

# GANHOS DE RENDIMENTO MÁSSICO E FINANCEIRO COM A IMPLANTAÇÃO DA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA DE ALTO CAMPO

DELABRIDA, Christian Paula<sup>1</sup>

KRÜGER, Suewellyn<sup>2</sup>

## RESUMO

A atividade minerária é responsável por grande parte do desenvolvimento da sociedade e tem se adaptado ao longo dos anos em busca de uma operação que garanta a qualidade de seus produtos associada a sustentabilidade, baixo custo e segurança. O investimento em tecnologias que suportam estes princípios tem sido o grande aliado das empresas deste setor. É perceptível ainda que a tipologia dos minérios disponíveis no quadrilátero ferrífero tem mudado obrigando o empreendedor a buscar e desenvolver novas alternativas de beneficiamento de minério, o que eleva o grau de complexidade dos processos produtivos, mas que é inevitável uma vez que é preciso trabalhar de forma a garantir a qualidade do produto dentro das especificações de mercado. Dentro deste contexto e a partir do uso de revisão bibliográfica associada a coleta e análise de dados da empresa X, o presente estudo busca avaliar os resultados de um processo mineral de minério de ferro após a instalação da etapa de separação magnética de alta intensidade. Dado o estudo observa-se que a implantação da nova etapa influenciou no aumento de recuperação mássica, ou seja, maior geração de produtos e consequente redução do volume de rejeitos além dos favoráveis impactos financeiros.

**Palavras-chave:** Concentração Magnética. Recuperação. Rejeito. Variáveis financeiras.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil, até o final dos anos 60, produzia minério de ferro pela exploração da hematita com teor de Fe maior que 60% no ROM, o que permitia alcançar elevada recuperação mássica utilizando apenas sistema de lavagem e classificação granulométrica (CARVALHO, B.,2012). A escassez do minério, a depleção de reservas e a diminuição dos teores das minas seguidos da instabilidade comercial levou ao

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Produção; Gerente de operações

<sup>2</sup> Doutora em Engenharia Mecânica pela UTFPR e Professora Orientadora no Centro Universitário Internacional UNINTER

desenvolvimento de projetos com o objetivo de aproveitar minérios de itabiritos friáveis de baixo teor, deslocando investimentos para geração de finos (CARVALHO, B.,2012). Projetos que visam o aproveitamento de finos de minério de ferro normalmente buscam concentrar o elemento de interesse, no caso o Fe, a partir das propriedades diferenciadoras de cada elemento químico presentes na rocha, como densidade e susceptibilidade magnética.

Considerando a propriedade diferenciadora de susceptibilidade magnética o mercado desenvolveu equipamentos denominados concentradores magnéticos. A concentração magnética começou a ser utilizada em 1972 para o beneficiamento de itabiritos junto com hematitas, desde então este equipamento tem sido utilizado com eficiência pela maioria das mineradoras. A concentração magnética favorece a recuperação dos materiais mais finos que antes, em função do baixo teor, eram considerados rejeitos do processo e, portanto, eram descartados. A separação magnética por auxiliar na recuperação mássica global da planta de tratamento de minérios reduz a geração de rejeitos e aumenta a receita bruta da empresa a partir da venda de um volume maior de produtos e com a redução de custos de movimentação e empilhamento do rejeito.

De acordo com as questões explanadas acima uma empresa especializada em beneficiamento de minérios do quadrilátero ferrífero, denominada neste trabalho como X, investiu em equipamentos de separação magnética de alta intensidade afim de recuperar unidades metálicas de Fe enviadas para rejeito, otimizando seus resultados de recuperação mássica, ou seja, maior geração de produtos com qualidade para comercialização e conseqüentemente potencializar os resultados financeiros. A pergunta que irá nortear este estudo é: O investimento feito em separação magnética atingiu o objetivo de apresentar ganhos operacionais de recuperação mássica e financeiros para a empresa?

