



BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE EXCESSO DE UMIDADE NO MINÉRIO *SÍNTER FEED*

ORE OF IRON BENEFICIATION: A CASE STUDY ABOUT EXCESS OF HUMIDITY IN ORE *SÍNTER FEED*

Jussara Fernandes Leite, FUPAC, Brasil, leite.jussara@yahoo.com.br

Renato Messias de Souza, FUPAC, Brasil, renatosouza.2017@outlook.com

Luciano José Vieira Franco, FUPAC, Brasil, lucianov_franco@hotmail.com

Resumo

Esta pesquisa é um estudo de caso, realizado em uma empresa mineradora da região do Médio Piracicaba em Minas Gerais, na área da Filtragem de esteira com objetivo de apresentar melhorias para reduzir a umidade no minério *sínter feed*. Desta forma, o estudo de caso é caracterizado como bibliográfico, documental, descritivo, exploratório e explicativo. Os dados foram coletados por meio de documentos da empresa e de um questionário que foi aplicado aos operadores da área. Com o desenvolvimento da pesquisa, identificadas as principais causas que geram a umidade no minério, sendo elas: bico de sprays obstruídos, tecidos com poros vedados, água excessiva nos sprays dos separadores, bombas de vácuo paradas, correia de drenagem desalinhada, potes das pernas barométricas obstruídos, pressão de água dos sprays de lavagem dos tecidos, tecidos com rasgos e quantidade de ramais abertos nos hidrociclones. Desta forma, foram propostas: a implantação de um sistema de tratamento da água do rio; utilização da água de selagem nos sprays dos filtros de esteira; instalação de um hidrociclone de adensamento; instalação, em todos os filtros, de uma tubulação de sprays no retorno do tecido; automatização da drenagem das bombas; aumento das opções de alimentação dos distribuidores; criação um checklist na área do bombeamento; fixação de uma condição normal x anormal; e realização de um estudo junto à manutenção mecânica para utilização de guias laterais de material mais flexível.

Palavras-chave: Minério; Beneficiamento; Qualidade; Filtragem; Melhorias.

Abstract

This research is a case study carried out at a mining company in the Middle Piracicaba region of Minas Gerais, Brazil, in the area of mat filtration with the objective of presenting improvements to reduce moisture in the sinter feed ore. In this way, the case study is characterized as bibliographic, documentary, descriptive, exploratory and explanatory. The data were collected through company documents and a questionnaire that was applied to the area's operators. With the development of the research, we identified the main causes that generate moisture in the ore, being: obstructed spray nozzles, fabrics with sealed pores, excessive water in separator sprays, stopped vacuum pumps, misaligned drainage belt, leg pots obstructed barometric pressure, water pressure of tissue washing sprays, tissues with tears, and amount of extensions open in the hydrocyclones. In this way, they were proposed: the implantation of a system of treatment of the river water; use of the sealing water in the sprays of the mat filters; installation of a hydrocyclone of density; installation, at all filters, of a spraying pipe on the return of the fabric; automation of pump drainage; increased distribution options for distributors; creating a checklist in the pumping area; fixation of a normal x abnormal condition; and conducting a study with the mechanical maintenance to use lateral guides of more flexible material.

Keywords: Ore; Beneficiation; Quality; Filtration; Improvements.



1. INTRODUÇÃO

Em uma indústria mineradora, o processo de beneficiamento ou concentração do minério é essencial para melhorar a qualidade do produto, isto é, retirar as impurezas do minério e aumentar teor de ferro. Para melhor entendimento, vale ressaltar que o processo de beneficiamento dá-se pelo fato do minério não ser encontrado de forma pura na natureza, nele é encontrado elementos químicos, como sílica, alumina, entre outros, que são impurezas que afetam os produtos desenvolvidos a partir do minério de ferro.

A qualidade do produto é fundamental para atender os requisitos dos clientes. Carpinetti (2012) afirma que o entendimento do conceito de qualidade predominante nas últimas décadas e que tende a se manter futuramente é um conceito de satisfação dos clientes, levando em consideração a adequação do produto ao uso destinado, e a conformidade com as especificações desejadas. Em verdade, isso torna as empresas da área de mineração mais competitivas no mercado e garante sua sobrevivência.

No processo de beneficiamento, o minério passa por muitas etapas e processos: peneiramento a úmido, classificação por granulometria e por densidade, concentração magnética de média intensidade, adensamento, concentração magnética de alta intensidade, filtragem de esteira ou horizontal, flotação, espessamento de concentrado, condicionamento e filtragem a disco ou vertical.

A Usina de Beneficiamento do estudo em questão produz dois tipos de minério de ferro: o *sínter feed* e o *pellet feed*. O *sínter feed* é um minério com maior granulometria e com um menor teor de ferro em relação ao *pellet feed*. Ambos são matérias-primas na siderurgia para a produção do aço.

A Eficiência do processo de filtragem do minério é importante para uma usina de beneficiamento de minério de ferro, pois esse processo encerra as etapas de beneficiamento, sendo, portanto a porta de saída do produto para o mercado.

O excesso de umidade do minério de ferro compromete a qualidade do produto, sendo indesejável para o cliente, pois a umidade dificulta os processos subsequentes na siderurgia. Além disso, afetam os processos anteriores à filtragem, pois dentro da mineração o excesso de umidade causa muitos transtornos, como os desarmes de equipamentos, que dependendo do equipamento pode parar toda a usina. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar melhorias para reduzir a umidade do minério de ferro.

2. DEFINIÇÃO DE PROCESSOS

Para Rotondaro (2010, p. 52), “processo é uma sequência organizada de atividades, que transforma as entradas dos fornecedores em saídas para os clientes, com um valor agregado gerado pela unidade, e um conjunto de causas que geram um ou mais efeitos.”.

