



**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE**

ENGENHARIA DE MINAS

GERSON RICARDO BARBOSA BATISTA

**GEOTRATAMENTISMO
BENEFICIAMENTO DOS MINERIOS DE FERRO, COM FOCO NA
SIDERURGIA.**

**Conselheiro Lafaiete
2018**

GERSON RICARDO BARBOSA BATISTA

**GEOTRATAMENTISMO
BENEFICIAMENTO DOS MINERIOS DE FERRO, COM FOCO NA
SIDERURGIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Adriano Raimundo Totou.

**Conselheiro Lafaiete
2018**

GERSON RICARDO BARBOSA BATISTA

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

Trabalho de conclusão de curso apresentado à faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Aprovado em 10/ 12/ 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Adriano Raimundo Totou – Orientador(a) – FUPAC

Prof. Esp. Ademir Cândido – Avaliador(a) – FUPAC

**Conselheiro Lafaiete
2018**

Dedico ao meu filho Igor que apesar de tão pequeno foi muito paciente e tolerante com minhas ausências constantes. Aos meus Irmãos que de toda maneira sempre me incentivaram a estudar. À minha mãe por cultivar, incentivar sempre a busca pelo conhecimento e a Fé em Deus. Ao meu pai em memória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela infinita bondade e misericórdia por permitir que eu chegasse até aqui;

Ao Adriano Raimundo Totou por ter sido solidário em me orientar disponibilizando seu tempo e boa vontade para conclusão deste trabalho;

Aos colegas de faculdade que de alguma forma, veio a contribuir para concluir esta etapa tão importante em nossas vidas;

Agradeço ao Tiago Gomes Barroso Carvalho, Tatiane Luciana Gonçalves, Daiane Fidelis Ferreira, Karolina Silva Pereira e José Lanes Silveira, pelo auxílio de material e sugestões;

Enfim a todos que de alguma maneira torceram e acreditaram em mim.

“Quando somos bons para os outros, somos ainda
melhores para nós”

(@belas cifras)

RESUMO

Geologia de mina com ênfase no modelo tipológico de longo prazo é adensada com o planejamento de curto prazo, as qualidades oriundas do litotipo agregam ao modelo de bloco as características tipológicas, as informações obtidas proporcionam a sua aderência e o horizonte para a formação da pilha de ROM que após processamento visam gerar produto com qualidade de mercado. A metodologia consiste no mapeamento tipológico das frentes de lavra, atualização do modelo, estimativa, monitoramento dos teores mineralógicos e acompanhamento do comportamento do ROM. Buscando um refinamento da caracterização tipológica identificando anomalias. Essas informações são utilizadas pelo Geotratamentista no sequenciamento das variáveis físico-químicas mineralógicas e pelo Controle de Qualidade, que procura estacionarizar essas variáveis no ROM. Os resultados esperados visam a confiabilidade das informações do modelo de blocos, utilizadas pelo Planejamento de Curto Prazo, com precisão da estimativa dos teores mineralógicos, na Programação Diária de Lavra, aplicando proporções dos tipos de minério no ROM alimentado, minimizando, assim, a variabilidade e melhorando a previsibilidade do comportamento do minério simulado e ampliando as possibilidades de estudo, quanto à caracterização tipológica e tecnológica.

Palavras-chave: Gênese. Tipologia. ROM.

ABSTRACT

Mine geology with emphasis on the long-term typological model is densified with short-term planning, the qualities derived from the lithotype add to the block model the typological characteristic, the information obtained provides its adherence and the horizon for the formation of the pile of ROM that after processing aim to generate product with market quality. The methodology consists of the typological mapping of mining fronts, updating of the model, estimation, monitoring of mineralogical contents and monitoring of ROM behavior. Seeking a refinement of the typological characterization identifying anomalies. This information is used by the Geotratamentista in the sequencing of the physical-chemical mineralogical variables and by the Quality Control, which seeks to stationalize these variables in the ROM. The expected results aim at the reliability of the information of the model of blocks, used by Short-Term Planning, with precision of the mineralogical content estimation, in the Daily Program of Mining, applying proportions of the ore types in the fed ROM, thus minimizing the variability and improving the predictability of the behavior of the simulated ore and expanding the possibilities of study, regarding typological and technological characterization.

Key words: Genesis. Typology. ROM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa - Mundi com os principais depósitos de minério de Ferro gerados na idade Pré-Cambrianos.....	22
Figura 2 - Ambiente Tectônico e os tipos de formações Ferríferas Associadas	24
Figura 3 - Mapa do Quadrilátero Ferrífero.....	25
Figura 4 - Coluna Estratigráfica Esquemática	26
Figura 5 - Jazida de Ferro de Minas Gerais	32
Figura 6 - Principais etapas da Caracterização Mineralógica de um Minério ...	36
Figura 7 - Bateria de Peneiras série Tyler	37
Figura 8 - Representação esquemática de um sistema formado por duas espécies úteis e não úteis.	38
Figura 9 - Fluxograma típico de Tratamento de Minério.....	41
Figura 10 - Ponto de Viabilidade entre Lavra a Céu Aberto e Lavra Subterrânea	43
Figura 11 - Maior Cava do Mundo.....	45
Figura 12 - Lavra por Bancada.....	46
Figura 13 - Lavra por Tiras.....	47
Figura 14 - Lavra por Bancadas	49
Figura 15 - Desmonte Hidráulico.....	50
Figura 16 - Dragagem de areia do fundo de rio.....	50
Figura 17 - Lavra de Petróleo.....	51
Figura 18 - Método de Lixiviação do elemento Ouro.....	52
Figura 19 - Lavra Subterrânea	53
Figura 20 - Fluxograma do Processo de Sinterização.....	54
Figura 21 - Alto Forno Siderúrgico	58
Figura 22 - Amostragem de Trincheira.....	68
Figura 23 - Amostra de Canaleta	69
Figura 24 - Especificação de Produtos.....	77
Figura 25 - Mapa Geológico Regional.....	78
Figura 26 - Mapa Geológico Operacional.....	79
Figura 27 - Participação Litológica e frente de Lavra	80

Figura 28 - Distribuição dos Litotipos na pilha de ROM	81
Figura 29 - Participação da frente de Lavra na formação da pilha de ROM.....	82
Figura 30 - Desempenho da Flotação Conv. E CMAI Ultrafinos	84
Figura 31 - Velocidade de Sedimentação da Lama Ultrafinos.....	85
Figura 32 - Análise da Performance do BRS.....	86
Figura 33 - Análise da Performance do CEL.....	87
Figura 34 - Análise da Performance do HBA.....	87
Figura 35 - Análise da Performance do IBG.....	88
Figura 36 - Análise da Performance do IBM.....	88
Figura 37 - Análise da Performance do IBR.....	89
Figura 38 - Análise da Performance do IBS	89
Figura 39 - Análise da Performance do ICR.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporção de BIF's pelo Tempo.....	23
Tabela 2 - Grau de resistência a compressão simples.....	33
Tabela 3 - Principais métodos utilizados para análise granulométrica	37
Tabela 4 - Ocorrência do ferro na Natureza.....	55
Tabela 5 - Minério, Tipo de rocha, Densidade e Descrição.....	74
Tabela 6 - Fluxograma de Processo Adotado	76
Tabela 9 - Desempenho Deslamagem.....	85
Tabela 10 - Perda (%) de Lama	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	massa da alimentação
a	teor contido na alimentação da espécie
BIF's	Banded Iron Formation
BRS	Brecha Sedimentar Mineralizada
C	massa do concentrado
c	teor contido no concentrado da espécie
Ca	elemento cálcio
CaO	Óxido de Cálcio
Ce	Custos de lavar o estéril
CEL	Colúvio/ Elúvio
CGM	Canga De Minério
cm	centímetros
CMca	Custos de lavra a céu aberto
CMs	Custos de lavra subterrânea
DMT	Distância Média Transporte
E	Massa do rejeito.
e	teor contido no rejeito
Fe	Elemento Fe
Fe ₂ O ₃	Hematita
Fe ₂ O ₄	Magnetita
FeO	Óxido de Ferro
FeO(OH). H ₂ O	Limonita
Finos	fração < 0,150µm;
G	Reserva Geral
Ga	Bilhões de Anos
G _g	reserva geológica
Global	valor contido na alimentação;
Gr	Granulado;
HBA	Hematita Branda
HBA	Hematita Branda

HCP	Hematita Compacta
HFeO ₂	Ghoetita
IBA	Itabirito Brando Anfibolítico
IBC	Itabirito Brando Carbonático
IBG	Itabirito Brando Ghoetítico
IBM	Itabirito Brando Manganésífero
IBR	Itabirito Brando Rico
IBS	Itabirito Brando Silicoso
ICA	Itabirito Compacto Anfibolítico
ICC	Itabirito Compacto Carbonático
ICG	Itabirito Compacto Ghoetítico
ICM	Itabirito Compacto Manganésífero
ICR	Itabirito Compacto Rico
ICS	Itabirito Compacto Silicoso
IS	índice de seletividade
Kg	quilograma
M	Metal
Ma	Milhões de Anos
M _c	Metal contido
Mg	elemento manganês
MgO	Óxido de Magnésio
N	Número de Vagões
n	Número Incremento Composição
nw	Número Incremento Vagões
P	Elemento Fósforo
Part.	partição
P _m	Perda mássica
P _{mt}	Perda metalúrgica
Q	reserva lavrável
R ₁	recuperação da espécie 1 no concentrado
R ₂	recuperação da espécie 2 no concentrado
Re	Razão de enriquecimento

REM	Relação estéril/minério
Rm	Recuperação mássica
Rmt	Recuperação metalúrgica
ROM	Run Of Mine
S	Elemento Enxofre
SF	Sinter Feed;
SiO ₂	Elemento Sílica
T1	rejeição (recuperação) da espécie 1 no rejeito
T2	rejeição (recuperação) da espécie 2 no rejeito
TC	teor de corte
Teor Fe	quantidade do elemento Fe em (%).
Tm(g)	teor médio geológico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	18
2.2. Objetivo Geral	18
2.3. Objetivos Específicos	18
3. JUSTIFICATIVA.....	19
4. REVISÃO DA LITERATURA	20
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
5.1. Minérios de Ferro	21
5.2. Ambiente de Formação.....	21
5.3. Quadrilátero ferrífero	24
5.4. Característica Mineralogia da Formação Ferrífera	29
5.4.1. Hematita - Fe_2O_3	29
5.4.2. Hematita compacta	29
5.4.3. Goethita – $HFeO_2$	29
5.4.4. Magnetita – Fe_2O_4	29
5.4.5. Limonita – $FeO (OH). H_2O$	30
5.4.6. Itabirito	30
5.4.7. Itabirito compacto e itabirito friável	30
5.4.8. Itabirito Rico	30
5.4.9. Canga.....	31
5.4.10. Rolamento.....	31
5.5. Teor de corte.....	32
5.5.1. Grau de resistência a compressão simples.....	33
5.6. Caracterização mineralógica	33
5.6.1 Objetivo	33
5.6.2. Procedimento	34
5.6.3. Classificação granulométrica.....	35
5.7. Grau de liberação	37
5.8. Identificações minerais	38
5.9. Quantificações das operações.....	38

5.9.1.	Recuperação mássica	39
5.9.2.	Recuperação metalúrgica	39
5.9.3.	Perdas.....	40
5.9.4.	Relação de enriquecimento (Y)	40
6.	LAVRA DE MINA	42
6.1.	Lavra a Céu Aberto versus Subterrânea	42
7.	LAVRA A CÉU ABERTO	43
7.1.	Classificação de Métodos.....	44
7.1.1	Lavra por bancada	44
7.1.2.	Mina de Chuquicamata	45
7.1.3.	Lavra por tira	46
7.1.4.	Lavra de rochas Ornamentais	47
7.1.5.	Lavra por Desmoronamento.....	47
7.2.	Lavra por Desmonte Hidráulico	49
7.3.	Lavra de Pláceres – Dragagem.....	50
7.4.	Lavra por furos de Sonda e Hidrocarbonetos.....	51
7.5.	Lavra por Lixiviação ou lavra Química	51
7.6.	Lavra Subterrânea	52
8.	SINTERIZAÇÃO.....	53
9.0.	Siderurgia – Metalurgia do Ferro	55
9.1.	Ocorrência do Ferro	55
9.2.	Produtos Siderúrgicos	56
10.0.	PELOTIZAÇÃO	58
10.1.	Amostragem	59
10.2.	Ângulo de Repouso	59
10.3.	Homogeneização.....	59
10.4.	Sinter-Feed	59
10.5.	Granulado	59
10.6.	Britagem.....	59
10.7.	Classificação	60
10.8.	Extração Mineral.....	60
10.9.	Especificação Tecnológica Mineral	60

11.0.	AMOSTRAGEM DE MATÉRIAS PRIMAS	60
11.1.	Objetivo	60
11.2.	Dados gerais.....	61
11.3.	Terminologia.....	61
11.4.	Incremento	61
11.5.	Amostra Global	61
11.6.	Lote.....	61
11.7.	Consignação.....	62
11.7.1.	Sub amostra.....	62
11.7.2.	Amostra dividida	62
11.7.3.	Amostra final	62
11.7.4.	Amostra para determinação da distribuição granulométrica	62
11.7.5.	Amostra para determinação do Teor de Umidade	62
11.7.6.	Amostra para Análise Química	63
11.7.7.	Amostra para Testes Físicos	63
11.7.8.	Amostra estratificada	63
11.7.9.	Amostragem periódica e sistemática	63
11.8.	Contaminação	63
11.9.	Segregação.....	64
11.10.	Impurezas livres	64
11.11.	Impureza inerente	64
11.12.	Precisão	64
11.13.	Amostra representativa	64
11.14.	Tamanho da maior Partícula	65
12.0.	LOCAL DE AMOSTRAGEM.....	65
12.1.	Métodos de Amostragem	65
12.1.1.	Amostragem em Transportadores de Correias	65
12.2.	Amostragem em Vagões	66
12.3.	Método de seleção de Vagões:	66
12.4.	Amostragem em pilhas de Estocagem.....	67
12.5.	Amostra de Trincheira	67
12.6.	Amostra de Canaleta.....	68

12.7.	Valor Econômico do Bloco.....	69
13.0.	GEOTRATAMENTISMO.....	71
14.0.	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	74
14.1.	Delineamento da Pesquisa.....	75
14.2.	Coleta e Análise dos Dados	75
14.3.	Apresentação e Análise de Resultados	83
15.0.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

1. INTRODUÇÃO

A gênese do minério de ferro associada a eventos tectônicos no quadrilátero ferrífero vem demonstrar a complexidade dos corpos mineralizados, estudos realizados a fim de identificar padrões que podem descrever o comportamento e distribuição do mineral no ambiente e pertinente e são necessário, e de grande relevância para consolidar dados a fim de compreender o ambiente e assumir o melhor método para se extrair o minério de forma a cumprir premissas de mercado, o acompanhamento do minério em uma planta piloto vem evidenciar as características do mesmo e quantificar a geração de produtos, neste contexto e propor de forma estratégica o *blending*, em uma pilha pulmão que visa alimentar uma planta de beneficiamento gerando produtos que atendam as especificações do mercado e que traga rentabilidade ao empreendimento.

2. OBJETIVOS

2.2. Objetivo Geral

Buscou selecionar qual ou quais litotipos podem compor a formação de pilhas de homogeneização e posterior processamento em uma planta de beneficiamento.

2.3. Objetivos Específicos

Realizar pesquisa bibliográfica relacionados com os principais litotipos estudados.

Avaliar o comportamento e desempenho em uma planta piloto.

Verificar através dos princípios do Geotratamentismo para associar minérios com performance semelhantes.

3. JUSTIFICATIVA

Para auxiliar na etapa de processamento mineral de forma que não só pelo teor contido no minério e sua partição granulométrica seja objetivo, este trabalho evidencia a lavra de forma estratégica. Buscou-se a previsibilidade na indústria siderúrgica através de características litológicas dos minérios de ferro. De tal forma que se obtenha as características físico-químicas para especificação final do produto.

4. REVISÃO DA LITERATURA

Aplicado ao quadrilátero ferrífero onde o minério de interesse estudado e o elemento Ferro, bem como a gênese do mineral, são dados importantes para o estudo, os litotipos predominante a litologia presente e em que porção formar massa de alimentação para ser beneficiado a fim de atender as especificações do mercado e clientes.

No Quadrilátero Ferrífero estão grandes reservas de minério de ferro. Sendo classificados em dois grupos principais: os itabiríticos, minérios de mais baixo teor de ferro, mais heterogêneos, e os hematíticos de alto teor, ricos em óxidos de ferro.

A extração de minérios era prioritariamente de minérios hematíticos compactos, mas com a escassez mudou, dando lugar também para as hematitas friáveis, itabiritos ricos e para os itabiritos pobres e hidratados.

A qualidade química dos minérios de ferro vem diminuindo em relação a sua disponibilidade, com os minérios cada vez mais finos e pobres e conseqüentemente mais contaminante e necessário mais pesquisa e estudos para viabilizar e aumentar a vida útil da lavra.

Devido ao minério de alto teor não ser abundante a necessidade de alterar a rota de processo que viabiliza o processamento de minérios pobres e compactos, como é o caso dos itabiritos do quadrilátero ferrífero.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. Minérios de Ferro

Os minérios de ferro que apresentam interesse econômico para a aplicação na siderurgia estão, de modo geral, na forma oxidada, sendo os mais utilizados a hematita e magnetita.

Hematita: é a forma mais comum de minério de ferro, constituído essencialmente pelo óxido Fe_2O_3 . Apresenta um teor nominal de 69,5% de ferro contido, e na prática o teor varia de 45% a 68% de Fe, devido à presença de impurezas. É um mineral que possui brilho metálico e coloração preta, cinza, marrom, marrom avermelhado ou vermelho (CHIOSSI, 1979).

Magnetita - Constituída pelo óxido de ferro cuja fórmula é Fe_3O_4 . Apresenta um teor nominal de 72,4% de ferro, sendo que o seu teor real varia de 50% a 70% de Fe. Apresenta aspecto de cor cinza escuro e apresenta propriedades magnéticas, o que pode ajudar na sua concentração nas operações de beneficiamento de minérios de ferro (CHIOSSI, 1979).

5.2. Ambiente de Formação

Takehara (2004) refere aos depósitos de minério de ferro que podem ser classificados, geologicamente, em cinco categorias como as principais:

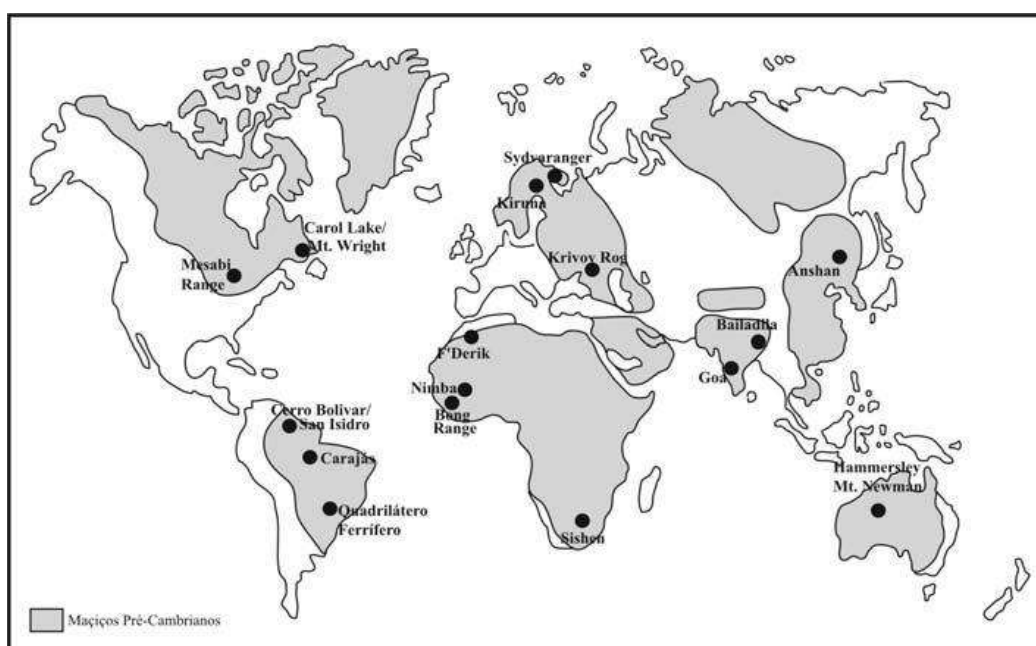
- (I) Sedimentares acamadados;
- (II) Formados por soluções hidrotermais;
- (III) Relacionados a atividades vulcânicas;
- (IV) Relacionados a processos de metamorfismo e/ou deformação, e
- (V) Resultantes de alteração e acúmulo em superfície.

Dentre estes depósitos minerais, os sedimentares acamadados são os mais importantes, por serem os geradores dos grandes depósitos de formações ferríferas bandadas - *BIF's* (*Banded Iron Formation*), formados principalmente, durante o Pré-cambriano.

A formação ferrífera bandada é definida como uma rocha que finamente bandada ou laminada, consistindo, principalmente, de minerais de sílica (*chert* ou seu equivalente metamórfico) e ferro (hematita, magnetita e variedades de carbonatos e silicatos) formados por precipitação química e, posteriormente, modificada por diagênese e metamorfismo (TAKEHARA, 2004).

