



## MINÉRIO DE FERRO NO ESTADO DO PARÁ

Analises e Estudos do Processo de Beneficiamento de Minerio de Ferro em Serra Leste-Pará:Maximizando o Potencial Mineral

Gabriel Walfredo Brasil de Souza

Universidade Federal do Pará

### RESUMO

O estado do Pará se destaca como um dos principais centros de produção mineral do Brasil, impulsionando a economia local e nacional. Nesse contexto, o minério de ferro assume um protagonismo devido a sua importância estratégica a nível global, sendo o Brasil um dos maiores fornecedores de minério de ferro do mundo. |Compreender o processo de beneficiamento desse minério representa buscar melhorias e oportunidades para explorar este recurso de forma sustentável e eficiente. Este trabalho apresenta o fluxograma do beneficiamento da Mina Serra Leste que se encontra em Curionópolis-Pará. O mesmo traz consigo informações a respeito das atividades de beneficiamento da mina que vão desde os processos minerários, pré-beneficiamento, finalizando com os produtos a serem comercializados. O trabalho em questão tem como proposta esclarecer e visibilizar os processos de Beneficiamento em questão. Inicialmente, foi feito o levantamento dos processos minerários e dos beneficiamentos do estado do Pará pela plataforma SIGMINE da Agência Nacional de Mineração (ANM). Somado a esse levantamento, foi feita a revisão bibliográfica do beneficiamento da Mina Serra Leste. Daí, foi possível a confecção de um fluxograma atualizado e didático, que permite a compreensão dos processos e atividades da mina de forma clara para diferentes públicos. Este trabalho contribui não apenas para a compreensão da mineração do Pará, mas também para uma gestão estratégica dos recursos minerais.

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O Ferro, material esse que foi descoberto há milhares de anos e que sem ele nossa sociedade não teria o avanço tecnológico que possuímos. O mesmo foi descoberto no final da era do bronze e revolucionou a tecnologia da época devido suas propriedades, transformando nosso mundo até o dia de hoje pois a sociedade contemporânea não existe sem o ferro e seus produtos.

Segundo Duarte 2019, o minério de ferro é composto do mineral de ferro (hematita, goethita ou magnetita) e da ganga, geralmente composto de silicatos. O minério de ferro é um recurso mineral fundamental que desempenha um papel central na economia global. Sua importância reside na sua aplicação primordial: a produção de aço. Como matéria-prima básica na fabricação de aço, o minério de ferro é essencial para uma vasta gama de indústrias e aplicações, desde a construção civil até a produção de bens de consumo duráveis. A indústria siderúrgica, que depende fortemente do minério de ferro, é um dos pilares da economia moderna. O aço é utilizado na construção de infraestruturas como pontes, estradas, edifícios, bem como na fabricação de veículos, máquinas e equipamentos industriais. Sem o minério de ferro, essa produção seria inviável, afetando negativamente o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida das populações ao redor do mundo.

A exploração mineral no estado do Pará teve seu ponto inaugural em 1967, quando a descoberta da maior reserva global de minério de ferro, localizada no distrito mineral da Serra dos Carajás, inaugurou uma fase transformadora na história econômica e social da região (SOUSA, 2022). No Pará a partir da década de 70 houve uma implantação massiva de mineradoras particularmente na região sudeste do estado em busca de jazidas tanto de Ferro quanto de Ouro, trazendo o desenvolvimento econômico para essa região e trazendo também um aumento populacional crescente devido aos empregos e qualidade de vida.

O objetivo deste estudo vem com a necessidade de ampliar os conhecimentos a cerca de mineração e beneficiamento do minério de ferro. A partir de um fluxograma com intuito de ser de fácil entendimento, permitindo que tanto pessoas que não são da área, quanto pessoas com certo conhecimento a respeito possam usufruir. Este artigo propõe uma análise e caracterização do processo de beneficiamento de ferro no Projeto Serra Leste administrado pela Vale.