Ferreira (2013) complementa as ideias de Rotondaro (2010) ao afirmar que a maioria das definições de processos refere-se ao sequenciamento lógico de atividades e tarefas com a obtenção de um resultado. Interessante se faz compreender que processos devem gerar resultados e agregação de valor.



Ainda segundo Ferreira (2013, p.17), “os sub-processos são conjuntos de atividades necessárias e suficientes para a execução dos processos. A quantidade de sub-processos depende da complexidade de cada processo”.

2.1 Qualidade de processos e produtos

Assim como a produtividade, a qualidade é outra forma importante de analisar um processo produtivo. Para Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009, p. 169), “o desempenho e a qualidade do processo devem ser preocupação de todos.”. Segundo Gaither e Frazier (2002, p.489), “a qualidade de um produto ou serviço é a percepção do cliente do grau que o produto ou serviço atende a suas expectativas.”.

Gaither e Frazier (2002) afirmam ainda que a elaboração e desenvolvimento dos processos de produção devem ocorrer considerando os atributos desejados pelos clientes e consumidores, sendo capazes de produzir produtos e serviços dentro das especificações de projeto e desempenho atingindo as expectativas de qualidade dos clientes.

Um conceito que não deve ser negligenciado durante a elaboração de um projeto e após sua implantação é a qualidade. Esta função existe para garantir que produtos e serviços estejam de acordo com o que é aceitável e esperado pelos consumidores. Tal afirmativa baseia-se nos princípios de Deming ao defini-la como um aspecto prioritário à satisfação das necessidades dos clientes. (Carvalho e Paladini, 2005 *apud* Lopes e Lima, 2008).

Barreto e Lopes (2006), *apud* Lopes e Lima (2008) afirmam que para um melhor gerenciamento da qualidade é necessário que ocorra um desdobramento do processo, visto que isto facilita a localização do problema, bem como a definição da melhor solução possível para o mesmo. Desta forma, compreende-se que o bom planejamento e controle da produção possibilitam que a organização atinja de forma sólida um alto nível de qualidade em seus produtos.

Conforme Deming (1989) *apud* Contador (2010, p.111),

a melhoria da qualidade transfere o desperdício em homens-hora e tempo-máquina para a fabricação de um bom produto e uma melhor prestação de serviços. O resultado é uma reação em cadeia: custos mais baixos, melhor posição competitiva, pessoas mais felizes no trabalho, empregos e mais empregos.

2.2 Melhoria de processos

Gaither e Frazier (2002) ressaltam que o conceito de melhoria contínua permite que as empresas tenham mudanças e melhorias pequenas com o objetivo de atingir a excelência. Para estes autores isto possibilita as empresas a não se frustrarem com resultados pequenos e enxerguem um progresso gradativo identificando a necessidade da melhoria contínua.

Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009) afirmam que o que fundamenta a filosofia de melhoria contínua é a convicção de que qualquer aspecto de um processo pode ser aperfeiçoado e que as pessoas mais diretamente envolvidas com um processo possuem melhor condição para identificar as mudanças que devem ser realizadas.



Segundo Ferreira (2013, p.15),

a melhoria de processos tem sido cada vez mais requerida e recorrente nas organizações que se preocupam com a qualidade dos seus serviços ou dos seus produtos, o que pode ser entendido como a busca por aprimorar o uso dos recursos e das formas de trabalho em função dos melhores e mais efetivos resultados.

Ferreira (2013) acrescenta ainda que a análise e melhoria de processos são fundamentais para o crescimento das organizações, facilitando a conquista da excelência gerencial das empresas.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa é um estudo de caso, caracterizada como bibliográfica, documental, descritiva, exploratória, explicativa e participativa. O estudo de caso ocorreu em uma empresa mineradora da região do Médio Piracicaba, localizada na região do Médio Piracicaba, em Minas Gerais, Brasil, com foco em uma área de beneficiamento de minério de ferro, denominada Filtragem Horizontal ou Filtragem de Esteira. Neste setor, a empresa possui um total de 10 operadores. A pesquisa ocorreu no período de agosto a novembro de 2017

Nesta pesquisa, a natureza dos dados é quantitativa e qualitativa, pois foram apresentados documentos da empresa que contém índices de umidade e foram mostrados e analisados fatores imensuráveis do processo que contribuem para o excesso de umidade no minério.

A pesquisa utilizou como instrumentos de coletas de dados observações, questionário aplicados aos funcionários da área e documentos da empresa. As observações foram necessárias para realizar a descrição detalhada do processo, propiciando a compreensão e análise do mesmo.

O questionário tem o objetivo de auxiliar a identificação das causas de excesso de umidade do minério, assim como os métodos para reduzir a umidade do produto. O questionário foi aplicado aos 10 funcionários, nos meses agosto e setembro de 2017, e foi constituído por uma pergunta aberta. Os documentos foram necessários para obter os índices de umidade e tempo de operação dos tecidos filtrantes. Estes documentos referem-se ao período de janeiro a setembro de 2017.

Os dados foram analisados estatisticamente e pelo método de análise de conteúdo. Assim, os dados quantitativos foram trabalhados por meio de estatística aplicada e em sequência seu conteúdo foi analisado. Os dados qualitativos foram analisados apenas pelo método de análise de conteúdo.

4. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO DA USINA DA EMPRESA X

Para uma melhor compreensão do processo de filtragem de esteira, foi analisado de forma sucinta todo o circuito que o minério percorre dentro da usina até chegar à filtragem de esteira. A Figura 1 apresenta o fluxo do processo da Empresa X



Figura 1 – Fluxograma da usina da Empresa X. Fonte: Dados da Pesquisa (2017)

O processo de beneficiamento de minério de ferro inicia-se na britagem quaternária. A britagem quaternária recebe o minério do peneiramento secundário com granulometria acima de 8 mm. Os equipamentos utilizados são os britadores cônicos ou giratórios. Após a estratificação do minério dentro dos britadores, o minério segue para o peneiramento a úmido, com granulometria maior que 8 mm e menor que 1 mm.