Os BIF's constituem as mais importantes de todas as classes de mineralizações ferríferas, pois além de formarem as maiores reservas de ferro do mundo, com teores médios de Fe que variam entre 20 % a 35 %; alguns chegam a mais de 64 %, apresentam uma ampla distribuição temporal – como os depósitos do Arqueano, na Groenlândia (Formação Isua) com idade de 3,8 Ga e os depósitos recentes do Plioceno (1 - 10 Ma) no norte da Eurásia e espacial - como os depósitos de grandes extensões encontrados em quase todos continentes (TAKEHARA, 2004).

Figura 1 – Mapa - Mundi com os principais depósitos de minério de Ferro gerados na idade Pré-Cambrianos



Fonte: (TAKEHARA, 2004).

Apesar das formações ferríferas apresentarem uma ampla distribuição temporal, o Pré-Cambriano é o período mais importante de deposição do minério de ferro, visto que esses depósitos representam mais de 97% das formações ferríferas bandadas. As idades dos grandes depósitos mostram que, houve três períodos principais de deposição: Arqueano (3400 – 3000 Ma), Paleoproterozóico (2700 Ma - 2000 Ma) e Neoproterozóico (1000 Ma – 500 Ma). Dentre eles, os depósitos gerados durante o Paleoproterozóico representam 90 % ou mais dos depósitos de formações ferríferas de todas as épocas (TAKEHARA, 2004).

Tabela 1 - Proporção de BIF's pelo Tempo

	Período (Bilhões de anos)	Bilhões de Toneladas	Total de (BIF's) (%)
I	0.5 – 1.0	12.200	2,0
II	2.0 – 2.7	531.110	91,8
III	3.0 – 3.5	32.001	6,0
IV	Outros	1.015	(0,2)

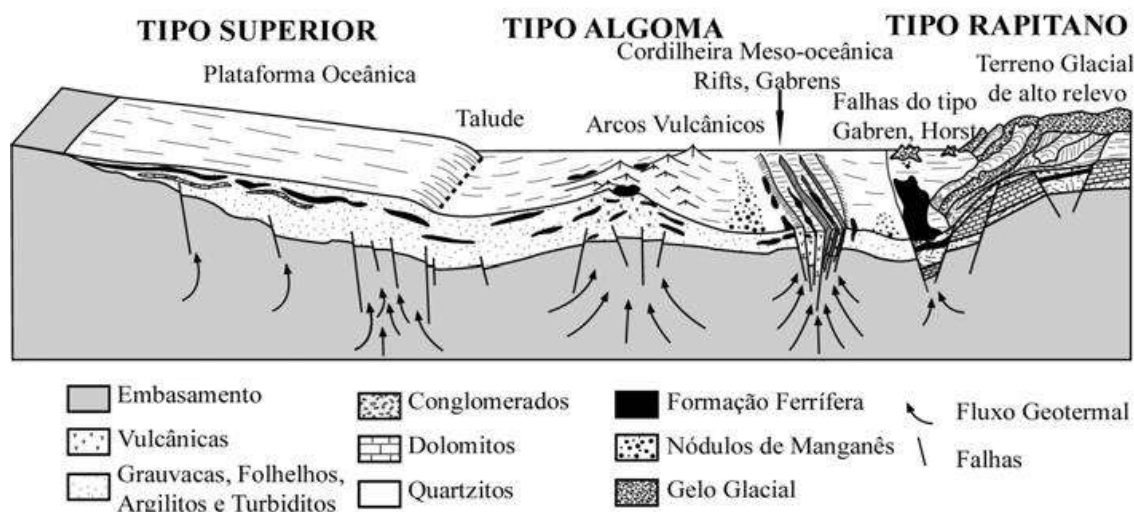
Fonte: (TAKEHARA, 2004).

A gênese dos depósitos de minérios de ferro continua a ser discutido, atualmente, o estudo do minério de ferro tem sido voltado mais ao conhecimento das características dos diferentes tipos de minérios, colocando a gênese do minério em segundo plano, visto que as teorias existentes satisfazem e não interfere no estudo atual do minério de ferro.

Sobre Ambiente de formação Takehara (2004) que separa as formações ferríferas do Pré-Cambriano do Canadá em dois grandes grupos: tipo Algoma e tipo Lago Superior e em menor escala o tipo Rapitano, descrevendo nos principais ambientes de deposição, como pode ser visto pelo diagrama apresentado por este autor, que mostra os diversos ambientes tectônicos e os tipos de formações ferríferas geradas em cada ambiente de deposição, bem como as várias litofácies presentes.

Na figura Takehara (2004) mostra o ambiente tectônico e os tipos de formações ferríferas associadas trazendo vários tipos de formação que podem trazer a possíveis mineralizações para minério de ferro.

Figura 2 - Ambiente Tectônico e os tipos de formações Ferríferas Associadas



Fonte: (TAKEHARA, 2004)

Os depósitos do tipo Algoma são formados próximos a arcos vulcânicos e nos *riffts* da cadeia Meso-oceânica, com o Fe de origem vulcânica; Já os depósitos do tipo Superior são formados nas plataformas oceânicas, cuja contribuição de Fe seria originado da lixiviação das rochas existentes; os depósitos do tipo Rapitano são gerados pela lixiviação do Fe causada pelo degelo, formando depósitos nas falhas, tipo: *Graben* e/ou *Horst*. (TAKEHARA, 2004).

5.3. Quadrilátero ferrífero

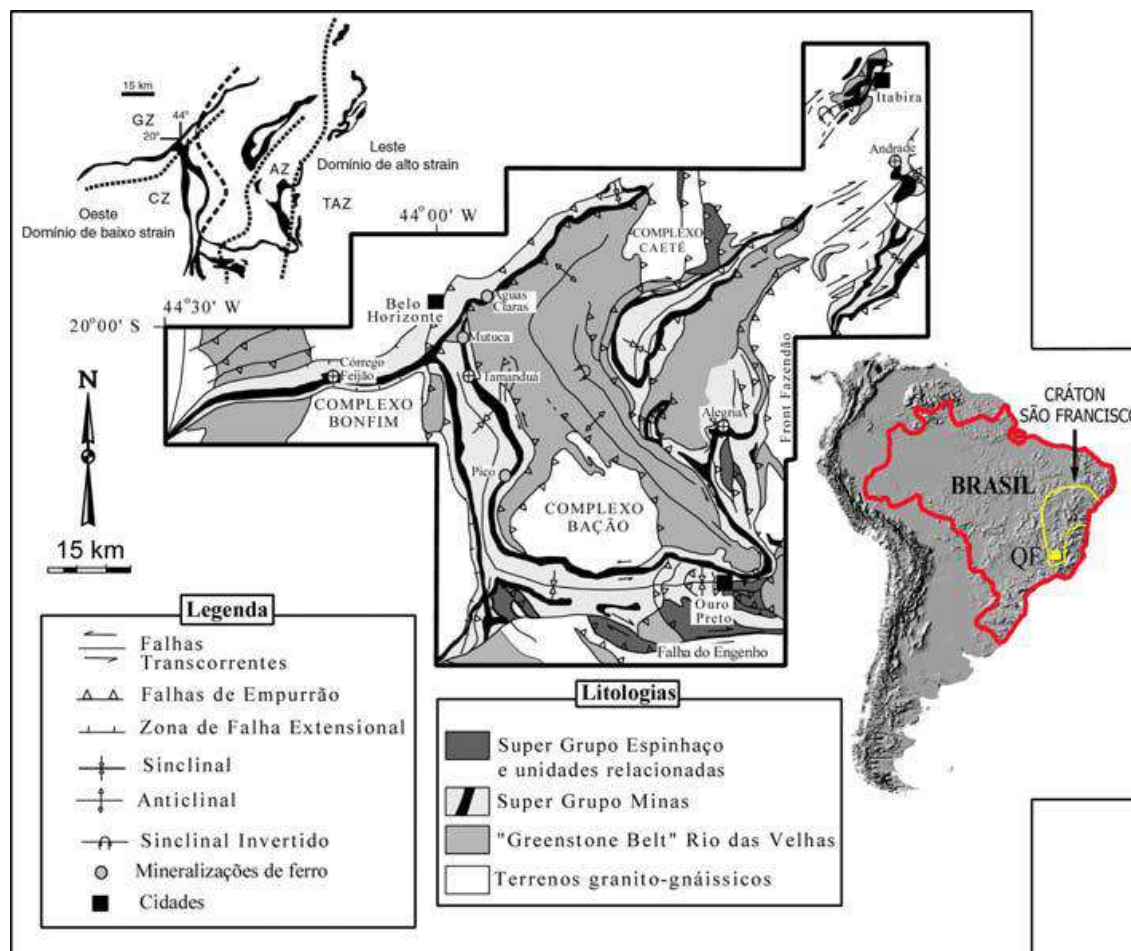
O Quadrilátero Ferrífero na porção sudoeste do Cráton São Francisco compreende uma área entre Belo Horizonte, Santa Bárbara, Congonhas do Campo e Mariana, devido a forma quadrangular gerada pela estruturação em domos e bacias das rochas ferríferas do Supergrupo Minas. (TAKEHARA, 2004)

O Quadrilátero Ferrífero pode ser dividido geologicamente em:

Embasamento, formado por rochas granito-gnáissico e *greenstone belts* Rio das Velhas, de idade Arqueana; rochas do Supergrupo Minas, que contêm as

Formações Ferríferas Bandadas Paleoproterozóico; e unidades supracrustais do Meso e Neoproterozóico. (TAKEHARA, 2004).

Figura 3 - Mapa do Quadrilátero Ferrífero

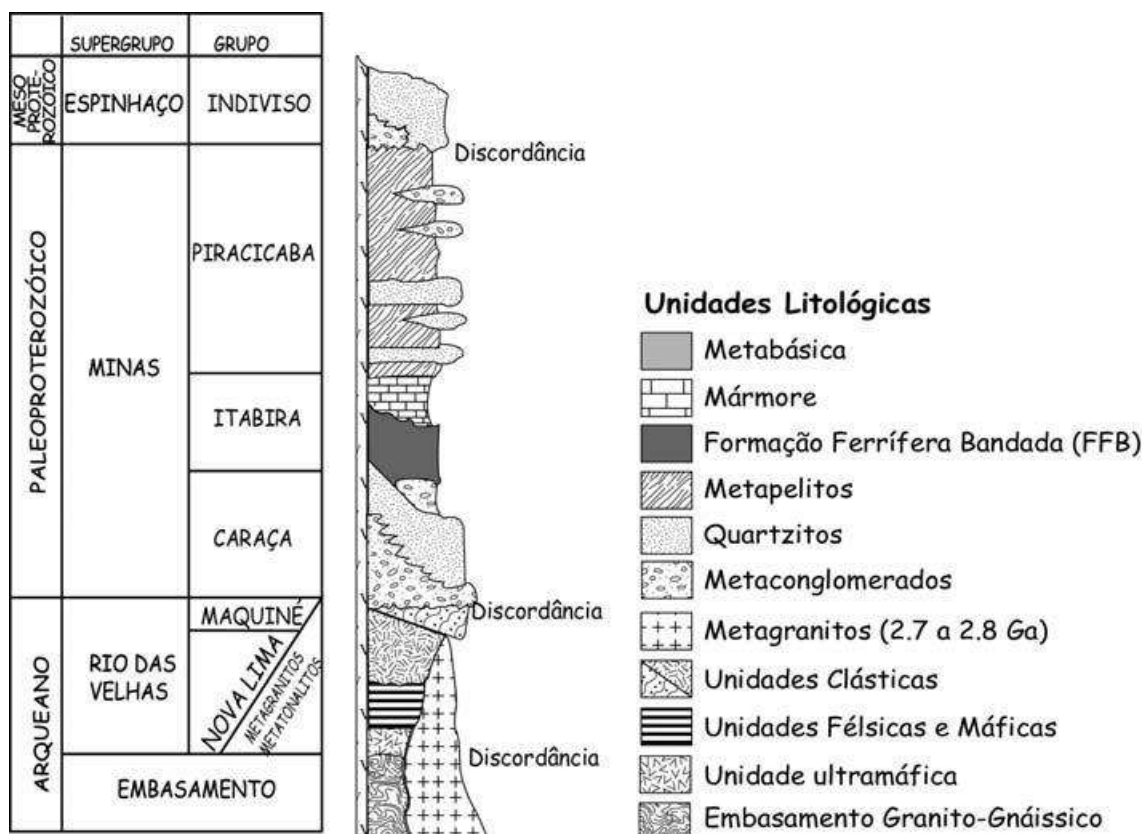


Fonte: Mapa do Quadrilátero Ferrífero, com as jazidas de minérios de ferro que até o momento foi estudado. O esboço na parte superior à esquerda mostra os detalhes dos domínios de alta e baixa deformação que influenciam as rochas do Quadrilátero Ferrífero. (TAKEHARA, 2004).

O Quadrilátero Ferrífero representa uma grande porção do período Pré-Cambriano brasileiro, devido às suas características minerais. Trata-se de uma importante reserva de minerais, onde se localiza uma das mais importantes áreas produtoras de minérios de ferro do mundo. Estende-se por uma área aproximada de 7.000km², na porção central do Estado de Minas Gerais. No Quadrilátero Ferrífero estão localizadas grandes reservas de minério de ferro. Estes podem ser classificados em dois grupos principais: os itabiríticos (minérios de mais baixo teor de ferro), mais heterogêneos e contendo óxidos e

hidróxidos de ferro, e os hematíticos de alto teor, quimicamente mais homogêneos e ricos em óxidos de ferro (TAKEHARA, 2004).

Figura 4 - Coluna Estratigráfica Esquemática



Fonte: (TAKEHARA, 2004)

O Supergrupo Minas é descrito por Takehara (2004) com divisão em três grupos, da base para o topo:

I) **Grupo Caraça:** essencialmente por clástico, é dividido na Formação Moeda, compostos de metaconglomerados e quartzitos; na Formação Batatal, compostos de xistos e filitos;

(II) **Grupo Itabira:** constituído predominantemente por rochas de origem química, é dividido na Formação Cauê, composta basicamente de itabiritos (que são as formações ferríferas bandadas)

III) **Grupo Piracicaba:** composto por rochas clásticas e químicas, o supergrupo Espinhaço sobrepõe o Supergrupo Minas e é composto de quartzitos, metaconglomerados e filitos.

Devido a características dos minérios de ferro, estudos foram feitos para implantação de plantas de beneficiamento mineral visando ao atendimento das especificações químicas e granulométricas para consumo na siderurgia. Esses estudos frequentemente mostram a quantidade excessiva de finos (< 0,149mm) que geram, e serão gerados, e no conseqüente investimento necessário para o tratamento e posterior utilização desses finos nos processos siderúrgicos. (TAKEHARA, 2004).

O minério de ferro (*sinter feed* e *pellet feed*) é composto basicamente de um mix de diferentes tipologias de hematita e itabirito. (D'AVILA, 2015).

Segundo D'avila (2015) as tipologias de hematita e itabiritos são classificadas em um contexto estrutural conforme descrito abaixo:

Hematita Compacta: os minérios compactos da porção do Sinclinal Moeda do Quadrilátero Ferrífero são produtos de processos mineralizadores hidrotermais que influenciaram sobre as formações ferríferas, sendo constituídos predominantemente de magnetita oxidada/martitizada (minério martítico). A martita ocorre como pseudomórficos de cristais individuais ou agregados maciços com relictos de magnetita, podendo constituir próximo de 90% do minério. A martita desenvolve-se ao longo da magnetita e de forma irregular das bordas para o centro. O minério pode apresentar-se também com elevada proporção de espaços vazios entre os cristais de hematita. (D'AVILA, 2015).

A hematita compacta é uma rocha competente, às vezes hidratada e posiciona-se em horizontes estratigráficos bem definidos devido forma de deposição, acima de xistos de origem vulcânica. Seu contato de topo pode ocorrer com as variedades de hematitas friável e/ou Manganesífera. (D'AVILA, 2015).

Os minérios friáveis são produtos do enriquecimento parcial da formação ferrífera por processos hidrotermais e pela atuação do intemperismo, com lixiviação dos minerais de ganga (carbonato e quartzo). O minério friável é constituído de hematita, alguma martita, além de specularita e cristais lamelares intersticiais. (D'AVILA, 2015).

A hematita friável, de cor cinza-azulada e bandamento milimétrico, demonstra a passagens por hematita compacta e argilominerais. Seu contato basal ocorre com itabirito specularítico friável e o de topo, com hematita Manganésífera. (D'AVILA, 2015).

Hematita Manganésífera/Filito Hematítico Manganésífero e uma rocha friável, argilosa, coloração marrom escura a preto, magnetismo fraco a não existente, rico em óxido de manganês, material cisalhado e dobrado com formação de fragmentos de hematita semi-compacta e com estrutura em lápis, observa-se ainda a intercalação com itabirito rico Manganésífero friável. Composição: óxido de ferro (hematita, martita, magnetita), óxido de manganês, quartzo, argilominerais e hidróxido de ferro. Seu produto de alteração possui coloração amarelada com eventuais borrões pretos causados pela presença do manganês. (D'AVILA, 2015).

Itabirito Especularítico: os itabiritos são metamórficos, sendo os hidratados a não hidratados. Os itabiritos specularíticos estão restritos a zonas de deformação tectônica, onde a martitização está ligado aos processos de recristalização, gerando principalmente hematita lamelar e lobular, ambas associadas a finos cristais de magnetita, elevando os teores de FeO, e se caracterizam por apresentarem a hematita specularítica. (D'AVILA, 2015).

Itabirito Martítico-Hematítico-Ghoetíticos: O processo de martitização é predominante e em sua grande maioria é influenciada a processos de oxidação da magnetita, mas também ocorrem processos de recristalização decorrente à deformação superimposta, porém, em menor escala e restrita tão somente as zonas mais deformadas dos itabiritos. Nestas zonas apresenta a predominância de hematita lamelar e lobular. Os itabiritos apresentam a hematita martítica como mineral minério, tendo quantidades de goethita, hematita e ainda, magnetita. (D'AVILA, 2015).

Itabirito Dolomítico: são constituídos por bandas de dolomita ferrosa, quartzo, óxidos de ferro, podendo aparecer à calcita, clorita e anfibólios. Estes tipos de dolomitos possuem bandas claras de carbonato e escuras de óxidos de ferro que devem ser igualmente consideradas como formações ferríferas dolomíticas. Apresentam componentes mineralógicos principais as: martita, hematitas, e como componentes acessórios: calcita, Grunerita, Cummingtonita, clorita, Stilpnomelana, Biotita, Tremolita, Actinolita, Quartzo, Sulfetos e Pirofilita. (D'AVILA, 2015).

5.4. Característica Mineralogia da Formação Ferrífera

5.4.1. Hematita - Fe_2O_3

De acordo com Dana (1978) a Hematita é um óxido férrico fortemente magnético pelo aquecimento na chama redutora, com traço vermelho; a hematita é um mineral amplamente distribuído em rochas de todas as idades e forma de minério de ferro mais abundante e importante.

5.4.2. Hematita compacta

Segundo Abreu (1902) dentro das camadas possantes de itabiritos, encontram-se lentes de hematita compacta, que são minérios mais ricos. A hematita compacta é um minério de peso específico alto, destinado a uso em aciaria por sua alta dureza. Contem entre 66 a 69% de Fe; 0,5 a 1% de SiO_2 ; 0,02 a 0,06% de P; e menos de 0,04% de S.

5.4.3. Goethita – HFeO_2

Segundo Dana (1978), Goethita é um mineral comum e forma de modo típico, sob condições de oxidação, como produto de intemperismo dos minerais portadores de ferro; encontram-se grandes quantidades de goethita com a Limonita forma o “gossan” ou “chapéu de ferro”, sobre os filões ou viveiros metalíferos.

5.4.4. Magnetita – Fe_2O_4

Dana (1978) define como magnetita um minério de ferro comum, encontra-se distribuída sob a forma de um mineral acessório, em muitas rochas magmáticas. Caracterizada principalmente pelo seu forte magnetismo, cor preta e sua dureza.

5.4.5. Limonita – FeO (OH). H₂O

Descrito por Dana (1978), como Limonita também chamada de hematita castanha e minério de ferro do pântano tem característica de traço castanho-amarelo; distingue da goethita por sua aparência vítrea e ausência de clivagem. A Limonita origina-se sempre por processo supergeno e forma-se através da alteração ou solução de minerais portadores de ferro.

5.4.6. Itabirito

Abreu (1902) Nome dado pelo Barão de Eschwege às hematitas lamelares da serra do espinhaço designa as rochas metamórficas formadas de grão de quartzo e palhetas de hematitas, de desenvolvimento considerável no centro de Minas Gerais e com enorme gradação dos teores de quartzo e ferro.

5.4.7. Itabirito compacto e itabirito friável

Abreu (1902) Podendo os elementos férreos preponderar ao ponto de tornar-se minério de acordo com a ocorrência. Ao minério friável dar-se o nome popular de jacutinga. Que é minério em pó de hematita Micácea ordinária, que mais se adapta a fornos rudimentares e ainda melhor por uma proporção de manganês que o acompanha.

5.4.8. Itabirito Rico

Abreu (1902) o itabirito rico é chamado de rico devido a proporção de hematita e tem aspecto laminado e ligeiramente alterado por intemperismo, e o minério conhecido comercialmente por “chapinha” e de uso generalizado em usinas

siderúrgicas que usam carvão vegetal. O itabirito rico ou hematita lamelares. Contem 56 a 66% Fe; 5 a 10% de SiO₂; 0,02 a 0,08% de P; e menos de 0,04% de S.