## **2 OBJETIVO**

Este artigo tem por finalidade caracterizar o processo de beneficiamento da Mina Serra Leste, localizada no estado do Pará. O estudo aborda as etapas envolvidas nos processos, desde a fase inicial até os estágios finais de obtenção do concentrado de Ferro. Além disso, o trabalho visa uma compreensão abrangente desses processos, não se limitando à descrição das fases operacionais, mas incluindo a análise das implicações técnicas. Ao atingir esse objetivo, a pesquisa pretende contribuir para um entendimento mais amplo por parte da sociedade das práticas de beneficiamento de Ferro na Mina Serra Leste, através de um fluxograma interativo e funcional, proporcionando também informações fundamentais para a gestão eficiente dos recursos minerais pela indústria mineral.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Minério de Ferro

Industrialmente, a única forma pela qual se obtém o ferro (Fe) é a partir de substâncias minerais. O metal é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, de cuja composição participa com 4,5% em massa, superado apenas pelo oxigênio, o silício e o alumínio. Embora faça parte da composição de vários minerais, apenas alguns destes podem ser economicamente explorados para a obtenção do ferro, quer pela quantidade desse elemento nesses minerais, quer pela concentração ou distribuição desses minerais nas rochas que constituem os corpos de minério. (CARVALHO,2014).

#### 3.1.1 História

A Idade dos Metais, é a última fase da pré-história e apresenta o ferro como o último metal do período utilizado pelos hominídeos, principalmente para produzir ferramentas e armas. A Era do Ferro ocorreu entre 1 500 a.C-300 a.C., mas já foram encontrados objetos do metal datados de 3500 a.C. no Egito. A qualidade do ferro era medida pelo teor de carbono presente, pois compostos desse elemento eram utilizados para fundição de ferro. Logo, quanto menor a quantidade de carbono, maior a qualidade do ferro. O ferro foi também o metal mais importante para a primeira fase da Revolução Industrial. (LEE,1999).

Graças a descoberta do metal denominado Ferro foi possível criar novos compostos que facilitaram o cotidiano da Era Pré-histórica. A Figura 1 apresenta ferramentas de ferro forjadas do período denominado Idade do Ferro (entre 1200 a.C. – 550 a.C.).

Figura 1:Ferramentas de ferro forjadas na idade do ferro



Fonte: Navarro, 2006

Nas condições físico-químicas encontradas na Terra, o ferro apresenta versatilidade, podendo interagir e formar compostos diferentes, participar em processos de mobilidade de íons no meio ambiente, formar sólidos, promover reações de redox, entre outros. Algumas dessas reações têm grande influência na mobilidade de diversas espécies no meio ambiente. Processos naturais, frequentemente mediados por microrganismos, modulam a predominância de  $\text{Fe}^{3+}$  ou  $\text{Fe}^{2+}$  e, assim, favorecem a coprecipitação/adsorção de espécies químicas, como o arsênio, por exemplo, em oxi-hidróxidos de ferro ou a sua dissolução/dessorção, com consequente mobilização para o meio ambiente. Em sistemas biológicos, o ferro tem papel de suma importância em vários processos bioquímicos, como nas reações enzimáticas, no transporte de oxigênio e de elétrons (DUARTE,2019).

### 3.1.2 Propriedades

- **Maleabilidade:**

A abundância do ferro, a relativa facilidade para a sua obtenção na forma de  $\text{Fe}(s)$ , as suas propriedades mecânicas como maleabilidade, resistência e a sua fácil conformação o tornaram material de base para a fabricação de ferramentas e equipamentos. As propriedades mecânicas do ferro podem ser controladas em função da presença de carbono, níquel, cromo, silício, entre outros. O aço, por exemplo, é uma liga que contém cerca de 0,5 - 1,7% de carbono. Em função da proporção de carbono e do tratamento térmico aplicado, o aço adquire propriedades que são adequadas para diferentes aplicações. Por isso, o ferro é encontrado na grande maioria dos utensílios e ferramentas que utilizamos. Podemos dizer que desde a Era do Ferro, há cerca de 1200-300 A.C (DUARTE,2019).