O peneiramento a úmido é um processo que utiliza peneiras vibratórias para realizar a classificação do minério por meio da granulometria. As peneiras possuem dois *decks* que fazem a separação do minério. Cada *deck* possui telas com diferentes tamanhos de aberturas.

O minério ao alimentar as peneiras caem no primeiro *deck*, que separa o minério por granulometria menores e maiores que 8 mm. As partículas maiores que 8 mm voltam para a britagem quaternária e as menores que 8 mm passam para o 2º. *deck*. No segundo *deck*, as partículas menores que 8 mm e maiores que 1 mm vão para *jigagem* e as partículas menores que 1 mm vão para os hidrociclones de classificação.

Na *jigagem*, o minério é classificado em equipamentos chamados *jigues*, por meio da diferença de densidade do minério e a da sílica. O *jigue* recebe o minério e por meio de fluido e com o movimento do equipamento, ocorre a separação do concentrado que é o minério com alto teor de ferro, do rejeito, com baixo teor de ferro. O concentrado é um produto final, chamado *sínter feed* 1, que compõe o *sínter feed* total. O rejeito é direcionado para a moagem.



As Partículas passantes no 2º deck das peneiras do peneiramento a úmido ($>0,15$ mm e < 1 mm) vão para os hidrociclones de classificação. O hidrociclone é composto de uma bateria de 6 ciclones. Cada ciclone possui duas saídas: *overflow* e *underflow*. As partículas finas saem no *overflow* do hidrociclone e são direcionadas para a flotação. As partículas grosseiras saem no *underflow* e são direcionadas para as peneiras de alta frequência. Nas peneiras de alta frequência, o passante das peneiras, chamado *undersize*, é direcionado para a deslamagem e flotação. O minério retido nas peneiras, chamado *oversize*, alimenta a separação magnética de média intensidade.

Na separação magnética de média intensidade, os principais equipamentos utilizados são os separadores magnéticos. Os separadores possuem média intensidade de campo magnético, possibilitando reter o minério rico da polpa e em seguida liberá-lo para o processo subsequente, através de jatos de *sprays* de água. O separador magnético é alimentado e as partículas atraídas pelo magnetismo fixam no tambor, e ao ser lavados pelos jatos de água dos *sprays*, caem na calha de concentrado e é direcionada para a filtragem de esteira ou horizontal, sendo o produto chamado *sínter feed 4*, que compõe o *sínter feed* total. As partículas que não são atraídas pelo magnetismo do tambor são direcionadas para as peneiras de proteção.

As peneiras de proteção separam o minério pela granulometria. O minério retido na peneira, o *oversize*, vai para moagem para alimentar o moinho. O minério passante, *undersize*, é direcionado para o 1º. Estágio de adensamento. No primeiro estágio do adensamento, é retirado o excesso de água da polpa de minério através de hidrociclones, sendo que no *overflow* sai água da polpa que é direcionada para o espessador de lamas. E no *underflow* sai polpa adensada que é alimenta a separação magnética de alta intensidade. Na separação magnética de alta intensidade, o processo inicia com um 2º estágio de adensamento da mesma forma como no primeiro, com o objetivo de adensar a polpa de minério para ser concentrada. A polpa adensada é direcionada para os distribuidores que alimentam os separadores magnéticos de alta intensidade. A concentração ocorre nos separadores magnéticos, chamados *Jones*. A concentração é realizada por meio de um campo magnético de alta intensidade que atraem as partículas de minério de ferro, que os separadores magnéticos de média intensidade não conseguiram atrair. O concentrado é direcionado para o 3º. estágio de adensamento. E a polpa adensada é direcionada para os filtros de esteira.

4.1 Análise do processo de filtragem de esteira

A filtragem de esteira é o processo responsável pela filtragem da polpa de minério vinda dos processos de separação magnética de alta intensidade (*sínter feed 3*) pelo adensamento e da separação magnética de média intensidade (*sínter feed 4*) pelo concentrado dos separadores. Após realizada a filtragem da polpa de minério, os filtros de esteira descarregam o minério em correias transportadoras que levam o minério para o pátio de produto.

As correias transportadoras recebem o minério pelos filtros de esteira e transportam-nos para o pátio de produto, onde os dois tipos de minérios são depositados de forma homogênea juntamente com o *sínter feed 1*, oriundo da *Jigagem*, formando a pilha de minério *sínter feed*.

O excesso de umidade no minério que é perceptível nas correias transportadoras e é prejudicial para a empresa, pois a umidade em excesso pode causar desalinhamento de tecidos filtrantes e de correias de drenagem dos filtros de esteira. Isso pode ocasionar a parada do



equipamento e consequentemente causar a parada de duas ou três linhas. A umidade em excesso pode causar também o desalinhamento e a parada das correias transportadora, vindo a desarmar todos os equipamentos anteriores do processo, o que gera uma parada da usina.

Além da perda de produção, outro fator a destacar é a perda de valor do produto, pois a umidade contida no minério acarreta numa perda de 2 dólares por tonelada de minério.

4.1.1 Descrição dos equipamentos e componentes da filtragem de esteira

A filtragem de esteira é composta por oito filtros horizontais e oito bombas de vácuo. As bombas de vácuo ficam instaladas no piso do bombeamento e são responsáveis pela aplicação do vácuo no tecido dos filtros de modo que a umidade seja succionada pelos poros do tecido.

Os filtros de esteira são compostos por um tecido filtrante, uma correia de drenagem, tubos e bicos de *sprays* de limpeza do tecido, um filtro de água, um vaso separador, mangotes e tubulações de vácuo, e pote de perna barométrica. A Figura 2 ilustra um filtro de esteira.