Diante de um elevado teor de Fe no rejeito e da conseqüente oportunidade de otimizar os resultados operacionais e financeiros a partir da recuperação das unidades metálicas perdidas por ineficiência operacional, a empresa X identificou como melhor solução disponível no mercado o uso da separação magnética de alta intensidade.

O objetivo geral deste artigo será retratar, a partir da comparação de dados, o retorno operacional e financeiro após implantação do separador magnético de alta intensidade denominado *WHIMS (Wet High Intensity Magnetic Separator)* ou separador de carrossel. A fim de alcançar o objetivo proposto alguns objetivos específicos deverão ser alcançados para garantir a qualidade do levantamento e análise dos dados operacionais e financeiros tratando pôr fim de sua viabilidade técnico-econômica, para isso alguns passos serão seguidos, como: (i) levantar os dados de recuperação mássica, geração de rejeitos, custo de frete, custo operacional e preço de venda dos produtos; (ii) comparar dados os dados citados acima; e (iii) pontuar os resultados identificando se houve ganhos operacionais e financeiros.

O trabalho em questão será realizado para quantificar e qualificar se de fato os ganhos operacionais e financeiros esperados pela empresa foram alcançados após a implantação da separação magnética de alta intensidade. Se esta tecnologia realmente trouxe ganhos para os processos da empresa X.

Realizado para avaliar a viabilidade técnica e econômica da implantação da separação magnética este trabalho será apresentado a partir de documento estruturado em 5 seções, considerando a introdução apresentada. A seção 2 contém a fundamentação teórica onde haverá a explanação no tema proposto afim de embasar posterior análise. A seção 3 contém a metodologia aplicada ao longo do desenvolvimento do projeto, a seção 4 os resultados e discussões e por fim, na seção 5, as considerações finais.

## **2 SEPARAÇÃO MAGNÉTICA**

Nesta seção será apresentada a fundamentação bibliográfica utilizada para a realização deste trabalho, citando conceitos utilizados no ramo de beneficiamento de minérios com foco na separação magnética e formação do preço para minério de ferro.

### **2.1 TRATAMENTO DE MINÉRIO**

Tratamento, beneficiamento ou processamento de minérios é o termo utilizado para caracterizar as operações aplicadas aos bens minerais com o objetivo de modificar a sua granulometria e a concentração relativa das espécies sem modificar suas características químicas e físicas (LUZ, SAMPAIO E FRANÇA, 2010).

As operações de processamento mineral incluem desde a fragmentação até as etapas de concentração, sendo estas arranjadas sequencialmente de modo que a recuperação dos minerais úteis seja maximizada e qualidade desejada seja obtida (VALADÃO & ARAÚJO, 2007). Apesar de possuírem arranjos diferentes o processamento de minério de ferro possui um fluxograma básico que se subdivide em: britagem, peneiramento, moagem, classificação, concentração, desaguamento do produto concentrado e desaguamento do material denominado rejeito (MEIRELES, 2010).

Segundo o Ministério de Minas e Energia, é considerado rejeito o material descartado proveniente das plantas de beneficiamento de minério. O rejeito gerado, normalmente, é descartado em estruturas de engenharia destinadas a contenção deste material como barragens e pilhas. Denomina-se como produto do processo todo aquele que possui valor econômico agregado e possui sua nomenclatura variável em mercado conforme sua granulometria, como por exemplo: Granulado (acima de 6,3 mm), Sinter feed (entre 0,15 e 6,3 mm) e o Pellet feed (< 0,15 mm) (PEREIRA, 2012).

## 2.2 CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA

A concentração magnética é possivelmente o segundo maior método de concentração aplicado no Brasil. Em contexto mundial, é aplicado na recuperação de meios densos na preparação de carvões e na concentração de minérios de ferro (VALADÃO E ARAÚJO, 2007).

Segundo Sampaio e Luz (2004) a concentração magnética assegura a concentração ou purificação de substâncias minerais a partir de suas propriedades que quando submetidas a um campo magnético apresentam diferentes comportamentos. Essa propriedade diferenciadora é conhecida como susceptibilidade magnética.

