO 1	03/07/2013 19:29:00	03/07/2013 20:00	0.52	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
4	SECAO 1		SECAO 1	03/07/2013 19:29:00	03/07/2013 20:00	0.52	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
5	SECAO 1		SECAO 1	03/07/2013 19:29:00	03/07/2013 20:00	0.52	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
6	SECAO 1		SECAO 1	03/07/2013 19:29:00	03/07/2013 20:00	0.52	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
7	SECAO 1		SECAO 1	03/07/2013 19:29:00	03/07/2013 20:00	0.52	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
8	SECAO 1		SECAO 1	03/07/2013 19:29:00	03/07/2013 20:00	0.52	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
9	SECAO 1		SECAO 1	03/07/2013 19:29:00	03/07/2013 20:00	0.52	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
10	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 05:04:00	05/07/2013 05:31	0.45	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
11	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 05:04:00	05/07/2013 05:31	0.45	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
12	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 05:04:00	05/07/2013 05:31	0.45	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
13	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 05:04:00	05/07/2013 05:31	0.45	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
14	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 05:04:00	05/07/2013 05:31	0.45	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
15	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 05:04:00	05/07/2013 05:31	0.45	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
16	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 05:04:00	05/07/2013 05:31	0.45	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
17	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 05:04:00	05/07/2013 05:31	0.45	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
18	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 05:04:00	05/07/2013 05:31	0.45	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)
19	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 08:07:00	05/07/2013 13:00	0.83	OPR	Entupimento constante dos filtros da bombas de carga, tendo que bombear até com 04 Bbas. devido baixa sucção na EBI.
20	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 08:07:00	05/07/2013 13:00	0.83	OPR	Entupimento constante dos filtros da bombas de carga, tendo que bombear até com 04 Bbas. devido baixa sucção na EBI.
21	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 08:07:00	05/07/2013 13:00	0.83	OPR	Entupimento constante dos filtros da bombas de carga, tendo que bombear até com 04 Bbas. devido baixa sucção na EBI.
22	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 08:07:00	05/07/2013 13:00	0.83	OPR	Entupimento constante dos filtros da bombas de carga, tendo que bombear até com 04 Bbas. devido baixa sucção na EBI.
23	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 08:07:00	05/07/2013 13:00	0.83	OPR	Entupimento constante dos filtros da bombas de carga, tendo que bombear até com 04 Bbas. devido baixa sucção na EBI.
24	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 08:07:00	05/07/2013 13:00	0.83	OPR	Entupimento constante dos filtros da bombas de carga, tendo que bombear até com 04 Bbas. devido baixa sucção na EBI.
25	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 08:07:00	05/07/2013 13:00	0.83	OPR	Entupimento constante dos filtros da bombas de carga, tendo que bombear até com 04 Bbas. devido baixa sucção na EBI.
26	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 08:07:00	05/07/2013 13:00	0.83	OPR	Entupimento constante dos filtros da bombas de carga, tendo que bombear até com 04 Bbas. devido baixa sucção na EBI.
27	SECAO 1		SECAO 1	05/07/2013 08:07:00	05/07/2013 13:00	0.83	OPR	Entupimento constante dos filtros da bombas de carga, tendo que bombear até com 04 Bbas. devido baixa sucção na EBI.
28	SECAO 1		SECAO 1	10/07/2013 17:12:00	10/07/2013 18:04	0.87	OPR	EB1 Operando com agua em função de obstrução nas telas dos filtros das Bbas de Carga(material muito Grossoeiro)

Figura 21 – Registro de causas de indisponibilidade produtiva. *Software MES*

Fonte: Pesquisa direta (2017)

4.4 – Proposta de melhoria de equipamento

O projeto original dos equipamentos de filtragem foi desenvolvido pensando-se em manter um conjunto bomba/filtro operando, enquanto o outro estivesse em manutenção ou simplesmente disponível para utilização. O sistema contempla apenas um filtro na tubulação de descarga de cada uma das duas bombas centrífugas existentes, de forma que cada filtro trabalha apenas em conjunto com sua respectiva bomba. Existe uma relação de dependência.

Na figura 22 é possível ver um desenho em perspectiva que retrata a condição estrutural existente.

