



**ADILSON GERALDO DIAS**

**Melhoria da Previsibilidade da Programação de Produção baseado na Umidade do  
ROM e Taxa de Alimentação das Usinas de Mariana**

**Mariana, MG**

**2022**

**ADILSON GERALDO DIAS**

**Melhoria da previsibilidade da programação de produção baseado na Umidade do ROM e Taxa de Alimentação das usinas de Mariana**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Lavra de Minas a Céu Aberto

Área de concentração: Lavra de Minas a Céu Aberto

Orientadora: Janine Rodrigues Figueiredo, Dra.

**Mariana, MG**

**2022**

Título: **Melhoria da previsibilidade da programação de produção baseado na Umidade do ROM e Taxa de Alimentação das usinas de Mariana**

Classificação: ( ) Confidencial ( ) Restrita ( ) Uso Interno ( x ) Pública

**Informações Confidenciais** - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

**Informações Restritas** - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

**Informações de Uso Interno** - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

**Informações Públicas** - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D541m

Dias, Adilson Geraldo

Melhoria da previsibilidade da programação de produção baseado na umidade do ROM e taxa de alimentação das usinas de Mariana/ Adilson Geraldo Dias – Ouro Preto, MG: ITV, 2022.

74 f.: il.

Monografia (Especialização *latu sensu*) - Instituto Tecnológico Vale, 2022.

Orientador (a): Janine Rodrigues Figueiredo

1. Usina. 2. Umidade. 3. Pluviometria 4. Peneiramento 5. Execução da Mina 6. Limite de umidade I. Título

CDD. 23. ed. 622.2

**Adilson Geraldo Dias**

**MELHORIA DA PREVISIBILIDADE DA PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO  
BASEADO NA UMIDADE DO ROM E TAXA DE ALIMENTAÇÃO DAS  
USINAS DE MARIANA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Lavra de Minas a Céu Aberto].

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Janine Rodrigues Figueiredo

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 15 de junho de 2022 pela banca examinadora constituída pelos professores:

---

Janine Rodrigues Figueiredo  
Orientadora – Instituto Tecnológico Vale (ITV-Mi)

---

Giorgio Francesco Cesare de Tomi  
Membro externo – Universidade de São Paulo (USP)

---

Roberto Galery  
Membro externo – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).

## PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/1D4B-EAFA-D2D9-5A41> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/1D4B-EAFA-D2D9-5A41> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: 1D4B-EAFA-D2D9-5A41



### Hash do Documento

8E6485A8D1F3F0B51951B832AFCAE1A23C95F73ED0BD6909A388F19828CBF5C4

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 14/07/2022 é(são) :

Roberto Galery (Signatário) - em 12/07/2022 14:04 UTC-03:00

**Tipo:** Assinatura Eletrônica

**Identificação:** Por email: [rgalery@demin.ufmg.br](mailto:rgalery@demin.ufmg.br)

### Evidências

**Client Timestamp** Tue Jul 12 2022 14:04:00 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

**Geolocation** Latitude: -19.873792 Longitude: -43.9549952 Accuracy: 1373.5479212486537

**IP** 150.164.45.111

### Hash Evidências:

76386A73C16AB992A4A6312CD2F914231511809E9CFB0AEF5AE36ABFBE6C2463

Giorgio Francesco Cesare de Tomi (Signatário) - em 12/07/2022 10:58 UTC-03:00

**Tipo:** Assinatura Eletrônica

**Identificação:** Por email: [gdetomi@usp.br](mailto:gdetomi@usp.br)

### Evidências

**Client Timestamp** Tue Jul 12 2022 10:57:53 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

**Geolocation** Location not shared by user.

**IP** 177.103.254.93

### Hash Evidências:

11EB7DC02A07AF0CE5AC8F4F8DB672091CCF949467614ED52055ED534D92884C

Janine Rodrigues Figueiredo (Signatário) - em 28/06/2022 16:20 UTC-03:00

**Tipo:** Assinatura Eletrônica

**Identificação:** Por email: Janine.Figueiredo@itv.org

## Evidências

**Client Timestamp** Tue Jun 28 2022 16:19:52 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

**Geolocation** Latitude: -19.9092 Longitude: -43.9748 Accuracy: 14752

**IP** 201.17.210.60

### Hash Evidências:

AF00E440FF00E0FDA60E6666A216DC751A566A2AA0AD4EA8366BC80179DA08A1



À minha família,

Valéria, minha esposa

Aos meus filhos, Pablo e Pedro

Aos meus colegas e companheiros de  
curso

Aos professores e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo dom da vida. À minha família por ser a fonte de inspiração e motivação.

À minha esposa Valéria, aos meus filhos Pablo Miguel e Pedro Augusto por estarem comigo em todos os momentos.

Aos professores, que se propuseram ao ofício de ensinar e transmitir os seus conhecimentos para que eu pudesse mudar a forma de pensar e aplicá-los a meu favor e da sociedade. Especialmente a professora Janine Figueiredo, pelo tempo dedicado à Orientação deste TCC.

Aos colegas, parceiros de curso e a empresa Vale por justificarem a existência deste trabalho.

"Os rios não bebem sua própria água, as árvores não comem seus próprios frutos. O sol não brilha para si mesmo e as flores não espalham sua fragrância para si. Viver para os outros é uma regra da natureza. (...)

A vida é boa quando você está feliz; mas a vida é muito melhor quando os outros estão felizes por sua causa". Papa Francisco.

## RESUMO

A escassez de minério de ferro de alto teor acarreta a demanda por minérios de menor teor e dos tipos goethíticos e hidratados, sejam eles minério tal qual (*Run-Of-Mine*, ROM) ou provenientes de pilhas de minério, estocado numa época em que as exigências de qualidade não permitiam sua absorção no processo produtivo. A alimentação nas usinas de beneficiamento com estes minerais goethíticos e hidratados em maior proporção em massa pode comprometer o plano de produção, especificamente no peneiramento da britagem primária.

O teor de umidade elevado no minério de alimentação das usinas gera impactos negativos na produtividade, seja devido às características mineralógicas dos minérios do ROM ou da composição das pilhas de estéril revelado/estoques temporários, ou ainda pelos índices pluviométricos mais elevados. Para o correto estabelecimento da proporção em massa (grupo litológico) dos minerais na alimentação da usina, deve-se conhecer suas propriedades físicas e, principalmente, o seu peneiramento. Na indústria mineral, o peneiramento pode ser utilizado na separação por tamanho, desaguamento, deslamagem, concentração e outras combinações dessas aplicações, sendo o peneiramento do grupo litológico aspecto fundamental para o bom desempenho deste processo.

Em virtude das variações dos teores e dos tipos minério de ferro existentes no Complexo de Mariana, Vale S.A., os fluxogramas de processo das usinas de beneficiamento, especialmente das usinas Alegria e Fazendão, têm sofrido mudanças consideráveis. O processamento a seco, para produção de concentrado nomeado como fino-comum, apresenta-se como alternativa através de rotas simples, constituídas normalmente por britagem e peneiramento, sem a necessidade de processos de concentração e/ou adição de água.

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma melhoria na previsibilidade da programação de produção, baseada na determinação da umidade de minérios e grupos litológicos que compõem a alimentação das usinas. A partir dos resultados foram executados ensaios de peneiramento para melhor definir a proporção em massa dos minérios na alimentação da planta de IB-III no ano de 2022. Paralelamente, fez-se uma análise estatística dos dados de produção correlacionados com a umidade e índices pluviométricos históricos. Os estudos permitiram apontar as litologias prejudiciais ao processo de peneiramento.

**Palavras-chave:** Usina, ROM, Umidade, Pluviometria, Limite de Umidade Transportável, Peneiramento.

## ABSTRACT

Due to the scarcity of high-grade iron ores, goethitic and hydrated ores are increasingly used, whether in situ or coming from stockpiles in the period of low market acceptance. The application of these materials in greater proportion without an adequate blend lithologies, and at certain times of the year, can compromise the production plan.

Linked to these factors, there is the moisture in the ROM in the feeding of the Processing Plants, generating a very negative impact on productivity, whether due to the mineralogical characteristics of the ore types from the deposit or the composition of the waste piles / temporary stocks, and also to pluviometric indices.

In the case of the Mariana Complex, mainly in the Alegria and Fazendão Plants, the production scenario has undergone considerable changes, especially for a dry processing that generates products for which we call “fino-comum”. In this case, such products are obtained through simple routes, normally consisting of crushing and sieving, without the need for concentration and/or water addition processes.

Thus, the establishment of a blend of materials knowing their physical properties, especially their sievability, is essential for a good performance in the sieving process.

Due to variations in grades and types of iron ore existing in the Complexo Mariana, Vale S.A., the process flowcharts of the processing plants, especially the Alegria and Fazendão plants, have undergone considerable changes. The dry processing, for the production of concentrate named as “fino-comum”, presents itself as an alternative through simple routes, normally constituted by crushing and sieving, without the need for processes of concentration and/or addition of water.

In this context, this work presents an improvement in the predictability of the production schedule, based on the determination of the moisture content of ores and blends that make up the power plants. From the results, sieveability tests were carried out to better define the mass proportion of ores in the feed of the IB-III plant in the year 2022. At the same time, a statistical analysis of the production data correlated with the moisture content and historical rainfall indices.

**Keywords:** Processing Plant, Run of mine, Moisture, Pluviometry, Transportable Moisture Limit, Sieving.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Curva de peneiramento em função da umidade do material .....	06
<b>Figura 2</b> – Localização e Vias de Acesso.....	09
<b>Figura 3</b> – Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero.....	10
<b>Figura 4</b> – Coluna estratigráfica do Quadrilátero.....	11
<b>Figura 5</b> – Mapa geológico estrutural do Sinclinal Santa Rita.....	12
<b>Figura 6</b> – Mapa das Minas do Complexo Mariana.....	13
<b>Figura 7</b> – Vista Geral da Mina de Alegria.....	14
<b>Figura 8</b> – Vista Geral da Mina de Fábrica Nova.....	14
<b>Figura 9</b> – Vista Geral da Mina de Fazendão.....	15
<b>Figura 10</b> – Vista Geral da Mina de Capanema.....	16
<b>Figura 11</b> – Aterro em área de cava de mina.....	16
<b>Figura 12</b> – Pilha de estéril.....	17
<b>Figura 13</b> – Litologia Canga.....	17
<b>Figura 14</b> – Litologia laterita.....	18
<b>Figura 15</b> – Litologia rolado.....	19
<b>Figura 16</b> – Litologia Intrusiva (diques máficos) .....	19
<b>Figura 17</b> – Litologia brecha de falha.....	20
<b>Figura 18</b> – Litologia hematita.....	21
<b>Figura 19</b> – Litologia hematita compacta.....	21
<b>Figura 20</b> – Litologia hematita aluminosa.....	22
<b>Figura 21</b> – Litologia hematita goethítica.....	23
<b>Figura 22</b> – Litologia itabirito friável rico.....	23
<b>Figura 23</b> – Litologia itabirito friável.....	24
<b>Figura 24</b> – Litologia itabirito compacto.....	25
<b>Figura 25</b> – Litologia itabirito goethítico.....	25
<b>Figura 26</b> – Litologia itabirito argiloso rico.....	26
<b>Figura 27</b> – Litologia itabirito aluminoso.....	27
<b>Figura 28</b> – Litologia itabirito manganêsífero.....	27
<b>Figura 29</b> – Litologia filito – Gr. Caraça.....	28
<b>Figura 30</b> – Litologia quartzito – Fm. Cercadinho.....	29
<b>Figura 31</b> – Litologia quartzito – Fm. Moeda.....	30
<b>Figura 32</b> – Litologia Filito – Gr. Piracicaba.....	31

<b>Figura 33</b> – Fluxograma da Usina – IB-I.....	32
<b>Figura 34</b> – Fluxograma da Usina – IB-II.....	33
<b>Figura 35</b> – Fluxograma da Usina – IB-III.....	34
<b>Figura 36</b> – Fluxograma da Usina – IB-IV.....	34
<b>Figura 37</b> – Peneira sem fim (CPT).....	35
<b>Figura 38</b> – Fluxo de preparação das amostras para o teste de peneiramento.....	36
<b>Figura 39</b> – Mapa dos pontos de coleta das amostras na Mina de Fazendão.....	39
<b>Figura 40</b> – Mapa dos pontos de coleta das amostras na Mina de Alegria.....	41
<b>Figura 41</b> – Mapa dos pontos de coleta das amostras na Mina de Fábrica Nova.....	43
<b>Figura 42</b> – Acondicionamento das amostras enviadas ao laboratório de Miguelão .....	43
<b>Figura 43</b> – Fotomicrografias da caracterização mineral das amostras.....	55
<b>Figura 44</b> – Curvas de peneiramento dos grupos de amostras.....	56