- **Magnetismo**

A história do magnetismo começa com um mineral chamado magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), o primeiro material magnético conhecido pelo homem. Sua história inicial é obscura,

mas sua capacidade de atrair ferro era certamente conhecido há 2500 anos. A magnetita é amplamente distribuída. No mundo antigo, os depósitos mais abundantes ocorriam no distrito de Magnésia, no que hoje é a atual Turquia, e nossa palavra ímã é derivada de uma palavra grega semelhante, que se diz vir do nome deste distrito. Também era sabido pelos gregos que um pedaço de ferro se tornaria magnético se fosse tocado, ou, melhor, esfregado com magnetita (CULLITY, ET AL,2009).

### **3.1.3 Minerais**

Minério é um material natural que contém um agregado de minerais do qual um ou mais minerais de interesse podem ser extraídos de maneira economicamente viável. A parcela do minério que não tem valor econômico é chamada ganga. Os principais minerais encontrados no minério de ferro são hematita, goethita e magnetita. Existem vários outros minerais de ferro encontrados na natureza que não proporcionam benefícios econômicos para a mineração de ferro. No entanto, isso não significa que não tenham interesse em ciência e tecnologia, como dito por (DUARTE, 2019).

- **Hematita**

( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) é preto, cinza metálico ou vermelho sangue, brilho metálico, rômboico, tabular, granular, estratiforme, botrioidal, denso ou terroso, com dureza de 5,5 a 6,5 e densidade Densidade relativa de 4,9 a 5,3  $\text{g/cm}^3$ . . . A principal característica de diagnóstico é a marca vermelha deixada na placa cerâmica. Contém 70% de ferro. Sob condições de maior liberação de oxigênio, a magnetita pode se transformar em hematita que mantém seu estado original (pseudomorfose), caso em que é chamada de martita.

- **Goethita**

( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) é um óxido de ferro hidratado, 90%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e 10%  $\text{H}_2\text{O}$ , às vezes de aparência incoerente e com textura esponjosa, variando em brilho de opaco a adamantino. Pode ser prismático, fibroso, maciço, circular, botrioidal ou estalactite, com dureza de 5 a 5,5 e densidade relativa de 3,3 a 4,3  $\text{g/cm}^3$ . Geralmente se forma sob condições oxidantes como um produto de intemperismo do óxido de ferro.

- **Pirita**

(FeS<sub>2</sub>) e pirrotita (FeS) são sulfetos de ferro. A pirita é amarelo-cobre e de cor metálica, possui formato dodecaedro, octaedro ou pentagonal, dureza 6,0-6,5, densidade relativa 4,95-5,10 g/cm<sup>3</sup>, com 53,4% S e 46,6% Fe. , cor amarela ou vermelho-cobre, brilho metálico, clivagem basal perfeita, formato prismático, tabular ou piramidal, dureza 3,5 a 4,5 e densidade relativa 4,5 a 4,87 g /cm<sup>3</sup>, com 39,6% de S e 60,4% de Fe. É pouco magnético, de 4,5 a 4,87 g/cm<sup>3</sup>. . um grau de mudança. A oxidação superficial da pirita e da pirrotita pode produzir depósitos secundários de ferro, por exemplo, produzindo limonita (Fe(OH)<sub>3</sub>.nH<sub>2</sub>O) que pode manter o estado original da pirita (pseudoforma). Entre os sulfetos de ferro também se destaca a calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>), amarelo acobreado e brilho metálico, formato cúbico, cúbico ou tetraédrico, dureza 3,5 a 4 e densidade relativa 4,1-4,3 g/cm<sup>3</sup>. É composto por 34,5% Cu, 30,5% Fe e 35,0% S. O sulfeto de ferro varia em dureza, densidade, cor e aparência.

Os minerais citados por (DUARTE, 2019) são amplamente encontrados na Mina Serra Leste.