Susceptibilidade magnética é a propriedade de um material que determina a sua resposta a um campo magnético (SAMPAIO, FRANÇA e BRAGA, 2007).

Na separação magnética, a força magnética é dominante e a separação entre as partículas depende da resposta a essa força junto a forças como: gravitacional, hidrodinâmica, inercial e centrífuga.

A separação magnética pode ocorrer a seco e a úmido. A seco normalmente é aplicada quando se tem uma fração de granulometria grossa e os materiais são fortemente magnéticos. Minérios compostos por frações finas normalmente são separados via a úmido. Neste caso utiliza-se equipamentos com alta e baixa intensidade magnética, variando de acordo com as características do minério (SILVA, A., 2012).

A intensidade pode ser considerada, em termos gerais, como o fluxo total que atravessa uma superfície de um centímetro quadrado perpendicular ao campo permitindo a separação das partículas com diferentes valores de susceptibilidade. Com baixa intensidade separam-se minerais com elevada susceptibilidade, alta intensidade se separa minerais com valores mais baixos deste parâmetro (LUZ, 2004).

### 2.3 CONCENTRADOR MAGNÉTICO TIPO CARROSSEL (*WHIMS*)

O concentrador eletromagnético de carrossel é um equipamento de alta intensidade, recomendado para separação magnética, via úmida, de contaminantes ferrosos de baixa susceptibilidade magnética, com granulometria abaixo de 2,0 mm contidos em uma polpa com aproximadamente 30% de sólidos (VIEIRA, 2008).

Os separadores do tipo carrossel trabalham de forma simultânea com dois níveis de separação. A cada nível existem diversas caixas de trabalho constituídas por um conjunto de placas ranhuradas e dispostas de forma paralela, onde recebem a polpa de alimentação que é efetuada sob a ação do campo magnético. As partículas paramagnéticas são atraídas para a superfície das placas. O movimento rotatório leva o material a um ponto onde há um fluxo de água descendente atravessando as placas para retirada de um produto com características intermediárias, ainda sob a ação do campo magnético. O próximo ponto alcançado está fora da ação do campo magnético e um novo jato de água faz a retirada do concentrado (GAUSTEC, 2023).

## 2.4 FORMAÇÃO DO PREÇO PARA MINÉRIO DE FERRO

A indústria de minério de ferro possui formação de preço baseada na demanda do seu principal consumidor o setor siderúrgico estando ainda ligadas as mudanças tecnológicas e a manutenção da sua cadeia de valor. Em resumo para determinar a formação de preço é preciso compreender os diferentes produtos fornecidos ao mercado pelas indústrias e a importância desta commodity para o mercado mundial (SILVA, E., 2012).

Em linhas gerais a precificação é dada pelo teor de ferro do produto final estando está estabelecida pelo *Platts*. Os custos operacionais e de logística estão caracterizados como elementos que influenciam na determinação dos preços (QUARESMA, 2001).

## 3 METODOLOGIA

Pretende-se realizar uma pesquisa de natureza aplicada com abordagem quantitativa de objetivo prescritivo deslumbrando procedimentos bibliográficos e de estudo de caso. Esta é uma metodologia de pesquisa ampla sobre um assunto específico onde se objetiva gerar conhecimento para aplicação prática, ou seja, propor a resolução de um problema a partir do levantamento de dados associado ao referencial teórico já consolidado no ramo científico onde o principal objetivo é oferecer subsídio para análise de viabilidade da proposta aqui tratada.

Inicialmente será feita uma pesquisa bibliográfica, considerando autores e fontes confiáveis, a fim de aprofundar sobre o tema apresentado oferecendo subsídios para a etapa prática de coleta e análise dos dados apresentados pelo processamento mineral da empresa X. Os dados serão coletados a partir de controles realizados diariamente pela equipe de produção e logística da empresa.