Figura 2 – Filtro de Esteira com minério. Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Como visualizado na Figura 2, um filtro de esteira recebe a polpa de minério e em condições normais de operação deve descarregar o minério com o mínimo possível de umidade. O tecido filtrante é um tecido sobre o qual a polpa de minério é descarregada e pela aplicação do vácuo ocorre a separação do minério da umidade, fazendo com que a água passe pelos poros do tecido. Importante informar que o custo de um tecido filtrante é de R\$ 9.000,00.

A correia de drenagem auxilia o contato do vácuo com os poros do tecido, permitindo a passagem da umidade. Quando ocorre o desalinhamento da correia de drenagem, atrapalha o contato do vácuo com o tecido impedindo a retirada da umidade do tecido.

Os tubos e bicos de *spray* são responsáveis pela limpeza dos poros do tecido filtrante permitindo que a umidade seja succionada pelo vácuo. Na Figura 3, podem-se verificar os tubos e bicos de *spray* de lavagem dos tecidos.



Figura 3 – Tubo e bicos de spray de lavagem dos tecidos filtrantes. Fonte: Dados da pesquisa (2017)



As obstruções do bico de *spray* impedem a lavagem do tecido, fazendo com que os poros ou malha do tecido fiquem com partículas de minério, dificultando a passagem da umidade pelos poros do mesmo.

Os filtros de água têm a função de reter o material inorgânico presente na água do circuito da filtragem de esteira, para evitar a obstrução dos bicos e tubos de *spray*. A impureza se deve ao fato de que a água é 96% reutilizada do processo e o restante é captada do rio que passa próximo ao local, e não há um processo de tratamento da água antes da mesma entrar no circuito da usina. Quando os filtros de água estão sujos a água fica com uma pressão menor.

Outros itens importantes da filtragem de esteira são os itens que formam, juntamente com as bombas de vácuo, o circuito de vácuo do processo, que são os vasos separadores, os mangotes de vácuo e as pernas barométricas. O vaso separador tem a função de separar o vácuo que chega ao filtro, da água que sai do mesmo. Os mangotes de vácuo são por onde o vácuo chega no filtro de esteira. Os potes de perna barométrica auxiliam na chegada do vácuo no tecido, sendo que quando eles estão cheios de água o vácuo se mantém na tubulação até o tecido do filtro. Quando os potes estão vazios, o vácuo fica retido e não chegam com pressão suficiente nos tecidos. Quando eles estão obstruídos com minério, a água da polpa de minério fica retida no tecido.

4.1.2 Fatores que influenciam no processo de Filtragem de esteira

Além dos componentes da filtragem, há ainda outros fatores que interferem diretamente na eficiência do processo: a alimentação dos filtros, a qualidade da água do circuito e a qualidade do minério ofertado pela mina.

A alimentação dos filtros de esteira é realizada por meio de distribuidores que recebem a polpa de minério de hidrociclones de adensamento e separadores magnéticos.

No circuito do *sínter feed* 3, a quantidade de ramais abertos nos hidrociclones, a vazão das bombas e nível dos tanques que alimentam os hidrociclones interferem no aumento da massa e da umidade nos distribuidores, sendo descarregados nos filtros de esteira. A Figura 4 ilustra um hidrociclone de adensamento.



Figura 4 – Hidrociclone de adensamento. Fonte: Dados da Pesquisa (2017)

O hidrociclone apresentado na Figura 4 possui oito ciclones e tem a função de adensar a polpa de minério retirando o excesso de água para facilitar a filtragem da polpa de minério no filtro. O *underflow* do ciclone é direcionado para o distribuidor que alimenta os filtros de esteira.



No circuito do *sínter feed* 4, a quantidade de água aberta nos *sprays* dos separadores magnéticos e a vazão alta das bombas que alimentam os mesmos aumentam a massa e a umidade nos distribuidores que alimentam os filtros de esteira.

Outra interferência no processo de filtragem é a qualidade da água, que é 96% reaproveitada no processo. O espessador de lamas tem a função de reter a lama presente na água usada nos processos da usina e verter a água limpa para ser reutilizada nos processos. A lama retida é direcionada para a barragem de rejeitos. Quando o espessador começa a verter a água com presença de lama, o processo de filtragem é dificultado devido à lama não passar pela malha do tecido, ou seja, veda os poros do tecido.

A qualidade do minério também é outra interferência na filtragem, em que dependendo das oscilações, dificulta uma dosagem adequada de floculante no espessador, tornando a água turva.

4.1.3 Causas da ineficiência da filtragem de esteira

Conforme a pesquisa e observação do processo, as causas da ineficiência da filtragem podem ter origem não somente no próprio processo, mas também em processos anteriores e auxiliares a ele.

Na área da filtragem, os itens que devem ser analisados que interferem na eficiência da filtragem são:

- Tecido filtrante: se há rasgos ou se estão com os poros vedados;
- *Sprays* de lavagem de tecido filtrante: se estão obstruídos;
- Correia de drenagem: se está desalinhada;
- Filtros de água: se estão com acúmulo de impurezas;
- Velocidade dos filtros: se estão em conformidade com o nível da torta dos filtros de esteira;
- Excesso ou falta de massa no filtro;
- Tubulação e mangotes de vácuo: se há algum vazamento de vácuo no circuito.

Na separação magnética de média intensidade, área anterior à filtragem de esteira, os itens que devem ser analisados que interferem na eficiência da filtragem são:

- Quantidades de separadores parados em um mesmo circuito;
- Mangotes de não magnéticos dos separadores magnéticos: se estão obstruídos, sobrecarregando o concentrado;
- Abertura de água dos *sprays* dos separadores e nas calhas de concentrado: se há excesso de água aberta;
- Quantidade de ramais abertos do 3º. estágio de adensamento: se há uma quantidade excessiva de ramais abertos (acima de 5).
- Divisão da alimentação dos distribuidores para mais de um filtro.