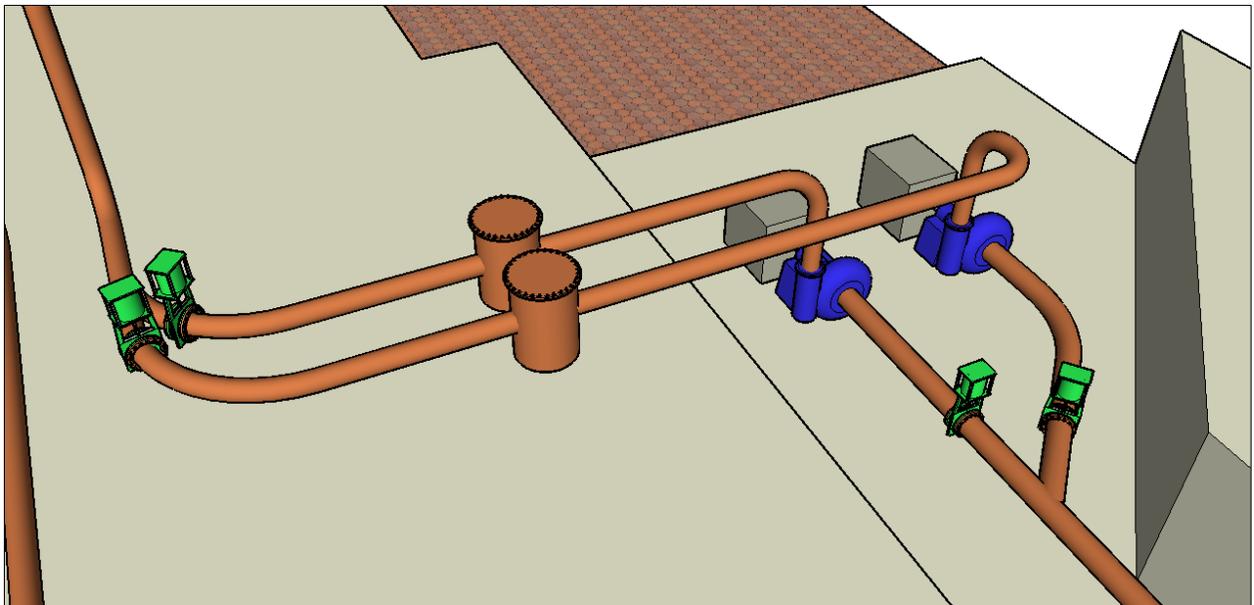


Figura 22 – Desenho em perspectiva da condição estrutural disponível para utilização
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Pela observação da figura 22, é possível verificar que, os únicos dois arranjos operacionais possíveis para o funcionamento do circuito, a partir da condição atual, são os seguintes:

- bomba (A) operando com filtro (A*) ou
- bomba (B) operando com filtro (B*)

A figura 23 esquematiza as duas alternativas para operação citadas, onde o ramal em funcionamento aparece na cor marrom e o ramal em manutenção ou disponível para utilização aparece na cor amarela.

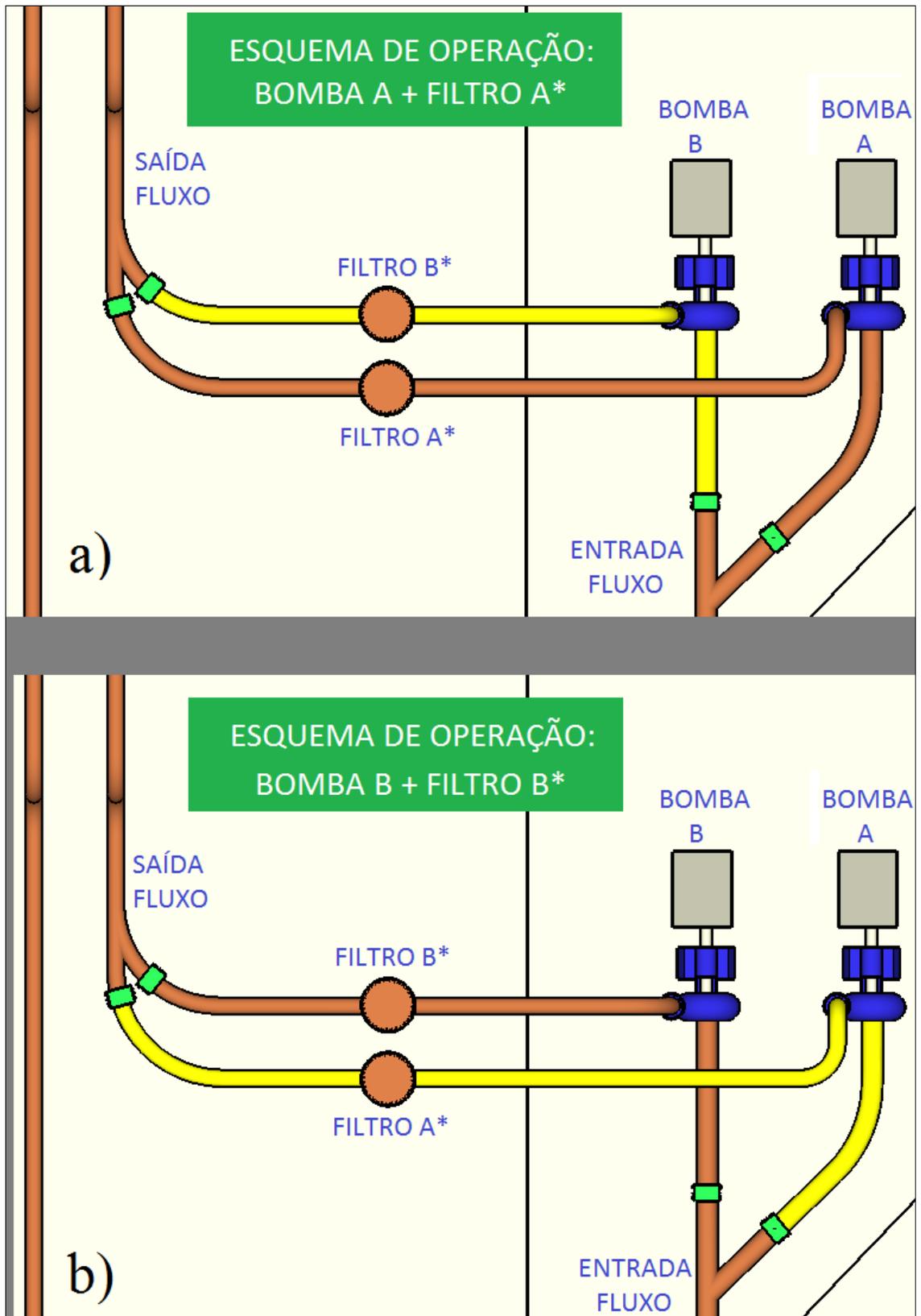


Figura 23 – Esquemas possíveis de operação do sistema filtrante
 Fonte: Pesquisa direta (2017)

A disposição dos equipamentos, mostrada na figura 23 faz com que seja obrigatoriamente necessária a parada da bomba centrífuga para realizar intervenções de limpeza ou manutenção no seu correspondente filtro. Da mesma forma, intervenções nas bombas, propriamente ditas, remetem necessariamente na indisponibilidade do elemento filtrante adjacente, ou seja, não é possível operar com a bomba (A) e filtro (B*) simultaneamente, o mesmo vale para o arranjo bomba (B) + filtro (A*).