### **3.2 Depósito de Ferro e Características**

Um depósito mineral pode ser definido como uma acumulação natural de minerais, rochas e substâncias minerais que é economicamente viável para extração. Esses depósitos resultam de processos geológicos ao longo do tempo, como a cristalização de minerais a partir de soluções aquosas, a deposição de sedimentos, ou atividades vulcânicas. A formação de depósitos minerais está intrinsecamente ligada a condições geológicas específicas, como a presença de determinados minerais em rochas específicas, ambientes sedimentares, metamórficos ou magmáticos (HUSTRULID; BULLOCK, 2001).

### **3.3 Lavra e Beneficiamento do Minério de Ferro**

#### **3.3.1 Método de Lavra**

O minério de ferro, de natureza hematítica ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), é lavrado comumente em minas a céu aberto utilizando-se de escavadeiras em conjunto com britadores móveis. A utilização de caminhões se dá para as tarefas auxiliares e complementares, objetivando a redução da distância média de transporte (DMT) no processo de lavra. A esta tecnologia de lavra se dá o nome IPCC – In pit crushing and conveying, ou britagem e transporte dentro da cava. (ANDRADE,2021).

Quando as jazidas estão em profundidade elevada e a relação estéril/minério torna a lavra a céu aberto inviável economicamente, o método subterrâneo é empregado. Esse método está associado à formação de galerias, câmaras e poços, exigindo sistemas eficientes de ventilação e iluminação (SILVA, 2019 ).

#### **3.3.2 Beneficiamento**

O beneficiamento do minério de ferro desempenha um papel crucial na indústria siderúrgica, pois é um processo vital para otimizar a qualidade e a viabilidade econômica do minério. Consiste em uma série de etapas que visam aprimorar as características do minério, removendo impurezas e concentrando o teor de ferro. Britagem pode ser definida como um conjunto de operações unitárias que objetiva a fragmentação de blocos de minérios oriundos de uma mina ou de blocos de rochas de uma pedreira, levando-os à granulometria adequada para utilização direta ou para posterior processamento. fragmentação ou cominuição pode ser definida como operação, ou o conjunto de operações, que reduz as dimensões físicas de um dado conjunto de blocos ou partículas, através de rompimento das ligações estruturais (VALADÃO e ARAÚJO, 2007).

Segundo MULLAR e BHAPPU(1980), a britagem é um estágio no processamento de minérios que utiliza, em sucessivas etapas, equipamentos apropriados para a redução de tamanhos convenientes ou para a liberação de minerais valiosos de sua ganga.

Deve ser executado de maneira controlada e de modo a cumprir um objetivo pré-determinado; controlando o tamanho máximo dos produtos, bem como a geração excessiva de finos (CHAVES e PERES, 2006). Considera-se o desmonte de rochas como sendo o primeiro estágio de fragmentação, com o auxílio de explosivos, formando blocos volumosos, porém de um tamanho que permite alimentar os equipamentos de britagem (LUZ et. al, 2004).

De acordo com LUZ et. al, (2004), “entende-se por peneiramento, a separação de um material em duas ou mais classes, estando estas limitadas uma superior e outra inferiormente”.

Segundo CHAVES e PERES (2006), o “peneiramento é a operação de separação de uma população de partículas em duas frações de tamanhos diferentes, mediante a sua apresentação a um gabarito de abertura fixa e predeterminada”.

VALADÃO e ARAÚJO (2007) conceituam o peneiramento, de forma mais ampla, “como a operação de separação por tamanhos realizada industrialmente e que utiliza superfícies com aberturas geométricas variadas”.

Chamamos o produto retido de “oversize”, enquanto o passante é denominado “undersize”. As superfícies de peneiramento podem ser produzidas com barras, superfícies planas perfuradas e fios traçados, usando materiais como: aço, borracha e poliuretano. O processo de peneiramento pode ser realizado com umidade natural, também conhecido como via a seco, ou via úmida, onde há a adição de água. Os peneiramentos industriais a seco são realizados, normalmente, em frações granulométricas de até 6 mm. Entretanto, é possível peneirar a seco com eficiência razoável em frações de até 1,7 mm (ANDERY, 1980, apud LUZ et. al, 2004).