5.4.9. Canga

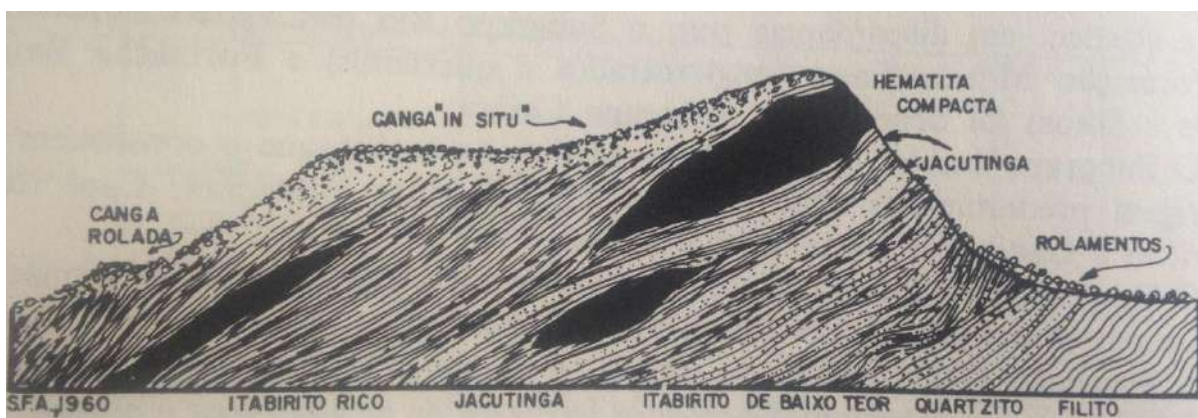
Abreu (1902) descreve como capeado afloramento e cobrindo as encostas a grandes quantidades de minério secundário constitui por uma brecha de hematita cimentada por Limonita. Por ser mais porosa devido ao intemperismo tem sido muito usada em usinas de que usam carvão vegetal devido à redução mais fácil; a respeito de teor de ferro e fosforo tem teor mais alto. Contem 50 a 60% de Fe; 5 a 10% de SiO₂; 2 a 8% de H₂O; 0,1 a 0,3 de P; e menos de 0,04% de S. caracteriza pela presença de algumas Limonitas e um teor de fosforo entre 0,1 e 0,3%.

5.4.10. Rolamento

Abreu (1902) relata como o minério fragmentado acumulado nos taludes das montanhas ferríferas. Um cascalho de minério Itabirítico, grosso, aluvial que sofreu concentração natural, perdendo parte do quazto deixando os blocos mais puros e parcialmente hidratados.

Abreu (1902) mostra em uma figura muito didática o tipo de jazida de ferro no centro de Minas Gerais. Massa dura de hematita compacta encaixada nos itabiritos, com a cobertura de canga e rolamentos nas encostas.

Figura 5 - Jazida de Ferro de Minas Gerais



Fonte: (ABREU, 1902 p.458)

5.5. Teor de corte

Segundo Curi (2014) o planejamento mineiro a um grande problema quando se refere à compreensão e a determinação do teor de rejeição ou corte, deve ser de consenso comum, a complexidade está em que a cada variação no teor de corte, quantificam-se novos valores para reservas geológicas e lavrável, movimentação total de estéril, minério obtido, relação estéril / minério (REM), metal contido, parâmetros econômicos em geral entre outros, denominam-se curvas de parametrização as curvas que são construídas para quantificar reservas, minério, estéril, metal contido e outros parâmetros de interesse por meio, principalmente, da variação do teor de corte.

Segundo Mackenzie e Henriquez (1976) apud Curi (2014) algumas jazidas minerais aceitam uma relação exponencial do seguinte tipo:

$$Q = G_g \times e^{-T_c / T_{m(g)}}$$

Em que:

Q = reserva lavrável, com teor acima do teor de corte T_c ;

G_g = reserva geológica total, de teor médio $T_{m(g)}$.

Verifica-se que quando o teor de corte adotado é zero, a reserva lavrável se iguala a reserva geológica.

O metal contido (M_c) no interior da reserva lavrável seria:

$$M_c = T_{m(g)} \left(1 + T_c / T_{m(g)} \right) \cdot G \cdot e^{-T_c / T_{m(g)}}$$

Expressão que, desenvolvida conduz a:

$$M_c = Q (T_c + T_{m(g)})$$

Significando que o teor médio do minério lavrável seria igual à soma do teor de corte com o teor médio da reserva geológica. É importante não generalizar esta expressão, sendo, entretanto, importante assinalá-las por conterem uma avaliação quantitativa inicial indicada pela lógica e pelo bom senso.

5.5.1. Grau de resistência a compressão simples

Chiossi (1979) descreve que resistência representa um parâmetro que tem tido grande aceitação no meio geotécnico. No quadro a seguir as rochas são subdivididas em cinco níveis da resistência a compressão.

Tabela 2 - Grau de resistência a compressão simples

Grau de resistência a compressão simples	
Rocha	Resistencia (kg/ cm ²)
Muito compacta	>1200
Compacta	1200 – 600
Pouco compacta	600 – 300
Brandas	300 – 100
Muito brandas	<100

Fonte: (Modificado CHIOSSI,1979 p.81)

5.6. Caracterização mineralógica

5.6.1 Objetivo

Para ITEP (1980) a caracterização tecnológica de substâncias mineral tem como objetivo o estudo das propriedades físico-químicas e mineralógicas das mesmas, face ou ao seu emprego final, ou ao seu comportamento no processo de beneficiamento.

- 1- Indicar dados para elaboração do fluxograma de beneficiamento.
- 2- Compreender o comportamento do minério face a um processo de beneficiamento.

- 3- Determinar qualidade dos produtos, tanto na fase de desenvolvimento, como na fase de processo industrial.
- 4- Gerar informação a complementar os estudos da jazida, proporcionar um bom conhecimento dos diversos litotipos constantes na mesma; tanto na fase de pesquisa mineral e de processo, como na fase de desenvolvimento da mina.
- 5- Definir as aplicações mais pertinentes para a obtenção de produtos.

5.6.2. Procedimento

ITEP (1980) relata que em um procedimento adequado, inicialmente devem se estabelecer parâmetros gerais do minério a serem sistematicamente levantados no trabalho de pesquisa, parâmetros estes estabelecidos observando a peculiaridade do processo preconizado para o minério, modelo preliminar de mineralização e características do bem mineral.

- 1- Análise química completa do minério;
- 2- Levantamento do grau de liberação;
- 3- Avaliação do comportamento do mineral útil na moagem;
- 4- Levantamento face a concentração; separação gravimétrica com curvas de lavabilidade, flotação pelo comportamento face ao processo padronizado, separação magnética ou eletrostática por separações a campo variáveis;
- 5- Mineralogia e as relações minerais que possam mensurar o comportamento face ao processo de beneficiamento;
- 6- Avaliação das características dos produtos e concentrado face ao seu uso final.

5.6.3. Classificação granulométrica

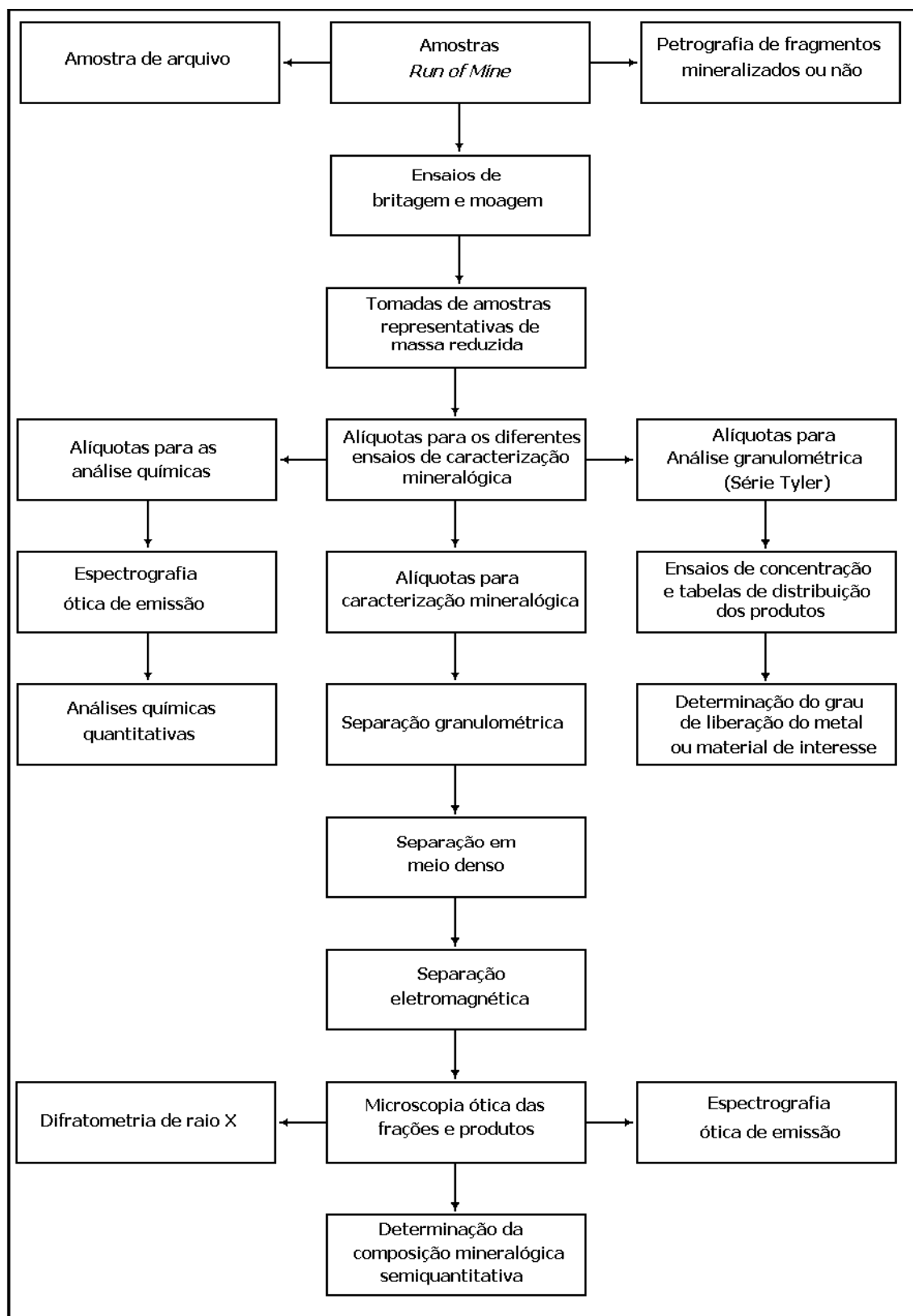
Segundo ITEP (1980) as propriedades granulométricas é o tamanho da partícula e sua distribuição e pode ser determinada em relação a referência de:

- 1- Por uma distância linear;
- 2- Por uma área;
- 3- Por volume;

A escala mais utilizada é a *Tyler*, que tem abertura padrão de 74 micra, correspondente a 200 malhas por polegada linear na direção paralela a um fio da tela; e o sistema obtido para aplicação do fator $\sqrt{2}$ aplicado a abertura padrão.

Araújo (2007) demonstra no gráfico quais os principais métodos aplicados a análise granulométrica em função do tamanho predominante.

Figura 6 - Principais etapas da Caracterização Mineralógica de um Minério



Fonte: (LUZ; SAMPAIO; FRANCA, 2010. p. 59)

Tabela 3 - Principais métodos utilizados para análise granulométrica

Método	Faixa de aplicação (μm)
Peneiramento	100.000 – 37
Subpeneiramento	75 – 10
Microscopia Ótica	50 – 0,25
Centrifugação	40 – 5
Sedimentação (gravitacional)	40 – 1
Microscopia Eletrônica	1 – 0,005

Fonte: (ARAÚJO, 2007).

Figura 7 - Bateria de Peneiras série Tyler

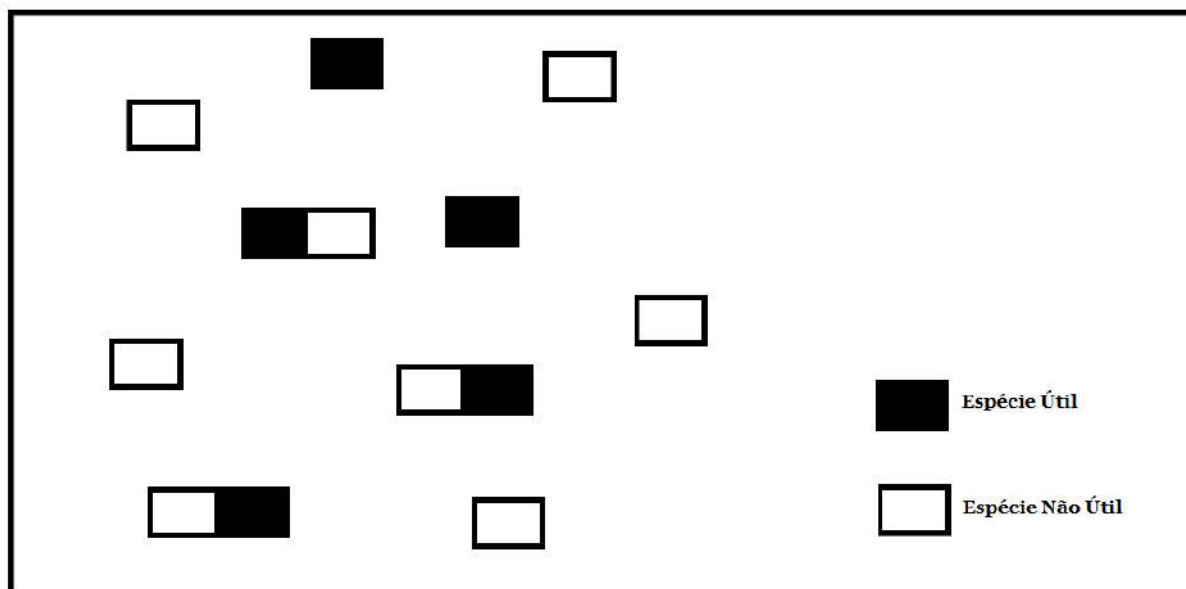
Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

5.7. Grau de liberação

ITEP (1980) define que a liberação de uma determinada espécie mineral é dada pela proporção entre a quantidade dessa espécie mineral em partículas liberadas, ou compostas apenas pela espécie mineral, e a quantidade total dessa espécie mineral.

Grau de liberação = (numero de partículas liberadas/ numero total de partículas) X 100.

Figura 8 - Representação esquemática de um sistema formado por duas espécies úteis e não úteis.



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

5.8. Identificações minerais

ITEP (1980) explica as identificações são feitas por recursos ópticos com ou sem o auxílio de técnicas de ataque químico superficial, ou por técnicas que fornecem dados quanto à estrutura cristalina do mineral.

Entre as técnicas de identificação a difração de raios-X se destaca onde é possível identificar a estrutura cristalina.

5.9. Quantificações das operações

Valadão (2007) trata como a quantificação em tratamento de minérios de um ou mais parâmetros como: teor de elemento químico ou mineralógico, quantidade de água, quantidade de sólido. E tem como princípio:

$$\mathbf{ENTRADA = SAIDA}$$

Mais pra realidade essa equação é melhor representada por:

ENTRADA = SAIDA + ERRO DE FECHAMENTO.

Valadão (2007) define algumas relações:

$$A = C + E$$

A = massa da alimentação;

C = massa do concentrado;

E = Massa do rejeito.

$$Aa = Cc + Ee$$

Aa = massa da alimentação x teor contido na alimentação da espécie;

Cc = massa do concentrado x teor contido no concentrado da espécie;

Ee = massa do rejeito x teor contido no rejeito.

Obs. mudança de elemento químico deve adotar o teor contido e fazer novos cálculos.

5.9.1. Recuperação mássica

Valadão (2007) refere como:

$$R_m = C / A.$$

R_m = qual a proporção de massa do minério de interesse foi recuperada neste processo (recuperação).

A = massa da alimentação;

C = massa do concentrado;

5.9.2. Recuperação metalúrgica

Valadão (2007) diz que:

$$R_{mt} = Cc / Aa.$$

R_{mt} = qual a proporção do teor do minério de interesse foi recuperada neste processo.

Aa = massa da alimentação x teor contido na alimentação da espécie;

Cc = massa do concentrado x teor contido no concentrado da espécie;

5.9.3. Perdas

Valadão (2007) refere como:

$$P_m = E / A.$$

P_m = qual a proporção de massa do minério de interesse não foi recuperada neste processo.

A = massa da alimentação;

E = massa do rejeito;

$$P_{mt} = Ee / Aa.$$

P_{mt} = qual a proporção do teor do minério de interesse não foi recuperada neste processo.

Aa = massa da alimentação x teor contido na alimentação da espécie;

Ee = massa do concentrado x teor contido no rejeito da espécie;

Índice de seletividade para os processos concentrativos (separador magnético e flotação)

A análise de uma operação de separação esta em quantificação da qualidade da separação, uma forma de apresentar proposta por Gaudin segundo ARAUJO (2007) e:

$$IS = \sqrt{(R_1 \times T_2 / R_2 \times T_1)}$$

Onde:

R_1 = recuperação da espécie 1 no concentrado;

R_2 = recuperação da espécie 2 no concentrado;

T_1 = rejeição (recuperação) da espécie 1 no rejeito;

T_2 = rejeição (recuperação) da espécie 2 no rejeito;

Sendo $T_1 = 100 - R_1$ e $R_2 = 100 - T_2$.

Teoricamente este índice pode variar entre 1 (quando não há separação) ate infinito (separação ideal quando $R_1 = T_2 = 100$). Na pratica os valores obtidos estão em geral entre 4 e 40.

5.9.4. Relação de enriquecimento (Re)

Valadão (2007) fala que:

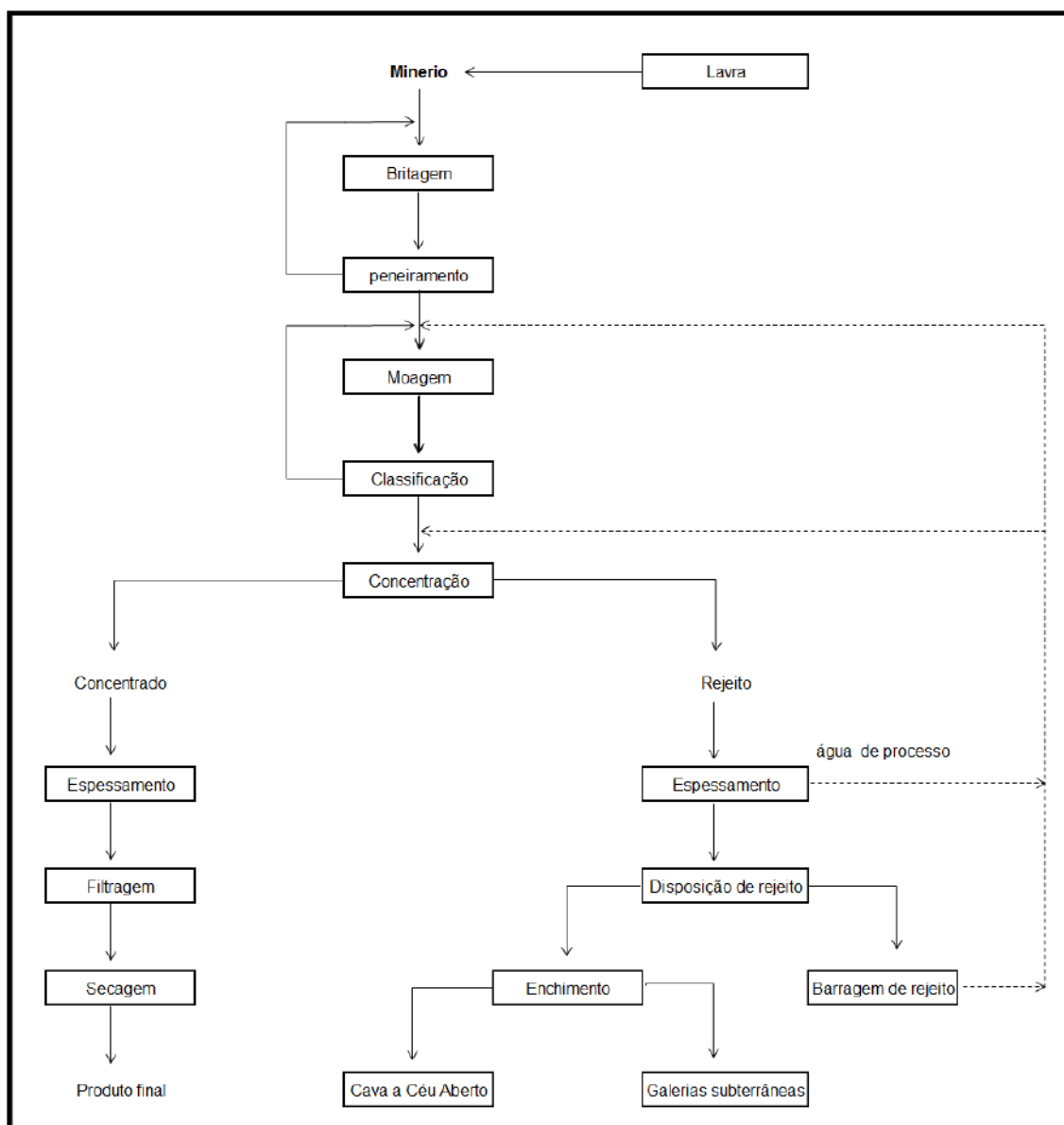
$$Re = c / a.$$

Re = em que razão ocorre o enriquecimento do minério.

a = teor contido na alimentação da espécie;

c = teor contido no concentrado da espécie.