Na área do bombeamento, os itens que interferem na eficiência da filtragem são:

- Números de bombas de vácuo em operação: se há bombas de vácuo paradas;
- Potes de pernas barométricas obstruídas ou vazias;
- Vazão das bombas de polpa que alimentam a filtragem: se as vazões das bombas estão altas.

4.2 Análise dos dados de documentos da filtragem de esteira da usina de concentração da Empresa X.

O Gráfico da Figura 5 mostra os índices de umidade do minério *sínter feed* da Empresa X, do período de janeiro a setembro de 2017.

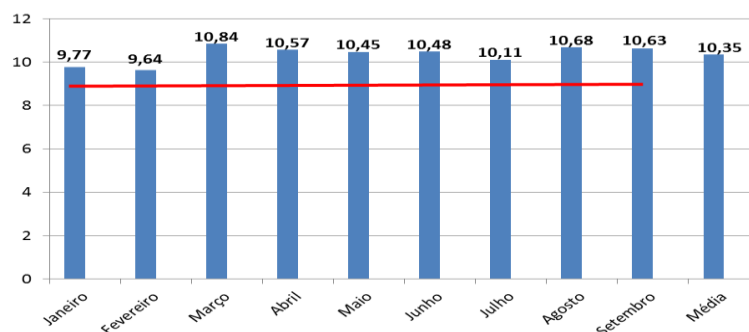


Figura 5 – Gráfico: Umidade *sínter feed*: janeiro a setembro de 2017. Fonte: Dados da pesquisa (2017)

A Figura 5 apresenta o Gráfico que mostra que a média de umidade no minério *sínter feed* da empresa X no período de janeiro a setembro de 2017 é de 10,35% e que em nenhum mês deste período a empresa conseguiu atingir a meta para o índice de umidade, que é de 9%.

Na Figura 6, pode verificar o Gráfico que mostra as horas de operação dos tecidos da filtragem horizontal do período de janeiro a setembro de 2017. O que mostra quanto tempo de operação o tecido filtrante teve até ser trocado.

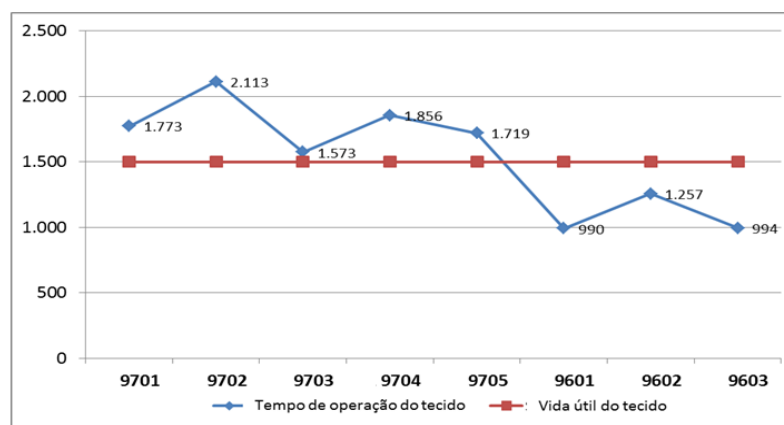


Figura 6 – Gráfico: Horas de operação dos tecidos filtrantes de cada filtro. Fonte: Dados da pesquisa (2017)



Como pode ser visualizado no Gráfico da figura 6, na filtragem horizontal há filtros que operam com tecidos além da vida útil, outros filtros necessitam da troca do tecido antes do término da vida útil. Observa-se que os filtros 9701, 9702, 9703, 9704 e 9705, todos do circuito do *sínter feed* 3, apresentam maior tempo de duração dos tecidos, isso pode ocorrer devido esses filtros recebem o minério da separação magnética de alta Intensidade (WHC), que é um minério mais adensado, pois passa por ciclones de adensamento antes da filtragem e também possui maior teor de ferro.

Por outro lado, os filtros 9601, 9602 e 9603, todos do circuito do *sínter feed* 4, apresentam menor tempo de duração dos tecidos. Vale ressaltar que esses filtros recebem o minério da separação magnética de média intensidade (WDRE), um minério mais diluído e com características químicas diferentes, isso pode influenciar no tempo de duração dos tecidos.

4.3 Análise dos dados do questionário aplicado aos operadores da filtragem de esteira da usina de concentração da Empresa X.

O questionário foi aplicado para 10 operadores que operam a filtragem de esteira. O intuito deste questionário é possibilitar identificar quais são as causas que mais interferem na eficiência do processo de filtragem horizontal na visão dos operadores, uma vez que, a visão dos funcionários do chão de fábrica é importante no gerenciamento de um processo.

A primeira pergunta buscou identificar na visão e experiência dos operadores quais eram as causas que mais interferem na eficiência do processo de filtragem de esteira, gerando o excesso de umidade inconveniente para o processo. No Gráfico da Figura 7, apresenta-se todas as causas mais prováveis na percepção dos operadores.