A empresa em questão está situada no quadrilátero ferrífero, porém por questões estratégicas de mercado a mesma não permitiu que seus dados operacionais fossem divulgados e, portanto, a mesma não terá sua razão social exposta no trabalho.

Visando comparar o rendimento mássico da planta de beneficiamento e as variáveis financeiras obtidas antes e depois da instalação do concentrador magnético de alto campo, os dados serão coletados e separados em dois períodos, sendo estes de janeiro a dezembro de 2021 e 2022. Considera-se para efeito de análise o ano de 2021 sem a implantação do separador magnético de alta intensidade e 2022 com resultados após a implantação do equipamento uma vez que o mesmo entrou em regime operacional em meados de dezembro/2021 para janeiro/2022. Para o mês de dezembro de 2021, a fim de não contaminar a análise, será desconsiderado os dados após a implantação do equipamento.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Diante do elevado teor de Fe no rejeito e da possibilidade de otimizar os resultados a partir da recuperação das unidades metálicas perdidas, a equipe técnica da LGA foi ao mercado buscar tecnologias capazes de satisfazer a oportunidade identificada. Dentre as tecnologias identificadas tem-se o uso de flotação e separação magnética de alta intensidade. A flotação foi desclassificada pelo elevado custo de *capex* e *opex* além da necessidade de maiores adaptações no processo, como a instalação de um moinho. A separação magnética de alta intensidade além de favorecer a recuperação mássica e metalúrgica das unidades metálicas perdidas ao rejeito, se apresentou com menor *capex* e *opex*.

Os dados aqui apresentados declaram uma operação real e foram obtidos a partir dos controles operacionais e estratégicos da empresa em questão. Os controles operacionais são declarados a partir da pesagem, em balança rodoviária (aferida periodicamente), de toda massa gerada como produto ou rejeito. Levantado os dados, os mesmos são compilados diariamente em planilha onde será calculado indicadores como recuperação mássica (geração de produtos pela alimentação), controles de estoques,

dentre outros. Aos dados estratégicos houve a solicitação aos setores responsáveis que compartilhou, após autorização da alta direção, o uso dos dados para estudo. Após a coleta os dados foram compilados e tratados para favorecer a análise e interpretação das informações segundo objetivo principal deste trabalho.

A recuperação mássica é dada pela relação entre quantidade de produtos gerados a partir de uma alimentação. Dito isto, observa-se em análise aos dados internos da empresa que a entrada da separação magnética alavancou em 20% o volume de produto concentrado gerado a partir do processamento do rejeito da etapa anterior. Em termos de recuperação mássica global houve um aumento entre 2021 e 2022 de 11%, gerando uma redução de 35% no volume de rejeito gerado (figura 01,02 e tabela 01).

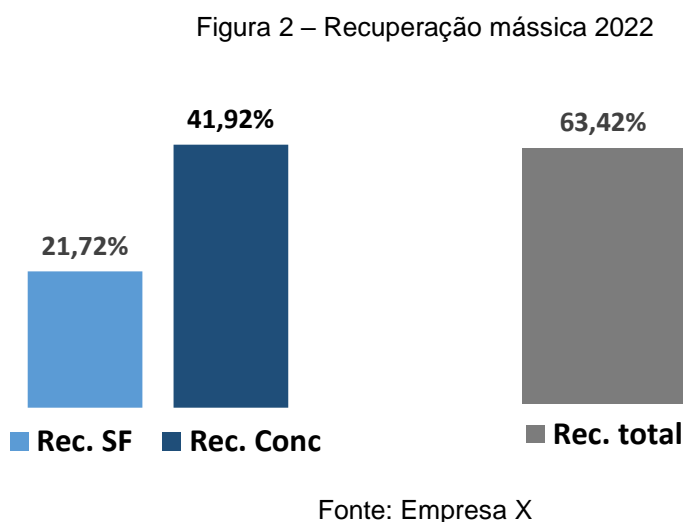
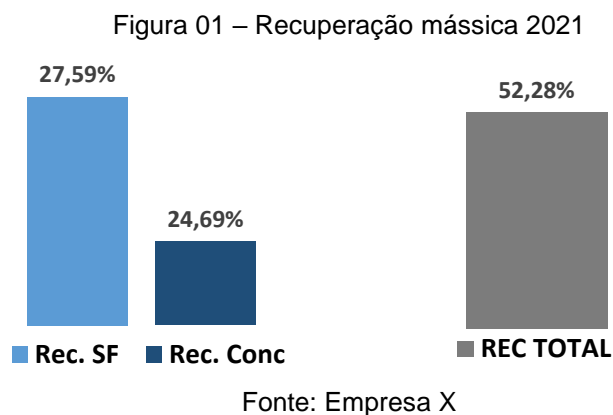