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Percentual litológico na alimentação da Usina de IB-II no ano de 2022.....	37
<b>Tabela 2</b> – Percentual litológico na alimentação da Usina de IB-III no ano de 2022.....	37
<b>Tabela 3</b> – Percentual litológico na alimentação da Usina de IB-IV no ano de 2022.....	38
<b>Tabela 4</b> – Amostras selecionadas para os ensaios de peneiramento (%) .....	44
<b>Tabela 5</b> – Grupos litológicos considerado nos ensaios de peneiramento (%) .....	45
<b>Tabela 6</b> – Dados de Produção das Usinas de Alegria.....	47
<b>Tabela 7</b> – Dados de Produção das Usinas de IB-IV.....	47
<b>Tabela 8</b> – Dados Estatísticos de Umidade dos Produtos (Fino-Comum) das Usinas de Alegria e Fazendão.....	48
<b>Tabela 9</b> – Lista dos materiais considerados hidratados nas minas do Complexo Mariana.....	51
<b>Tabela 10</b> – Resultados Químicos das Amostras Analisadas.....	52
<b>Tabela 11</b> – Análise granulométrica do material passante em 40mm.....	53
<b>Tabela 12</b> – Teores das amostras na fase de grupos.....	53
<b>Tabela 13</b> – Distribuição granulométrica das amostras na fase de grupos.....	53
<b>Tabela 14</b> – Resultados da Análise Mineralógica.....	54
<b>Tabela 15</b> – Resultados do Teste de Peneiramento.....	56

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Precipitação Pluviométrica acumulada nos anos de 2017 até 2020.....	46
<b>Gráfico 2</b> – Produção acumulada nos anos de 2017 até 2020.....	47
<b>Gráfico 3</b> – Percentual Litológico na Alimentação das Usinas de IB2/IB3 nos anos de 2018 e 2021.....	49
<b>Gráfico 4</b> – Percentual Litológico na Alimentação da Usina de IB-IV nos anos de 2018 e 2021.....	49
<b>Gráfico 5</b> – Umidade por Litologia de minério/estéril.....	50
<b>Gráfico 6</b> – Variação da umidade por Litologia de minério ao longo do ano.....	50
<b>Gráfico 7</b> – Percentual por tipo de material hidratado na alimentação das Usinas de Alegria e Fazendão.....	52

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AT – Aterro  
BRT – Brecha  
CG – Canga  
CLI – Classificação Litológica  
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
CPT – Centro de Pesquisas Tecnológicas Vale  
DS – Desenvolvimento Sustentável  
FL – Filito  
GAD – Gandarela  
GN – *Gnaisse*  
HAL – Hematita Aluminosa  
HC – Hematita Compacta  
HE-HF – Hematita  
HGO – Hematita Goethítica  
IAL – Itabirito Argiloso  
IAR – Itabirito Argiloso Rico  
IB-I-II-III-IV – Usinas de Beneficiamento  
IC – Itabirito Compacto  
IDO – Itabirito Dolomítico  
IF – Itabirito Friável  
IFR – Itabirito Friável Rico  
IGO – Itabirito Goethítico  
IMN – Itabirito Manganêsífero  
IN – Intrusivas  
ITV – Instituto Tecnológico Vale  
LT – Laterita  
MC – Minas Caraça  
MP – Minas Piracicaba  
PI – Pilha  
QT – Quartzito  
RA – Rolado Argiloso  
ROM – Run Of mine  
RR – Rolado Rico  
TML - *Transportable Moisture Limit* (Limite Umidade Transportável)  
UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto  
XI – Xisto

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
2.1	Objetivo Geral.....	4
2.2	Objetivos Específicos .....	4
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
3.1	Peneiramento .....	5
3.2	Pilhas de Minério: Programação e Reconciliação .....	8
<b>4</b>	<b>DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....</b>	<b>9</b>
4.1	Localização e vias de acesso.....	9
4.2	Geologia Regional.....	9
4.3	Geologia Local.....	11
4.4	Litologias de Minério e Estéril do Complexo Mariana.....	16
4.5	Beneficiamento do Minério .....	31
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>35</b>
5.1	Análise do banco de dados .....	35
5.2	Teste de Peneiramento.....	35
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>46</b>
6.1	Influência de fatores climáticos na umidade do rom .....	46
6.2	Influência Sazonal da Umidade nos tipos de Minério / Produtos.....	49
6.3	Composição do ROM na alimentação das usinas .....	51
6.4	Teste de Peneiramento.....	52
6.4.1	Análise Mineralógica .....	54
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A maioria dos depósitos de minério de ferro brasileiros apresenta estrutura complexa e variada, devido às diferentes condições de intemperismo e metamorfismo a que foram submetidos ou em virtude de sua gênese. Dessa forma, originaram-se minérios de ferro com diferentes constituintes mineralógicos, tamanhos, morfologia dos cristais, porosidade, umidade, formas e superfícies das partículas, texturas e cores variadas. O conhecimento destas propriedades físicas é fundamental na determinação dos fluxogramas de beneficiamento do minério.

Dentre estas propriedades, a umidade relaciona-se à composição físico-química do mineral, de tal modo que o aumento do teor de água está condicionado pela diminuição do tamanho das partículas, aumento da área superficial e volume dos poros existentes na rocha. Em função destes fatores, é necessário definir a umidade que irá compor o *Run of Mine* (ROM), seja devido a água presente na estrutura cristalina do mineral (minerais hidratados, por exemplo minérios goethíticos) ou associado ao seu grau de porosidade.

Com a escassez de minérios hematíticos com alto teor de ferro, tem-se buscado o aproveitamento de recursos minerais agregando-se minérios anteriormente considerados como estéreis. Em virtude do seu elevado teor de contaminantes, principalmente, fósforo e alumina. Atualmente, estes materiais têm sido utilizados para compor os grupos litológicos, ou proporção em massa, em conjunto com minérios mais puros, a serem alimentados nas usinas de beneficiamento. Adicionalmente, a utilização de minérios hidratados, com maior umidade, e maior porcentagem de finos (argilominerais) no ROM têm aumentado substancialmente nos últimos anos, gerando dificuldades no beneficiamento. Pois, tais materiais são mais aderentes à parede do britador ou às telas das peneiras, o que sobrecarrega o circuito ou gera paradas de produção.

A proporção em massa é definida então de modo a atingir a qualidade especificada para os produtos finais do beneficiamento de acordo com a programação de produção. Para o correto estabelecimento da proporção em massa dos minerais na alimentação da usina, deve-se conhecer, principalmente, o seu peneiramento em função da umidade. Deste modo, o controle ou a previsibilidade da umidade da matéria prima a ser alimentada na usina de beneficiamento associa-se diretamente à qualidade da porcentagem litológica e, conseqüentemente, à produtividade do processo.

Um outro fator condicionante para a qualidade do grupo litológico é o conhecimento da umidade natural do minério proveniente dos períodos chuvosos. Neste contexto, algumas litologias que compõem o ROM podem absorver maior umidade, comprometendo a sua utilização em proporções inadequadas às etapas de beneficiamento, necessitando assim estabelecer-se uma mistura em proporções previamente estabelecidas por meio de estudos laboratoriais.

Por outro lado, a umidade do minério tem implicações econômicas por afetar prejudicialmente a produção e o manuseio dos produtos durante o transporte e armazenamento (pilhas e pátios de carregamento), além de comprometer as operações de descarregamento no porto e a segurança dos navios cargueiros atentando ao limite de umidade transportável (TML - *Transportable Moisture Limit*).

O TML de minério de ferro é uma realidade regulatória que passou a vigorar no dia a dia das operações de transporte em navios. Tanto o planejamento dos produtos quanto as operações de embarque devem levar em consideração o atendimento a este parâmetro de segurança (Ferreira et al., 2016).

Além disso, a determinação da umidade de um lote de minério de ferro é regulamentada pela norma técnica NBR ISO 3087:2011. Entretanto, a rotina de determinação da umidade exige considerável tempo para determinação, o que retarda sobremaneira o embarque do material.

No Brasil, para auxiliar os embarcadores neste novo cenário de exigências, foi publicada em 2014 a norma ABNT NBR 16317:2014 - Minérios de Ferro - Procedimentos para Controle de Umidade nos Portos do Brasil para Segurança no Transporte Marítimo de Carga [23], iniciativa do IBRAMCONIM que especifica as melhores práticas a serem adotadas.

Atualmente, o minério de ferro embarcado no porto da Vale apresenta em média 9,5% de umidade (ITV, 2021). Valores de umidade, acima do TML estabelecido por padrões internacionais, são determinantes para permitir ou não o carregamento do minério. O Valemax, maior navio mineraleiro do mundo, é capaz de transportar 400 mil toneladas por viagem. Nota-se, que nas condições de umidade adotadas pela Vale, no total 38 mil toneladas de água são embarcadas no navio juntamente com o minério, seguindo para clientes em diversas partes do mundo (ITV, 2017).

Portanto, o minério de ferro é comercializado em função de dois fatores: teor de ferro e umidade. Sobre o preço podem ser aplicadas deduções pela presença de contaminantes como a sílica, alumina e fósforo, quando excedem o teor limite de

contaminantes. Assim, como a valorização do produto pela qualidade do minério de ferro (CUNHA, 2016 apud AGUIAR, 2019).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é estudar uma proporção em massa, porcentagem litológica ideal, das litologias de minério que alimentam a Usina de IB-III na Mina de Alegria, no Complexo Mariana. A fim de garantir uma melhor previsibilidade do comportamento destes materiais no processo de beneficiamento e consequente ganho de produtividade. Este porcentual litológico deverá ser compatível, bem como direcionador das massas apontadas pelo plano de lavra que integra o cronograma de planejamento de lavra no ano de 2022.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Para atender o objetivo geral as seguintes etapas individuais serão realizadas:

- Realizar testes de peneiramento variando-se a proporção em massa (porcentagem litológica) e a umidade, considerando o planejamento de lavra de 2022 na alimentação da Usina IB3, Mina de Alegria;
- Analisar as informações integradas das pilhas produzidas durante os últimos 5 anos de operação com os índices pluviométricos e a umidade dos produtos da usina;
- Comparar e avaliar os resultados dos testes de peneiramento para uma melhor previsibilidade da porcentagem litológica ideal para o cenário futuro de produção.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir serão apresentados conceitos sobre o peneiramento como etapa do processamento mineral, e aspectos sobre a influência da umidade neste processo. Adicionalmente, são apresentados conceitos técnicos sobre a composição de pilhas para alimentação do beneficiamento.

#### 3.1 Peneiramento

O peneiramento é um dos métodos mais antigos na área de processamento mineral e, até hoje, é usado com aplicação comprovada numa variedade de indústrias e nas mais diferentes áreas. Na indústria mineral, o peneiramento pode ser utilizado na separação por tamanho, no desaguamento, na deslamagem, na concentração e em muitas outras combinações dessas aplicações (NUNES FILHO, 2017).

O peneiramento, como método de separação por tamanho, apresenta como objetivo a separação de um certo material em duas ou mais frações, com partículas de tamanhos geométricos distintos. O material é classificado conforme seu comportamento em relação ao tamanho da abertura da peneira, sendo classificado como retido (*oversize*) na tela da peneira quando seu tamanho é maior que a abertura da tela; e como material passante (*undersize*) quando seu tamanho é menor que a abertura da tela (LUZ, 2010).

Entende-se por eficiência de peneiramento,  $E$  (%), a relação entre a quantidade de partículas menores que a abertura da tela de peneiramento que passam por ela,  $P$  (t/h), pela porcentagem destas partículas,  $a$  (%), presentes na alimentação,  $A$  (t/h), conforme Equação 1 (CORREIA. J.C.G, CETEM/MCT, 2010):

$$E = \frac{P}{aA} * 100 \quad (1)$$

Utiliza-se esse parâmetro para expressar a avaliação do desempenho da operação de peneiramento, em relação a separação granulométrica ideal desejada. Industrialmente, a eficiência de peneiramento situa-se entre 80 e 90%, atingindo em alguns casos 95% (CORREIA. J.C.G, CETEM/MCT, 2010).

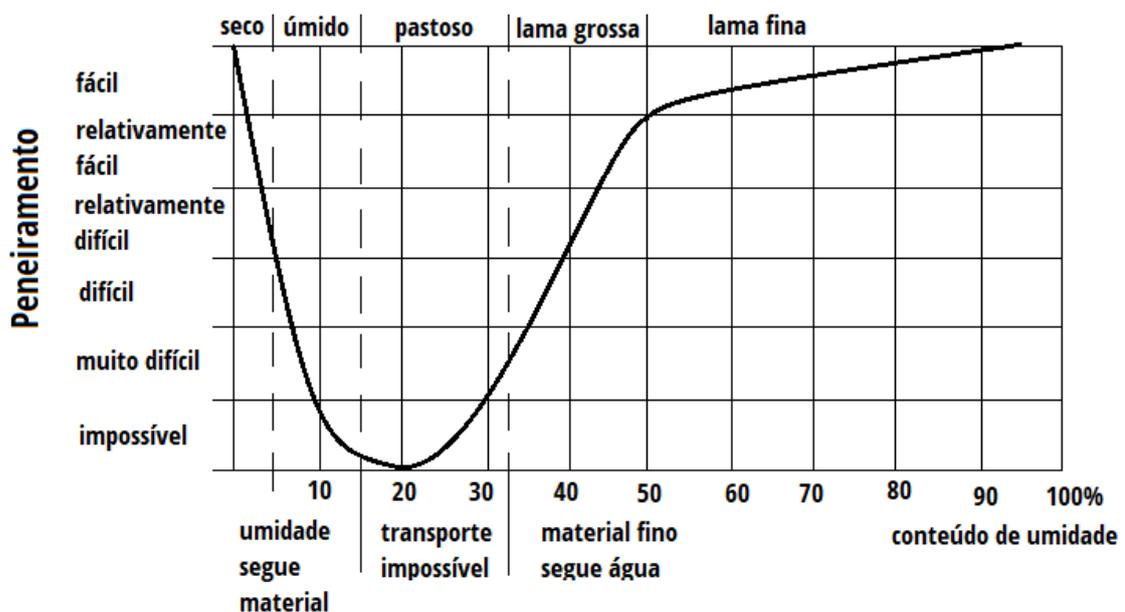
O peneiramento pode ser feito a seco, quando efetuado com o material na sua umidade natural, sem adição de qualquer quantidade de água, ou sem a necessidade de

secagem. Ou pode ser feito em meio aquoso, ou a úmido, quando o material é alimentado na forma de uma polpa ou recebe água adicional através de sprays convenientemente dispostos sobre os *decks* de peneiramento (CHAVES, 2009), com o propósito de facilitar a passagem dos finos através da tela de peneiramento (LUZ, 2010).