Considerando essa inter-relação como uma deficiência, propõe-se uma alteração estrutural nos equipamentos de modo a eliminar a dependência existente entre bomba/filtro, elevar as possibilidades de arranjos operacionais e reduzir as incidências de paradas na produção em função da indisponibilidade do sistema filtrante.

A proposta seria adicionar mais dois filtros ao sistema, totalizando quatro filtros. Projetar também um sistema de tubulações, válvulas e distribuidores de fluxo que permitam o funcionamento independente de cada um dos quatro filtros em relação a qualquer uma das duas bombas.

A figura 24 retrata um desenho em perspectiva com a proposta de alteração estrutural.

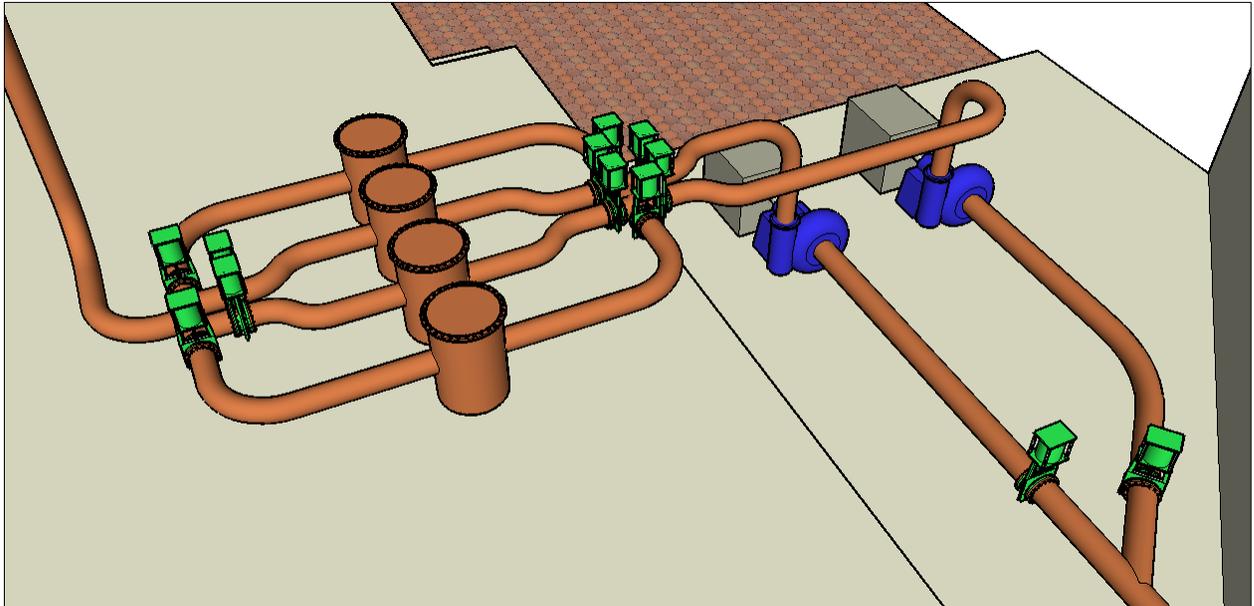


Figura 24 – Imagem em perspectiva com proposta para nova estrutura dos equipamentos
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Nota-se, pela observação da figura 24 que, para a implementação das alterações estruturais, seria necessário realizar modificações apenas nas tubulações à jusante das bombas, ou seja, no recalque de cada uma delas.

Os filtros adicionais serão referenciados nesse trabalho como filtro (C*) e filtro (D*).

Conforme foi explanado e demonstrado pela figura 23, o sistema atual tem condição de trabalhar apenas com dois arranjos, ao passo que o sistema proposto permitiria oito combinações operacionais. As quatro primeiras combinações, utilizando a bomba (A), estão exemplificadas na figura 25, onde os ramais mostrados na cor marrom simbolizam a linha em operação e os ramais na cor amarela simbolizam as linhas em manutenção ou disponíveis para utilização.