Tabela 1 – Geração de rejeito e custo de transporte



| Período Analisado | Geração de rejeito (t) | Frete por tonelada (R\$) | Gasto transporte rejeito (R\$) |
|-------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 2021              | 404.370                | 2,10                     | R\$ 849.177,00                 |
| 2022              | 262.652                | 2,10                     | R\$ 551.570,15                 |

Fonte: Empresa X

Instalada a etapa de concentração de alto campo afim de processar o rejeito da etapa anterior fica claro, em análise aos dados de 2021 e 2022, que houve ganho operacional a partir do desenvolvimento operacional. Desta forma fica comprovado que o equipamento de separação magnética de alta intensidade contribuiu positivamente para os resultados da empresa X.

Alterado pela instalação de um novo equipamento o processamento de minérios passa de um custo operacional de R\$ 12,00 em 2021 para R\$ 15,00 em 2022, ou seja, R\$ 3,00 a mais por tonelada produzida. Considerando desta forma uma geração de 206.028 t em 2014 para 226.636 t em 2021 de concentrados, tem-se um aumento de custo operacional de R\$ 867.204,00. No entanto deve-se levar em consideração um aumento de R\$ 1.569.470,00 na receita da empresa com a venda do volume a maior de produção. Para este considera-se como premissa a venda do produto a R\$ 94,50, valor inferior ao estabelecido pelo mercado através do Platts por se tratar de uma empresa que trabalha em contratos rediados (tabela 02).

Tabela 2 – Lucro operação

| Período Analisado | Geração Concentrado (t) | Custo prod. por tonelada (R\$/t) | Custo de produção (R\$) | Valor venda tonelada (R\$/t) | Venda (R\$)    | Lucro (R\$)    |
|-------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------|----------------|
| 2021              | 206.028                 | R\$ 12,00                        | R\$ 2.472.331           | R\$94,50                     | R\$19.469.603  | R\$ 16.997.273 |
| 2022              | 222.636                 | R\$ 15,00                        | R\$ 3.339.535           | R\$ 94,50                    | R\$ 21.039.073 | R\$ 17.699.537 |

Fonte: Empresa X

Impactos de resultados também podem ser notados na redução de custos para tratamento, transporte e empilhamento do rejeito devido a queda de seu volume, conforme apresentado pela tabela 1. Em 2021 a empresa tinha um custo de transporte

de rejeito de aproximadamente R\$ 849.177,00 estando este reduzido a R\$ 551.570,00 em 2022, ou seja, uma redução direta de R\$ 297.607,00. Outro ganho observado está na locação de equipamentos para carregamento de rejeito onde tem-se uma redução de R\$ 67.968,00 (tabela 03).