O peneiramento de minério a seco ou com excesso de água (baixa porcentagem de sólidos) é relativamente fácil. Contudo, a execução do processo sob baixa umidade, como 2% ou 3%, já podem causar graves problemas. Em particular, o peneiramento de materiais como argila, fertilizantes e alguns produtos químicos, que têm baixíssima tolerância à umidade, tornam mais difícil o processo de tamisação. Em geral, quanto menor a abertura das peneiras, menor é a umidade deletéria à eficiência de classificação.

Segundo Chaves (2012), umidade ou teor de água é a relação da quantidade de água presente no sólido pela massa de sólidos seca. Portanto, a quantidade de água presente entre as partículas sólidas alimentadas no ROM definirá o comportamento destas partículas em relação ao peneiramento. Pela Figura 1, a umidade indicará se é mais fácil ou impossível do material ser peneirado.

Figura 1 – Curva de peneiramento em função da umidade do material.



Fonte: (Vale, s.n.t).

Na Figura 1 pode-se observar o efeito da umidade no peneiramento, onde é possível verificar que a realização do peneiramento é possível de acontecer até umidades de 4% a 5%, ou seja, com material relativamente seco. Ou acima de 43%, com adição de grande quantidade de água (CHAVES, 2013).

Segundo Nunes Filho (2017), o desempenho do peneiramento conduzido sob umidade natural pode ser afetado por duas principais razões. A primeira é o fenômeno de cegamento das peneiras, causado pelas partículas úmidas e muito finas que aderem progressivamente aos fios da malha de peneiramento, em especial nos cantos, até atingir um limite que veda completamente a abertura, impedindo a passagem do minério. A segunda razão é o efeito da cobertura de partículas aderidas umas às outras, causando um efeito de cimentação, que prejudica a passagem de minério pela abertura. Os principais impactos gerados pela baixa eficiência do peneiramento podem ser traduzidos no aumento da carga circulante e/ou a migração de finos para o *oversize*.

Os equipamentos utilizados no peneiramento podem ser divididos em três tipos, o primeiro constituído pelas grelhas formadas por barras metálicas dispostas paralelamente, mantendo um espaçamento regular entre si; o segundo representado pelos crivos, os quais são formados por chapas metálicas planas ou curvas, perfuradas por um sistema de furos de várias formas e dimensão definida; por último e mais usual, as peneiras formadas por telas constituídas geralmente por fios metálicos ou outros tipos de materiais (por exemplo poliuretano) trançados em duas direções ortogonais, de forma a deixarem entre si malhas ou aberturas de dimensões conhecidas, podendo estas serem quadradas ou retangulares.

No peneiramento de minério de ferro é comum utilizar peneiras vibratórias, consideradas equipamentos secundários ou equipamentos auxiliares. Seja pelo menor custo de investimento de capital (*Capital Expenditure* - CAPEX), menores custos operacionais (*Operational Expenditure* - OPEX) ou complexidade técnica. Comparativamente aos equipamentos principais, tais como britadores, moinhos de bola e as células de flotação. No entanto, esta perspectiva da peneira como equipamento secundário, sem a sua devida importância pode resultar no comprometimento produtivo de todo o projeto (NUNES FILHO, 2017).

### 3.2 Pilhas de Minério: Programação e Reconciliação

A formação do *Run Of Mine* (ROM) processado nas instalações de beneficiamento do Complexo Mariana obedece ao percentual litológico estipulado pelo plano de lavra e respeita as proporções de cada material minério, sendo feitas programações diárias de acordo com a capacidade produtiva.

Na composição das pilhas pode ocorrer a recirculação de materiais, tais como o *oversize* e/ou proveniente de pilhas de estoque de itabirito.

Neste processo de formação das pilhas, as massas correspondentes a cada litologia são transportadas até a praça de alimentação da usina de beneficiamento, sendo dispostas geralmente em duas baias, uma chamada baia rica e outra baia pobre, de forma que durante a retomada sejam propostas porcentagens de retomada definidas de acordo com os resultados apurados ao longo da produção. Não existe, portanto, uma pilha de homogeneização a fim de reduzir a variabilidade de teores.

Diariamente são acompanhados os resultados dos produtos gerados das pilhas em função do ROM alimentado nas usinas, que tem por base o percentual litológico estabelecido no plano mensal e/ou semanal de lavra. Abaixo, segue os tipos de produtos com rendimento em massa de 100%, a saber:

Mina de Alegria:

FCB3AG – Fino comum de IB3

FCB2AG – Fino comum de IB2

NPB3AG- *Oversize* de IB3

Mina de Fazendão:

FCB4FZP – Fino comum de IBIV

NPB4FZP – *Oversize* de IBIV

Nas Usinas de IB3 e IB4 o *oversize* é todo o material retido na peneira de 16mm, e o fino comum é todo material passante pela malha de 8mm do peneiramento. A faixa intermediária gera o *Natural Pellet*.

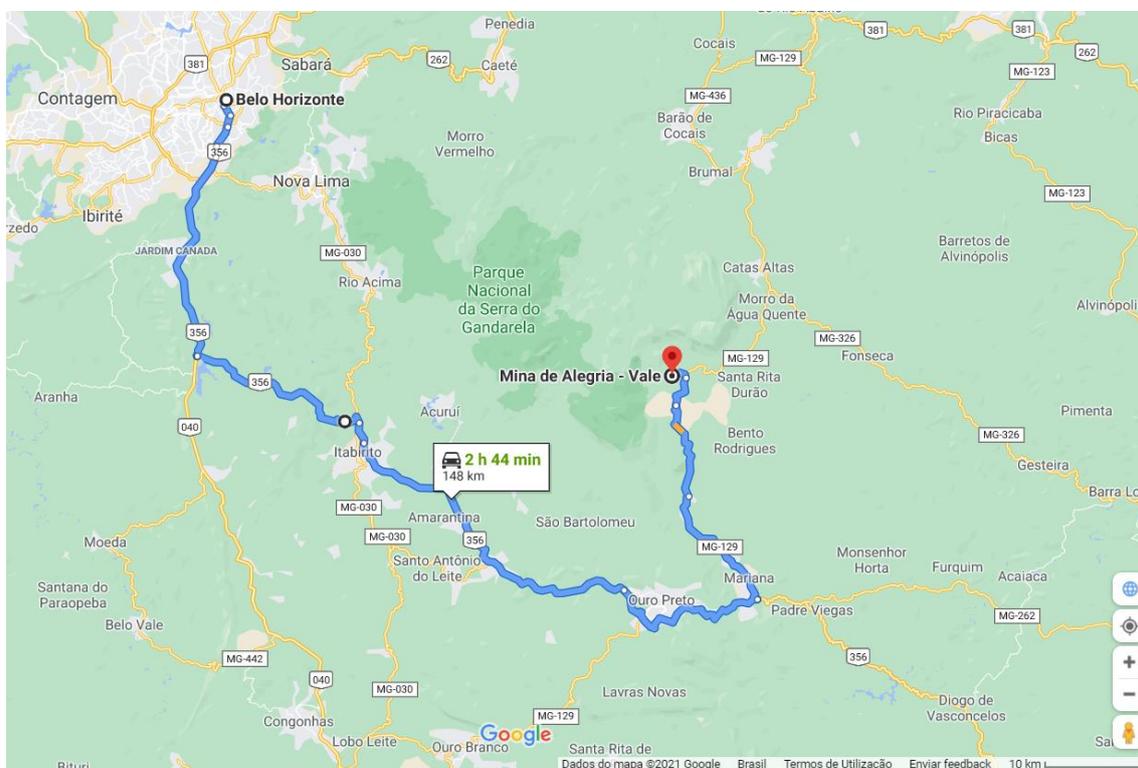
## 4 DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

### 4.1 Localização e vias de acesso

O Complexo Mariana está localizado no estado de Minas Gerais, entre os municípios de Ouro Preto, Mariana e Catas Altas a cerca de 140km de Belo Horizonte, na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero. Este é composto pelas minas de Alegria, Fábrica Nova, Fazendão e Capanema.

A principal via de acesso dá-se pela MG-129 que liga Mariana à Santa Bárbara, e está há, aproximadamente, 157 Km da capital Belo Horizonte.

Figura 2: Localização e Vias de Acesso.



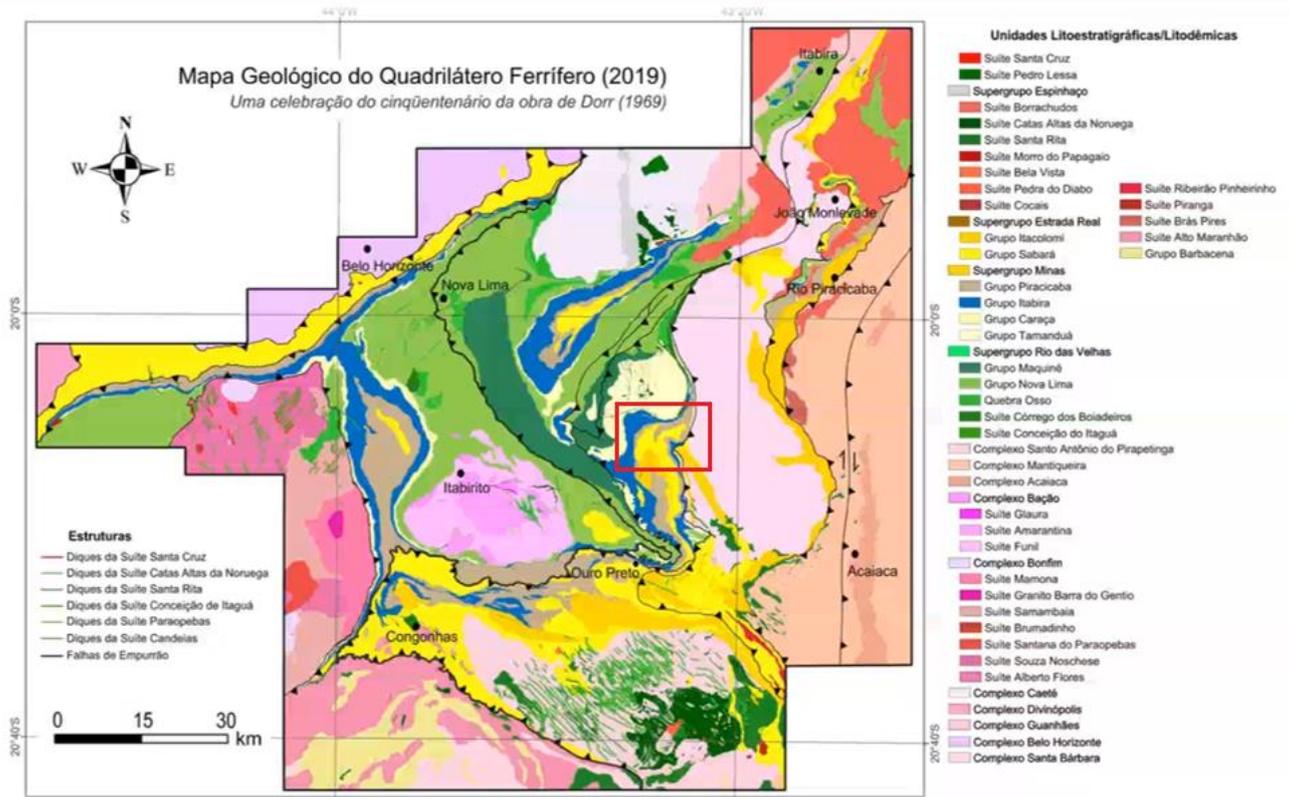
Fonte: MapsGoogle (2021).