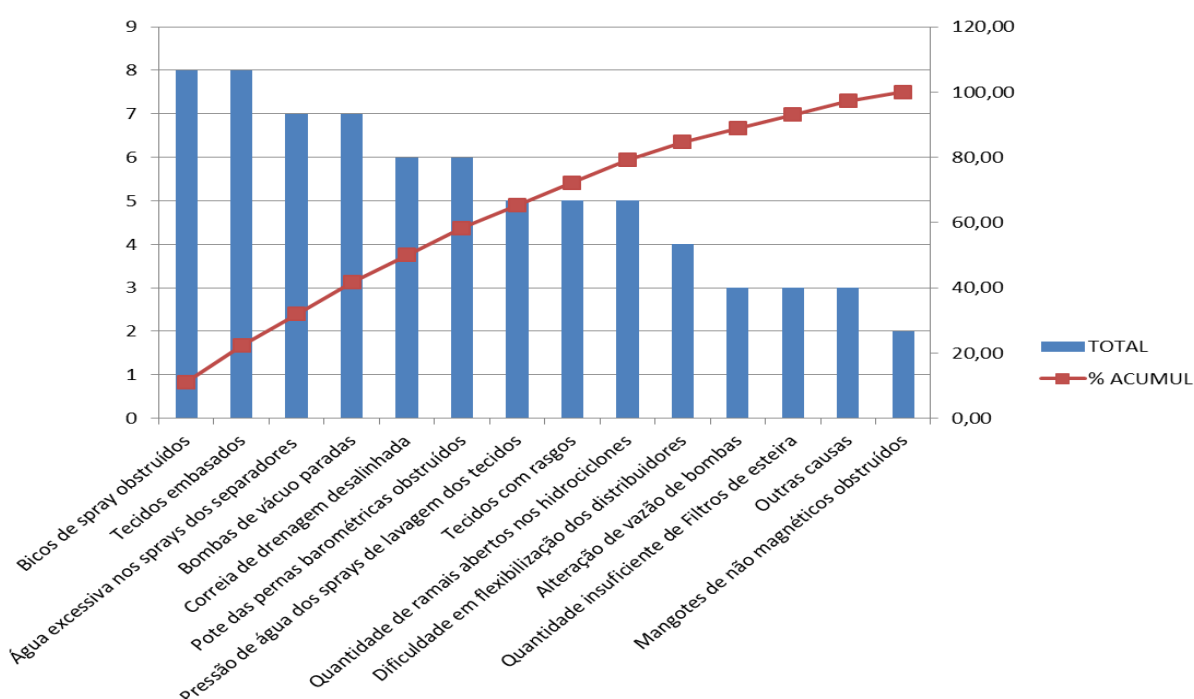


Figura 7 – Gráfico: Causas que mais interferem na eficiência do processo de filtragem horizontal na percepção dos operadores. Fonte: Dados da Pesquisa (2017)



Ao analisar o Gráfico da Figura 7, na visão dos operadores da área, bico de *spray* obstruídos e tecidos embassados (com poros vedados) são as principais causas do excesso de umidade no processo de filtragem de esteira. Importante destacar que 10 operadores que responderam ao questionário, 8 (80% dos entrevistados) marcaram essas duas causas como as que mais interferem na eficiência do processo. Em seguida, as outras causas que se destacam são bombas de vácuo paradas e quantidade de água aberta nos *sprays* dos separadores magnéticos em que 70% dos entrevistados (7 operadores) marcaram essas duas causas como as que mais interferem no processo. As outras causas apresentadas no Gráfico da Figura 8, informadas por 30% dos entrevistados (3 operadores) são a qualidade do minério que está no circuito e a velocidade dos filtros de esteira.

A segunda e última pergunta realizada no questionário buscou identificar se o controle operacional atual da umidade no processo ocorre com facilidade ou se há uma dificuldade para se manter o processo controlado no que tange à umidade. Após apuração dos dados, foi identificado que 80% dos operadores da filtragem de esteira (oito), acham difícil o controle da umidade no processo.

Para o operador 1, a qualidade do minério e o tempo de vida útil dos tecidos filtrantes dificultam o operador a controlar a umidade no processo. Já o operador 2, o controle da umidade é difícil, pois além da qualidade do minério que está no circuito interferir no processo, há uma dificuldade também na distribuição da massa, pois os distribuidores possuem restrição de alimentação para os filtros. Vale informar que um distribuidor não tem opção para alimentar qualquer filtro e quando há algum filtro parado em manutenção corretiva e preventiva, ocorre à dificuldade para dividir a massa que está no distribuidor sobrecarregando algum filtro. Ele acrescenta ainda que tendo a possibilidade de ter a massa uniforme nos filtros e tendo um minério com melhor qualidade consegue-se uma melhor performance do processo. De acordo com o operador 3, o grande número de causas e a diferença de qualidade de cada pilha de minério que é retomada do pátio de homogeneização para a usina são os fatores que geram a dificuldade no controle da umidade. O operador 4 também associa o número de causas que geram o excesso de umidade à dificuldade de se controlar a umidade do minério. Para ele, este é o único fator que justifica a dificuldade. O operador 5 também considera que o grande número de variáveis e causas geradoras da umidade e a falta de alinhamento entre as diferentes equipes envolvidas no processo são as causas de ser difícil o controle da umidade. Na visão deste operador, os conflitos existentes entre as equipes de manutenção, programação e operação atrapalham o bom desempenho do processo, pois nem sempre um filtro que está programado para manutenção é o filtro que está realmente necessitando da intervenção da mesma. O Operador 6 relata também que a quantidade de causas identificadas e o tipo de minério que entra no circuito da usina dificultam o controle da umidade. Ele exemplifica a questão do tipo de minério quando ocorre alimentação direta na usina, ou seja, quando o minério que entra na usina não passa pelo pátio de homogeneização, vindo direto da britagem. Neste algumas características do minério como granulometria e teor de ferro sofrem maior alteração. Para o operador 7, o controle da umidade é difícil, pois são muitas as causas que podem gerar o excesso de umidade no minério. Ele ressalta que em algumas causas o operador não tem como atuar. O operador 8 informou que o controle da umidade é difícil, pois há momentos que o excesso de umidade é gerado por mais de uma causa que está ocorrendo ao mesmo tempo no processo.