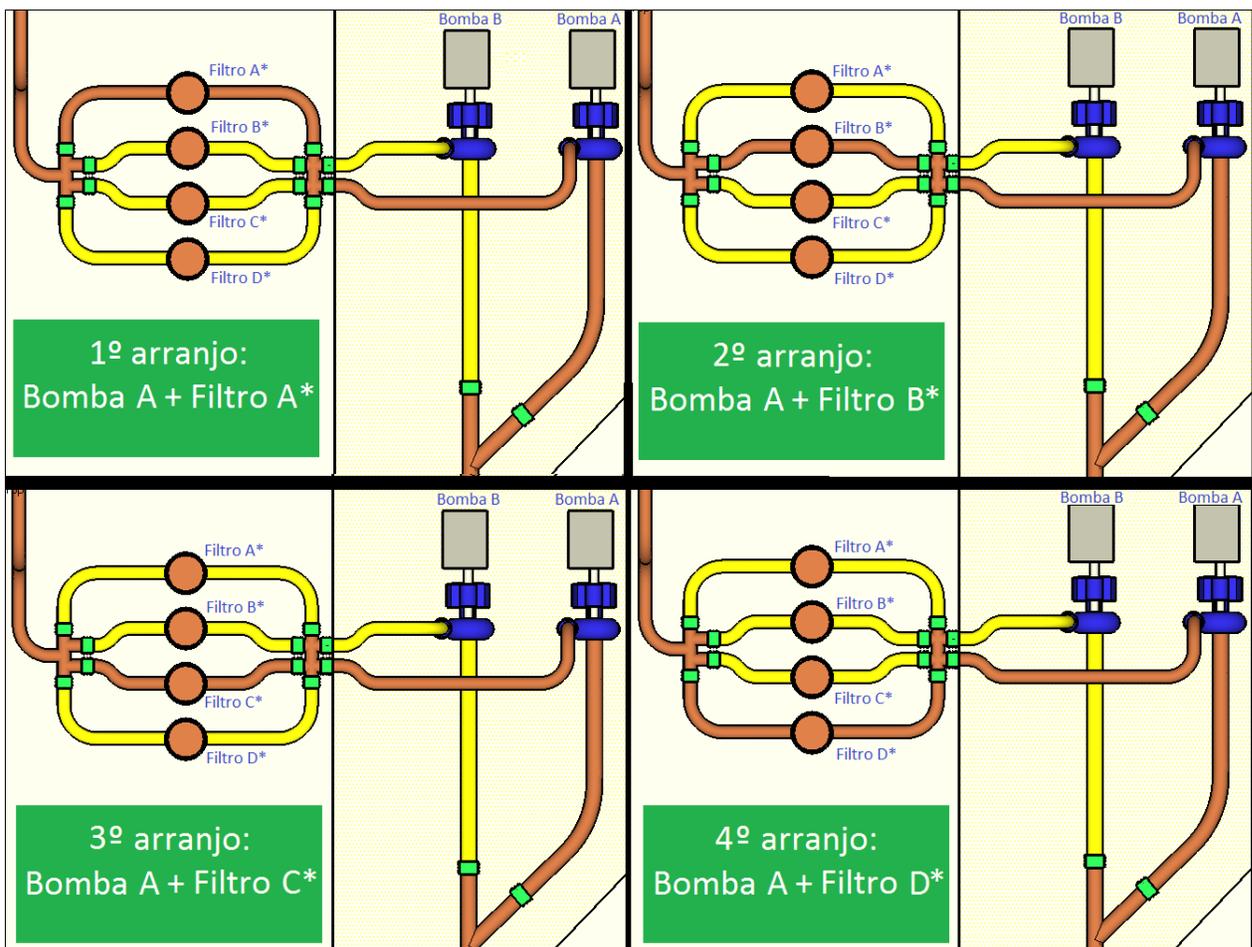


Figura 25 – Primeiros quatro arranjos operacionais possíveis com a implantação da melhoria, utilizando bomba (A)
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Similarmente, seria possível também, realizar os mesmos arranjos, porém utilizando a bomba (B), conforme pode ser visto na figura 26.