### 3.4 Caracterização Geológica e Mineralógica da Mina Serra Leste

A Província Mineral de Carajás (PMC), compreendida no Cráton Amazônico, apresenta complexa trama geológica-estrutural e diversificados depósitos minerais, sendo, desta maneira, denominada de Província Polimetálica de Carajás. A área alvo do estudo, a região de Serra Leste, está incluída na PMC, mais especificamente na porção norte, caracterizada pelo Cinturão de Cisalhamento Itacaiunas, onde insere-se a Serra de Carajás. Três eventos deformacionais regionais foram constatados neste domínio: (i) o primeiro evento ( $> 2,8$  Ga) é marcado por zonas de cisalhamento de direção E-W, estruturas transtrativas e terminações 'rabo de cavalo' (e.g., de Serra Pelada, com direção NNE-SSW); (ii) o segundo evento ( $\sim 2,8$  a  $2,65$  Ga) está associado ao cisalhamento transcorrente dextral-obliquo na direção WNW-ESE, de natureza rúptil-dúctil a dúctil; (iii) o terceiro evento ( $\sim 2,6$  a  $1,88$  Ga) é caracterizado por movimentos transpressivos que formaram estruturas rúpteis e rúpteis-dúcteis, com reativação de antigas falhas, como a Zona de Cisalhamento Transcorrente Cinzento (ZCTC), gerando movimentação sinistral (CARRINO et al,2007).

A região de Serra Leste é marcada também por depósitos de ferro de alto teor, similares àqueles de Serra Norte e Serra Sul, explorados pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). Este conjunto de alvos é caracterizado, em superfície, por crostas ferruginosas geradas por intemperismo químico de formações ferríferas e rochas vulcânicas. Geomorfologicamente, os depósitos da região de Carajás (e.g., N4, N2, S11, entre outros) correspondem a platôs cuja topografia é mantida por uma cobertura de canga ou crosta ferruginosa espessa e dura, que compreende o minério laterítico (CARRINO et al,2007).

#### 4. METODOLOGIA

A abordagem metodológica desta pesquisa iniciou-se com um levantamento das áreas de extração de Ferro na região do Pará, utilizando a plataforma SIGMINE. Na Figura 2 observa-se o uso dessa ferramenta, do qual proporcionou uma análise espacial precisa, identificando pontos de interesse relacionados à mineração de Ferro.

Figura 2: Imagem ilustrativa do Sigmime



Fonte: Portal SIGMINE.

Com base nos dados obtidos por meio do SIGMINE, a Mina Serra Leste surgiu como uma mina potencial foco para este estudo, sendo selecionada devido à sua relevância no cenário do beneficiamento de ferro na localidade e a disponibilidade de dados. Essa escolha permitiu uma análise mais aprofundada, concentrando esforços na compreensão detalhada do processo de beneficiamento específico dessa mina.

A fase subsequente da metodologia envolveu pesquisas para coletar dados específicos sobre a Mina Serra Leste, abrangendo informações sobre a planta de beneficiamento, composição do minério, infraestrutura operacional e outros fatores pertinentes. Essa etapa incluiu revisão de literatura, consulta a relatórios técnicos e análise de dados históricos, visando obter uma visão abrangente das práticas de beneficiamento de ferro.