### 4.2 Geologia Regional

A região do Quadrilátero Ferrífero (QFe), situada no estado de Minas Gerais, é considerada umas das mais importantes províncias minerais do mundo, com importantes depósitos de ferro, ouro e manganês. As grandes jazidas de minério de ferro no QFe estão contidas em rochas metamórficas pré-cambrianas, sendo a Formação Cauê, de idade paleoproterozóica, a que oferece maior interesse econômico, devido aos seus

importantes depósitos ferríferos de elevado teor e pureza. Considerada uma região de grande complexidade estrutural, o QFe é alvo de inúmeras pesquisas (DORR, 1969; CHEMALE et al., 1994; ALKMIM & MARSHAK, 1998), o que faz com que muitas de suas interpretações geológicas estejam em constante transformação (Figura 3).

Figura 3 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero.

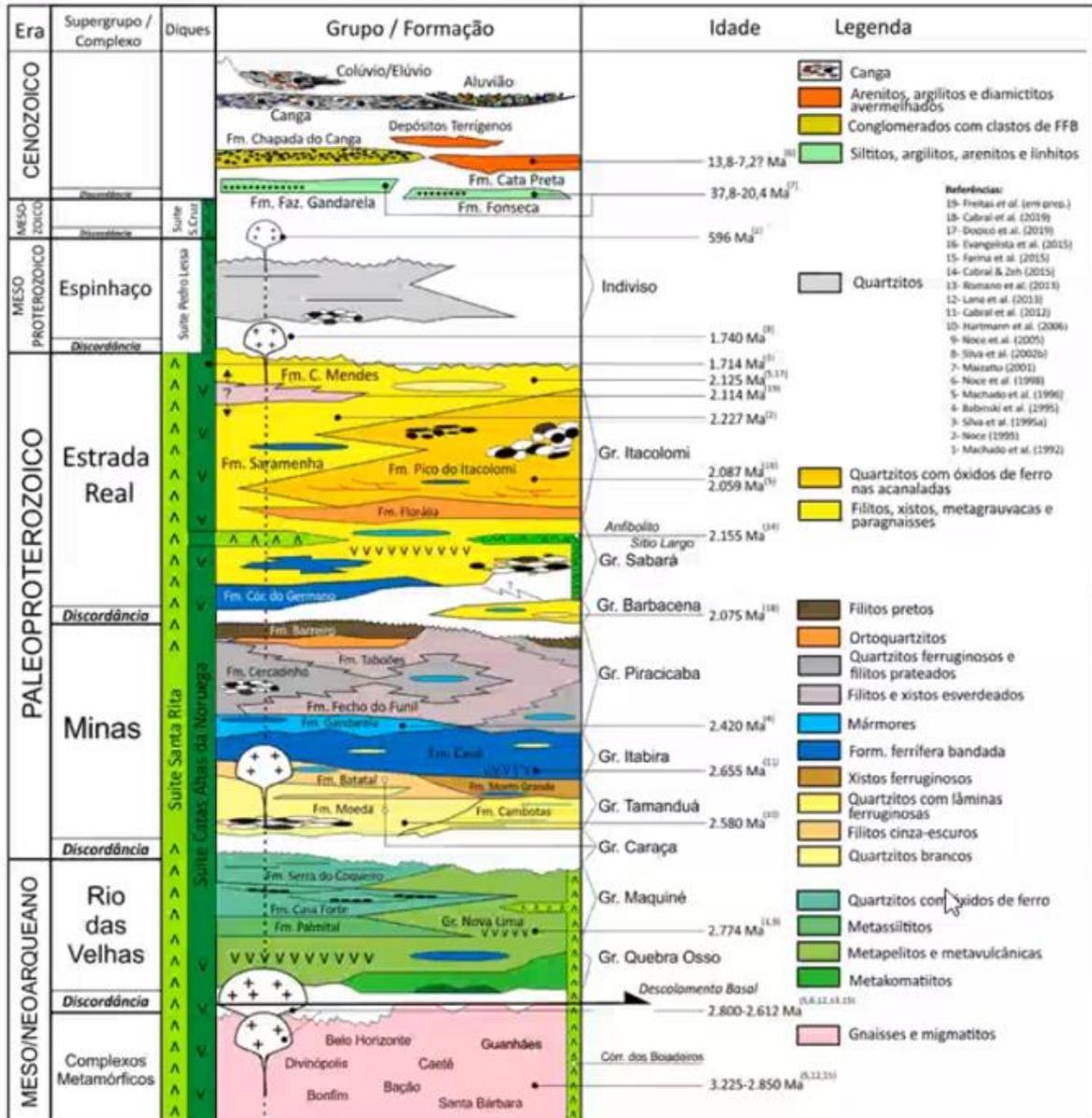


Fonte: Endo et al. (2019).

A principal estrutura geológica na região do complexo Mariana é caracterizada pelo sinclinal Santa Rita, uma megaestrutura caracterizada como uma dobra de escala sub-regional de direção axial NW-SE com raízes no embasamento adjacente do Complexo Santa Bárbara e seccionada pela falha de Água Quente. Os flancos são subparalelos e no flanco inverso as unidades estratigráficas são menos espessas que a sua contraparte do flanco normal situado a oeste. No núcleo ocorrem xistos, filitos e quartzitos ferruginosos pertencentes aos grupos Piracicaba e Sabará. A atitude em relação ao eixo principal do sinclinal Santa Rita ainda é objeto de discussão, obedecendo ao modelo tectônico proposto por Endo et al. (2019).

Na Figura 4 tem-se a sucessão estratigráfica das Unidades pertencentes ao Quadrilátero Ferrífero.

Figura 4 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.

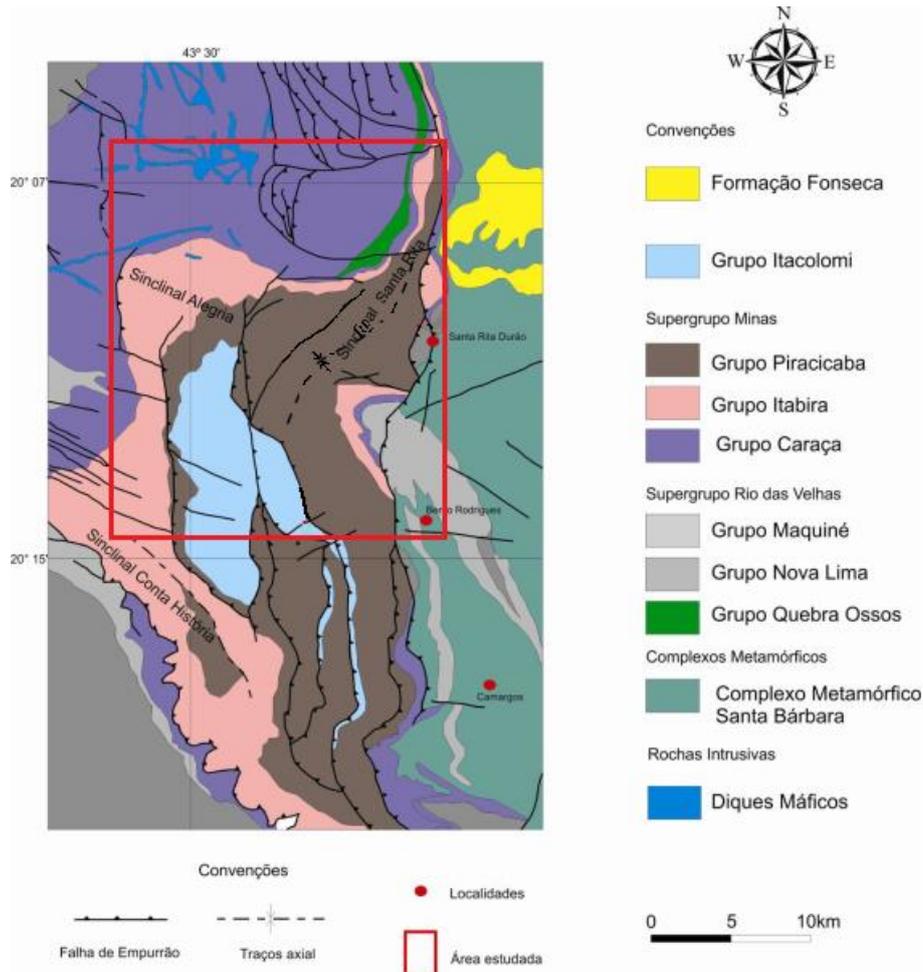


Fonte: Endo et al. (2019).

### 4.3 Geologia Local

A Figura 5 apresenta o arcabouço estrutural/estratigráfico da geologia do Complexo Mariana (ROSSI, 2014).

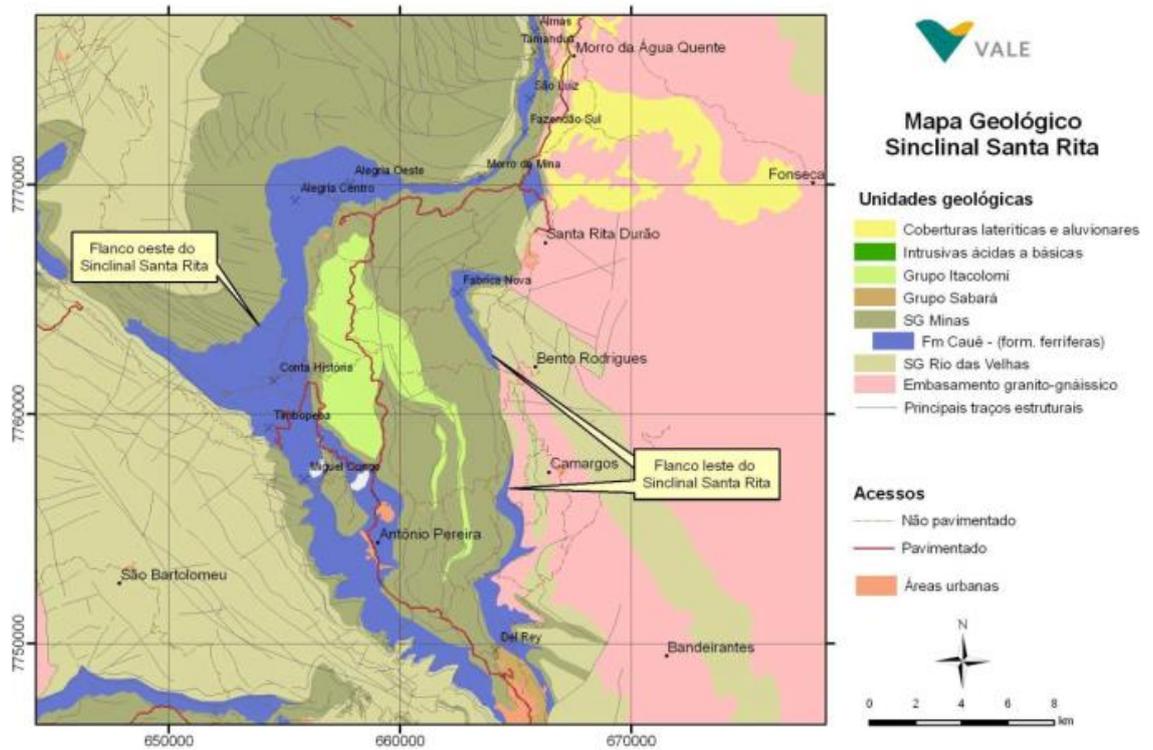
Figura 5 – Mapa geológico estrutural do Sinclinal Santa Rita.



Fonte: (Mod. de Dorr, 1969).

O Complexo Mariana é composto pelas minas de Alegria, Fábrica Nova, Fazendão, Timbopeba e Capanema identificadas na Figura 6.

Figura 6 - Mapa das Minas do Complexo Mariana.



A seguir, segue uma breve descrição das principais minas do Complexo Mariana:

- **Mina de Alegria**

A cava da Mina de Alegria situa-se na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, geologicamente no flanco oeste do Sinclinal Santa Rita. O redobramento deste sinclinal deu origem ao Sinclinal de Alegria e estruturas associadas (DORR 1969; MAXWELL 1972) – Figura 7.

Figura 7 – Vista Geral da Mina de Alegria.



Fonte: arquivos Vale

- **Mina de Fábrica Nova**

O depósito de Fábrica Nova representa o flanco invertido do Sinclinal Santa Rita. O núcleo deste sinclinal é constituído pelas sequências mais novas do Supergrupo Minas, Grupos Piracicaba e Sabará, e as rochas do Grupo Itacolomi (Figura 8).

Figura 8 – Vista Geral da Mina de Fábrica Nova.



Fonte: arquivos Vale

- **Mina de Fazendão**

As cavas são representadas pelas áreas de São Luiz ao sul e Tamanduá na porção central, ambas posicionadas no flanco normal do sinclinal Santa Rita, associada ao mesmo flanco da mina de Alegria. No extremo Norte, na região denominada Almas ocorre a junção dos dois flancos, o que confere ao minério uma textura e morfologia diferenciada, abundante em lentes compactas de hematitito e itabiritos especularíticos (Figura 9).

Figura 9 – Cava de São Luiz na Mina de Fazendão



Fonte: arquivos Vale

- **Mina de Capanema**

A Mina de Capanema está localizada na porção sul do Sinclinal de Ouro Fino nos limites dos municípios de Itabirito, Santa Bárbara e Ouro Preto, aproximadamente, 80 km a sudeste de Belo Horizonte (Figura 10).

Figura 10 – Mina de Capanema.