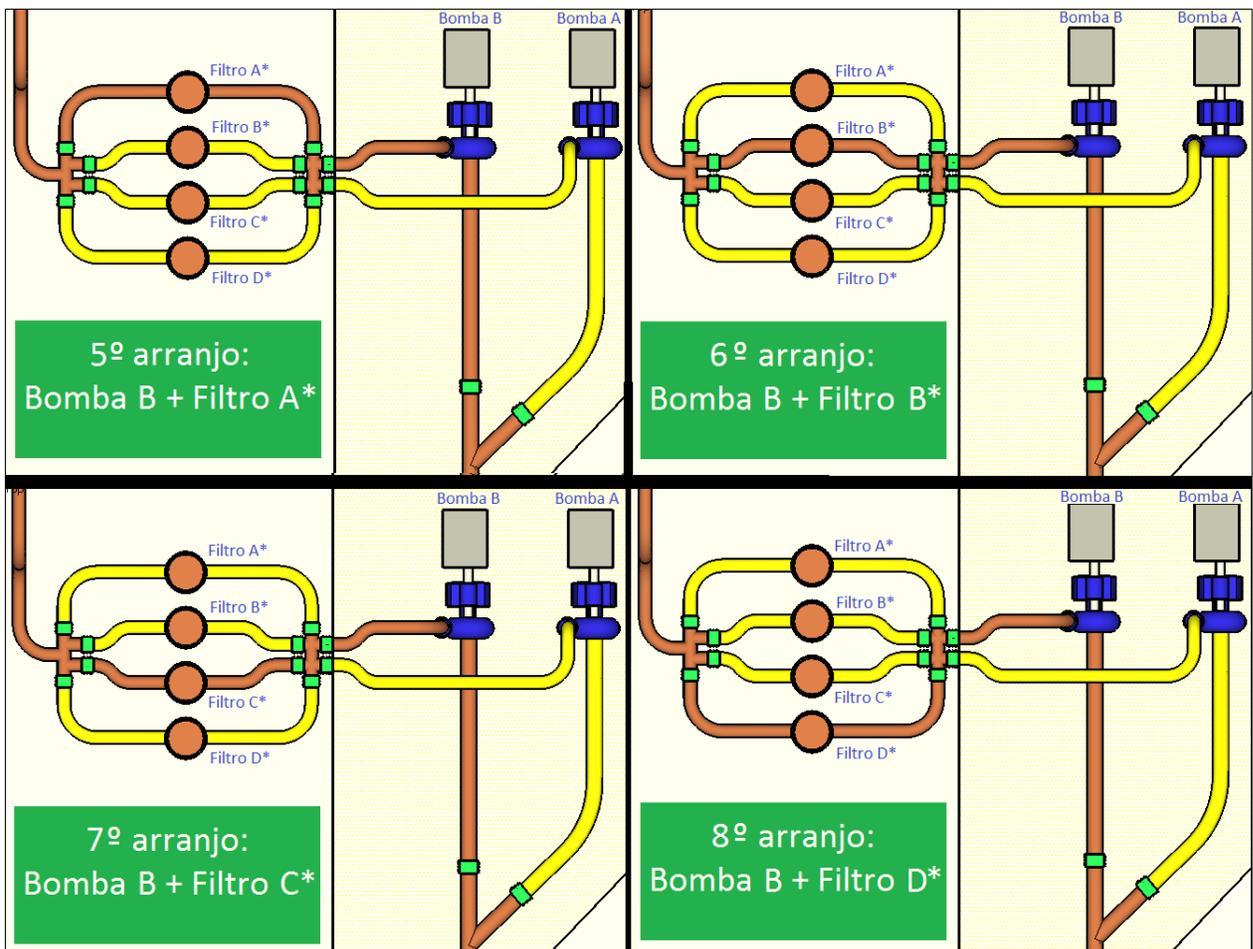


Figura 26 - Outros quatro arranjos operacionais possíveis com a implantação da melhoria utilizando bomba (B)
 Fonte: Pesquisa direta (2017)

Com a incrementação do número de filtros e a utilização de sistemas tubulares para torná-los independentes, os recursos operacionais seriam aumentados e a incidência de paradas devido indisponibilidade desse sistema seria praticamente eliminado. A manutenção teria mais tempo disponível para realizar intervenções em uma das duas bombas, por exemplo, sem se preocupar em ter que disponibilizá-la rapidamente para a produção, que poderia operar com a outra bomba e realizar apenas a permuta entre filtros quando as obstruções fossem ocorrendo.

Uma segunda melhoria proposta para o sistema de filtragem nesse trabalho, refere-se à carcaça do filtro especificamente. Uma alteração simples, que pode significar aumento da vida útil da tela perfurada e melhoramento na filtragem.

A figura 27 mostra uma imagem do local onde estão dispostos os elementos filtrantes e como os mesmos são conectados às tubulações de entrada e saída de fluxo.



Figura 27 – Imagem do local onde estão instalados os componentes de filtração
Fonte: Pesquisa direta (2017)

É possível visualizar pela figura 27, que existe um semi-alinhamento entre as tubulações de entrada e saída nos filtros, ou seja, uma defasagem pequena entre os eixos axiais dos flanges de conexão com as tubulações. A referida cota de defasagem pode ser melhor entendida pela observação da figura 28, que destaca a medida citada.

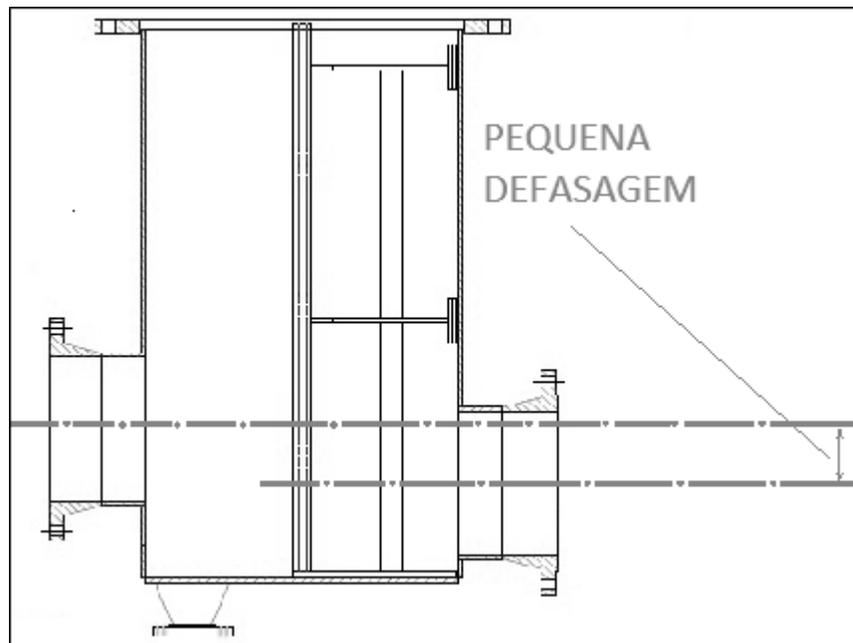


Figura 28 – Defasagem pequena entre eixos axiais dos flanges de entrada e saída
 Fonte: Pesquisa direta (2017)

Tal característica dimensional pode ser responsável por uma distribuição menos uniforme de fluxo dentro da carcaça do filtro, uma vez que nessa situação, o fluido tenderia a percorrer o menor caminho entre as conexões, deixando a porção superior da carcaça do filtro submetida a pouca movimentação de material, enquanto a porção inferior ficaria exposta à um fluxo muito maior, causando um desgaste acentuado na parte de baixo da chapa perfurada e elevando a possibilidade de amassamento nessa região.