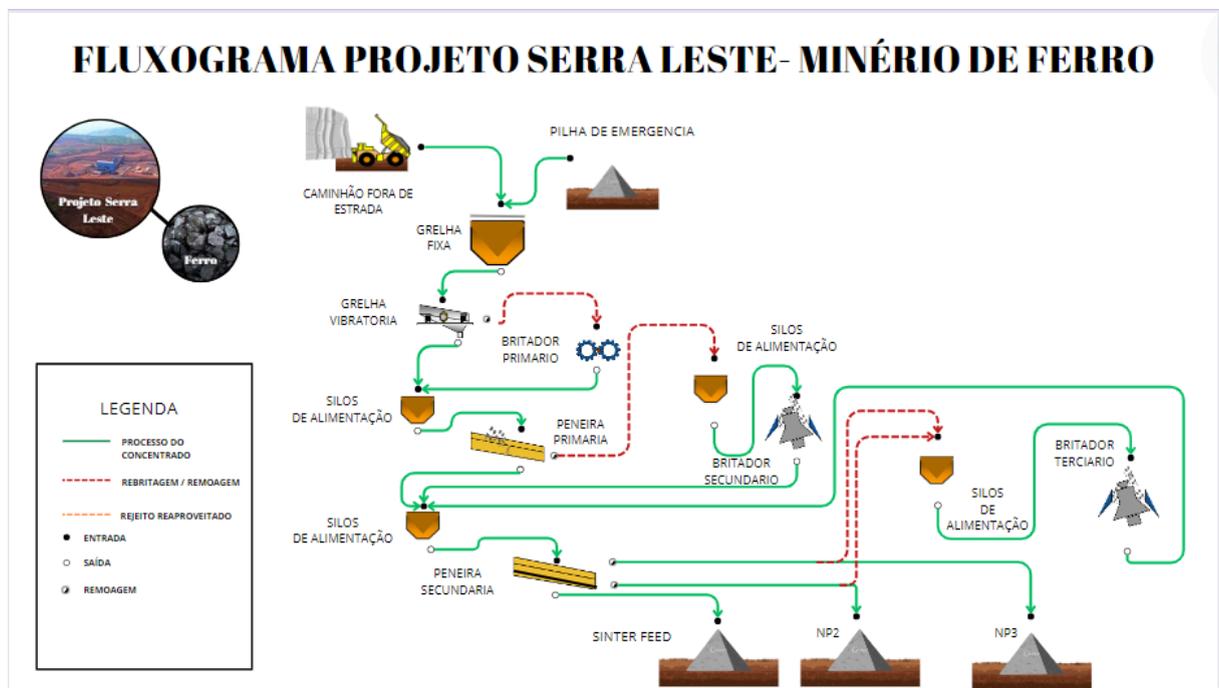
Com os dados coletados, incluindo informações específicas da planta de beneficiamento local, a construção do fluxograma foi realizada por meio da ferramenta gráfica Canva. Essa abordagem permitiu representar visualmente os estágios do processo de

beneficiamento de ferro, proporcionando uma compreensão mais acessível e clara da sequência operacional. O fluxograma não apenas reflete as particularidades do contexto estudado, mas também serve como uma valiosa ferramenta visual para comunicar efetivamente os resultados obtidos nesta pesquisa.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta pesquisa são apresentados por meio da caracterização do processo de beneficiamento da Mina Serra Leste. A forma adotada permitiu uma compreensão abrangente das etapas envolvidas, desde a fase inicial até os estágios finais de obtenção do *Sinter Feed*, Np2 e NP3. Na Figura 3, observa-se o fluxograma detalhado que representa visualmente cada fase do processo de beneficiamento do minério de Ferro.

Figura 3 :Fluxograma Atualizado



Fonte: Autor

O beneficiamento de Ferro na mina Serra Leste possui um processo simples e direto, realizando o seu processamento a seco, contando somente com etapas de cominuição e classificação para adequação da granulometria do minério.

A cominuição é o estágio inicial do processo no qual é realizada a fragmentação e o peneiramento do minério proveniente da mina. Na mina de Serra Leste, estas etapas são constituídas pelos processos de britagem primária, peneiramento primário e britagem secundária.

O minério é alimentado na usina por caminhões de 35t, basculando diretamente na moega da usina ou na pilha pulmão, que é utilizada somente em caso de parada da usina, sendo alimentada posteriormente.