Fonte: arquivos Vale

#### 4.4 Litologias de Minério e Estéril do Complexo Mariana

Nas minas do Complexo Mariana são distinguidas variadas litologias, mapeadas segundo suas características físicas e granulô-químicas. Tais litologias são descritas a seguir:

- Aterro (AT/Forro): Material disposto como estéril, usado para conformar e dar resistência aos acessos. Considera-se aterro todo o material depositado acima da topografia original e/ou já lavrada na área da cava de mina.

Figura 11 – Aterro em área de cava de mina.



Fonte: o autor.

- Pilha (PI): Material disposto como estéril ou para posterior recuperação como minério (minério de Oportunidade). Umidade média = 8.76%.

Figura 12 – Pilha de estéril.



Fonte: o autor.

- Canga (CG): Rocha de natureza detrítica, gerada pelo intemperismo (erosão, hidratação e lixiviação) da formação ferrífera. Formada por fragmentos de hematita e itabirito cimentados por goethita. Ocorrem na superfície, recobrendo a formação ferrífera e outras coberturas como rolado (RO) e laterita (LT). Podem também cobrir porções de estéril próximas à formação ferrífera. A espessura da cobertura de canga pode variar de poucos centímetros a dezenas de metros. É reconhecida visualmente, marcada por coloração avermelhada pela presença de goethita, apresentando teor médio de Fe em torno de 59.0% e altos teores de fósforo (P), perda ao fogo (PF) e alumina ( $Al_2O_3$ ). A granulometria média retida em 8 mm é cerca de 54% com grande variação devido à posição e ao aporte sedimentar; em geral, mostra-se semi-compacta a compacta. Umidade média = 9.42%.

Figura 13 – Litologia Canga.



Fonte: o autor.

- Laterita (LT): a laterita é constituída por material argiloso, subordinadamente ferruginoso, com coloração variando de avermelhada a amarelada, localmente com blocos de formação ferrífera hidratada. As ocorrências são restritas a algumas regiões das minas e as espessuras no interior da bacia podem variar de algumas dezenas de metros. Umidade média = 21.21%.

Figura 14 – Litologia laterita.



Fonte: o autor.

- Rolados (RR e RA): Ocorre principalmente na Mina de Fábrica Nova, corresponde a uma cobertura detrítica, constituída por fragmentos de hematita, itabirito, filito e quartzo de veio em matriz ferruginosa e/ou laterítica. São distinguidos dois tipos de rolados: Rolado Rico (RR) e Rolado Argiloso (RA). O rolado rico é constituído principalmente de fragmentos de hematita compacta em matriz ferruginosa, com teor médio de Fe de 63%, baixos contaminantes e, em média, 16% de massa maior que 10 mm. O rolado argiloso é constituído por fragmentos de itabirito, hematita, filito e quartzo de veio em matriz laterítica ou ferruginosa, com teor médio de Fe de 56%, valores elevados de P, PF e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e, em média, 16% de massa maior que 10 mm. As espessuras dos rolados podem atingir poucas dezenas de metros, sendo sua ocorrência restrita a porção oeste da cava de Fábrica Nova e suas adjacências, fruto de deposição detrítica em estruturas do tipo grábens e horts gerados por falhamentos. Umidade média = 8%.

Figura 15 – Litologia rolado.



Fonte: o autor.

- Intrusivas (IN): são observadas notáveis ocorrências de rochas intrusivas básicas, preferencialmente dispostas em diques, cortando a formação ferrífera. Apresentam-se alteradas, com coloração predominantemente amarela a vermelha. Em Alegria, pode apresentar coloração esverdeada em pontos específicos da mina onde apresenta menor grau de alteração. Apresentam foliação fina paralela ao seu contato com a formação ferrífera encaixante. Têm espessuras variando de 10 a 40m. Umidade média = 11.44%.

Figura 16 – Litologia Intrusiva (diques máficos).



Fonte: o autor.

- Brecha (BRT): Caracterizada por brecha na zona da falha do meio na Mina de Alegria. Constituída por quartzitos, filitos e fragmentos de itabirito. A espessura é da ordem de alguns metros até espessuras decamétricas. Ocorrência na lapa da estrutura de falha. Umidade média = 6.43%.

Figura 17 – Litologia brecha de falha.



Fonte: o autor.

- Hematita (HE-HF): a hematita é resultado de processos de enriquecimento supergênico de itabiritos e processos de alteração hidrotermal. A espessura da HE no perfil de enriquecimento é em média de 40 m, podendo variar de 10 a 100 m. Na Mina de Alegria ocorrem alguns corpos estruturais de hematita com espessura variando de 10 a 20 m, que podem ser relacionados a processos de alteração hidrotermal e atingindo grandes profundidades. O teor médio de ferro é de 64.71% e os teores de contaminantes são baixos. Apresenta-se em geral friável com, em média, 20.40% de material maior que 10 mm. O teor de corte considerando o FeGI para a hematita é acima de 60%. Umidade média = 4.88%.

Figura 18 – Litologia hematita.



Fonte: o autor.

- Hematita Compacta (HC): Rocha com estrutura maciça ou foliada, apresentando-se em corpos subverticais, orientadas estruturalmente e de pequenas dimensões, com espessura aparente de poucos metros a cerca de 40 m (atingindo 60m na Mina de Tamanduá) em contato abrupto com outros litotipos, granulometria média de 94.03% de material retido em 8 mm e teor médio de Fe de 67.5%. As mais expressivas ocorrências desse litotipo estão associadas em charneiras de dobras, principalmente na porção centro-leste da Mina de Tamanduá, sudeste de Almas e norte de São Luís. Umidade média = 2.15%.
- 

Figura 19 – Litologia hematita compacta.



Fonte: o autor.

- Hematita Aluminosa (HAL): É uma hematita na maioria das vezes de granulometria fina com alto teor de alumina, superior a 2%, cor amarelada/ocre/azul com brilho sedoso podendo conter injeções de corpos de rochas intrusivas. O teor de Fe é, em média, 62.63%. Na mina de Fábrica Nova a hematita aluminosa ocorre principalmente na cava norte, porção leste da jazida, onde aparecem esses pequenos corpos de intrusivas. Na mina de Fazendão, os principais corpos estão localizados na porção sudoeste de São Luís e no limite entre São Luís e Fazendão Sul. Umidade média = 7.2%.

Figura 20 – Litologia hematita aluminosa.



Fonte: o autor.

- Hematita Goethítica (HGO): hematita friável a semi-compacta rica em goethita, com teor de Fe geralmente, acima de 60% e de PF acima de 5%. Diferencia-se da HE por sua cor avermelhada. O teor de Fe é em média 62.0% e a porcentagem de material maior que 10 mm é em média de 28.0%. Geralmente são observados pseudomorfos de anfibólio radial ou acicular. A hematita goethítica ocorre principalmente nos contatos de base do itabirito goethítico com os itabiritos silicosos (IFR, IF ou IC) ou como resultado do enriquecimento supergênico do itabirito goethítico. Umidade média = 9.57%.

Figura 21 – Litologia hematita goethítica.



Fonte: o autor.

- Itabirito Friável Rico (IFR): o itabirito friável rico apresenta teor de Fe geralmente entre 52 e 60%, e ocorre logo abaixo da hematita no perfil de enriquecimento supergênico, com espessuras variando de poucos metros até mais de 100 m. Apresenta-se bastante friável com, em média, 17.14% de material maior que 10 mm. O bandamento de quartzo e hematita é visível. Os teores de elementos contaminantes são baixos e o teor de Fe é, em média, de 56.90%. Umidade média = 5.84%.

Figura 22 – Litologia itabirito friável rico.



Fonte: o autor.

- Itabirito Friável (IF): o itabirito friável apresenta teor de Fe geralmente abaixo de 52% e é bastante friável com, em média, 16.98% de material maior que 10 mm. O bandamento de quartzo e hematita é bastante visível. Os teores de elementos contaminantes são baixos e o teor de Fe é, em média, de 45.38%. Ocorre logo abaixo do itabirito friável rico, no perfil de enriquecimento supergênico, com espessuras que podem ultrapassar 100 m. Sua gênese está provavelmente associada à desagregação supergênica de itabiritos compactos, formando pacotes com espessuras superiores a 200m. Umidade média = 5.69%.

Figura 23 – Litologia itabirito friável.



Fonte: o autor.

- Itabirito Compacto (IC): o itabirito compacto apresenta-se geralmente com teor de Fe abaixo de 60% e 40% de material maior que 10 mm. Ocorre em profundidade, abaixo do itabirito friável, com algumas exposições na mina. Em Alegria sua ocorrência pode ser facilmente notada nas áreas operacionais denominadas E3 e E2. São corpos maciços, com bandas de quartzo e hematita, concordantes com a estruturação geral das camadas. Apresenta-se compacto, com em média, 54.40% de material acima de 10 mm, com teores médios de Fe de 43.91%. Umidade média = 4.51%.

Figura 24 – Litologia itabirito compacto.



Fonte: o autor.

- Itabirito Goethítico (IGO): itabirito hidratado, rico em goethita, com coloração avermelhada e/ou amarelada. Apresenta em geral teor de Fe bastante variável e abaixo de 60% e de PF acima de 5%. Apresenta-se friável a semi-compacto, com cerca de 20.0% de material acima de 10 mm. Sua gênese provavelmente está associada à fase deposicional da bacia de sedimentação e pode representar antigos itabiritos carbonáticos/dolomíticos ou anfíbolíticos, já totalmente decompostos pela ação do intemperismo. Ocorre como corpos tabulares concordantes com a estruturação geral, cujas espessuras variam até algumas dezenas de metros. Na mina de Alegria, ocorre no topo da formação ferrífera na porção sul da mina, como intercalações na sequência de itabiritos silicosos (IFR, IF ou IC) e também na região de E2, na porção norte. Umidade média = 11.24%.

Figura 25 – Litologia itabirito goethítico.



Fonte: o autor.

- Itabirito Argiloso Rico (IAR): apresenta geralmente teores de Fe acima de 52% e teor de alumina superior a 2%. Tem coloração ocre e é constituído basicamente por níveis ferruginosos intercalados com material de granulometria argila de cor ocre e finas laminações de quartzo. Apresenta teores médios de Fe de 58.73%, valores de PF em média de 5.48% e granulometria fina, com em média 16.34% de material retido acima de 10 mm. Distingue-se dos tipos goethíticos pela presença de pseudomorfos de anfibólio e pela coloração ocre típica. Ocorre nos níveis superiores dos corpos de itabirito argiloso (IAL), na forma de bacias deposicionais e ou na zona de contato com o filito por processos metassomáticos. Umidade média = 13.75%.

Figura 26 – Litologia itabirito argiloso rico.



Fonte: o autor.

- Itabirito Argiloso (IAL): apresenta geralmente teores de Fe abaixo de 52% e teor de alumina superior a 2%. O itabirito argiloso é semelhante ao IAR, entretanto tem coloração ocre a acinzentada, devido a maior quantidade de alumina e níveis mais espessos de quartzo. Têm teores médios de Fe de 41.45% e 12.77% de material retido acima de 10 mm. Na mina de Alegria ocorre na base da formação ferrífera, sendo que na porção central da mina encontra-se posicionado entre a seqüência silicosa (IFR, IF ou IC) e os filitos da Formação Batatal, provavelmente deslocado pela falha de Alegria. Umidade média = 11.77%.

Figura 27 – Litologia itabirito aluminoso.



Fonte: o autor.

- Itabirito Manganésífero (IMN): itabirito friável, caracterizado por elevados teores de manganês, geralmente acima de 1.0% e teor médio de 2.20%, podendo chegar até a 9.0%. O itabirito manganésífero ocorre de forma restrita, seja no contato com as rochas do Grupo Piracicaba ou intercalado a itabiritos goethíticos. O teor médio de Fe é de 45.93% e a porcentagem média de material maior do que 10 mm é de 13.07%. A cor deste litotipo é bem marcada por tons pretos devido aos teores elevados de manganês. Umidade média = 14.55%.

Figura 28 – Litologia itabirito manganésífero.



Fonte: o autor.

- Itabirito Dolomítico (IDO): Na mina de Fazendão ocorre em profundidade nas cavas de Fazendão Sul e Tamanduá, atingindo até 250 m de espessura. Apresenta possível gradação com o itabirito compacto (IC), por isso apresenta alta

porcentagem retida em 8 mm (G1), com média de 73.4%. Sua definição se dá, principalmente, por altos teores de magnésio e cálcio e, por desenvolver carbonatos (possivelmente calcita e dolomita), apresenta alta perda ao fogo.