Para tratar essa hipótese, sugere-se a alteração na defasagem das linhas de centro dos eixos axiais das tubulações de entrada e saída de fluxo. A proposta seria de que o flange de entrada fosse movido para a porção superior da carcaça do filtro, mantendo-se o flange de saída em sua posição original. Com isso, a distribuição de fluxo internamente à carcaça ficaria mais homogênea e centralizada, conforme está esquematizado na figura 29.

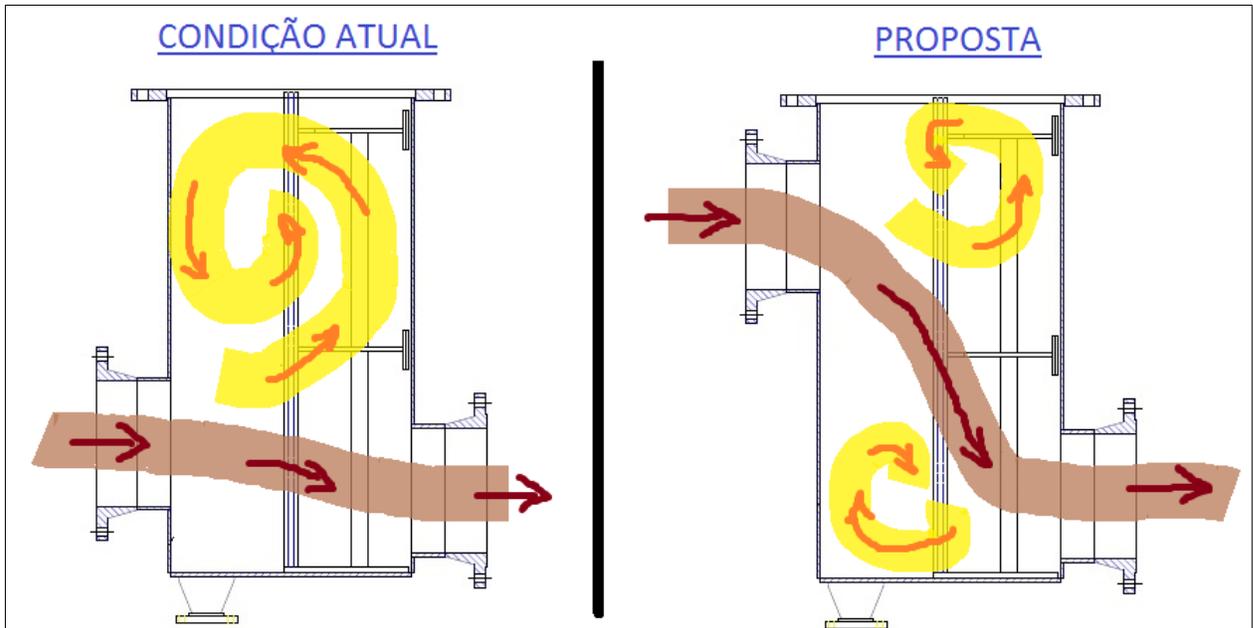


Figura 29 – Representação da distribuição de fluxo interna no filtro. À esquerda, condição atual. À direita, condição com a implantação da proposta.
Fonte: Pesquisa direta (2017)

Na figura 29, o sentido preferencial de fluxo mineral está representado pelos rastros e setas em marrom. As setas em laranja e os rastros amarelos simbolizam as regiões de vórtices hidráulicos, onde o fluxo praticamente inexistente e resta apenas uma espécie de turbilhonamento.

Na condição atual, o fluxo preferencial passa apenas na porção inferior da chapa perfurada, o que sugere uma exigência localizada para o componente. A movimentação do flange de entrada para uma posição mais próxima ao topo da carcaça, supostamente promoveria uma passagem do fluxo preferencial pela parte central da chapa perfurada, diminuindo as zonas de vórtice e distribuindo melhor os esforços sobre o equipamento.

Uma terceira melhoria proposta por este estudo, seria a utilização de um método preventivo de atuação nos filtros. O que ocorre é que os filtros são abertos para inspeção apenas após constatação de sua obstrução ou ruptura. Os indícios para essas constatações são o aparecimento de particulado grosseiro em componentes da estação principal de bombeamento, indicando possível ruptura da chapa perfurada. Outro indício é a redução do fluxo fornecido aos propulsores principais pela bomba centrífuga em operação, que indica uma possível obstrução do filtro em uso.

Para o segundo caso citado, geralmente quando se percebe redução da vazão fornecida, o nível de obstrução no filtro já atingiu um nível muito elevado. Nessa situação, a pressão interna

na carcaça se eleva demasiadamente no lado de entrada de fluxo, culminando geralmente num amassamento significativo da chapa perfurada. Essa situação está esquematizada na figura 30.