Instalado sob a moega tem-se uma grelha fixa, cuja função é evitar que blocos superiores a 300mm sigam para a grelha vibratória.. É importante ressaltar que há um marteleto de matacos, que fragmenta blocos maiores tornando assim possível que todo o material possa seguir para a grelha vibratória. A grelha vibratória classifica o material num tamanho de 150mm. O retido nesta grelha é direcionado a um britador de mandíbulas (Metso C140), de forma a reduzir o tamanho dos fragmentos maiores.

O fluxo do passante da grelha e a descarga do britador se juntam para alimentar dois silos e posteriormente duas peneiras vibratórias (10'x21'), por meio de alimentadores de correia. Estas peneiras possuem dois decks, sendo o primeiro somente de alívio (100mm) e o segundo de classificação (40mm)

O retido em ambos os decks se direcionam aos silos que alimentam dois britadores cônicos (APF de 38mm, Metso HP400). As descargas destes equipamentos se juntam com a alimentação retornam ao fluxo das peneiras primárias, formando a chamada carga circulante.

O passante nas peneiras é direcionado à duas peneiras secundárias de dois decks (Metso 8'x32'), sendo o retido do primeiro deck o produto NP3 (+6,3mm e -50mm) e o retido do segundo deck o produto NP2 (+6,3mm e -25mm), tais fluxos podem ainda ser direcionados à britagem terciária (APF de 25mm, Metso HP400). O passante do segundo deck é o produto sinter feed (-6,3mm).

Todo o processo é controlado por silos de alimentação e correias transportadoras que visam proporcionar um adequado controle de material, impedindo assim uma sobrecarga do beneficiamento.

Pode-se observar que o fluxograma do beneficiamento da Mina Serra Leste é constituído basicamente pelas etapas de cominuição e classificação. A cominuição é realizada por britadores de mandíbula e também por britadores cônicos, sendo cada um deles específicos às etapas primárias e secundárias de fragmentação do minério. O peneiramento é realizado a seco, e busca classificar o minério em produtos (NP3, NP2 e *Sinter Feed*) que se destinam as mais diversas aplicações na siderúrgica ou para importação.

A ideia da realização do beneficiamento a seco visa a execução de um processo mais sustentável, reduzindo em cerca de 90% o consumo de água no processo. Vale destacar também a inexistência de barragens de rejeito, outro impacto considerável que é evitado na mina Serra Leste.

Outro ponto positivo do beneficiamento a seco está relacionado a diminuição dos custos com equipamentos e simplificação de etapas. Tais ajustes trouxeram maior lucratividade no processo de beneficiamento.

Porém, vale salientar que, o beneficiamento a seco causa a suspensão de partículas e poeiras, e medidas devem ser tomadas para mitigar tais situações, que causam poluição do ar e contaminação pela vegetação próxima a região.

O desenvolvimento deste fluxograma, não apenas atende às necessidades técnicas de profissionais especializados, mas também busca garantir que seja compreensível para um público mais amplo, incluindo aqueles que não tem familiaridade extensiva com terminologias técnicas. Sua funcionalidade e abordagem tornam-o uma ferramenta inclusiva, capaz de transmitir informações complexas de maneira acessível.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O minério de ferro tem uma importância estrutural no mercado mineral internacional, e traz consigo desenvolvimento e prosperidade para as cidades que possuem exploração de tal minério.

Através das pesquisas feitas e montagem do Fluxograma se torna acessível as informações por trás da produção e beneficiamento da Mina Serra Leste, no qual se destaca em sua produção juntamente outras minas da Vale como a S11D e Serra Norte. Trazendo um desenvolvimento sustentável para a Região Norte, as minas citadas se destacam pelo seu beneficiamento a seco, descartando o uso de barragens de rejeito.