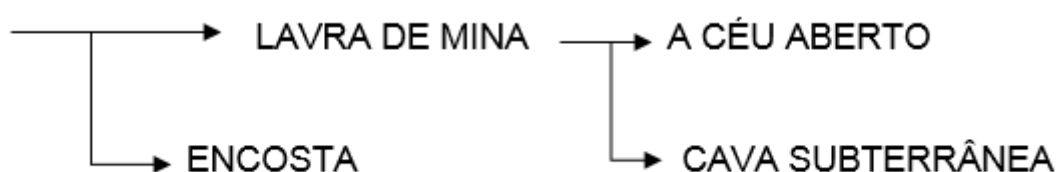
Figura 9 - Fluxograma típico de Tratamento de Minério



Fonte: Adaptado (CETEM, 2010)

6. LAVRA DE MINA

De acordo com Curi (2017) lavra ou exploração é a aplicação sistemática de trabalhos necessários para o aproveitamento econômico da jazida e engloba o conjunto de operações unitárias (perfuração, desmonte, carregamento e transporte) que possibilita a sempre almejada exploração (retirada de recurso não renováveis) econômica, segura e ambientalmente sustentável do minério.



6.1. Lavra a Céu Aberto versus Subterrânea

Para Changanane (2017), o controle que determinam a escolha entre Lavra a céu aberto e subterrânea, os quais podem ser descritos como sendo custos de mineração, recuperação e diluição do minério. A escolha do método de lavra a céu aberto ou subterrânea, considerando todos outros aspectos operacionais. Quando se emprega o método combinado de lavra (a céu aberto e subterrânea) é sempre necessário estabelecer o limite entre a lavra a céu aberto e subterrânea no qual as despesas ou os custos operacionais sejam mínimos.

Em uma análise simplificada descrita em Cavalcanti (2005) apud CHANGANANE (2017), demonstra-se que existem três equações que são utilizadas para determinar o limite entre os trabalhos de exploração, definindo o melhor método de lavra a ser executado:

1. $CMs > CMca + REM \times Ce$: Lavra a céu aberto.
2. $CMs = CMca + REM \times Ce$: Lavra indiferente
3. $CMs < CMca + REM \times Ce$: Lavra subterrânea.

Onde:

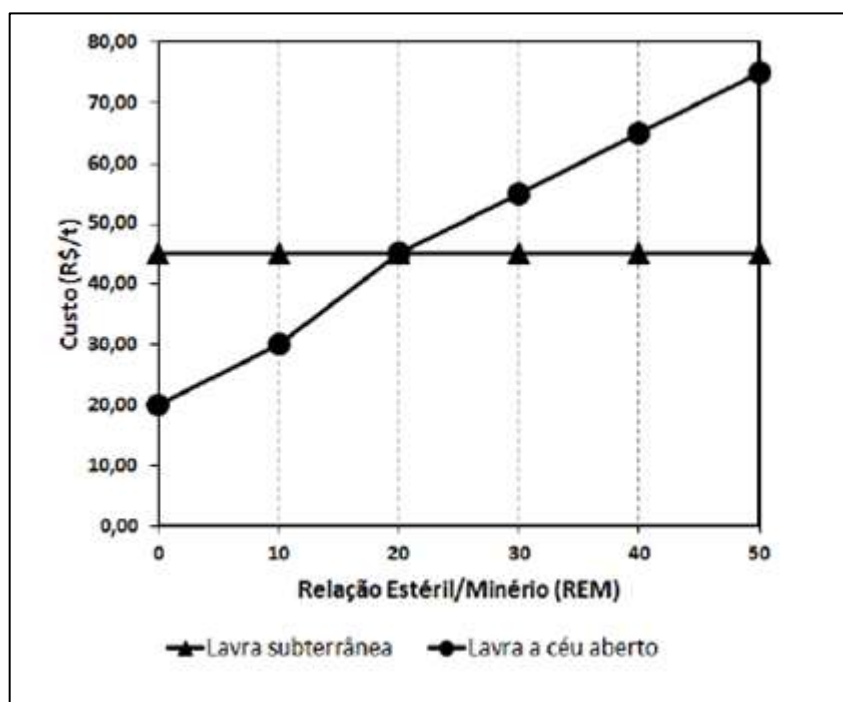
CMs – Custos de lavra subterrânea de uma tonelada de minério em \$/t;

CMca – Custos de lavra a céu aberto de uma tonelada de minério em \$/t;

Ce – Custos de lavar o estéril em \$/m³ e

REM – Relação estéril/minério em m³/t.

Figura 10 - Ponto de Viabilidade entre Lavra a Céu Aberto e Lavra Subterrânea



Fonte: Google 16:49, 17-11-2018; <https://www.estudegratis.com.br/questao-de-concurso/652809>

7. LAVRA A CÉU ABERTO

Curi (2017) descreve o método de lavra a céu aberto como as operações unitárias de lavra que são executados “a partir” da superfície e os minérios trabalham na superfície.

7.1. Classificação de Métodos

7.1.1 Lavra por bancada

Extração ocorre em bancadas simples ou múltiplas, seja para estéril ou minério.

Wellington (2017) relata que importante no desenvolvimento de uma mina a céu aberto, em bancada, é a localização das áreas de disposição de estéril e rejeitos e bem como a localização da usina de beneficiamento → balanços de massas, DMT, expansão de cavas, etc.

O alto grau de mecanização e grandes distâncias (DMT) exigem que o traçado e a manutenção das estradas sejam criteriosos e constantes → acesso adequado às frentes de lavra, às áreas de disposição de estéril, à usina de beneficiamento e redução de custos com pneus de equipamentos de transporte.

As operações de lavra consistem normalmente das operações de perfuração, desmonte, escavação, carregamento e transporte.

Material friável ou baixa competência mecânica → desmonte mecânico.

Na extração e carregamento são usadas escavadeiras, retroescavadeiras, pás - carregadeiras, draglines, tratores e scrapers.

O transporte (minério e estéril) é feito por caminhões (pequeno e grande porte) e transportador de correia (conveioir belt).

Wellington (2017) apresenta aplicabilidade o método de lavra por bancadas:

- Resistência do minério e do estéril: qualquer;
- Forma do depósito: qualquer, mas de preferência lenticular ou tabular;
- Mergulho: Qualquer (REM - \$);
- Tamanho: Grande potência.

Wellington (2017) ressalta as vantagens:

- Alta produtividade e baixo custo de lavra, comparativamente com outros métodos
- Alta razão de produção e possível produção de minério com pouco desenvolvimento
- Boa recuperação na lavra e baixa diluição (tiras)
- Boas condições de salubridade e segurança.

7.1.2. Mina de Chuquicamata

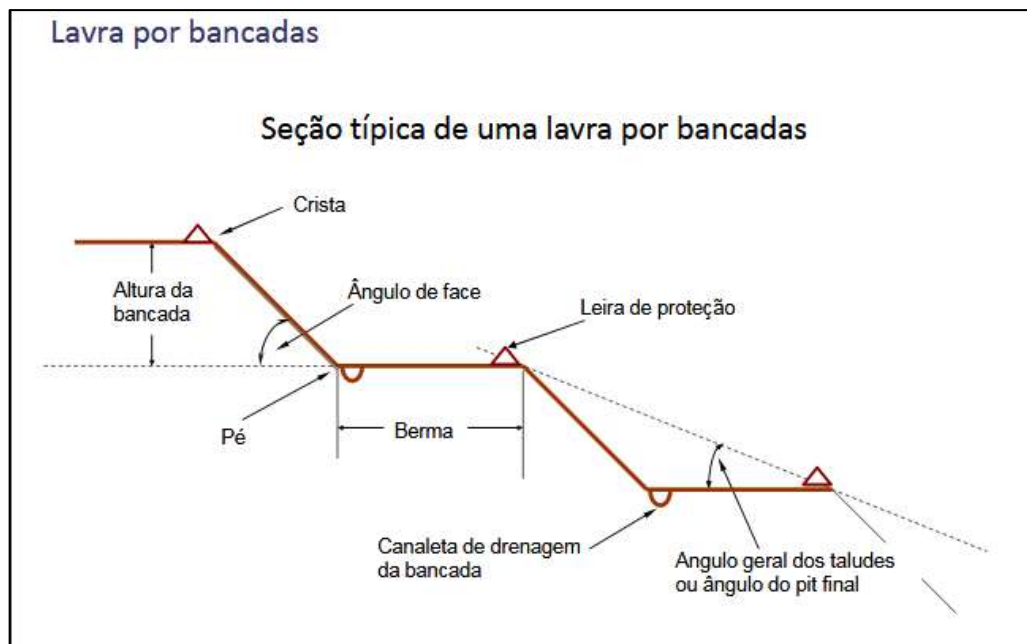
Wellington (2017) cita que localizada a 1200 km do Norte de Santiago no Chile, é a maior cava do mundo, está até o momento da foto com 750m de profundidade, com 8 km de largura, o mineral de interesse é o Cobre, com produção de 650.000 t ano e pertence a Codelco.

Figura 11 - Maior Cava do Mundo



Fonte: (WELLINGTON, 2017)

Figura 12 - Lavra por Bancada



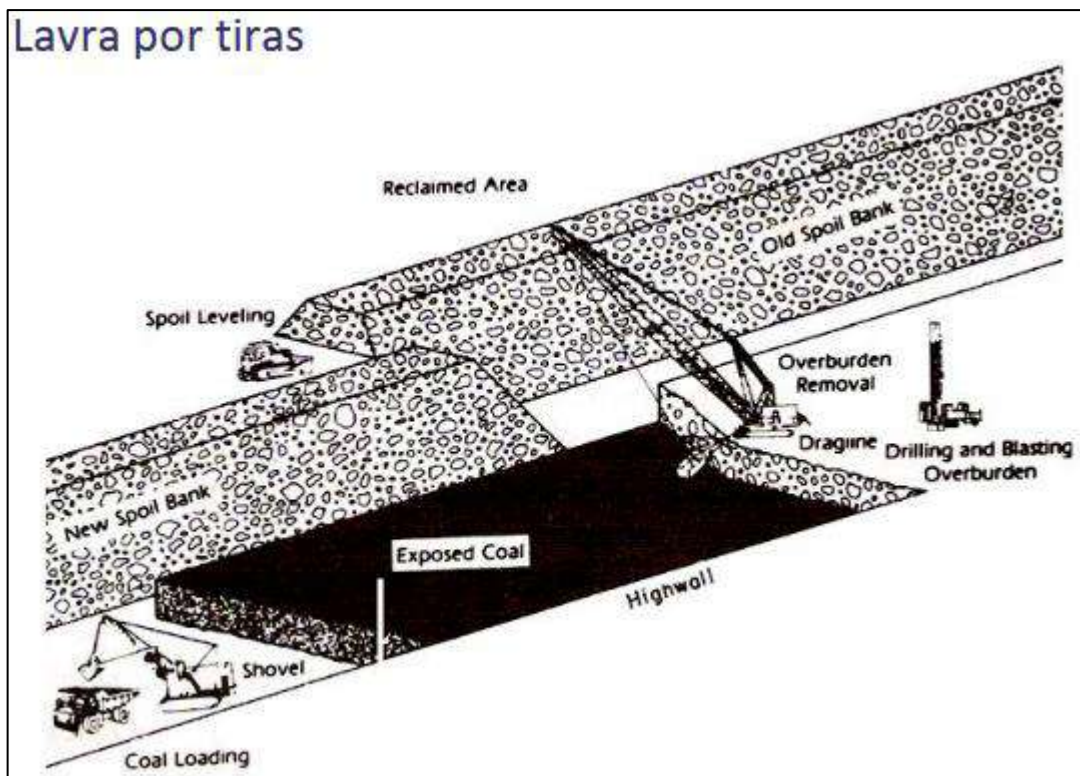
Fonte: (WELLINGTON, 2017)

7.1.3. Lavra por tira

Wellington (2017) e método onde:

- São abertas tiras, de largura e profundidade variáveis.
- O capeamento de cada tira é depositado na tira adjacente anterior.
- Não é necessária a formação de pilhas de estéril fora da área lavrada.
- Possibilita recuperar a área ao mesmo tempo em que ocorre o avanço da lavra.

Figura 13 - Lavra por Tiras



Fonte: (WELLINGTON, 2017)

7.1.4. Lavra de rochas Ornamentais

Wellington (2017) apresenta por:

- Por painéis verticais ou por tombamento;
- Por bancadas: – Altas; – Baixas.
- Em poço;
- Em matacões;
- Subterrânea.

7.1.5. Lavra por Desmoronamento

Método de lavra por desmoronamento ou desabamento é aplicado para os casos em que a rocha se apresenta sob a forma de prismas delimitados por falhas ou planos de esfoliação, dispostos em afloramentos caracterizados por elevados gradientes topográficos. (WELLINGTON, 2017).

Desmoronamento ocorre ao longo dos planos de fraturas existentes, com auxílio da gravidade, a partir da deflagração da pólvora negra.

7.1.6. Lavra Seletiva

Aplica - se frequentemente nos casos onde o maciço a ser explorado possui, como característica, a presença de famílias distintas de fraturas com orientações principais preferencialmente ortogonais. (WELLINGTON, 2017).

7.1.7. Lavra de Matações

É utilizada em diversos países, principalmente naqueles em desenvolvimento localizados na faixa tropical, onde existem matações de grandes dimensões. (WELLINGTON, 2017).

7.1.8. Lavra de Bancadas

Altas ou baixas: mina é subdividida em níveis sucessivos de lavra, que evoluem lateralmente de forma sequenciada, com altura definida em função da geomorfologia da jazida e das características físico - mecânicas da rocha. (WELLINGTON, 2017).

7.1.9. Lavra de Painéis Verticais

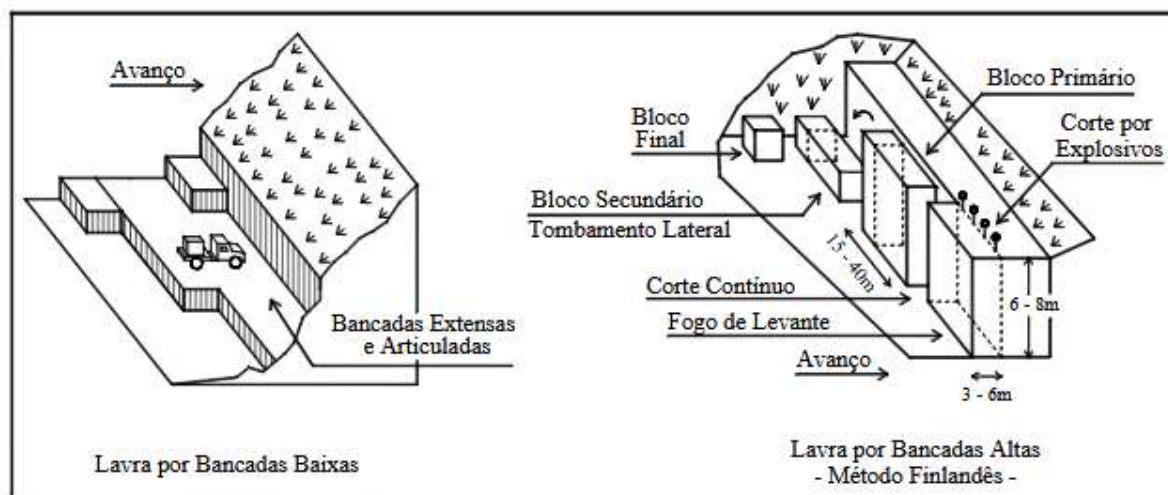
Trata - se de uma particularidade do método de lavra por bancadas, aplicado em maciços com elevado gradiente topográfico e na fase inicial de abertura da mina. O avanço da lavra ocorre de maneira ascendente, em um único “nível”, através do desmonte individual de painéis verticais com altura variável e cuja espessura corresponde, normalmente, ao comprimento do bloco comercializável. (WELLINGTON, 2017).

7.1.10. Lavra Ornamental Subterrânea

Atividade de abertura de lavra em subsolo é realizada mediante a criação de espaços subterrâneos, denominados salões, sustentados por pilares, geralmente constituídos por material de qualidade inferior, uma vez que estes não serão explorados. (WELLINGTON, 2017).

Utilizado predominantemente nas rochas carbonáticas, particularmente nos mármore.

Figura 14 - Lavra por Bancadas



Fonte: (WELLINGTON, 2017).

7.2. Lavra por Desmonte Hidráulico

De acordo com Curi (2017) este método consiste no uso de água para escavar, seja fluindo por gravidade e muito aplicado em depósitos de pláceres onde os solos são materiais não consolidados, geologicamente, os depósitos de pláceres são formados pelo transporte de sedimentos por meio de agentes natural e pela concentração anômala de metais mais pesados oriundos de uma rocha matriz, a areia e o cascalho empregados na construção civil normalmente são extraídos por lavra por desmonte hidráulico.

Figura 15 - Desmorte Hidráulico



Fonte: Google 13:07, 13-11-2018 ; <https://www.diamang.com/A-Companhia/Trabalho/Minas/i-tQRx3RD>

7.3. Lavra de Pláceres – Dragagem

De acordo com Curi (2017) a dragagem corresponde à extração que ocorre de materiais do fundo de rios, lagos, mares, baías ou canais para sua remoção, limpeza, desobstrução ou derrocamento. Os principais materiais escavados são solos, sedimentos e rochas do fundo de corpos de água.

Figura 16 - Dragagem de areia do fundo de rio



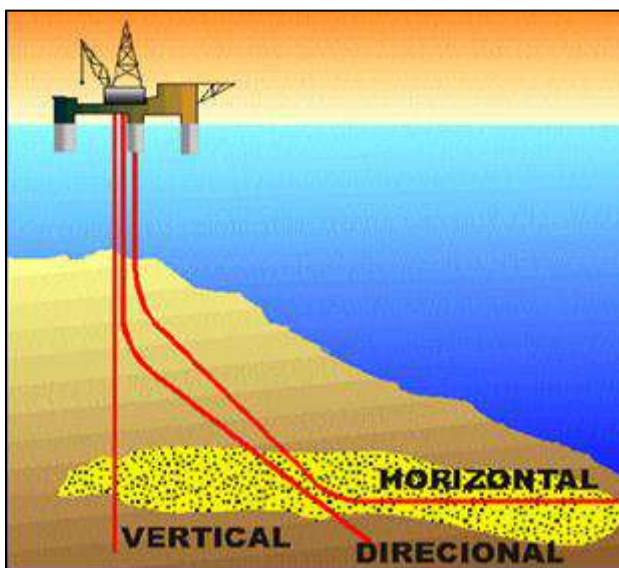
Fonte: Google 13:21, 13 -11 - 2018 ; <https://blog.conexos.com.br/dragagem-portuaria-processos-comex/>

7.4. Lavra por furos de Sonda e Hidrocarbonetos

Curi (2017) diz que a utilização de furos para acessar o minério subterrâneo, o propósito dos poços de petróleo e de gás.

A água mineral subterrânea é um caso onde o furo realizado para fim de sondagem após avaliação de propriedades benéficas apresenta volume e característica atrativa à extração e utilização como um bem mineral.

Figura 17 - Lavra de Petróleo



Fonte: Google 14:01 ,13 -11- 2018;

<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAAJ1EAL/glossariode-termos-engenharia-petroleo>

7.5. Lavra por Lixiviação ou lavra Química

A lavra química é um método que ocorre a extração dos minerais solúveis de interesse econômico do minério por dissolução ou lixiviação. O ponto fundamental neste processo é o agente lixiviante.

Figura 18 - Método de Lixiviação do elemento Ouro



Fonte: Google 13:35, 13-11-2018 ;

<http://www.geologo.com.br/MAINLINK.ASP?VAIPARA=tiosulfato%20ou%20cianeta%C3%A7%C3%A>

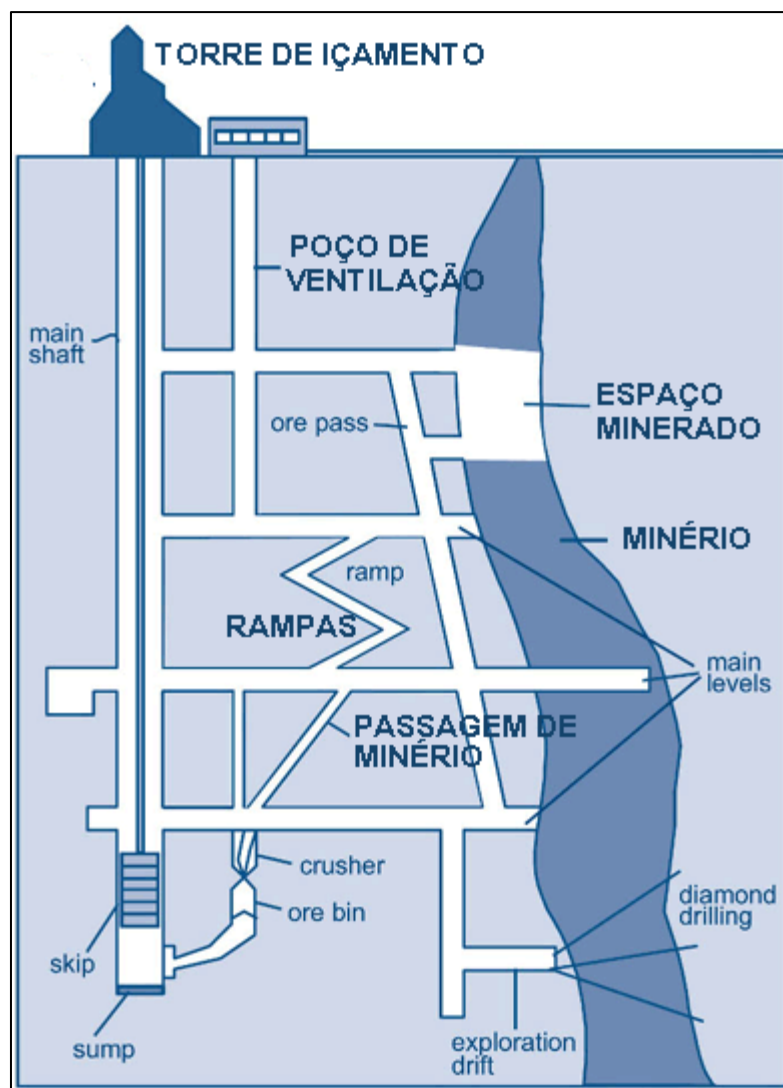
3o

7.6. Lavra Subterrânea

Lavra subterrânea é uma lavra que ocorre em sub-superfície, em muitos casos ocorre por evolução da lavra a céu aberto, viabilizando o empreendimento com a aplicação desta técnica.