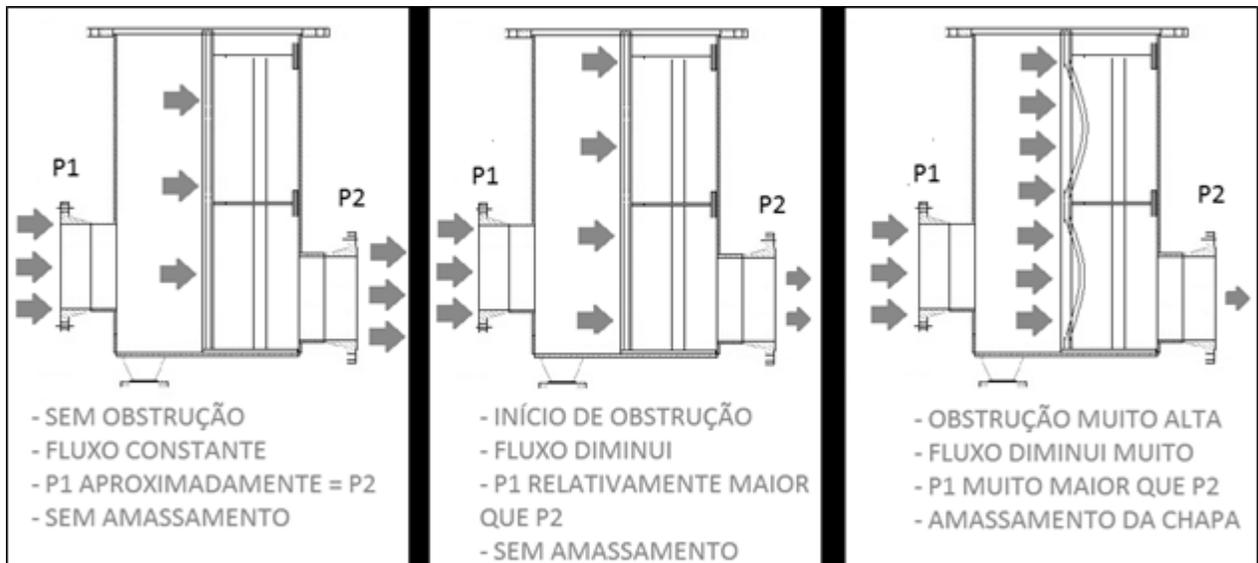


Figura 30 – Esquematização do processo de aumento da obstrução e consequente empenamento da chapa perfurada
Fonte: Pesquisa direta (2017)

O amassamento da chapa perfurada dificulta muito a sua substituição e pode promover passagem de particulado grosseiro, como já foi mencionado nesse estudo.

A sugestão para mitigar essas ocorrências seria agir preventivamente, não permitindo que a chapa perfurada atingisse um nível de obstrução tão crítico que pudesse promover seu amassamento. Uma forma de realizar essa atuação prévia, seria através da definição de uma defasagem máxima entre os valores instantâneos registrados pelos dois transmissores que registram a pressão nos pontos P1 e P2. Um diferencial de pressão (Δp), poderia ser estipulado através da observação das ocorrências de obstrução, e utilizado como referência para saber o momento certo de realizar a limpeza do filtro.

Uma configuração poderia ser feita no sistema de controle automatizado, de forma que ao se atingir um determinado valor em Δp , um alarme advertivo fosse gerado para indicar ao operador do sistema a necessidade de intervenção.

A partir da realização de melhoria de equipamentos, aliada a proposta de adoção de prática preventiva específica, sugeridos nesse trabalho, espera-se conseguir reduzir os tempos de manutenção no equipamento estudado, minimizar as incidências de perdas de produção em detrimento da indisponibilidade do sistema e mitigar as ocorrências de inserção de particulado grosseiro fora de especificação no duto.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Serão apresentados nesse capítulo as principais considerações referentes ao que foi exposto durante o trabalho, analisando as propostas de melhoria, os benefícios com sua possível implantação e as recomendações para estudos futuros.

5.1 – Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo estudar formas que pudessem elevar a disponibilidade do sistema de filtragem de polpa mineral da empresa avaliada, através da implantação de melhoria de equipamentos, tais melhorias deveriam, ao mesmo tempo, promover a minimização de inserção de particulado grosseiro na tubulação.

A melhoria de equipamentos é uma variável da manutenção que deve, sempre que possível, ser empregada. À medida que as condições de operação variam de empresa para empresa e que, ainda dentro de um mesmo empreendimento, haja variações significativas nos processos, com o passar do tempo faz-se necessário que os equipamentos recebam ajustes, para se adequar aos novos regimes de trabalho impostos.

Essas colocações traduzem a situação de que dificilmente as empresas encontrarão equipamentos específicos no mercado que atendam fielmente suas necessidades e expectativas, sendo portanto sempre cabível algum tipo de adaptação ou adequação pós-instalação.

Diante disso, busca-se responder o seguinte questionamento: **Como propor melhorias efetivas para os equipamentos de filtragem de polpa mineral do setor de transporte dutoviário de uma empresa mineradora?**

No processo estudado, foi evidenciada a contribuição das falhas no sistema de filtragem para a baixa disponibilidade do sistema como um todo, uma vez que para o período estudado, tais ocorrências se mostraram imperativas e sua incidência foi praticamente horária.

Foram identificadas algumas deficiências que provavelmente estariam relacionadas à baixa disponibilidade do sistema de filtragem e conseqüentemente também à baixa disponibilidade no departamento responsável pelo transporte dutoviário. Essas deficiências estariam ligadas a forma estrutural do equipamento de filtragem; um projeto que não mais atendia

às demandas, em função de alterações no processo; e ao método de manutenção caracteristicamente corretivo aplicado.

Essas observações permitiram direcionar o estudo para a necessidade de aplicação de melhoria no equipamento específico, de forma que garantisse a elevação da disponibilidade do mesmo.

Uma proposta foi então elaborada, envolvendo alterações estruturais no equipamento e mudanças no tipo manutenção aplicada. A implantação da proposta garantiria maior flexibilidade ao sistema, elevando as possibilidades de arranjos operacionais, o que permitiria que as intervenções fossem feitas com maior qualidade e dentro de um tempo adequado, sem comprometimento da disponibilidade do departamento como um todo. Os itens que compõem a proposta são:

- Alteração da posição dos eixos axiais dos flanges de entrada e saída da carcaça do filtro.
- Adição de mais dois conjuntos filtrantes e utilização de sistemas derivativos com válvulas e tubulações, de forma que o caráter de dependência das bombas e filtros fosse eliminado.
- Modificação da forma de atuação corretiva para um novo conceito preventivo, que levaria em consideração a avaliação do diferencial de pressão à montante e à jusante do filtro.