Tabela 2 – Custo escavadeira para movimentação rejeito

| Período Analisado | Horas escavadeira | Valor hora (R\$) | Total gasto com escavadeira (R\$) |
|-------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|
| 2021              | 1.975             | R\$ 80,00        | R\$ 143.568                       |
| 2022              | 945               | R\$ 80,00        | R\$ 75.600,00                     |

Fonte: Empresa X

O sucesso do projeto está claramente atrelado ao desenvolvimento de processo que visa o aumento produtivo desta unidade. A tomada de decisão embasada conforme conceitos citados anteriormente neste arquivo, foram fundamentais para o sucesso do projeto em termos técnicos e financeiros. Destaca-se, de forma técnica, a importância para verificação da caracterização do minério já que a mesma irá apresentar as propriedades diferenciadoras do mesmo indicando qual melhor tecnologia a ser aplicada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidencia os resultados obtidos após a instalação de um equipamento de separação magnética de alta intensidade. Além do embasamento teórico este está atrelado a realização de estudo a partir da coleta e análise de dados internos da empresa X entre os de 2021 e 2022.

O método de concentração definido pela equipe técnica da empresa X foi o concentrador magnético tipo carrossel, dada as respostas obtidas na fase de testes do processo do rejeito oriundo da etapa anterior.

Referenciando os resultados obtidos tem-se um aumento na cadeia produtiva de 11% e uma redução de cerca de 35% na geração de rejeitos a serem dispostos. Ponto importante a ser citado é o aumento de R\$ 1.569.470,00 na receita da empresa com a venda do volume a maior de produção, valor este que poderia ser potencializado caso a empresa estivesse no mercado com precificação dos produtos estabelecida pelo Platts.

Custo de produção elevado a R\$ 3,00 se mostra desfavorável a um primeiro momento e deve ser citado, porém em simples análise financeira percebe-se que ele é insignificativo diante dos ganhos financeiros apresentados após a instalação do equipamento.

Os ganhos financeiros não se limitam a receita gerada pela venda dos produtos estando esta composta ainda pela redução de R\$ 365.574,00 com custos de movimentação e carregamento do rejeito a menor.

Analisando a receita adquirida a maior atrelada a redução do custo de movimentação de rejeito, tem-se um projeto implantado que subsidia com tranquilidade o aumento de custo operacional dando margem para retornos financeiros reduzido seu *payback*.

Os resultados obtidos e citados no item anterior, embasam a análise de viabilidade técnica e econômica do equipamento para o desenvolvimento do processo da empresa aqui analisada.

## REFERÊNCIAS

- CARVALHO, B. C. **Aproveitamento de minério de ferro de baixo teor: Tendências, Tecnologias utilizadas e influências no sequenciamento de lavra.** Ouro Preto: UFOP, 2012.
- GAUSTEC. Disponível em: <[www.gaustec.com.br](http://www.gaustec.com.br)>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2023.
- LUZ, A. B; LINZ, F. A. F. **Introdução ao tratamento de minérios.** Cap. 1, Rio de Janeiro: CETEM, 2004.
- LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., & FRANÇA, S. C. **Tratamento de minérios** .5° ed. Rio de Janeiro: Copyright CETEM/MCT, 2010.
- PEREIRA, S. d. **O mercado de minério de ferro.** Belo Horizonte: UFMG, 2012.
- QUARESMA, L. F. **Balanço mineral Brasileiro.** 2001.
- SAMPAIO, J. A., FRANÇA, S. C., & BRAGA, P. F. **Tratamento de minérios - Práticas Laboratoriais.** Rio de Janeiro: Copyright CETEM/MCT, 2007.
- SAMPAIO, J. A. LUZ, Adão Bemvindo da. **Separação Magnética e eletrostática,** cap 8, Rio de Janeiro, CETEM, 2004.
- SILVA, A. C. **Concentração física de minerais.** Catalão: CETM, 2012.
- SILVA, E. M. **O mercado mundial de minério de ferro e seus efeitos sobre a balança comercial brasileira** . Rio de Janeiro: PUC Rio, 2012.
- VALADÃO, G.E.S; ARAUJO, A.C. **Introdução ao tratamento de minérios.** Belo Horizonte. UFMG, 2007. 234 P.
- VIEIRA, M. G. **Produção de um pellet feed a partir da concentração do rejeito da flotação mecânica da Samarco.** Belo Horizonte: UFMG, 2008.