Curi (2017) destaca que a lavra de mina subterrânea, há diversos métodos com muitas variantes, que diferenciam em função das características do depósito e de sua relação com a encaixante e das características geomecânicas dos maciços rochosos.

Figura 19 - Lavra Subterrânea



Fonte: Google 14:17, 13-11-2018; <http://mine-net.blogspot.com/2011/03/desenvolvimento-em-mineracao.html>

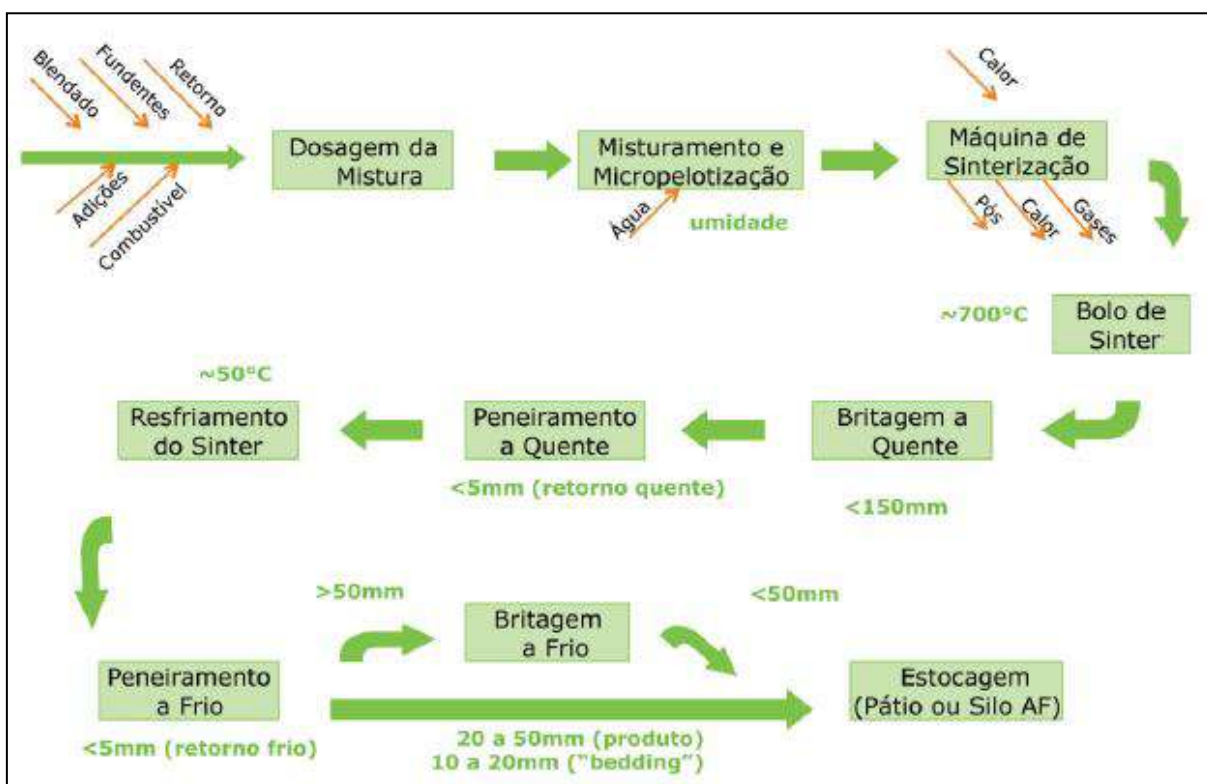
8. Sinterização

Sinterização é um processo onde ocorre a micropelotização de partículas a quente, que visa à dosagem, homogeneização e aglomeração de várias matérias primas, definindo a umidade ótima e o teor de combustíveis sólidos, fazendo com que a mistura a sinterizar seja submetida a uma semifusão redutora oxidante, a uma temperatura aproximada de 1300° C. Como produto tem o sinter, visando à produção do mesmo com características metalúrgicas, físicas e químicas dentro da especificação de qualidade requerida para aplicação no Alto-Forno. (SILVEIRA, 2016)

A sinterização é um processo onde os finos que inicialmente não tinha aplicação na siderurgia por não apresentar desempenho e prejudicar o processo de oxirredução em Alto Fornos, veio a gerar acerca de produtos não aplicáveis por característica física a siderurgia condições de aplicação, o bolo de sinter após beneficiado assume característica de fração granulométrica e química favorável a aplicação na siderurgia e com isso veio viabilizar a lavra de minérios anteriormente desfavoráveis ao vendável.

A busca por tecnologia que reestrutura o mineral e torna sua aplicação na siderurgia como e o caso do minério de ferro deve ser continua.

Figura 20 - Fluxograma do Processo de Sinterização



Fonte: (SILVEIRA, 2016 p.19)

9.0. Siderurgia – Metalurgia do Ferro

9.1. Ocorrência do Ferro

O ferro ocorre na natureza em forma de óxidos, carbonatos e sulfetos:

Tabela 4 - Ocorrência do ferro na Natureza

Classificação	Substância	Nome Mineralógico	Percentual de Ferro
Óxidos	Fe_3O_4^*	Magnetita	45 a 70 %
	Fe_2O_3	Hematita	50 a 70 %
	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Limonita	20 a 60 %
Carbonato	FeCO_3	Siderita	30 a 45 %
Sulfeto	FeS	Pirita	A Extração para obtenção de aço não é viável devido à presença de enxofre, que é prejudicial ao aço.

Fonte: Adaptado (ROMEIRO, 1997)

Observação: *Óxido Duplo: $\text{Fe}_3\text{O}_4 = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$

As maiores jazidas de ferro do mundo localizam-se na Austrália, Brasil, Estados Unidos, Rússia, França e Inglaterra.

No Brasil as maiores jazidas encontram-se em Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Pará, Amapá e Bahia.

O principal minério encontrado no Brasil é a hematita com 50 a 70 % de Ferro (8% das reservas mundiais) é de boa qualidade devido aos baixos índices de fósforo e enxofre.

9.2. Produtos Siderúrgicos

Ferro Gusa: é a forma intermediária pela qual passa praticamente todo o ferro utilizado na produção do aço. É um produto de primeira fusão obtido a partir da redução do minério em alto-forno.

Composição Química: Contém em torno 4 % de carbono sob forma de cementita (Fe_3C). Possui com principais impurezas o silício (0,3 a 2%), o enxofre (0,01 a 1%), o fósforo (0,05 a 2%) e o manganês (0,5 a 2%).

Características: O ferro gusa, também chamado de ferro bruto é duro e quebradiço, com baixa resistência mecânica, devido ao excesso de carbono.

Pode ser empregado em diferentes confecções de peças que são submetidas a pequenos esforços.

Obtenção: O ferro gusa é obtido a partir da fusão de minério de ferro em altos fornos.

O minério é geralmente utilizado é a hematita (Fe_2O_3) e sua ganga é constituída basicamente de sílica (SiO_2).

O processo tem como início a sinterização ou pelotização do minério que consiste em triturar o minério para aumentar a superfície de contato do material tornando-o de granulometria controlada, o que determinará um melhor rendimento nos alto-forno moderno. Junto com o minério são incluídos na carga, calcário (CaCO_3), carvão mineral ou vegetal (C) e ar quente.

O carvão servirá para reduzir o minério e produzir energia, o calcário servirá como fundente.

A produção: A produção diária em média de um alto forno varia de 5.000 a 10.000 toneladas.

A carga do alto forno para a produção de 1 tonelada de Ferro Gusa:

- ◆ 1,7 toneladas de minério (Fe_2O_3 + ganga)
- ◆ 0,25 toneladas de calcário (CaCO_3)
- ◆ 0,5 toneladas de carvão (CV ou CM)
- ◆ 2 toneladas de ar (H_2O , N_2 , O_2 , ...)

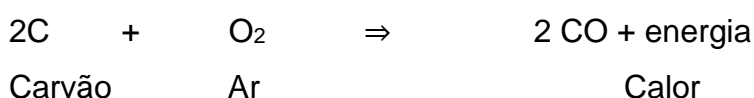
Produção: 1 tonelada de Ferro Gusa 0,2 a 0,4 ton. de escória 2,3 a 3,5 ton. de gás (reaproveitável).

Reações químicas no alto-forno:

Produção de energia e formação de monóxido de carbono (CO):

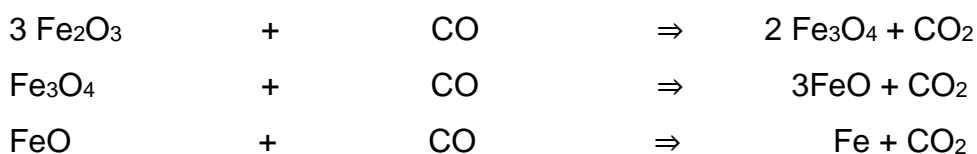
A queima de carvão ativado pela entrada de ar quente fornece calor e monóxido de carbono, este último importante na redução do minério.

A oxidação do carbono ocorre próxima à entrada de ar (ventaneiras), próximo à base do alto forno, cerca de 1 a 3 metros. Na reação não CO_2 devido a altas temperaturas (1500 °C) e excesso de carbono. O excesso de CO torna o gás do alto forno combustível.



Redução do ferro:

O ferro do minério deve ser reduzido a ferro metálico. O monóxido de carbono serve para reduzir o ferro.

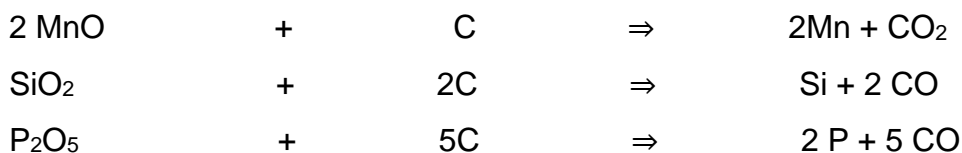


Redução do silício, fósforo e manganês

Nas temperaturas mais baixas da parte superior do alto forno; ocorre a seguinte reação:

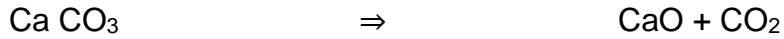


Nas altas temperaturas:



Esta última reação é incompatível em alto-forno, praticamente todo o fósforo do minério é incorporado no ferro gusa.

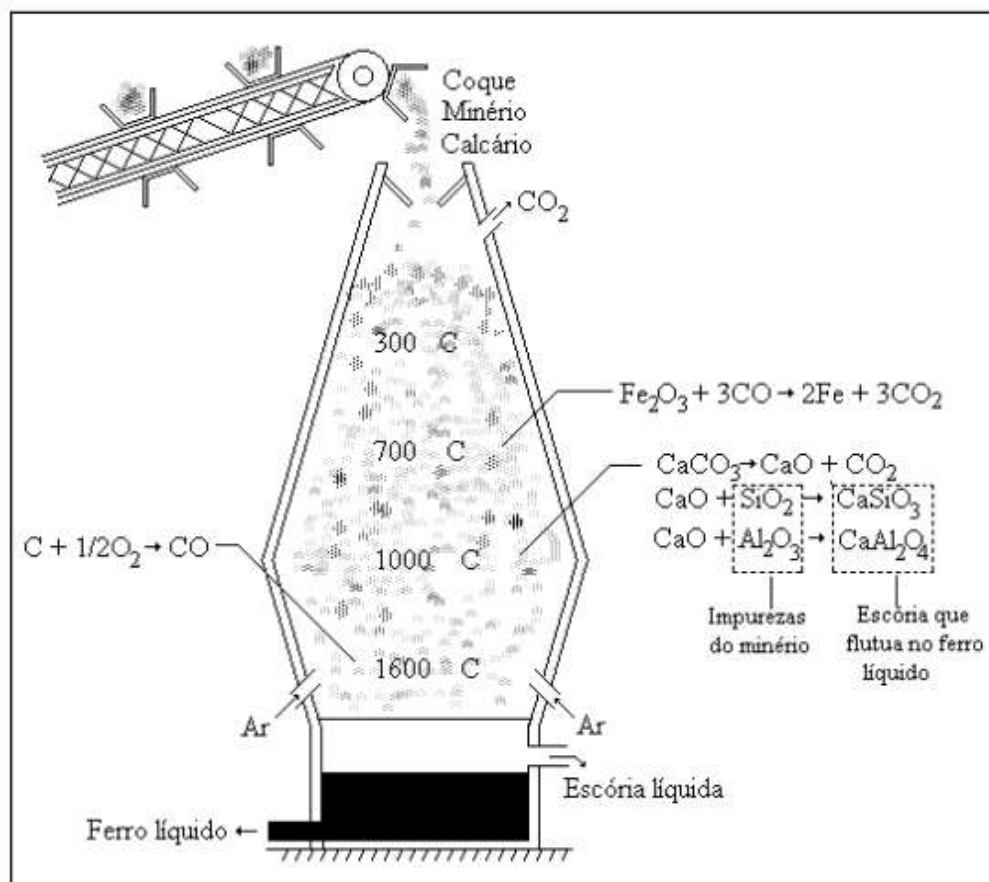
Reação da escória (escoriamento):



O silicato de cálcio recebe o nome de escória e depositam-se no cadinho sobre o ferro, evita a oxidação, se retirada periodicamente. As escórias são utilizadas na produção de tijolos, blocos e concretos.

O gás do alto-forno limpo de pó se usa como combustível nos recuperadores e nas caldeiras a vapor. Seu poder calorífico, é aproximadamente de 1000 cal/m³.

Figura 21 - Alto Forno Siderúrgico



Fonte: Romeiro(1997)

10.0. Pelotização

Processo no qual os finos do beneficiamento de minério se tornaram aplicáveis a siderurgia, após o surgimento da sinterização os materiais muito finos eram descartados por falta de tecnologia para seu aproveitamento, em 1912

segundo Luz et al, (2010) o inventor A. G. Anderson criou uma forma de aproveitar estes finos.

Segundo Luz et al, (2010) pelotização consiste na mistura úmida de finos de minério de ferro concentrados na fração menor que 0,149 mm com quantidades pré – definida aglomerantes, óxidos básicos, e energéticos, e em um processo de rolamento em disco ou tambor busca a formação de um aglomerado esférico de tamanho entre 8 e 18 mm, formando assim as pelotas que são submetidas a um tratamento térmico específico, e desta forma apresenta elevada resistência mecânica ao manuseio, e propriedade metalúrgicas superior , quando submetidas ao processo de redução.

10.1. Amostragem

10.2. Ângulo de Repouso

É o ângulo formado pela superfície da pilha com a horizontal.

10.3. Homogeneização

É um processo de combinação de Materiais com características químicas e físicas semelhantes para evitar grande variação de qualidade. (BATISTA, 2011).

10.4. Sinter-Feed

Minério de ferro com distribuição granulométrica predominantemente compreendida entre 0,105 e 6,35 mm.

10.5. Granulado

Minério de ferro com distribuição granulométrica predominantemente compreendida entre 6,35 mm e 50 mm.

10.6. Britagem

É o conjunto de operações de redução de tamanhos de partículas minerais, executado de maneira controlada e de modo a cumprir um objetivo pré-determinado.

Controla o tamanho máximo de produtos e evita a geração de quantidades excessivas de finos.

10.7. Classificação

A classificação e o peneiramento têm como objetivo comum, a separação de um material em duas ou mais frações, com partículas de tamanhos distintos.

10.8. Extração Mineral

Pode-se definir como a extração de minerais existentes nas rochas e/ou no solo. Trata-se de uma atividade de natureza fundamentalmente econômica que também é referida, num sentido lato, como indústria extrativa mineral ou indústria de produtos minerais.

10.9. Especificação Tecnológica Mineral

Documento que especifica, por meio de dados técnicos mínimos requeridos, produtos, elementos ou conjuntos específicos para os quais não é necessária a elaboração de uma norma.

11.0. AMOSTRAGEM DE MATÉRIAS PRIMAS

11.1. Objetivo

Garantir a integridade e representatividade da amostra, permitindo assim termos um melhor controle da matéria prima e conseqüentemente subsidiando as etapas seguintes com melhor controle de qualidade das pilhas formadas. Tendo assim uma condição ideal para melhor análise de alternativas de uso/consumo a um menor custo possível, qualidade garantida e estabilidade operacional. (BATISTA, 2011).

11.2. Dados gerais

As amostragens são padronizadas e tem como objetivo principal conhecer as qualidades químicas e granulométricas das matérias-primas. A partir dos resultados das análises é que se define o início de carregamento. (BATISTA, 2011).

Em função da massa recebida e de posse do resultado das matérias primas são calculadas as médias ponderadas, determinando a qualidade das pilhas formadas nos pátios. Ao executar uma operação de amostragem todo cuidado deve ser tomado de modo a evitar contaminação, para não mascarar os resultados durante os ensaios. Os materiais recebidos diretamente nos pátios serão definidos por lotes e a sistemática de amostragem é em função do tamanho do lote. (BATISTA, 2011).

11.3. Terminologia

São as seguintes terminologias adotadas no universo da amostragem de matérias primas:

11.4. Incremento

É a qualidade mínima representativa de um lote, coletada por uma única operação de equipamento de amostragem e normalmente combinada com outros incrementos do lote para forma uma amostra bruta. (BATISTA, 2011).

11.5. Amostra Global

É a quantidade de uma matéria prima constituída de todos os incrementos coletados de uma consignação. Também composta de todas as sub-amostras após terem sido misturadas e individualmente divididas. (BATISTA, 2011).

11.6. Lote

É uma quantidade de matéria prima a ser representada por uma amostra, a qual pode ser bem definida sendo proveniente de um mesmo carregamento.

11.7. Consignação

É uma quantidade de um minério descarregado (ou entregue) num determinado intervalo de tempo. A Consignação pode consistir de um ou mais partes de lotes.

11.7.1. Sub amostra

É a fração resultante da divisão de uma amostra, ou uma quantidade de matéria prima consistindo de vários incrementos coletados de uma parte da consignação; também um composto de vários incrementos após terem sido triturados e individualmente divididos. (BATISTA, 2011).

11.7.2. Amostra dividida

É uma amostra obtida por um método de divisão.

11.7.3. Amostra final

É qualquer amostra para determinação da distribuição granulométrica, teor de umidade, composição química e/ou outras propriedades físicas, que é preparada de cada incremento, cada sub-amostras ou da amostra, de acordo com o método especificado aquele tipo de amostra. (BATISTA, 2011).

11.7.4. Amostra para determinação da distribuição granulométrica

A amostra retirada para a determinação da distribuição granulométrica da consignação ou parte da mesma.

11.7.5. Amostra para determinação do Teor de Umidade

A amostra retirada para determinação do teor de umidade da consignação ou parte da mesma.

11.7.6. Amostra para Análise Química

A amostra retirada para a determinação da composição para a determinação a composição química, da consignação ou parte da mesma.

11.7.7. Amostra para Testes Físicos

A Amostra é retirada para a determinação de propriedades físicas da consignação ou parte da mesma.

11.7.8. Amostra estratificada

Na consignação que pode ser dividida em camadas, a amostragem é realizada de tal modo que, porções especificadas de amostra são retiradas das diferentes camadas.

Nota: A camada é uma parte da consignação que pode ser derivada de divisão da mesma, de acordo com um critério que depende dos casos. (BATISTA, 2011).

11.7.9. Amostragem periódica e sistemática

É a amostragem, na qual os incrementos são retirados de uma consignação em intervalos regulares. Quando se adota o intervalo de massa, ela é chamada “amostragem periódica e sistemática por base massa” e quando o intervalo de tempo é adotado, ela é “amostragem periódica e sistemática por base tempo”.

11.8. Contaminação

É o efeito da contaminação da amostra com agentes externo tais como: pós, gases, metálicos, umidade, voláteis ... etc.

11.9. Segregação

É caracterizado pela distribuição irregular de partículas de uma amostra resultante do manuseio incorreto e/ou equipamento deficiente.

11.10. Impurezas livres

As impurezas em um carvão que existem como se fossem partículas individuais discretas, que não são uma parte da estrutura do carvão em questão e que podem ser separadas do mesmo pelos métodos de preparação do carvão.

11.11. Impureza inerente

O material inorgânico no carvão que é estruturalmente parte do carvão e não pode ser separado dele pelos métodos de preparação do carvão.

11.12. Precisão

Um termo usado para indicar a capacidade de uma pessoa, um instrumento, ou método para obter resultados confiáveis, especificamente, uma medida do erro casual (aleatório) conforme expresso pela variância, pelo desvio padrão, ou com múltiplo do desvio padrão.