- Gandarela (GAD): refere-se a xistos ferruginosos e manganésíferos de coloração cinza escuro e são pertencentes à Formação Gandarela. Esse litotipo ocorre na porção sul da mina de Alegria, posicionados entre os quartzitos do Grupo Piracicaba e a formação ferrífera e no flanco oeste da Mina de Fábrica Nova. Por vezes, possuem colorações claras de branca a rosada, com bandas acinzentadas de hematita.
- Filitos (FL): os filitos da Formação Batatal ocorrem como substrato da formação ferrífera, localizados a norte da mina de Alegria e oeste das Mina de Fazendão. Em Fábrica Nova devido a inversão estratigráfica ocorre na borda leste da cava. Têm coloração amarelada passando a acinzentada. Especificamente na cava da Mina de Alegria, a norte da área operacional L4, onde estende-se para SW, passando pela área do E2 adelgaçando sentido oeste até desaparecimento na cava da Samarco. Também existem exposições nas áreas do E5 e E6, na porção leste da mina de Alegria. Em ambos os casos, os filitos estão localizados juntos a zonas de falhamentos, posicionados por cavalgamentos sobre itabiritos ocres. Na mina de Fazendão, ocorre entre a formação ferrífera e o quartzito Moeda ou diretamente sobre o Xisto Nova Lima em Fazendão Sul.

Figura 29 – Litologia filito – Gr. Caraça.



Fonte: o autor.

Xistos (XI): referem-se a quartzo-clorita xistos do Grupo Nova Lima. Ocorrem na porção leste da mina de Fábrica nova, posicionados tectonicamente sobre a formação ferrífera. Em toda a mina são observadas também intercalações de xisto, posicionadas tectonicamente em meio à formação ferrífera, com espessuras variando de poucos metros até cerca de 70 m.

Na mina de Fazendão ocorrem na porção oeste da jazida, posicionados tectonicamente sob a formação ferrífera e perfazendo, junto com o Quartzito Moeda e o Filito Batatal sua base. Isoladamente ocorrem lascas tectônicas de xisto na formação ferrífera, com espessuras decamétricas, na cava de Fazendão Sul. Em geral é sobreposto pelos quartzitos e filitos do Grupo Caraça, porém, na cava de São Luís faz contato direto com a formação ferrífera.

Localmente, associadas ao xisto, são observadas passagens de quartzito.

- Quartzitos (QT): ocorrem na porção oeste da mina de Fábrica Nova, sotopostos à formação ferrífera, em seção estratigráfica invertida. Correspondem a quartzitos sericíticos com algumas passagens de xisto acinzentado pertencentes à Fm. Cercadinho do Grupo Piracicaba.

Figura 30 – Litologia quartzito – Fm. Cercadinho.



Fonte: o autor.

- Minas Caraça (MC): quartzitos finos e localmente filitos sericíticos que ocorrem constituindo a elevação da serra homônima. Na mina de Fazendão ocorrem fechando uma megadobra e está em contato com a formação ferrífera na cava de Tamanduá. Em Tamanduá ocorre ainda no meio da formação ferrífera por estruturas dobradas. Este quartzito é pertencente à Fm. Moeda do Grupo Caraça. Se estende para Oeste sentido a Mina de Alegria, formando a serra do Caraça.

Figura 31 – Litologia quartzito – Fm. Moeda.



Fonte: o autor.

- Gnaiss (GN): aflora de forma restrita a leste/sudeste das jazidas de Fazendão e Fábrica Nova, em geral muito alterado. Compõe-se essencialmente de gnaisses atribuídos ao Complexo Metamórfico Santa Bárbara.
- Minas Piracicaba (MP): Esta classificação engloba quartzitos, quartzitos ferruginosos, filitos arroxeados e prateados, com lentes de itabirito dolomítico, itabirito ocre e dolomitos.

Figura 32 – Litologia Filito – Gr. Piracicaba.



Fonte: o autor.

#### **4.5 Beneficiamento do Minério**

Após o rompimento da Barragem do Fundão em Mariana, no final do ano de 2015, foi necessária uma reestruturação dos processos de beneficiamento de minério de ferro de forma a não gerar rejeito úmido. Neste sentido, os processos a úmido, tais como flotação, peneiramento a úmido, concentração magnética, entre outros, foram substituídos por processos a seco.

Desde então, todo o beneficiamento de minério do Complexo Mariana visou a produção de fino-comum utilizando as estruturas de britagem e peneiramento a seco pré-existentes na Mina de Alegria (IB-I, IB-II e IB-III) e com a implantação da Usina IB-IV na Mina de Fazendão, com produção mensal de 500.000 t e 350.000 t respectivamente. Em 2021, iniciou-se o processamento a úmido na Mina de Timbopeba com produção da ordem de 550 mil t de produto/mês.

O ROM alimentado nas Usina de Alegria é proveniente das minas de Fábrica Nova, Alegria e Fazendão; e o ROM alimentado em Fazendão é exclusivo da mina homônima.

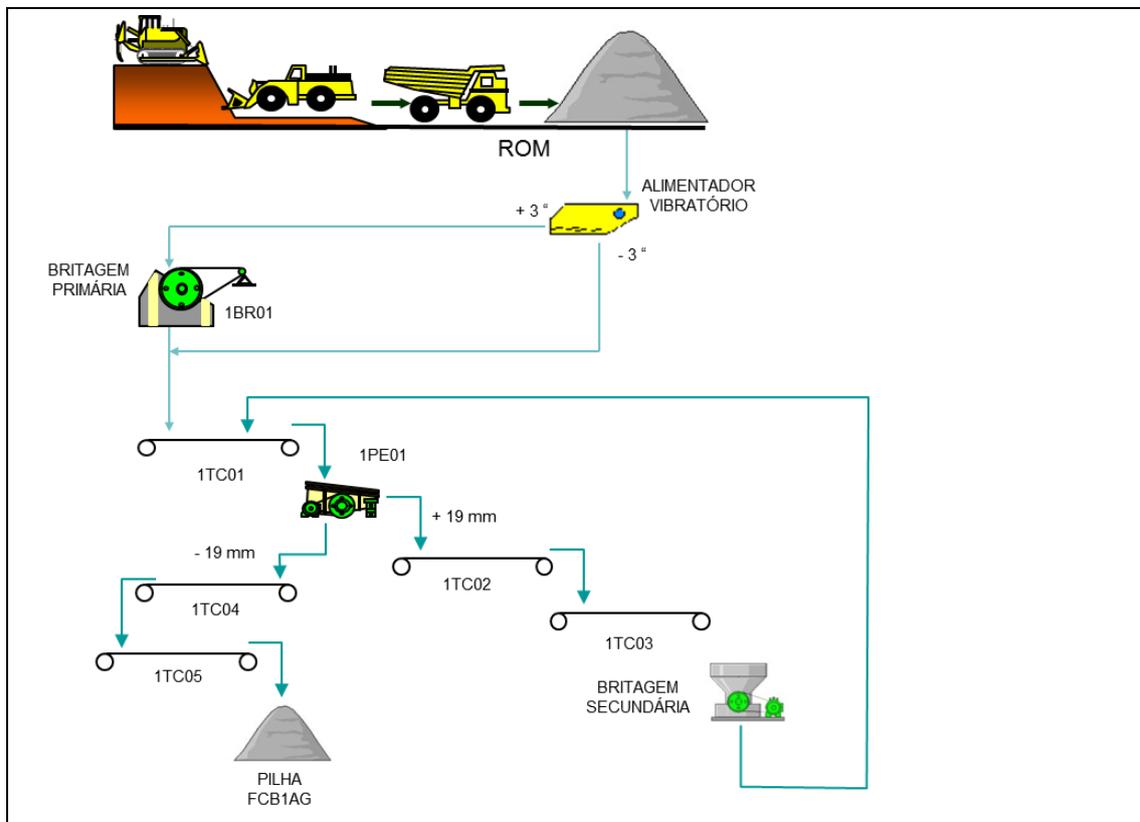
Sendo constituído por várias litologias, o ROM processado consiste na mistura em proporções em massa variadas de cada material minério, controlados pela disponibilidade em relação ao plano de lavra, por fatores climáticos, por campanhas de produção específicas (ex. ROM China, que permite maior participação de contaminantes como sílica e fósforo), dentre outros.

O controle destas proporções é monitorado na formação das pilhas de ROM de acordo com as programações de qualidade das pilhas.

Durante o processo de beneficiamento do minério, pode haver a recirculação de materiais e o aproveitamento de materiais provenientes das pilhas de estoque intermediário e pilhas de estéril temporário (ex. PDE Fosforoso, Mina de Alegria).

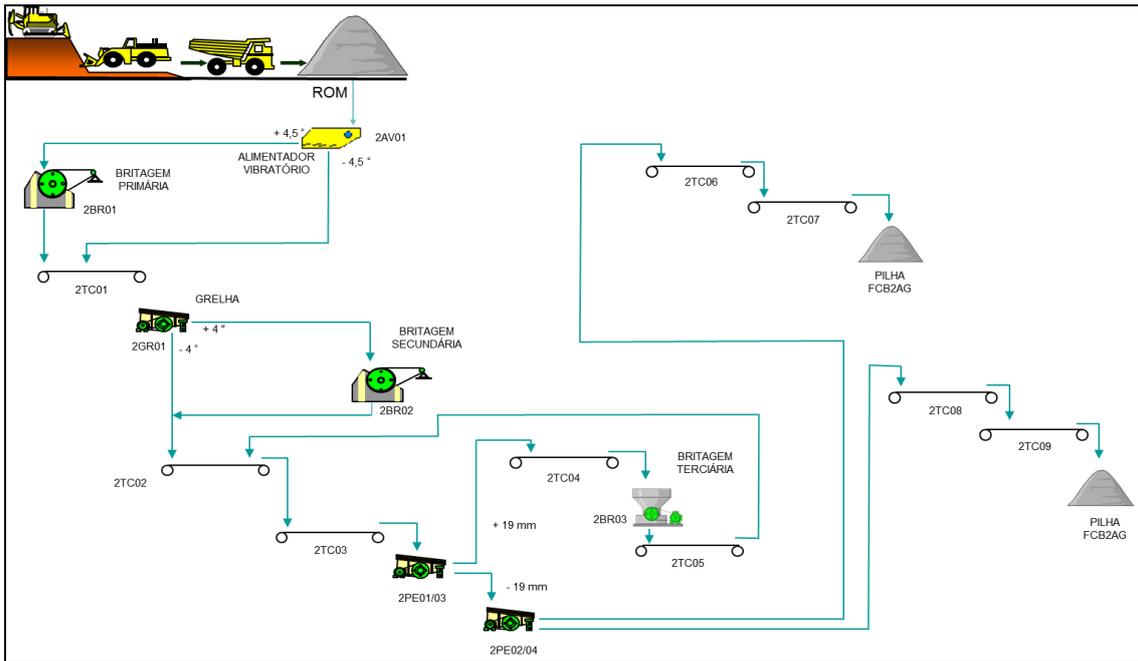
Os fluxogramas simplificados de beneficiamento das usinas de processamento são mostrados nas figuras 33, 34, 35 e 36.