O estudo detalhou as etapas envolvidas no beneficiamento do minério de ferro, oferecendo uma visão e compreensão abrangente dos processos. A caracterização minuciosa do processo destaca-se como um dos objetivos deste trabalho. Conclui-se, portanto, que o estudo do beneficiamento do minério de ferro na Mina Serra Leste auxilia não apenas para o avanço técnico-científico na mineração, mas também oferece subsídios cruciais para a gestão estratégica dos recursos minerais no Pará. Este trabalho busca trazer reflexões com relação a eficiência operacional na exploração e utilização dos recursos minerais, consolidando assim a posição do Pará como um dos principais polos minerais do Brasil.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, T. C. C. M. de. **Investigação de condicionantes da estabilidade de pilhas de minério de ferro em Serra Sul – S11D/Vale.** - Belém: ITV, 2021.
- CARRINO, T. A. SOUZA FILHO, C. R. de., & LEITE, E. P. **Processamento e integração de imagens multiespectrais, de radar e aerogeofísicas do bloco serra leste (Carajás, PA) e discussão do potencial para mineralização de ferro.** Revista Brasileira De Geofísica, 26(2), 123–140., 2008.
- CARVALHO, P. S. L. de, et al. **Minério de ferro.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 39, p. 197-233, mar. 2014.
- CHAVES, A. P., PERES, A. E. C. **TEORIA E PRÁTICA DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS – BRITAGEM, PENEIRAMENTO E MOAGEM.** Volume 3. 3. ed. São Paulo: Signus, 2006. p. 425-555.
- CULLITY, B.D.; GRAHAM, C.D. **Introduction to Magnetic Materials.** [S.l.]: John Wiley & Sons. p. 141. ISBN 978-0-471-47741-9, 2009.
- DUARTE A. HÉLIO . **Iron, a strategic chemical element that permeates history, economy and society,** 31270-901 Belo Horizonte -MG, Brasil, 2019.
- FAPESPA - FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS. **Boletim da Mineração 2023.** Pará, 2023.
- GIBBS, A.K., WIRTH, K.R., HIRATA, W.K., OLSZEWSKI JR, W.J. 1986. **Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás.** Rev. Bras. Geoc. 16:201–211, 1986.
- HIRATA, W.K. 1982. **Geologia Regional. In: Bernardelli, A.L. (coord.), Província Mineral de Carajás – Pará: depósitos de ferro, manganês, cobre, ouro, níquel e bauxita.** SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Belém, Anexo aos Anais, p. 9-20, 1982.
- HUSTRULID, W.; BULLOCK, R. **Underground mining methods: Engineering fundamentals and international case studies.** SME, 2001.

LEE, J. D. **Química inorgânica não tão concisa. Tradução da 5ª ed. inglesa.** Editora Edgard Blücher Ltda. 1999.

LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M. **TRATAMENTO DE MINÉRIOS.** 4 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

MULAR, A.L. e BHAPPU, R.B. **Mineral Processing Plant Design.** Soc. Min. Eng. AIME. New York, 1980.

NAVARRO R. F. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos,** v.1, 1, 2006.

OLSEN, L.; CARNES, B. **Screen capacity calculation.** Technical paper T-JCI-201, Austrália, 2014.

PEARCE, J.A. & CANN, J.R. **Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses.** Earth and Planetary Science Letters, 19: 290-300, 1973.

SANTOS, G. J. I. **Avaliação de Recursos de Minério de Ferro Jazida de Serra Sul Alvo S11D-Corpos C e D.** BELO HORIZONTE - MG: s.n., 2008.

SILVA, C. **Processo Produtivo do Cobre: Estudo de Caso do Projeto Salobo.** Monografia Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2019.

SILVA, H.; MACEDO, J. **Descritivo de Processo do S11D.** Vale SA, 2019.

SOUSA, J. **Impactos da Mineração no Estado do Pará - Brasil: Panorama Histórico e Perspectivas Futuras.** TCC - Faculdade de Engenharia de Minas, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Minas Gerais, p 57, 2022.

VALADÃO, G. E. S; ARAÚJO, A. C. **INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DE MINÉRIOS.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007