11.13. Amostra representativa

Uma amostra coletada de uma maneira tal que cada partícula, no lote a ser amostrado, é igualmente representada na amostra bruta.

11.14. Tamanho da maior Partícula

É dado pela medida da maior malha do conjunto de peneiras, que no teste detêm até 5% de massa bruta.

Nota: O tamanho máximo da partícula e da consignaçoão será avaliado de experiênciã anterior ou por experimentaçãõ.

No entanto, se não existem informações disponíveis estimativas visuais poderãõ ser utilizadas.

12.0. LOCAL DE AMOSTRAGEM

O local tem que ser escolhido de tal modo que se permita efetuar um corte seccional no fluxo do material, correspondente a distribuiçãõ da massa.

Este local, preferencialmente, deve estar situado mais próximo do recebimento do lote.

A amostragem ou “lotes estacionário”, deve ser evitado, quando possíveis (pilhas, caminhões ou vagões estacionados, superfícies de silos e outros), quando realmente for necessário, deve-se observar rigorosamente o critério para cada situaçãõ.

12.1. Métodos de Amostragem

De acordo com os meios de transporte do minério, meios de manuseio e local de amostragem, sãõ classificados os métodos:

12.1.1. Amostragem em Transportadores de Correias

Quando o incremento é retirado de um transportador de correias em movimento, este deverá ser retirado abrangendo a largura e espessura completa do

fluxo de material por um instrumento de amostragem do transportador ou na queda do fluxo. (BATISTA, 2011).

Quando o incremento é retirado com a correia transportadora parada, o mesmo deverá ser coletado de uma seção de comprimento definido e abrangendo a largura e espessura completa do fluxo de material, a partir da posição especificada, na direção do fluxo (amostragem em correia parada). (BATISTA, 2011).

12.2. Amostragem em Vagões

Cada incremento deverá ser retirado, via regra, de um ponto aleatório selecionado em uma nova superfície exposta durante o carregamento ou descarga do material dos vagões. (BATISTA, 2011).

O número de incrementos que serão retirados de cada vagão da composição deverá ser calculado da seguinte fórmula:

$$nw = n / M$$

Onde:

nw é o número de incrementos a ser retirado de cada vagão;

n é o número de incremento de acordo com a massa da composição;

M é o número de vagões da composição. (BATISTA, 2011).

12.3. Método de seleção de Vagões:

O primeiro vagão a ser amostrado deverá ser aleatoriamente selecionado, daí em diante, os vagões serão selecionados em intervalos regulares de acordo com o número de vagões. (BATISTA, 2011).

12.4. Amostragem em pilhas de Estocagem

A amostragem em pilhas de estocagem deve ser conduzida durante a formação da pilha ou remoção das pilhas para outros lugares. A amostragem não deverá ser executada em pilhas que não estejam sendo movimentadas.

Se isto não puder ser feito, deverá ser compreendido que a precisão de amostragem não será de acordo com a norma internacional e um desvio significativo será introduzido. (BATISTA, 2011).

12.5. Amostra de Trincheira

Com o objetivo de realizar a Investigações em superfície e subsuperfície a amostragem tem apreço em complementar as informações adquiridas durante mapeamento geológico de detalhe e prospecção geoquímica de solo. As informações do teor médio do minério para comparar com jazidas semelhantes, para tomada de decisões. É Indispensável quando a o manto de intemperismo ou coberturas recentes (colúvios, talos, alúvios). É indicado para verificar contatos do corpo mineralizado, composição do minério as Informações sobre variações estruturais e litológicas em áreas adjacentes ao corpo de minério obter a amostragem representativa.

Com dimensões de comprimento: poucos metros a 400-500m; largura: entre 1 e 3m e profundidade de 5 - 6 m (áreas intemperizadas)

Sua orientação geralmente nas direções estruturais da rocha, com objetivo de cortar zona mineralizada e não mineralizada, realiza secções transversais x longitudinais.

Figura 22 - Amostragem de Trincheira



Fonte: Google 20:12, 16-11-2018; <https://gespianos.files.wordpress.com/2015/11/trincheira.jpg>

12.6. Amostra de Canaleta

Na face do talude abre uma canaletas com objetivo de cortar a faixa mineralizada.

Tem dimensões, com regularidade do corpo de minério, tamanho proporcional a representatividade amostral, o canal na espessura do minério, profundidade entre 3 e 5 cm, largura 5 a 20 cm, Comprimentos variáveis e espaçamento entre canaletas de 1 em 1 metro.

Figura 23 - Amostra de Canaleta

Fonte: Google 20:17 16-11-2018; <http://mapearbh.com.br/site/etapas-basicas-para-se-obter-uma-mina>

12.7. Valor Econômico do Bloco

O valor econômico do bloco de mineração (VEB) no modelo de blocos, segundo descrito por Wright (1990) apud Changanane (2017) pode ser caracterizado pelos seguintes componentes:

1. Receitas (R) – corresponde ao valor da parte recuperável e vendável do bloco em \$/t.
2. Custos diretos (Cd) – são as despesas atribuídas diretamente ao bloco em \$/t.
3. Custos indiretos (Ci) – são despesas gerais que não podem ser imputados diretamente aos blocos individuais, esses custos são dependentes do tempo.

O aproveitamento de bens minerais adotado em uma jazida deve ser aquela que apresenta o menor custo unitário, Hartman & Mutmansky (2002) apud Changanane (2017), diz que, a soma de todos os custos associados com o início de produção

mineira através dos estágios de prospecção, desenvolvimento, exploração e beneficiamento é chamada de custos diretos de mineração.

Os custos indiretos de mineração são aqueles que usualmente incluem de 5 a 10% para administração, engenharia e outros serviços associados à produção mineira, os investimentos ou custos de capital, custos de infraestruturas, salários, aquisição e depreciação dos equipamentos. (CHANGANANE, 2017).

Dados os conceitos de custos (diretos e indiretos) de mineração, a expressão que determina os custos totais de lavra é dada pela formulação de Hartman & Mutmanský (2002) apud Changanane (2017):

$$CI = Cd + Ci$$

Onde:

CI – representa o custo total de lavra;

Cd – é o custo direto de mineração e;

Ci – representa o custo indireto de produção mineira.

A partir da descrição dos parâmetros receitas e custos de produção, o valor econômico do bloco de mineração pode ser calculado usando a equação de (WRIGHT, 1990) apud Changanane (2017):

$$VEB = R - Cd.$$

Para Changanane (2017) o valor econômico do bloco não representa lucro ou prejuízo, sendo lucro o resultado da diferença do valor econômico do bloco (VEB) pelos custos indiretos (Ci) segundo mostra a equação dada por:

$$\text{Lucro} = \sum(\text{VEB}) - Ci.$$

Para Cândido (2012) apud Changanane (2017), no modelo de blocos a cada material são atribuídos valores econômicos que podem ser calculados a partir de uma função benefício, esta função contempla o valor líquido que pode ser positivo

(atrativo) ou negativo (não atrativo) dos blocos, considerando as receitas e descontando os custos.

13.0. GEOTRATAMENTISMO

No III Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, Costa et al, (2001)¹ abordou de forma que as informações contidas no modelo geológico-tipológico, os tipos sejam elas o minério, a posição dos contatos tipológicos, teores mineralógicos, as características físicas, o comportamento dos tipos no processo demonstram a base para a atividade de Geologia de Mina. O objetivo é buscar uma maior confiabilidade das informações, adequando-as à escala do Planejamento de Curto Prazo e Controle de Qualidade dos produtos. Em definição é adensar os tipos de minério, resultantes da interpretação geológico-tipológica, com precisão diretamente relacionada à quantidade de informações. Sendo assim, buscou-se corrigir as imprecisões no modelo de blocos quanto ao tipo ou proporção dos minérios, contidos em cada bloco, medindo a aderência do planejado e realizado auxiliando a decisão de lavra, afetando a previsibilidade do comportamento do minério simulado.

Sobre minérios hematíticos Luz et al (2010) necessitam de fornecimento de calor para favorecer a cinética de difusão atômica na rede da hematita, para que ocorra o processo de sinterização das partículas de minério de ferro. Não só o calor gerado nos queimadores também é aplicado um combustível sólido moído ao minério de ferro a pelletizar. Podemos citar o uso do carvão mineral (antracito).

Segundo Luz et al (2010) para minérios magnéticos liberam grande quantidade de calor em atmosfera oxidante que sendo favorável a oxidação da magnetita e hematita, em processo exotérmicas, minérios magnéticos favorecem a pelletização e não necessitam de adição de combustível sólido.

Para Luz et al (2010) minérios goetíticos e minérios hidratados, apresentam moléculas de água em sua estrutura cristalina que é proveniente do processo de formação geológica e geralmente são muito porosos retendo umidade durante o processo de preparação para o pelletamento. Na fase de secagem das pelotas requer maior temperatura uma vez que ao PPC é muito superior aos outros tipos de minérios o que é obtido como restrição de produção. A PPC do minério puro pode

chegar a 10% e por isso seu uso é viabilizado por associação com minérios hematíticos e Magnetítico ou misturas de hematíticos e Magnetítico.

Já em mistura de hematíticos e Magnetítico Luz et al (2010) diz que geram comportamento intermediário entre o uso separado de Hematítico e Magnetítico, em média o consumo de combustível mineral é limitado a quantidade de cada espécie e não ocorre o favorecimento por mistura em relação ao consumo na queima e na adição de combustível sólido.

De acordo com os resultados obtidos na caracterização para cada litotipo estudados o Geotratamentista busca identificar através de dados qual o desempenho deste minério na planta e com isso quais os possíveis resultados que orientam em uma escala global a operação mineira, a estruturação da planilha de controle e captação de dados se dá com a coleta de amostra em trincheiras e amostras de canaleta, com o método adequado e na escala representativa onde este ROM é enviado com massa apropriada ao laboratório piloto, e retirado da amostra total um incremento representativo que será caracterizado com ROM (*Run of Mine*) que vai nos informar os teores inerentes a especificações de mercado. (TOTOU, 2018).

A Goethita apresenta de acordo com sua gênese uma estrutura porosa que faz com que absorva e retenha umidade na partícula e esta umidade influencia, por exemplo, no seu empilhamento e também por sua porosidade alta absorve o supressor da sílica impactando no processo de flotação reversa do minério de ferro. (TOTOU, 2018).

O Manganês alto tem atuação negativa no processo de recuperação de água no espessador onde impacta na velocidade de sedimentação do mesmo. (TOTOU, 2018).

E observado pelo Geotratamentista qual a geração de produtos de acordo com o litotipos para proporcionar ganhos e desvios em geração de produtos. (TOTOU, 2018).

Quando eu conheço as possibilidades geradoras de cada litotipos da lavra e possível propor blends de litotipos para se alcançar resultados na fração desejada e possíveis impactos nas frações anteriores e posteriores. (TOTOU, 2018).

O CaO + MgO no processo de flotação deve ser $\leq 0,2$ % presentes na fração $< 0,15$ mm para a alimentação da flotação onde por teste realizados identificou a dificuldade quando sobrepõe esta faixa. O Ca^{2+} ou Mg^{2+} que está presente inibe a atração da bolha pela SiO_2 que quero que seja flotado e mascara a polaridade fazendo com que a sílica permaneça saindo no meu concentrado e impactando na qualidade, formando hidróxidos complexos. (TOTOU, 2018).

Para fins estratégicos no desempenho para a geração de produtos e redução de custo no beneficiamento o Geotratamentista deve estar atento às possibilidades de ganhos, o plano e seus litotipos e sua evolução de acesso ao corpo que e seletiva ajuda a cumprir planos e metas de fornecimento e características do fornecedor. (TOTOU, 2018).

É sabido pelo Geotratamentista que toda rota de processo envolve custo com energia, insumos, transporte e etc.; e de acordo com o processamento através destas análises pode propor ajustes na quantidade aplicada de cada litotipo na alimentação com objetivo de diminuir o custo e aumentar a produtividade, recuperação mássica e metalúrgica que no caso se refere ao minério de ferro. (TOTOU, 2018).

O Geotratamentista visa em aspecto global na lavra uma forma de maximizar a reserva propondo utilização de litotipos indicados à geração de produto e que viabilize a maximização da vida útil da lavra, e propõe também o melhor aproveitamento de minérios. (TOTOU, 2018).

Tabela 5 - Minério, Tipo de rocha, Densidade e Descrição

TIPO	Tipo de Rocha	Densidade	DESCRIÇÃO
ORE	HBA	3,40	HEMATITA BRANDA
ORE	HCP	4,80	HEMATITA COMPACTA
ORE	ICR	4,20	ITABIRITO COMPACTO RICO
ORE	IBR	3,00	ITABIRITO BRANDO RICO
ORE	IBS	2,60	ITABIRITO BRANDO SILICOSO
ORE	ICS	3,00	ITABIRITO COMPACTO SILICOSO
ORE	IBC	1,80	ITABIRITO BRANDO CARBONÁTICO
ORE	ICC	3,10	ITABIRITO COMPACTO CARBONÁTICO
ORE	IBM	2,50	ITABIRITO BRANDO MANGANESÍFERO
ORE	ICM	2,80	ITABIRITO COMPACTO MANGANESÍFERO
ORE	IBG	2,30	ITABIRITO BRANDO GHOETÍTICO
ORE	ICG	3,00	ITABIRITO COMPACTO GHOETÍTICO
ORE	ICA	2,80	ITABIRITO COMPACTO ANFIBOLÍTICO
ORE	IBA	2,80	ITABIRITO BRANDO ANFIBOLÍTICO
ORE	CEL	2,90	COLÚVIO/ELÚVIO
ORE	CGM	2,30	CANGA DE MINÉRIO
ORE	BRS	2,92	BRECHA SEDIMENTAR MINERALIZADA

Fonte: ARQUIVO PROPRIO,2018.

14.0. METODOLOGIA DA PESQUISA

14.1. Delineamento da Pesquisa

Pesquisa bibliográfica para fins de descrição e apoio ao processo de Lavra e Beneficiamento Mineral, aplicável a minas que estão locadas no quadrilátero ferrífero. O universo amostral tem intervalo de 2015 a 2018 com material em planilha com 240 linhas de dados e cada linha com 252 informações em colunas, discriminadas por variações quantitativas e qualitativas. A litologia está descrita separadamente no banco e é objeto do estudo.

O trabalho através de amostragem em campo o minério e beneficiado em uma planta piloto onde representa em escala de laboratório o desempenho industrial, foram realizadas análises de caracterização mineralógica, com entrada de dados de 241 locais na mina, onde nos informa o litotipo predominante e a sua localização na mina, e cada entrada passa por um processo de 20 caracterizações.

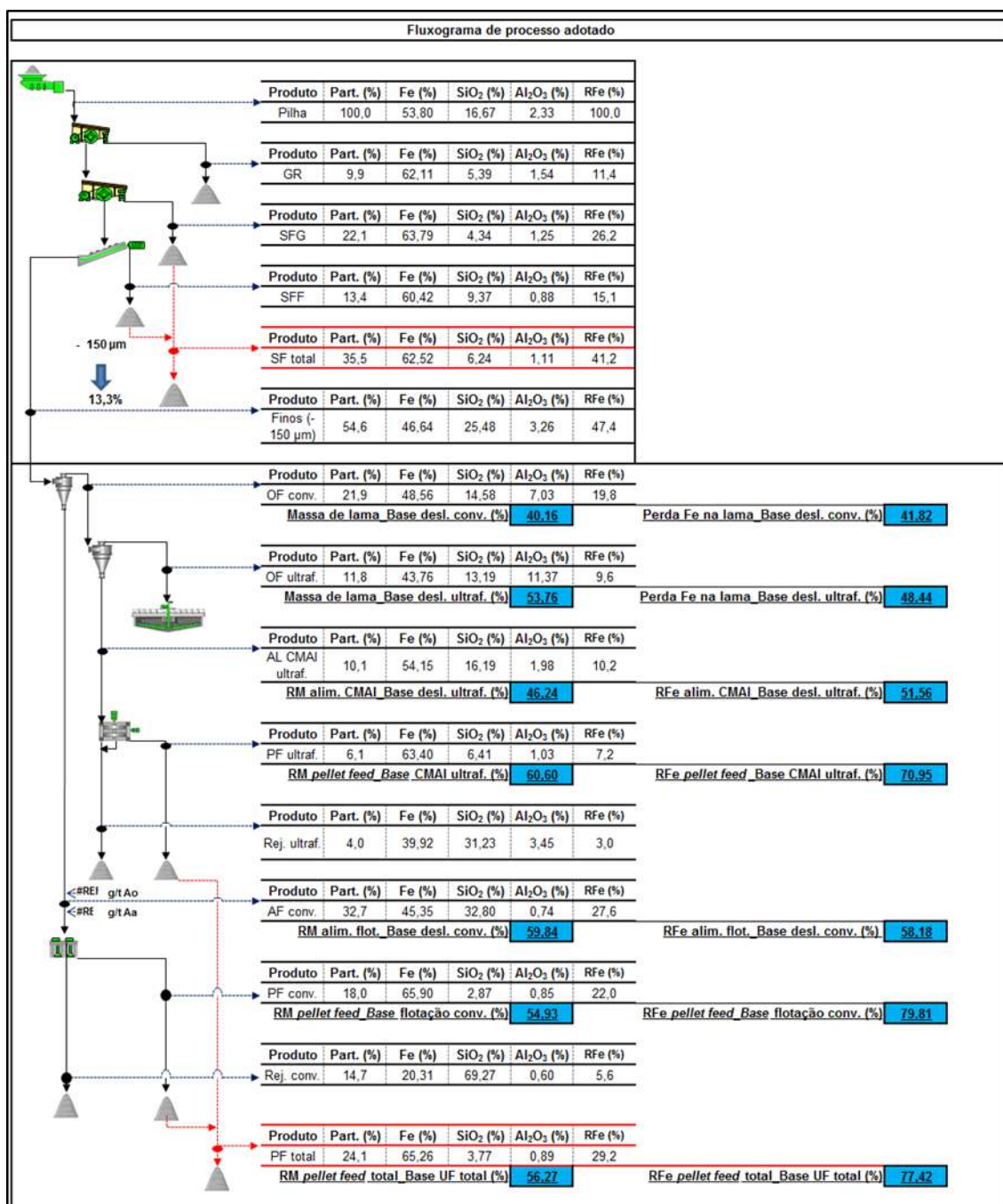
Variando de acordo com a localização está indicada no (quadro 01), geologicamente a descrição do litotipo sua densidade aparente in-situ tipo mineral que no caso e o minério de ferro variando de acordo com a formação geomorfológica, e abreviaturas do tipo de rocha que identifica o litotipo, sendo minerais ferríferos presentes no Quadrilátero Ferrífero.

14.2. Coleta e Análise dos Dados

Os dados são qualitativos por ter contido variação de teores físico-química e quantitativos por apresentar variação na quantidade por espécie.

Os dados são obtidos através de amostragem de campo, amostra de trincheira e canaletas, onde após coleta são enviadas a laboratório, os mesmos são analisados e geram relatório físico-químicos que são a base para a elaboração deste trabalho.

Tabela 6 - Fluxograma de Processo Adotado



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

O fluxograma mostra como é realizado o controle do processo onde de cada etapa é coletada uma alicota e enviada ao laboratório, afim de caracterizar e avaliar os vies que existentes no processo.

Figura 24 - Especificação de Produtos

Produto		Plano		
Granulado	L.S	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
		63,00	7,00	2,20
	Meta	62,00	6,00	1,80
	L.I	61,00	5,00	1,40

Produto		Plano		
Sínter feed total	L.S	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
		63,10	7,10	1,55
	Meta	62,50	6,30	1,35
	L.I	61,90	5,50	1,15

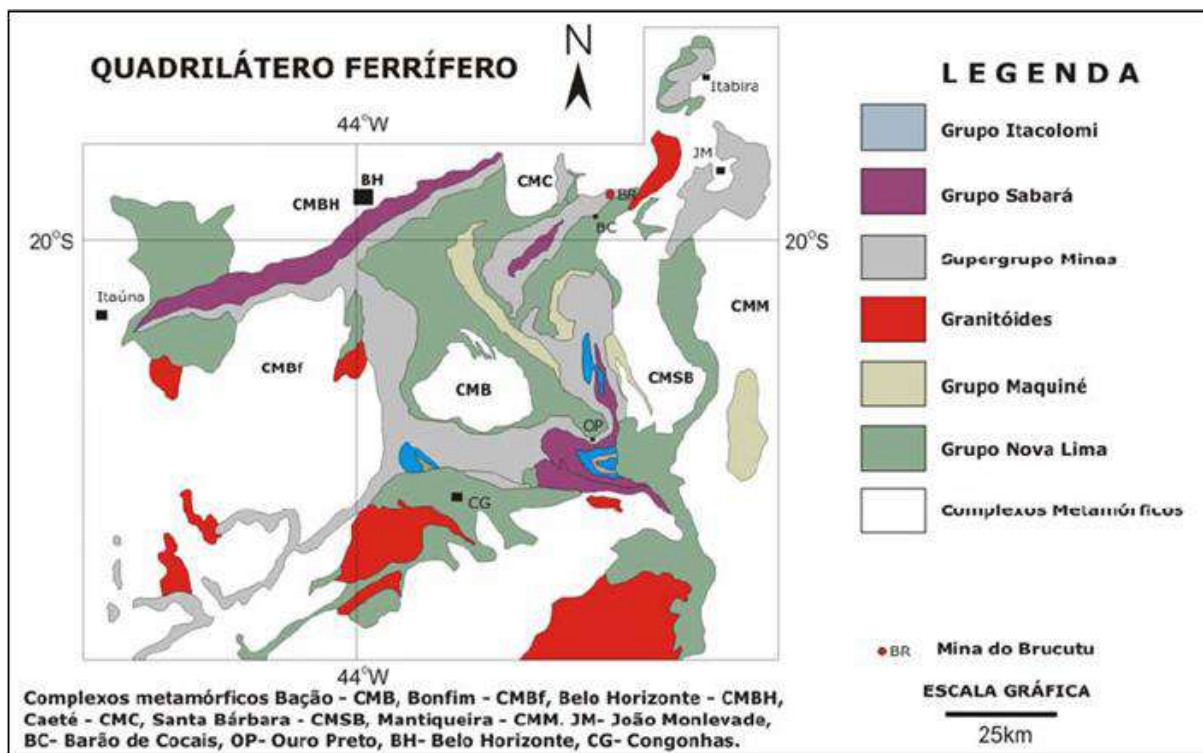
Produto		Plano			
FINOS (-150µm)	L.S	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO + MgO (%)
		49,55	24,31	1,66	0,201
	Meta	49,55	24,30	1,65	0,200
	L.I	49,54	24,29	1,64	0,199

Produto		Plano		
PF total	L.S	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
		65,60	4,46	1,11
	Meta	65,60	2,35	0,80
	L.I	64,00	2,36	0,81

Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Os dados são obtidos de forma qualitativa em referência a variação de Litotipos e de forma quantitativa quando os respectivos por sua similaridade apresentam variações de qualidade. Usando a técnica de análise de conteúdo os dados foram tratados.