Conclui-se que a melhoria de equipamentos aplicada aos componentes destinados a filtragem se mostra imprescindível para a retomada da disponibilidade do sistema, que se mostra um tanto afetada em função das ocorrências de falhas nesses componentes.

5.2 – Recomendações

Diante do que foi exposto nesse trabalho, recomenda-se os seguintes tópicos como propostas para futuros trabalhos, que se refiram ao tema estudado:

- Estudo quantitativo do impacto da inserção de particulado grosseiro em dutos de transporte mineral.
- Desenvolvimento de sistema de filtragem de polpa mineral para transporte em minerodutos que não exponha o elemento filtrante a alta pressão.
- Desenvolvimento de parceria entre departamentos produtivos do ramo mineral para exposição da importância da adequação da polpa, no que se refere à granulometria, para a sustentabilidade do processo geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 5462:1994 – **Confiabilidade e manutenibilidade.**

ALVES, M. F. **Vantagens competitivas derivadas da estrutura organizacional e dos modelos de gestão na indústria sucroalcooleira.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). UFRJ-UNIMINAS, Rio de Janeiro, 2009.

ALYRIO, R.D. **Metodologia Científica.** PPGEN: UFRRJ, 2008.

BARROS, J. F. R.; LIMA, G. B. A. **A gestão da manutenção no plano estratégico dos empreendimentos industriais.** VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2011.

BECHTOLD, M. J. **Manutenção Mecânica.** Confederação Nacional das Indústrias, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Florianópolis, 2010.

BOENTE A.; BRAGA, G. **Metodologia científica contemporânea.** Rio de Janeiro: Brasport, 2004.

BOZOLLA, A. R. **Bombeamento de Polpa de Minério de Ferro via Mineroduto.** Artigo técnico RBstudio 016. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/290137679/Bombeamento-de-Polpa-de-Minerio-de-Ferro-via-Mineroduto/>>. Acesso em: 16 de jan. 2017.

BRANCO, F. G. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

CHAVES, A. P. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios.** São Paulo: Signus Editora, 2002.

CRESWELL, J. **Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing among Five Traditions.** Thousand Oaks, CA: Sage Publications. 1998.

FALCONI, V. C. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia**. INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

FOGLIATO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2009.

GERHARDT, T. E; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**, 4ed. Editora Atlas, São Paulo, 2002

GURSKI, C. A. G.; RODRIGUES, M. **Planejando estrategicamente a manutenção**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.

HECKL, D.; MOORMANN, J. **Process Performance Management**. International Handbooks on Information Systems, Handbook on Business Process Management 2, p. 115-135, 2010.

IMAI, M. **Gemba-Kaizen: estratégias e técnicas do Kaizen no piso de fábrica**. São Paulo: IMAM, 1996.

LAGES, R. T. S.; FRANÇA, S. L. B. **Definição e análise de indicadores através do conceito do triple bottomline**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, 2010.

LAMB, A. M.; NETO, S. L. H. C.; LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; GOLDMEYER, D. B. **Modelo de Planejamento e Controle da Manutenção Para Empresas de Saneamento Básico**. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, 2013.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Rio de Janeiro, LTC, 1997.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo : Atlas 2003.

MONCHY, F. **A Função Manutenção – Formação para a gerência da manutenção industrial.** São Paulo. Durban/Ebras, 1989.

OISHI, M. **TIPS: Técnicas integradas na produção e serviços.** São Paulo: Pioneira, 1995.

PANIAGO, A. L. **Kaizen – Implementação na indústria de autopeças: Resultados na Redução das Perdas na Área Produtiva.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: Função Estratégica,** 2.ed, Rio de Janeiro, Qualitymark, 2001.

RENÓ, G. W. S.; DINIZ, C. P.; BERKENBROCK, T.; SEVEGNANI, G. **Aumento da produtividade através do balanceamento das atividades dos operadores aplicando a metodologia Kaizen no chão de fábrica.**XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, 2010.

ROSA, E. **Indicadores de desempenho e sistema ABC – O uso de indicadores para uma gestão eficaz do custeio e das atividades de manutenção.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

TAVARES, L. A. **Administração Moderna de Manutenção.** 1ª edição. Rio de Janeiro: Novo Pólo, 1999.

TOFFOLO, R. V. B. **Estudo comparativo dos aços microligados API-5L-X60 e API-5L-X70, usados para a confecção de tubos, quanto à tenacidade à fratura.**Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), REDEMAT, UFOP. Ouro Preto, 2008.

TROJAN, F.; MARÇAL, R. F. M.; BARAN, L. R. **Classificação dos tipos de manutenção pelo método de análise multicritério eléctre tri**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Natal, 2013.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 2007.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, planejamento e controle de manutenção**, Rio de janeiro: Qualitymark Ed., 2002.

XAVIER, J. N. **Manutenção – Tipos e Tendências**. Tecém – Tecnologia Empresarial Ltda. Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.tecem.com.br/wp-content/uploads/2015/02/GP003-MANUTENÇÃO-TIPOS-E-TENDÊNCIAS-Julio-Nascif.pdf>>. Acesso em: 24 de jan. 2017

XENOS, Harilaus G. D. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte, Editora EGD, 1998.