4.5 Propostas de melhoria

De acordo com o Gráfico da Figura 8, as causas: bico de *sprays* obstruídos, tecidos com poros vedados, água excessiva nos *sprays* dos separadores, bombas de vácuo paradas, correia de drenagem desalinhada, potes das pernas barométricas obstruídos, pressão de água dos *sprays* de lavagem dos tecidos, tecidos com rasgos e quantidade de ramais abertos nos hidrociclones correspondem a 79,16% do problema do excesso de umidade no minério *sínter feed*.

Para minimizar este problema e baseado na análise detalhada do processo, são apresentadas algumas propostas de melhorias referentes às causas de maior interferência no processo, de forma a reduzir a umidade do *sínter feed*.

Causa 1: Bico de *sprays* obstruídos

Para eliminar a obstrução dos bicos de *sprays* dos filtros, são propostas duas soluções. A primeira solução proposta para esta causa e que provavelmente necessita de um maior investimento é a implantação de um sistema de tratamento da água do rio que a mineradora capta, e tratamento também da água recuperada que verte no espessador de lamas, a fim de retirar toda a impureza que possa obstruir os *sprays* de água do processo. A segunda solução para esta causa e de baixo custo de investimento é a mudança da água do circuito da filtragem de esteira. Atualmente, a água que chega às tubulações de *sprays* dos filtros é a água de processo, que é utilizada em todo o circuito da usina. A proposta é utilizar a água de selagem que é usada para a selagem das bombas da usina. Esta água vem direto do tanque elevado e por ser utilizada somente para selagem possui uma pressão muito maior que a água de processo que sai do tanque recuperado.

Causa 2: Tecido com poros vedados

Os tecidos filtrantes possuem um tempo de vida útil que é 1500 horas de operação. No entanto, conforme visto no Gráfico da Figura 7, os filtros do circuito do *sínter feed* 3 operam em média acima desse valor e os filtros do circuito do *sínter feed* 4 não conseguem atingir o tempo de vida útil estabelecido pela empresa.

Neste sentido, para esta causa a proposta é instalar um hidrociclone de adensamento para receber o concentrado dos separadores magnéticos de média intensidade e adensá-lo antes dele ser direcionado aos filtros de esteiras, como acontece com o *sínter feed* 3 em que os tecidos apresentam maior tempo de duração.

As propostas realizadas para eliminar a obstrução dos bicos de *sprays* (sistema de tratamento de água e mudança da água de processo pela de selagem) também são importantes para a causa dos tecidos com poros vedados, pois os bicos de *sprays* com uma água mais pura e com boa pressão evitaria o embassamento do tecido.

Outra proposta é instalar em todos os filtros uma tubulação de *sprays* no retorno do tecido utilizando a água de selagem, de forma a retirar o resíduo de partículas de minério da malha do tecido que não saíram ao passar pelos *sprays* anteriores.

Causa 3: Água excessiva nos *sprays* dos separadores magnéticos de média intensidade.

O excesso de água aberta nos *sprays* dos separadores magnéticos torna o concentrado dos separadores, que é o *sínter feed* 4, muito diluído o que dificulta a filtragem. Porém, a redução



da água dos sprays causa a obstrução das calhas. A proposta é instalar um hidrociclone de adensamento para retirar o excesso de umidade, contribuindo também para a solução da causa anterior como já explicado.

Outra proposta para essa causa é trocar tubulações de concentrado dos separadores com um diâmetro maior. Atualmente, as tubulações são de 8 polegadas. A proposta trocar por tubulações de 10 polegadas, podendo assim reduzir um pouco mais a água dos *sprays* dos separadores.

Causa 4: Bombas de vácuo paradas

Durante a operação, ocorrem muitos desarmes das bombas por corrente alta. Corrente alta é um defeito que atua quando a bomba está com sobrecarga, ou seja, quando há acúmulo de partículas de minério na bomba. Quando isso ocorre, necessita de um operador para fazer a drenagem da bomba e um eletricista para rearmá-la para o operador ligá-la em modo local. A espera para a elétrica rearmar a bomba geralmente demora um pouco e a pressão de vácuo diminui nos filtros. A proposta para esta causa é automatizar a drenagem das bombas possibilitando que a drenagem ocorra via comando sala de controle e criar um *cheklist* de drenagem das bombas de vácuo orientando a todas as equipes do turno realizar a drenagem de todas as bombas uma vez em cada turno.

Causa 5: Correia de drenagem desalinhada

As correias de drenagem desalinham quando há muita massa no filtro de esteira. A proposta para esta causa é aumentar as opções de alimentação dos distribuidores, instalando mais uma saída nos distribuidores 9603, 9606 e 9730 para os 9701, 9702 e 9705, pois esses filtros recebem alimentação de menos distribuidores, melhorando assim a flexibilização dos distribuidores.

Causa 6: Pote das pernas barométricas obstruídos

Para esta causa, é proposto criar um *cheklist* na área do bombeamento para drenagem dos potes das pernas barométricas e estabelecer que ocorra a drenagem de todos os potes duas vezes por turno.

Causa 7: Pressão de água dos *sprays* de lavagem dos tecidos

Para esta causa, a proposta é a mesma para as causas obstrução dos bicos de *sprays* e tecidos com os poros vedados. A proposta é mudar a água utilizada no circuito da filtragem de esteira passando a utilizar a água de selagem que tem maior pressão substituindo a água de processo que hoje é utilizada nos *sprays* de limpeza dos tecidos.

Causa 8: Tecidos com rasgos

Os tecidos com rasgos aumentam a emissão de partículas de minério para os potes das pernas barométricas, obstruindo as mesmas, contribuindo para a ineficiência da filtragem. A proposta é estudar junto à manutenção mecânica a utilização de guias laterais feitas de um material mais flexível, pois as mesmas são de poliuretano e tem a função de não deixar que a polpa de minério transborde para fora do tecido filtrante. Com o tempo de operação pode ocorrer pequenos desgastes no tecido que acumula aos poucos minério nos potes das pernas barométricas.