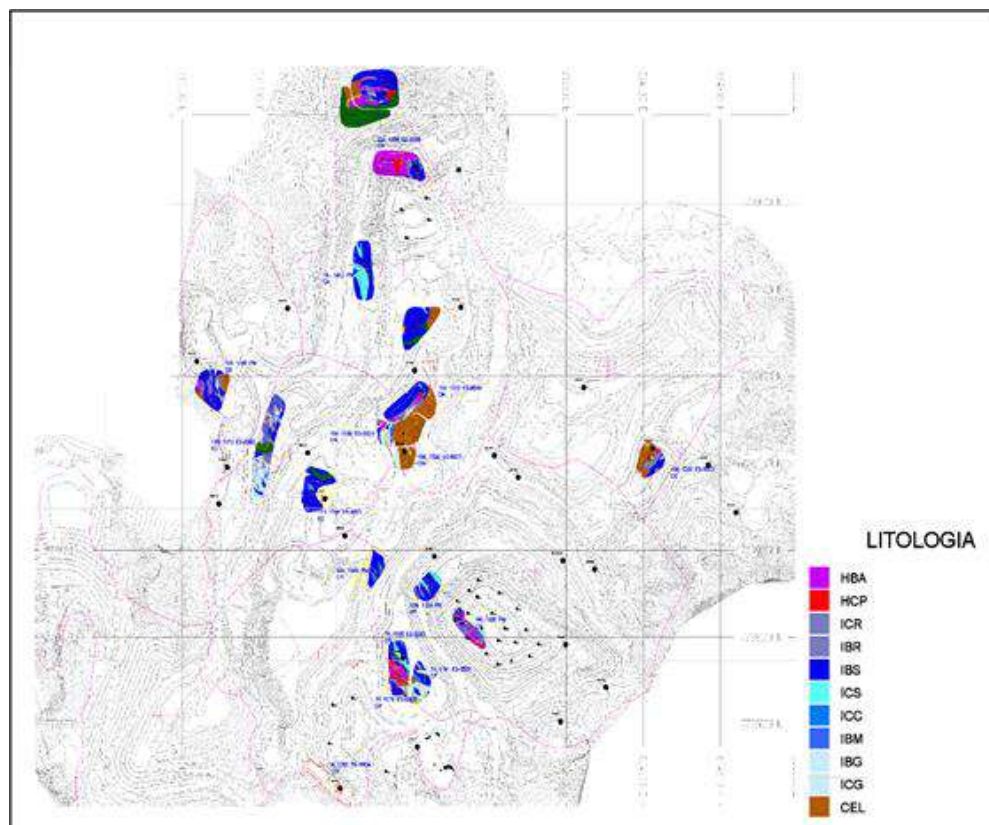
Figura 25 - Mapa Geológico Regional



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

De acordo com a literatura, a deposição do quadrilátero ferrífero se deu no período pré-cambriano e ocorreu na forma de formação ferrífera de fundo marinho raso, o ferro está depositado em faixas estratigráficas que variam de acordo com uma gênese, com o movimento da dinâmica da tectônica de placas intrusões ígneas reformularam a estrutura acalmada e transformaram nesta forma complexa, antecinal e sinclinal, identificando movimentos na estrutura, que ajuda a entender e identificar referências estratégicas do ambiente. O complexo metamórfico Bação, Bonfim, BH, entre outros, são grandes influenciadores e compõem a geologia do local.

Figura 26 - Mapa Geológico Operacional



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

O mapa demonstra a heterogeneidade da lavra, após avaliação estratégica os locais de extração com a caracterização geológica. Os pontos de avanço de lavra estão em destaque e a coloração identifica qual o litotipo predominante, por genese geologica. Em uma frente de lavra é possível encontrar o litotipo contido em um bloco tecnologico. É sabido que no momento da extração o operador não tem atribuição e recurso para que a lavra seja seletiva, sendo assim os litotipos contidos podem por maior ou menor influencia determinar que o bloco como minerio, minério de oportunidade ou estéril. Minério de oportunidade é o minerio que contem teor metalico anômolo, mas está abaixo do teor de corte e vai para uma pilha chamada de pilha de oportunidade, onde hoje o projeto não absorve este material na geração de produtos vendaveis, mas com avanços tecnologicos e melhorias futuras pode tornar o minerio de oportunidade viavel ao beneficiamento.

O bloco em questão, para o planejamento de curto prazo é dimencionado com 6,25 m x 6,25 m x 3,00 m, com base no mapa de superfície a geologia caracteriza o bloco representando as informações de qualidade das amostras de sondagem, trincheiras e canaletas.

A geologia adota com relação a geração de granulado (50mm a 6,35mm) as seguintes considerações:

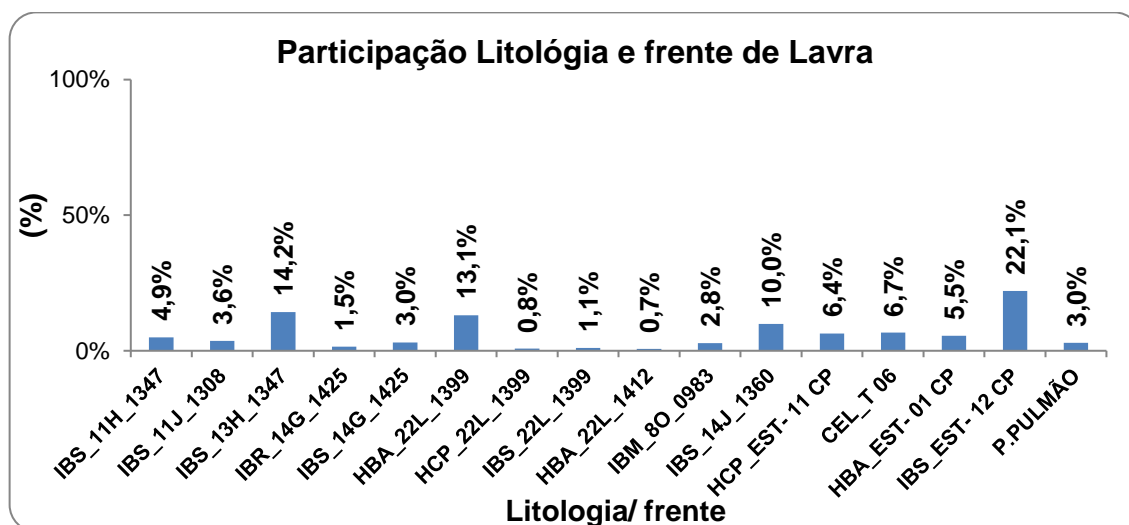
O ROM do litotipo com performance de geração na planta piloto abaixo de 37% é desfavorável, 37% a 58% o litotipo é intermediário, acima de 58% o litotipo é favorável.

Em relação a geração de sinter total (6,35mm a 0,150 μ m) a participação se dá em 50% e caracteriza como: acima da faixa é favorável a geração de sinter total e abaixo desta é considerado desfavorável.

Em relação a geração de finos, avaliamos que 37% de granulado intermediário, 50% de sinter favorável, sendo assim até 13% de finos seria o ideal para atender as primícias de produção.

Litotipo com geração acima de 13% de finos é favorável a geração, mas desfavorece a geração de produto anterior ao processo.

Figura 27 - Participação Litológica e frente de Lavra

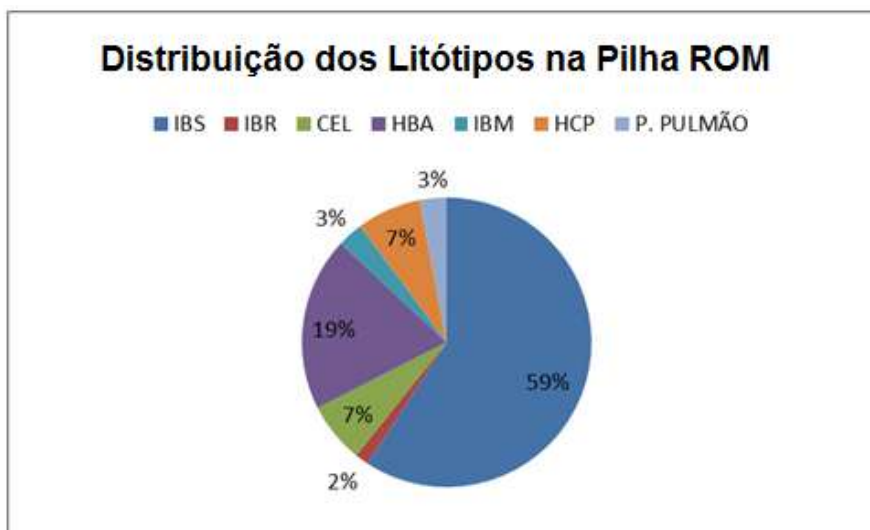


Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Pilha formada visando absorver as massas de acordo com o plano, o geotratamentismo de forma estratégica, adiciona a uma pilha litotipos que melhoram a performance do ROM em um dado processo, de acordo com a especificação do beneficiamento. O gráfico demonstra a proporção de cada litotipo com seu local de origem para formação da pilha, que vai alimentar a planta de beneficiamento de forma a otimizar a geração de produtos, garantir o uso correto do insumo inerente do

processo e proporcionar maior recuperação massica e metalurgica do minerio de interesse.

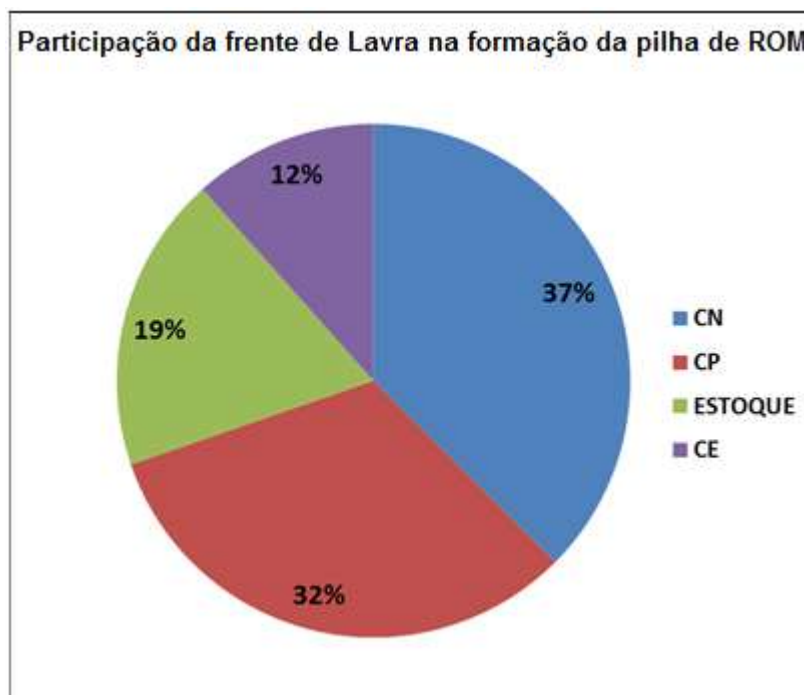
Figura 28 - Distribuição dos Litotipos na pilha de ROM



Fonte: Arquivo pessoal,2018.

Na formação da pilha de ROM é inserido os litotipos favoráveis a otimização do processo e a saúde da lavra, as litologicas estão distribuidos neste gráfico de forma a representar a maior e menor influência na pilha formada de ROM, temos o IBS com

59 %, seguido pelo HBA com 19 %; para viabilidade da lavra alguns litotipos tem adição controlada na pilha, por ter influência desfavorável em relação a geração de certos produtos, mas para a maximização da lavra o balanço se faz necessário, e através de associações tem sua performance neutralizada no processo.

Figura 29 - Participação da frente de Lavra na formação da pilha de ROM

Fonte: Arquivo pessoal,2018.

Neste gráfico é demonstrado qual a participação da região setorizada da lavra na formação da pilha de ROM, demonstra que é formada por vários litotipos extraídos de locais distintos, com características controladas a fim de formar uma pilha propícia para o beneficiamento. O Corpo norte (CN) tem maior influência com 37 %, seguido de perto pelo corpo principal (CP) com 32 % da massa. Quando o material tem característica favorável ao processo é segregado de forma estratégica para que ocorra as devidas correções posteriores em pilhas futuras.

A lavra do minério liberado é destinado a pilha de ROM de acordo com sua similaridade.

14.3. Apresentação e Análise de Resultados

A global geradora de produto esta em 56% de ferro, com as metas de 62% de Fe no granulado, 62,5% de Fe no sinter, garantindo assim que as metas sejam cumpridas e não esta enviando material rico para a massa de finos (<0,150 mm).

$$\text{Global de Fe} = \frac{(Part. Gr \times Teor Fe Gr) + (Part. SF \times Teor Fe SF) + (Part. Finos \times Teor Fe Finos)}{(Part. Global (100\%))}$$

Part. = partição;

Gr = granulado;

SF = sinter feed;

Finos = < 0,150 mm;

Global = valor contido na alimentação;

Teor Fe = quantidade do elemento Fe em (%).

Para ilustrar temos que em uma poção empirica de 33% de cada partição e cumprindo a meta de 56% de global, aplicando a formula:

Substituindo temos: f = teor Fe finos.

$$0,56 = \frac{(33,33 \times 0,62) + (33,33 \times 0,625) + (33,33 \times \text{teor Fe finos})}{(100)}$$

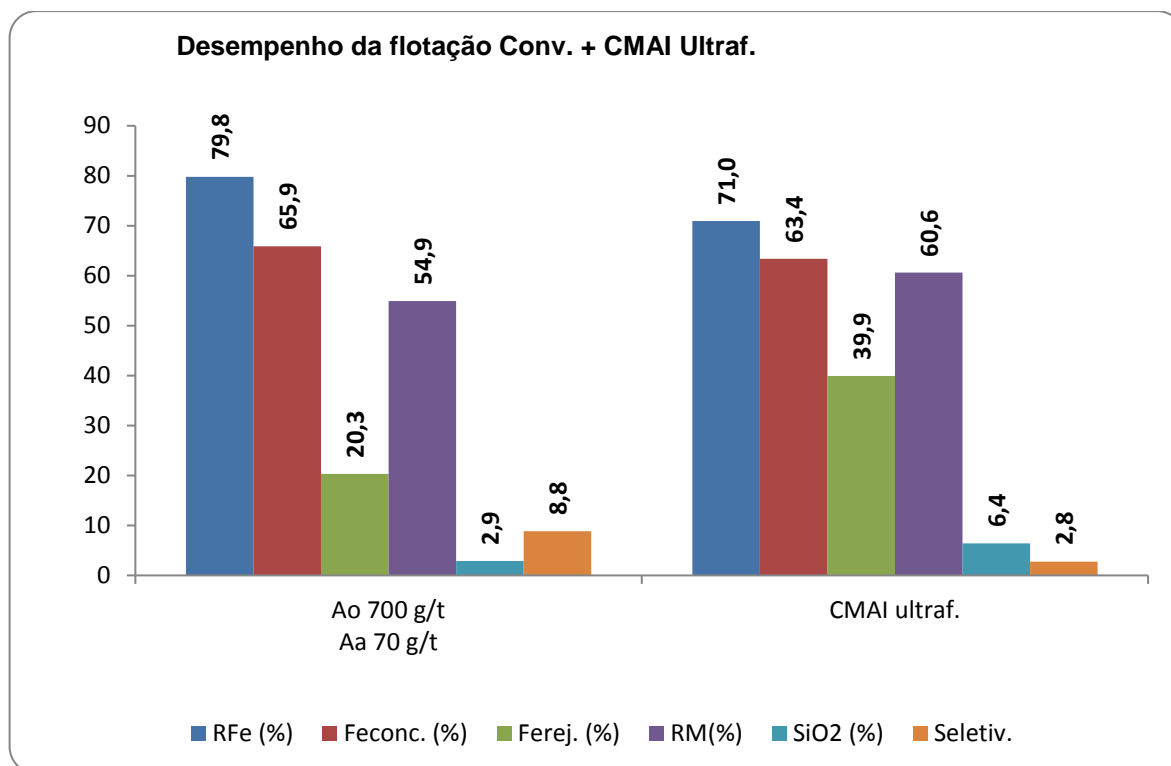
$$0,56 \times 100 = 20,67 + 20,83 + 33,33f;$$

$$33,33f = 56,00 - 20,67 - 20,83;$$

$$f = 14,5 / 33,33;$$

f = 0,435 em % se da em 43,5% de Fe nos finos para atender a meta.

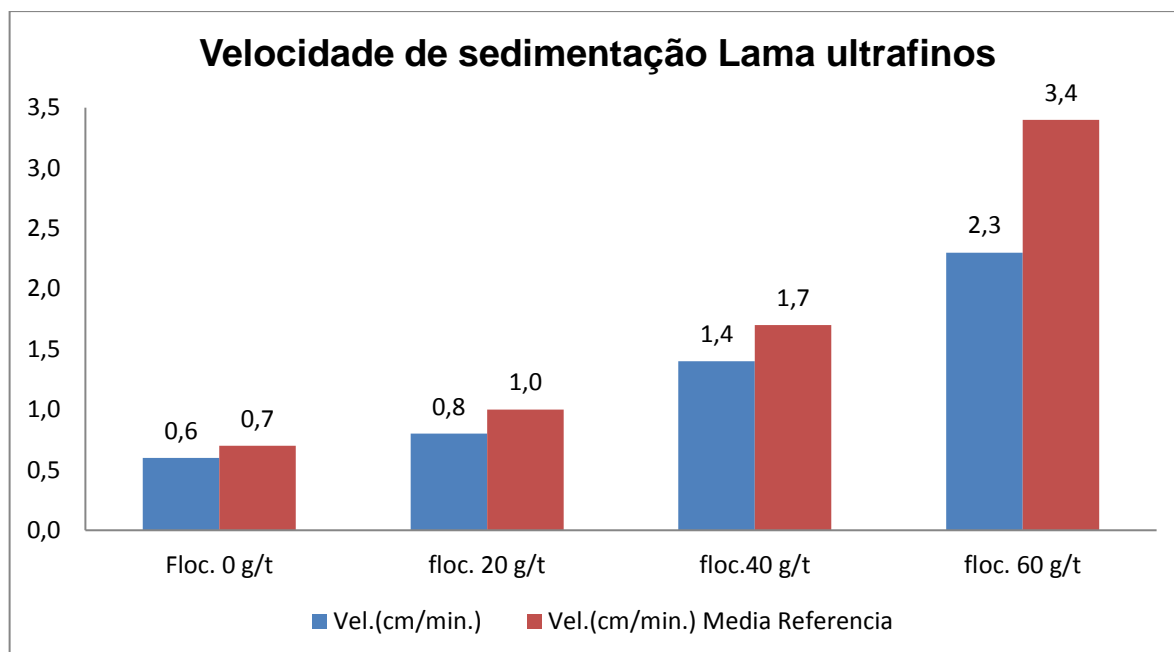
Figura 30 - Desempenho da Flotação Conv. E CMAI Ultrafinos



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

O gráfico acima mostra que os finos gerados a partir do ROM, apresentou resposta positiva a geração de produtos pelo método de concentração por flotação e Separação Magnética de Alto Campo. A recuperação se mostrou satisfatória, o teor de sílica no produto ficou com valor aceitável, a perda metálica no rejeito está dentro do especificado e o índice de seletividade também atendeu.

Figura 31 - Velocidade de Sedimentação da Lama Ultrafinos



Fonte: Arquivo pessoal,2018.

A velocidade de sedimentação esta abaixo do ideal, mostrando que e necessário ajustar características peculiares de sedimentação, e isto esta ocorrendo com todas as dosagens.

Tabela 7 - Desempenho Deslamagem

Desempenho da deslamagem			
Produto	Fe (%)	RM_Base finos (%)	RM_Base ROM (%)
AL desl.	46,64	100,0	54,6
UF conv.	45,35	59,8	32,7
OF conv.	48,56	40,2	21,9
UF ultraf.	54,15	18,6	10,1
OF ultraf.	43,76	21,6	11,8
RM global desl._Base finos (%)			78,4

Fonte: Arquivo pessoa,2018.