Figura 33: Fluxograma da Usina – IB-I



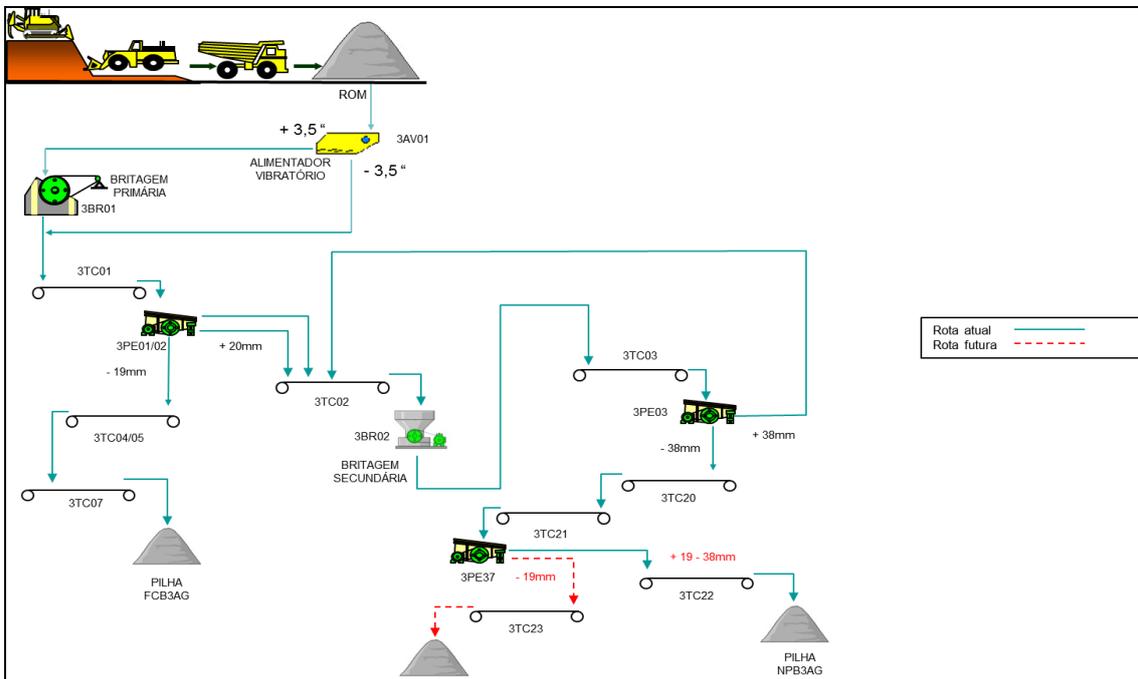
Fonte: Vale, Relatório Interno

Figura 34: Fluxograma da Usina – IB-II



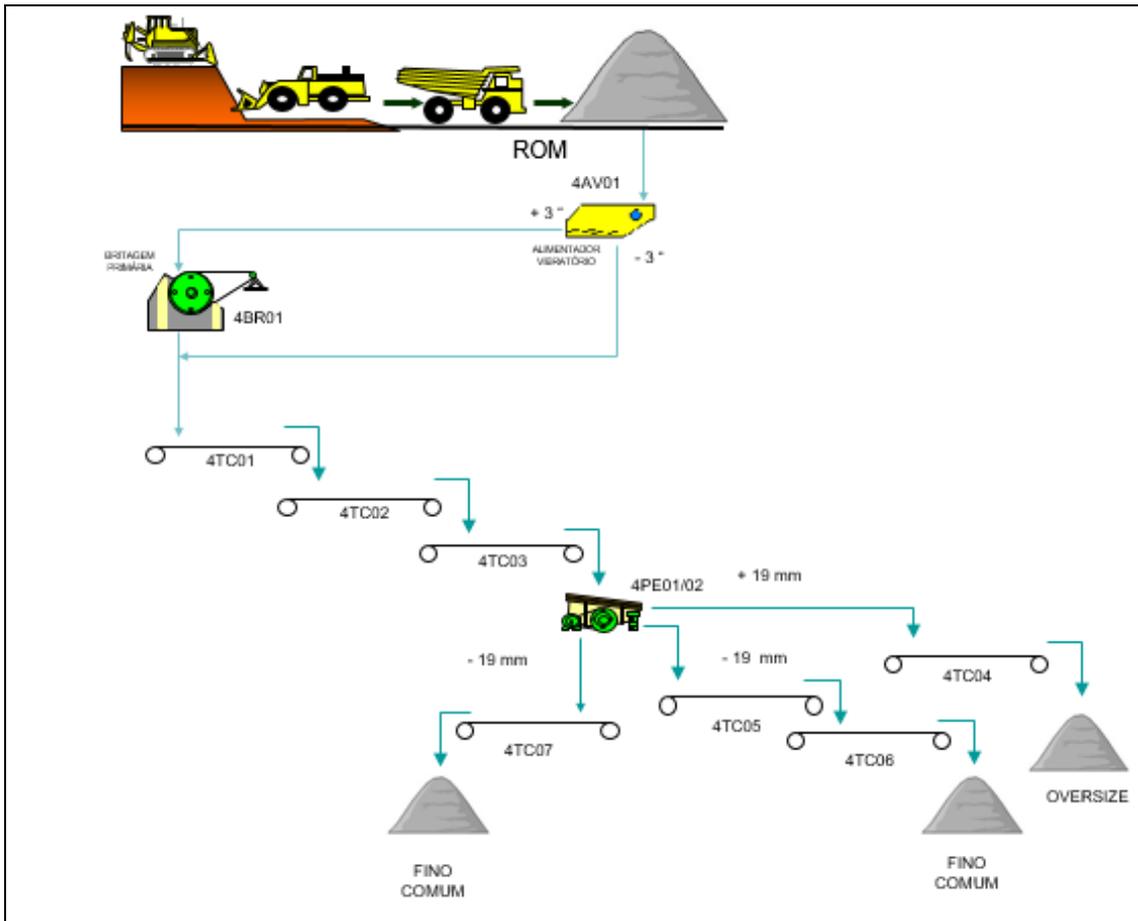
Fonte: Vale, Relatório Interno

Figura 35: Fluxograma da Usina – IB-III



Fonte: Vale, Relatório Interno

Figura 36: Fluxograma da Usina – IB-IV



Fonte: Vale, Relatório Interno

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Análise do banco de dados

A elaboração do banco de dados com informações das massas produzidas nas Minas de Fazendão e Alegria, suas respectivas umidades e índices pluviométricos da região, deu-se através da consolidação de dados consolidados em Microsoft Power BI. Para alguns dados foi feita análise estatística descritiva visando uma melhor interpretação, os quais serão mostrados à diante.

### 5.2 Teste de Peneiramento

Visando identificar a influência de cada litologia que compõe o ROM e a forma como será o seu comportamento nas etapas do beneficiamento, foram realizados junto ao Centro de Pesquisa Tecnológica Vale (CPT), uma série de testes de peneiramento em escala de bancada para conhecer suas propriedades geometalúrgicas.

O teste de peneiramento foi executado obedecendo às orientações do PRO-024448 (Ensaio de Peneiramento), e consiste na determinação da eficiência de peneiramento determinada pela passagem de materiais pela tela de peneiramento, considerando frequências, amplitudes, e acelerações aplicadas a peneiras inclinadas convencionais. O equipamento utilizado foi a peneira vibratória sem fim (AL-PN006), mostrada na figura 37. Para tanto, foi utilizada a peneira de aço com malha de 16mm e aceleração 4G.

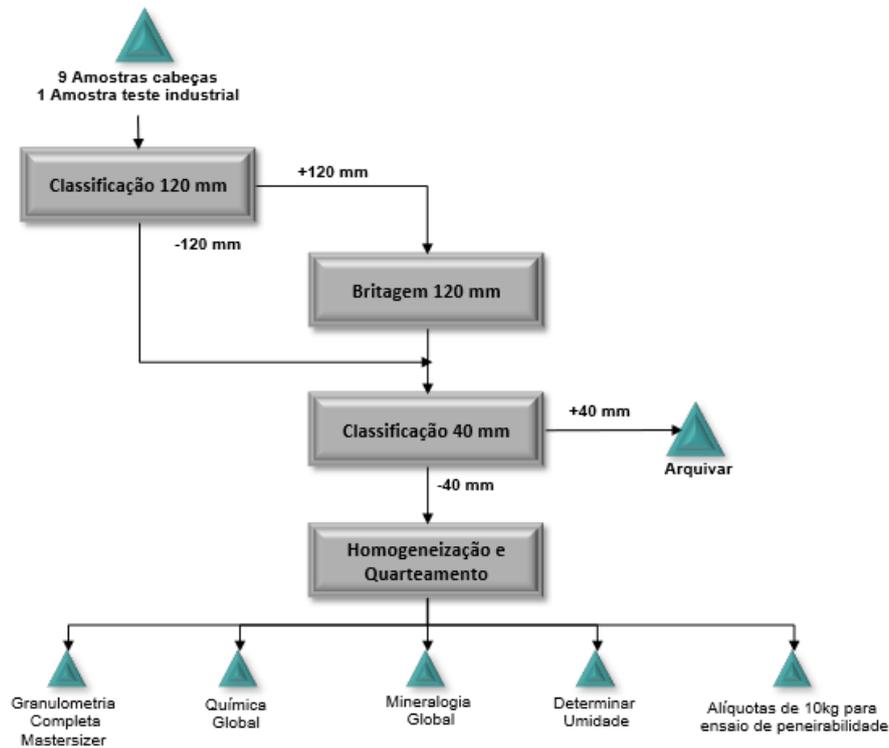
Figura 37 – Peneira sem fim (CPT)



Fonte: Vale, Teste de peneiramento (2022).

O fluxo de preparação das amostras obedeceu ao procedimento segundo o RG001110 – Norma Interna Vale (CPT) identificado na figura 38. Considerou-se para a alimentação da peneira sem fim somente o passante em 40mm da amostra cabeça e eficiência de remoção de finos de 90%.

Figura 38 - Fluxo de preparação das amostras para o teste de peneiramento.



Fonte: Vale, CPT (2022).

A partir das litologias com maiores massas na participação do ROM previsto para o plano anual de lavra no ano de 2022 na Usina de IBIII (vide tabela 2), foram estabelecidos os respectivos grupos litológicos compostos para os testes de peneiramento em escala laboratorial, distribuídos em grupos de acordo com a relevância e submetidos às diferentes variações de umidade. Neste sentido, foram formados sete grupos de estudos, representados principalmente pelo percentual litológico proposto para o plano de produção de 2022 na Usina de IBIII e possíveis variações definidas pela disponibilidade da lavra, bem como o comportamento dos materiais conforme os resultados dos testes de peneiramento.

Inicialmente, as amostras foram testadas de forma isolada para conhecer suas propriedades geometalúrgicas, onde cada litologia foi submetida às variações de umidade durante os ensaios.

Vale ressaltar que, os percentuais litológicos estão ligados ao aproveitamento da jazida mineral e redução de estéreis, sem comprometer a qualidade final dos produtos. Assim, em cada grupo de amostra foi adicionada uma quantidade de água para variação da umidade e verificação do estado de saturação das partículas minerais.

As tabelas 1 e 2 referem-se aos percentuais litológicos das demais Usinas de Beneficiamento. A saber, a usina de IBIII possui um maior plano de produção no complexo Mariana, com capacidade efetiva de 1.400t/h.

Tabela 1 – Percentual litológico na alimentação da Usina de IB-II no ano de 2022

IB-II	% CG	% HE	% HGO	% IAR	% IF	% IFR	% IGO	% PE	% ROM_FAZ (CG)	% PF	
jan	0.01	-	-	-	22.72	0.24	1.76	-	32.36	42.91	100.00
fev	-	-	-	0.01	24.09	-	-	-	48.04	27.86	100.00
mar	-	-	2.59	0.49	7.97	2.15	86.80	-	-	-	100.00
abr	3.15	-	0.50	-	16.36	1.91	16.37	-	29.41	32.30	100.00
mai	0.66	0.44	0.23	1.00	6.53	2.78	24.64	-	29.41	34.31	100.00
jun	-	6.12	-	0.64	22.11	6.68	0.73	-	29.41	34.31	100.00
jul	-	-	-	-	14.35	-	21.93	-	29.41	34.31	100.00
ago	-	-	-	-	19.67	-	16.61	-	29.41	34.31	100.00
set	-	-	-	-	7.52	-	32.73	-	25.44	34.31	100.00
out	-	-	-	-	17.12	-	15.40	-	45.69	21.79	100.00
nov	-	-	-	1.00	19.43	-	3.19	-	29.72	46.67	100.01
dez	-	-	-	-	19.54	-	4.35	-	30.36	45.75	100.00

Fonte: Planejamento de Mina – Plano Anual de Lavra (2022).

Tabela 2 – Percentual litológico na alimentação da Usina de IB-III no ano de 2022

IB-III	% CG	% HE	% HGO	% IAR	% IF	% IFR	% IGO	% PE	% ROM_FAZ (CG)	% PF	
jan	6.99	0.88	0.94	1.08	44.20	5.44	40.48	-	-	-	100
fev	2.38	-	0.15	1.52	9.94	0.00	86.00	-	-	-	100
mar	0.09	-	-	2.18	15.63	1.27	80.82	-	-	-	100
abr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mai	2.50	1.49	0.22	2.22	2.88	5.28	21.11	-	30.00	34.31	100
jun	3.87	0.01	-	2.56	8.61	0.81	19.93	-	30.00	34.20	100
jul	3.36	8.15	0.82	0.89	8.84	7.50	20.86	-	15.27	34.31	100
ago	7.16	0.34	1.57	4.37	6.69	3.02	25.93	-	15.92	35.00	100
set	0.00	0.09	4.33	3.95	12.69	0.26	19.44	-	20.02	39.22	100
out	5.49	3.03	0.30	0.49	52.64	7.26	30.78	-	-	-	100
nov	-	-	5.38	2.34	35.41	1.20	55.68	-	-	-	100
dez	4.80	-	0.54	1.34	68.45	4.10	20.77	-	-	-	100

Fonte: Planejamento de Mina – Plano Anual de Lavra (2022).

Tabela 3 – Percentual litológico na alimentação da Usina de IB-IV no ano de 2022

IB-IV	CG	HF	HAL	HGO	HC	IAR	IF	IFR	IGO	PE	IAL	IMN	
jan	35.00	7.39	8.01	-	2.66	14.43	13.29	7.00	1.35	10.87	-	-	100
fev	35.00	10.62	20.28	0.14	-	6.21	21.92	1.43	0.12	4.29	-	-	100
mar	35.00	12.80	17.61	-	-	4.08	23.51	6.94	0.06	-	-	-	100
abr	25.16	2.63	17.33	-	-	20.90	18.41	12.06	3.51	-	-	-	100
mai	35.00	7.04	9.42	-	-	16.78	20.84	5.40	4.87	0.65	-	-	100
jun	31.63	9.83	8.29	-	-	19.47	21.66	5.33	3.80	-	-	-	100
jul	20.32	12.48	23.65	-	-	11.21	19.59	6.71	0.64	5.39	-	-	100
ago	25.91	16.72	22.84	-	-	5.95	20.50	3.88	2.21	-	1.68	0.33	100
set	34.77	17.39	12.99	-	-	6.26	12.22	6.63	3.17	-	6.57	-	100
out	32.01	4.48	1.44	-	-	28.55	14.19	13.69	3.48	2.15	-	-	100
nov	8.07	24.41	22.49	-	-	12.53	21.67	1.70	6.52	1.81	-	0.81	100
dez	35.00	6.75	22.21	-	-	5.63	14.21	5.32	1.88	4.82	3.03	1.14	100

Fonte: Planejamento de Mina – Plano Anual de Lavra (2022).