Causa 9: Quantidade de ramais abertos nos hidrociclones de adensamento

Quanto maior for a quantidade de ramais abertos nos hidrociclones de adensamento, menor é a densidade da polpa que é direcionada para o filtro de esteira. Neste sentido, é proposta a fixação de uma condição normal x anormal na área estabelecendo o número de ramais abertos de acordo com a pressão do hidrociclone. A pressão ideal do hidrociclone é de 2,00 Kgf/cm², mas a pressão de trabalho real fica entre 1,20 a 1,40 Kgf/cm². A proposta é estabelecer trabalhar com mais de quatro ramais somente se pressão do hidrociclone estiver acima de 2,00 Kgf/cm².

CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar melhorias para o processo de filtragem minério de uma empresa mineradora da região do Médio Piracicaba do Estado de Minas Gerais, Brasil, de forma a reduzir o excesso de umidade no minério *sínter feed*.

Foram coletados alguns dados da empresa que mostraram que no período de janeiro a setembro de 2017 a empresa não conseguiu atingir a meta de umidade para o produto que é 9%, atingindo uma média de 10,35% de umidade no minério *sínter feed*. A partir de documentos coletados na empresa foi observado que os filtros do circuito do *sínter feed* 4 possuem maior quantidade de troca de tecidos que os filtros do circuito do *sínter feed* 3.

Neste trabalho, também foi aplicado um questionário para os operadores que trabalham no processo. A partir da análise do questionário e do processo em campo, nove causas na percepção dos operadores foram identificadas como as principais causas do excesso de umidade no minério *sínter feed*, sendo responsáveis por 79,16% do problema. As causas principais foram: bico de *sprays* obstruídos, tecidos com poros vedados, água excessiva nos *sprays* dos separadores, bombas de vácuo paradas, correia de drenagem desalinhada, potes das pernas barométricas obstruídos, pressão de água dos *sprays* de lavagem dos tecidos, tecidos com rasgos e quantidade de ramais abertos nos hidrociclones.

Desta forma, para cada uma dessas causas, foram propostas medidas para melhorar o processo, sendo: a implantação de um sistema de tratamento da água, para evitar que partículas inorgânicas entrem no circuito de água do processo e obstrua os *sprays*; utilização da água de selagem nos *sprays* dos filtros de esteira, pois esta água possui maior pressão e a limpeza dos tecidos ocorrerá com maior eficiência; instalação de um hidrociclone de adensamento para receber o concentrado dos separadores magnéticos de média intensidade para adensá-lo antes de ele ser direcionado aos filtros de esteiras, retirando o excesso de umidade da polpa; instalação, em todos os filtros, de uma tubulação de *sprays* no retorno do tecido utilizando a água de selagem, para aumentar a eficiência da limpeza dos tecidos; automatização da drenagem das bombas possibilitando que a drenagem ocorra via comando sala de controle e criação de um *checklist* de drenagem das bombas de vácuo, a fim de reduzir as paradas das bombas; instalação de mais uma saída nos distribuidores, para aumentar as opções de alimentação dos distribuidores dividindo melhor a massa entre os filtros; criação um *checklist* na área do bombeamento para drenagem dos potes das pernas barométricas e estabelecer que ocorra a drenagem de todos os potes duas vezes por turno, para evitar as obstruções dos potes; fixação de uma condição normal x anormal na área estabelecendo o número de ramais abertos de acordo com a pressão do hidrociclone, estabelecer trabalhar com



mais de quatro ramais somente se pressão do hidrociclone estiver acima de 2,00 Kgf/cm² e realização de um estudo junto à manutenção mecânica para utilização de guias laterais feitas de um material mais flexível, para evitar desgaste prematuro dos tecidos.

Desta forma, os objetivos deste trabalho foram atingidos descrevendo e analisando todo o processo de beneficiamento de minério da usina e analisando detalhadamente todo o processo de filtragem de esteira, identificando as principais causas do excesso de umidade no minério sínter feed e apresentando as melhorias necessárias para tratar cada uma das causas principais identificadas. Acredita-se que ao aplicar as propostas de melhorias e estabelecimento de padrões, a empresa obterá ganhos em produtividade e na qualidade do produto.

REFERÊNCIAS

- CARPINETTI, Luiz César Ribeiro. *Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas*. 2ª. Edição. São Paulo: Atlas, 2012.
- CONTADOR, José Celso. et al. *Gestão de Operações: A Engenharia de Produção a serviço da modernização da empresa* – 3ª. Edição. São Paulo: Blucher, 2010.
- FERREIRA, André Ribeiro. *Gestão De Processos*. Brasília: ENAP, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/2332/1/1.%20Apostila%20%20M%C3%B3dulo%203%20-%20Gest%C3%A3o%20de%20Processos.pdf>>. Acessado em: 26/04/2017
- GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. *Administração da Produção e Operações*. 8ª. Edição. São Paulo: Cengage Learning, 2002.
- KRAJEWSKI, Lee; RITZMAN, Larry; MALHOTRA, Manoj. *Administração de Produção e Operações*. 8ª. Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- LOPES, Renata Almendra; LIMA, Jeane de Fátima Gomes de. *Planejamento e Controle da Produção: Um estudo de caso no setor de artigos esportivos de uma indústria manufatureira*. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção: A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008. Anais. ENEGEP, 2008. Disponível em: <http://www.sucena.eng.br/eng_producao/Art1_PCP_108_2013_enegep2008.pdf>. Acessado em: 02/05/2017
- RONDONTADORO, Roberto Gilioli. *Gerenciamento por Processos*. In CONTADOR, José Celso (Cord.). *Gestão de Operações: A Engenharia de Produção a serviço da modernização da empresa* – 3ª. Edição. São Paulo: Blucher, 2010.