A deslamagem apresentou recuperação mássica Global agradável ao processo, descrito em 100% da massa de ferro que alimentou o processo 78,4% foi recuperada nos produtos e 21,6% foi perda do processo, valor aceitável para um ambiente tão robusto como beneficiamento por finos gerados.

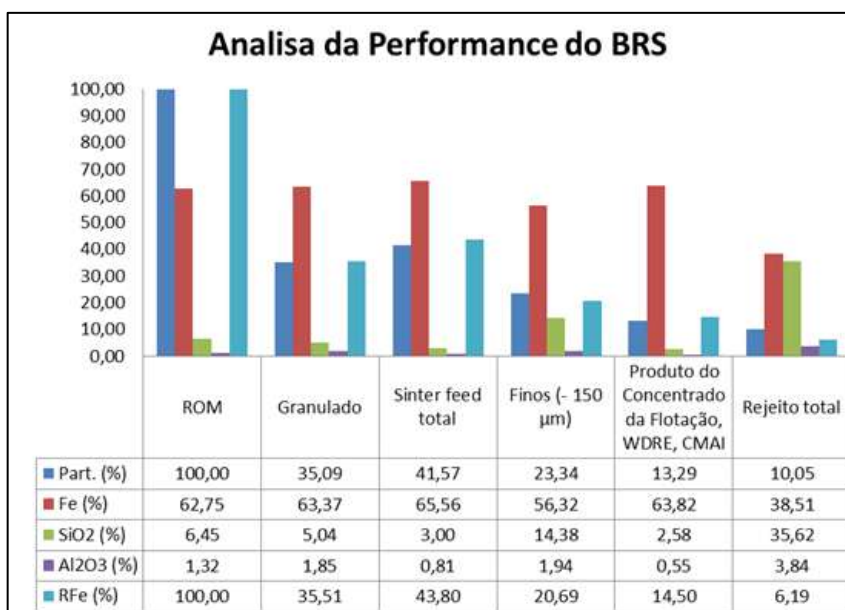
Tabela 8 - Perda (%) de Lama

Massa lama_Base finos (%)	21,6
Perda Fe lama_Base finos (%)	20,3
Perda Fe rej. Flot. Base finos (%)	11,7
Perda Fe rej. CMAI ultraf. Base finos (%)	6,3
Perda Fe total_Base finos (%)	38,3

Fonte: Arquivo pessoal,2018.

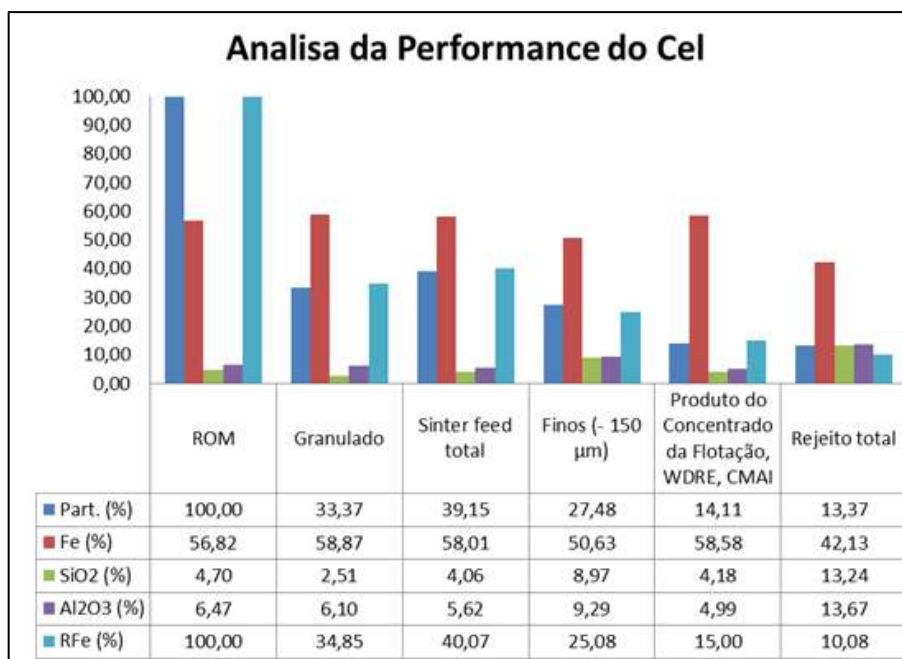
As perdas de Fe no processo como um todo esta em 38,3% da massa de finos alimentada no processo, um valor aceitável, mas demonstra ponto de alerta para avaliações de variação nos processos de concentração e classificação de finos afim de mapear os maiores motivadores para este índice, a perda por classificação na deslamagem demanda atenção.

Figura 32 - Análise da Performance do BRS



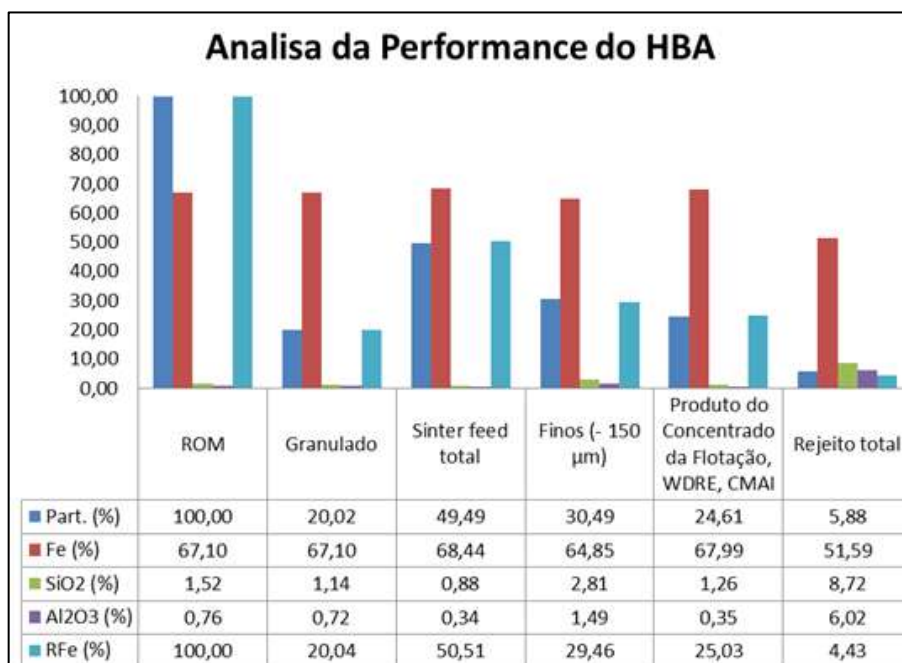
Fonte: Arquivo pessoal,2018.

Figura 33 - Análise da Performance do CEL



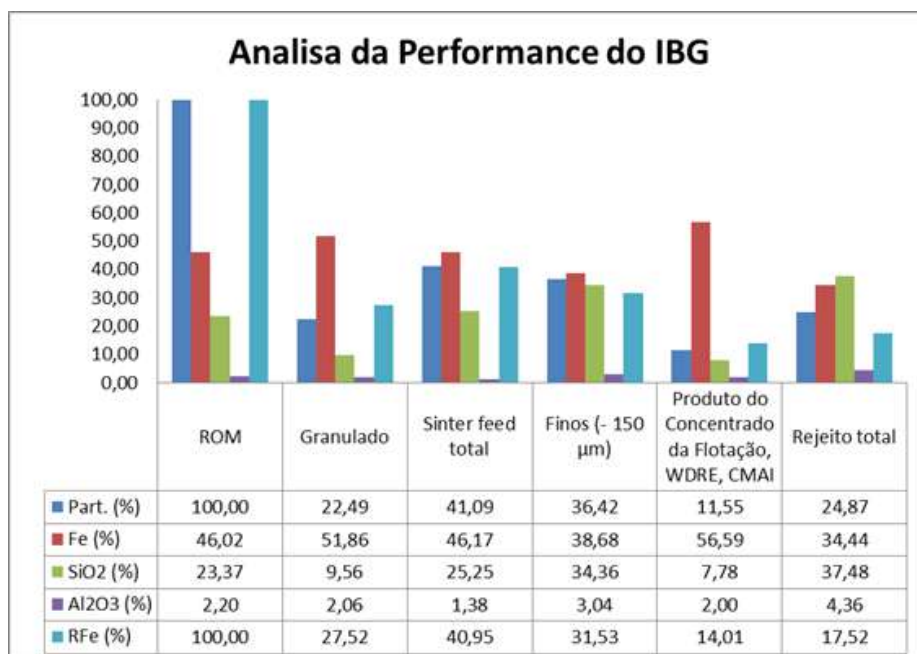
Fonte: Arquivo pessoal,2018.

Figura 34 - Análise da Performance do HBA



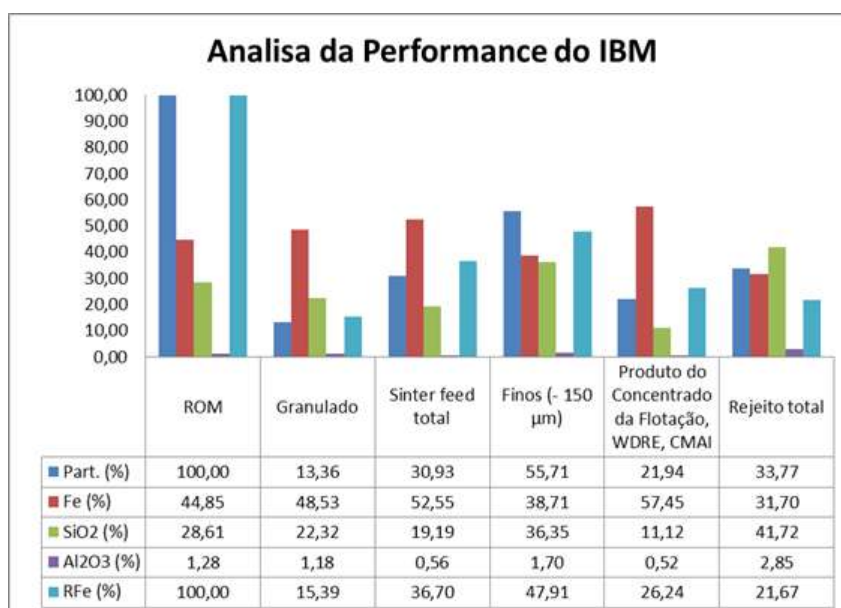
Fonte: Arquivo pessoal,2018.

Figura 35 - Análise da Performance do IBG



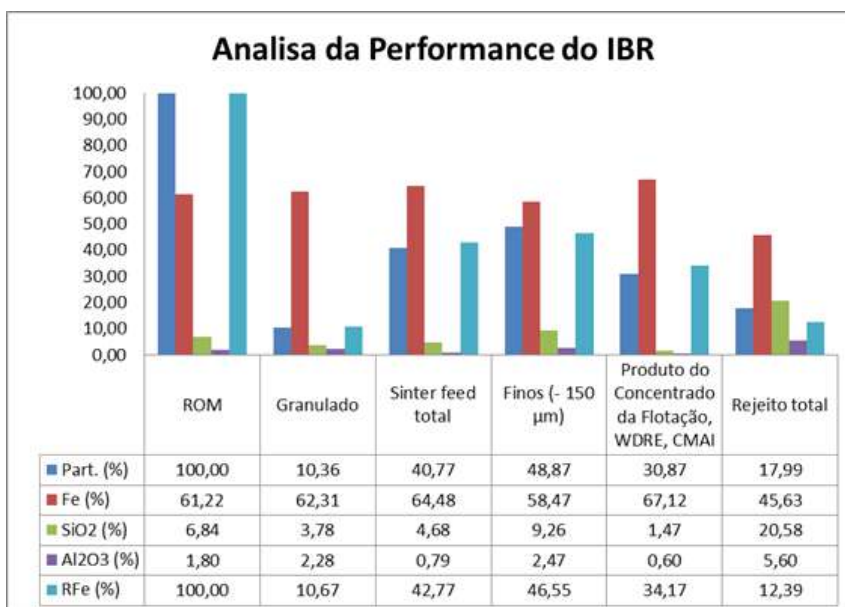
Fonte: Arquivo pessoal,2018.

Figura 36 - Análise da Performance do IBM



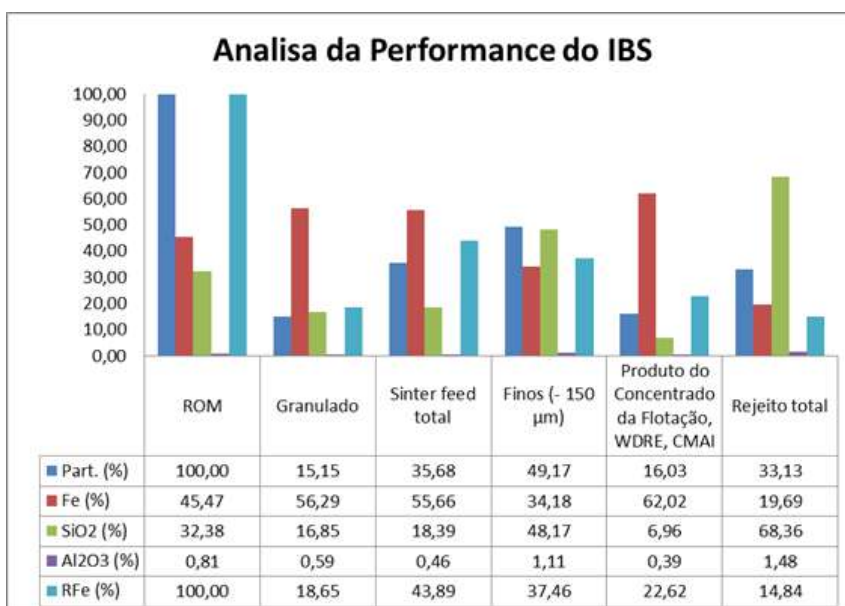
Fonte: Arquivo pessoal,2018.

Figura 37 - Análise da Performance do IBR



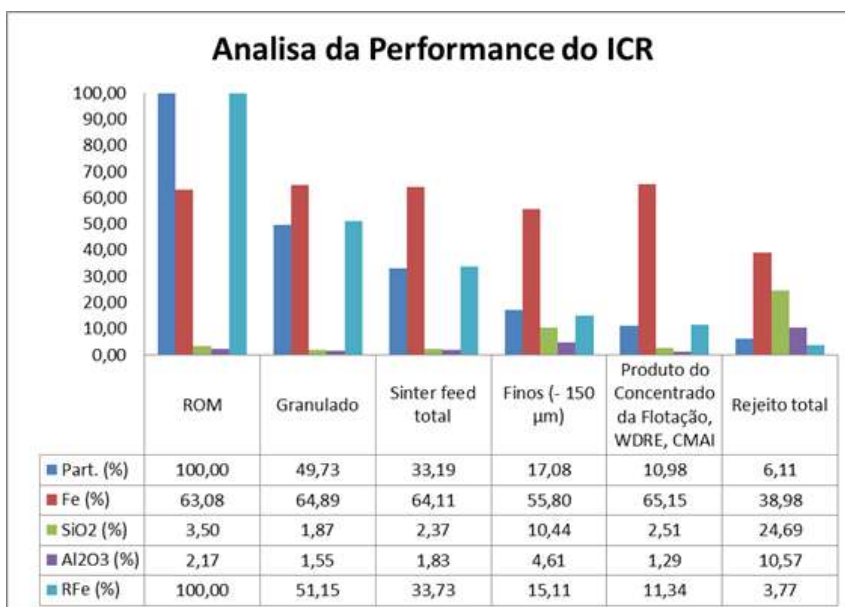
Fonte: Arquivo pessoal,2018.

Figura 38 - Análise da Performance do IBS



Fonte: Arquivo pessoal,2018.

Figura 39 - Análise da Performance do ICR



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

A respeito dos graficos das analises de Performance de cada litotipo, identificou que o ICR,CEL,BRS são favoraveis a geração de granulado; HBA,IBR,IBS,IBG,IBM são favoarveis a geração de sinter feed total e ocorre o corte em Fe >58% como minerio e < 58% minerio de oportunidade; geração de finos temos o HBA,IBR,IBS,IBG,IBM com geração de 41% a 86% de partição.

15.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração deste trabalho, vem compor o processo de aprendizagem iniciado em sala de aula, pois tive a oportunidade de adquirir novos conhecimentos e colocá-los em prática, vivenciando os ensinamentos ministrados em classe.

Um fator de destaque neste período de aprendizagem foi o grande profissionalismo e comprometimento demonstrado pelos professores que colaboraram para o meu amadurecimento intelectual, que não mediram esforços para me transmitirem seus conhecimentos lapidados ao longo de anos de experiência prática e teórica.

Diante desta complementação, fortalece a certeza de uma excelente escolha profissional, reforçando ainda mais os anseios de estar sempre buscando o crescimento pessoal e profissional, para que eu possa assim, auxiliar no desenvolvimento de novos processos.

Através dos dados existentes neste trabalho, demonstraram que a amostragem é um grande aliado do engenheiro, que tem como objetivo controlar e gerenciar da melhor forma possível o processo e buscar as interferências que podem impactar no resultado final.

Os dados estão descritos em planilhas, a visão de anomalias no processo pode não ser tão perceptível, e através dela, a uma visão direcionada ampla que nos mostra a performance do processo.

Neste trabalho a importância de cada processo é descrita de acordo com sua importância e não se dá por completo, sabendo que através deste controle é possível tratar várias situações no processamento mineral; tais como a formação de ROM característico para favorecimento de Produtos de mercado com baixo custo e alta produtividade, gerar informação ao plano de curto prazo, identificou a característica de geração dos principais litotipo, dentre outros.

Sendo assim conclui-se que o tratamento de dados se mostrou representativo para direcionar a formação de ROM que atenda o beneficiamento e desenvolva produtos de mercado, caracterizou as qualidades para as principais litologias. Ressaltou os pontos de atenção para o processamento do minério. Este trabalho não se dá por completo, mostra a complexidade da lavra e do beneficiamento do minério.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHIOSSI, Nivaldo Jose. **Geologia aplicada a engenharia**. 2.ed. São Paulo: Grêmio politécnico,1979.427p.il.(Universidade de São Paulo; Escola Politécnica).

ABREU, Sylvio Fróes. **Recursos minerais do Brasil**. Rio de Janeiro: Edgar Blucher, 1973. v. 2. 324 p.

BATISTA, Rodrigo Marcos Dias. **A importância das técnicas de amostragem, preparação e caracterização para qualidade do minério: estudo de caso da Mineradora Alfa**. Profª. Michele Cristina Rufino Barbosa. Conselheiro Lafaiete: [s.n.], 2011. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas)- Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete.

CHANGANANE, Arsénio Paulo. **Estudo dos parâmetros envolvidos da determinação da função benefício na mineração**. 2017. 89 p. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral- Escola de Minas- Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto 2017.

COSTA, Álvaro Gabriel Domingues; COSTA, Fabiano José Oliveira; BONFIOLI, Leonardo Esteves; RODRIGUES, Marcela Leocádio. **GEOLOGIA DE MINA NA SAMARCO MINERAÇÃO: UM SUPORTE AO PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO / CONTROLE DE QUALIDADE, COM ÊNFASE NO CONTROLE MINERALÓGICO E NA PREVISIBILIDADE DO COMPORTAMENTO DOS TIPOS DE MINÉRIO NO PROCESSO**. IN: Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, Ouro Preto, MG, 25 a 28 de novembro de 2001.n. 3, 2001. p. 1 – 9.

CURI, Adilson. **Lavra de Minas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 462 p.

CURI, Adilson. **Minas a céu aberto: planejamento de lavra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 223 p.

D'AVILA, Lindaura de Souza Cândido. **Influência das características do itabirito concentrado no desempenho do processo de sinterização**. 2015. 92 p.

Dissertação de Mestrado (Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas)- Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

DANA, James D. **Manual de mineralogia**; revisto por Cornelius S. Hurlbut, Jr., tradução de Rui Ribeiro Franco. Rio de Janeiro, livros técnicos e Científicos, 1978. 642p.v.2.

Fundação Instituto tecnológico do Estado de Pernambuco. **Tratamento de minérios e hidrometalurgia**: in memoriam Professor Paulo Abib Andery. **Recife**: ITEP, 1980. 399 p.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves. **Tratamento de minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 932 p.

MOREIRA, Wellington Ribeiro. **Lavra a Céu Aberto/ 08 a 10 de março de 2017**. Conselheiro Lafaiete. Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete. Apostila. 2017. 26 p.

ROMEIRO, Solange Bianco Borges (Prof.^a). **Química na Siderurgia/ Solange Bianco Borges Romeiro**. Porto Alegre: Área de Educação Química do Instituto de Química da UFRGS, 1997. (série química e tecnologia). Apostila. 1997. 39 p.

SILVEIRA, José Lanes. **Avaliação da capacidade de sinterabilidade do minério de ferro *sínter feed***: requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas. Conselheiro Lafaiete: [s.n.], 2016. 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas)-Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete. 2016.

TAKEHARA, L. **Caracterização geometalúrgica dos principais minérios de ferro brasileiros – fração *sínter feed***. 2004.403 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TOTOU, Adriano Raimundo. **Processamento mineral com foco no minério de ferro/ 07 de novembro de 2018**. Conselheiro Lafaiete. Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete. Apostila. 2018.5 p.

VALADÃO, George Eduardo Sales; ARAÚJO, Armando Corrêa de (Org.). **Introdução ao tratamento de minérios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 234 p.