Para os ensaios de peneiramento foram coletadas 14 amostras contendo de 300Kg até 600Kg em massa, sendo elas:

**Mina de Fazendão:**

- 01 amostra de HAL – Hematita Aluminosa
- 01 amostra de IAR – Itabirito Argiloso Rico
- 02 amostras de CG – Canga (CG01 e CG02)

**Mina de Alegria:**

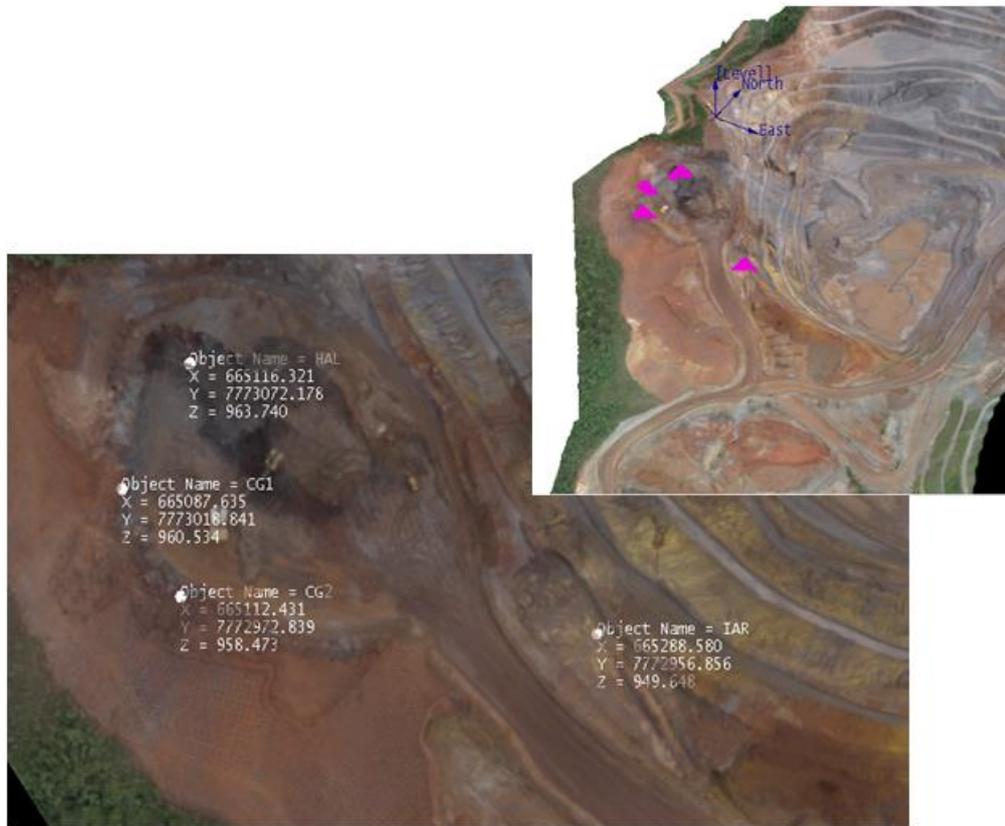
- 01 amostra de IF – Itabirito friável
- 01 amostra de IAL – Itabirito aluminoso
- 01 amostra de IGO – Itabirito Goethítico
- 03 amostras de PE – Pilha de Estéril (PE01/PE02 e PE03).

**Mina de Fábrica Nova:**

- 01 amostra de RR – rolado rico
- 01 amostra de CG – canga
- 01 amostra de IGO – itabirito goethítico
- 01 amostra de IF – itabirito friável

Na Figura 39 temos os pontos de coleta de amostras na Mina de Fazendão e suas respectivas coordenadas:

Figura 39 – Mapa dos pontos de coleta das amostras na Mina de Fazendão.



Fonte: Elaboração própria.

A seguir, tem-se a descrição das amostras coletadas na Mina de Fazendão e imagens representativas de cada uma delas:

HAL – Hematita Aluminosa

Hematita de granulometria fina, aluminosa e talcosa, com elevada hidratação.



IAR – Itabirito Argiloso Rico

Itabirito argiloso com elevada alumina contendo lentes argilosas na cor ocre.



CG – Canga

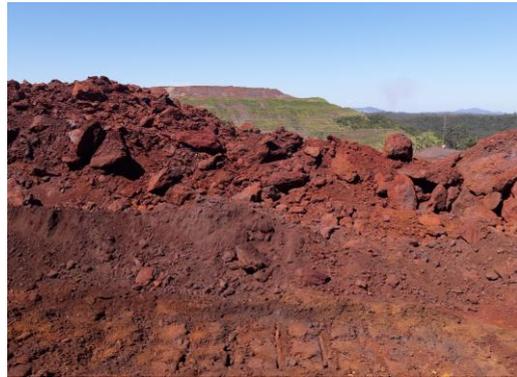
Canga 01

Canga de granulometria mais fina, com matriz argilosa/quartzosa.



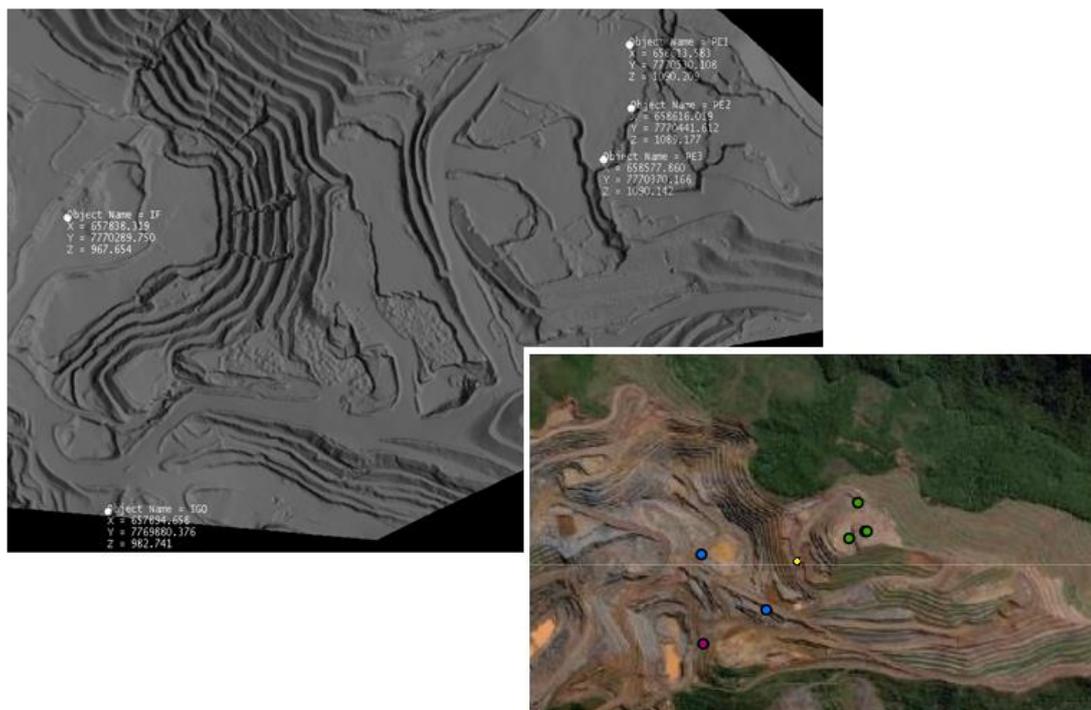
Canga 02

Canga de granulometria grossa, geralmente contendo maior teor de Fe.



Na Figura 40 temos os pontos de coleta de amostras na Mina de Alegria e suas respectivas coordenadas:

Figura 40 – Mapa dos pontos de coleta das amostras na Mina de Alegria



Fonte: Elaboração própria.

A seguir, tem-se a descrição das amostras recolhidas na Mina de Alegria e imagens para representá-las:

#### IF – Itabirito Friável

Itabirito friável formado por bandas de hematita e sílica, com baixo teor de contaminantes.



IGO – Itabirito Goethítico

Itabirito com elevado teor de P, de granulometria média.



PE01 / PE02 e PE03 – Pilha de Estéril Fosforoso

PE01

Pilha Fosforoso, esta amostra representa a porção mais antiga da pilha (totalmente aproveitável)



PE02

Pilha Fosforoso, esta amostra representa níveis de transição/disposição entre lentes de materiais de formação ferrífera alternadas a lentes de filito/diques de rocha intrusivas.



PE03

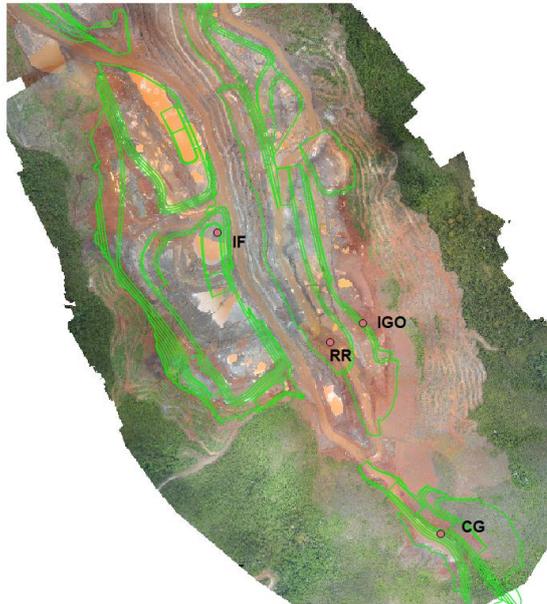
Pilha Fosforoso, esta amostra representa a porção mais argilosa da pilha constituída por materiais de deposição mais recente.



Na Mina de Fábrica Nova foram coletadas as amostras nos seguintes pontos de coordenadas, conforme mostrado na figura 41:

Figura 41 – Mapa dos pontos de coleta das amostras na Mina de Fábrica Nova.

IF: 662995 / 7763213  
IGO: 663431 / 7763270  
CG: 663665 / 7762643  
RR: 663319 / 7763213



Fonte: Elaboração própria.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos com aproximadamente 20kg cada, devidamente lacrados e identificados para envio ao CPT.

Figura 42 – Acondicionamento das amostras enviadas



Fonte: Vale (2022).

Para as referidas amostras teceu-se uma expectativa de peneiramento conforme:

### Mina de Fazendão

#### Litologia

HAL	Hematita Aluminosa
IAR	Itabirito Argiloso Rico
CG1	Canga
CG2	Canga



### Mina de Alegria

#### Litologia

IF	Itabirito friável
IGO	Itabirito goethítico
PE01	Pilha Fosforoso
PE02	Pilha Fosforoso
PE03	Pilha Fosforoso



### Mina de Fábrica Nova

#### Litologia

IF	Itabirito friável
IGO	Itabirito goethítico
RR	Rolado Rico
CG	Canga



As Tabelas 4 e 5 apresentam os grupos litológicos considerados nos testes laboratoriais e a proporção de cada litologia correspondente ao *blend* formado por cada grupo de estudo, considerando as variações dos percentuais de contribuição do *blend* conforme a disponibilidade da lavra.

Tabela 4 – Amostras selecionadas para os ensaios de peneiramento (%)

Amostras	Plano 2022	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
AM 1-FAZ-HAL	7,9	7,1	7,1	7,4	6,7	6,5	4,7
AM 2-FAZ-IAR	1,1	1,0	1,0	8,1	16,0	0,9	0,7
AM 3-FAZ-CG	9,0	9,0	8,1	8,3	7,6	7,4	5,4
AM 4-FAZ-CG	8,7	8,7	7,9	8,1	7,4	7,2	5,2
AM 5-ALG-IF	17,9	16,0	16,1	16,6	15,2	14,7	10,7
AM 6-ALG-IGO	5,9	5,3	12,0	5,5	5,0	4,9	3,5
AM 7-ALG-PE	11,0	9,8	9,9	10,2	9,4	15,0	20,0
AM 8-ALG-PE	11,0	9,8	9,9	10,2	9,4	15,0	20,0
AM 9-ALG-PE	11,0	9,8	9,9	10,2	9,4	15,0	20,0
AM 10-ALG-IAR	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
AM 11-FN-CG	6,9	15,0	6,2	6,4	5,8	5,6	4,1
AM 12-FN-IGO	3,1	2,8	6,0	2,9	2,6	2,6	1,9
AM 13-FN-RR	2,0	1,8	1,8	1,9	1,7	1,6	1,2
AM 14-FN-IF	4,3	3,8	3,9	4,0	3,6	3,5	2,6
Soma	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Ensaio de Peneiramento Mariana – CPT (2022).

Tabela 5 – Grupos litológicos considerado nos ensaios de peneiramento (%).

Litologias	Plano 2022	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
RR	2,0	1,8	1,8	1,9	1,7	1,6	1,2
HAL	7,9	7,1	7,1	7,4	6,7	6,5	4,7
IF	22,2	19,8	20,0	20,6	18,9	18,2	13,3
CG	24,5	32,7	22,1	22,8	20,9	20,2	14,7
IGO	9,0	8,1	18,0	8,4	7,7	7,4	5,4
IAR	1,3	1,1	1,1	8,3	16,1	1,0	0,8
PE	33,0	29,5	29,8	30,7	28,1	45,0	60,0
Soma	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

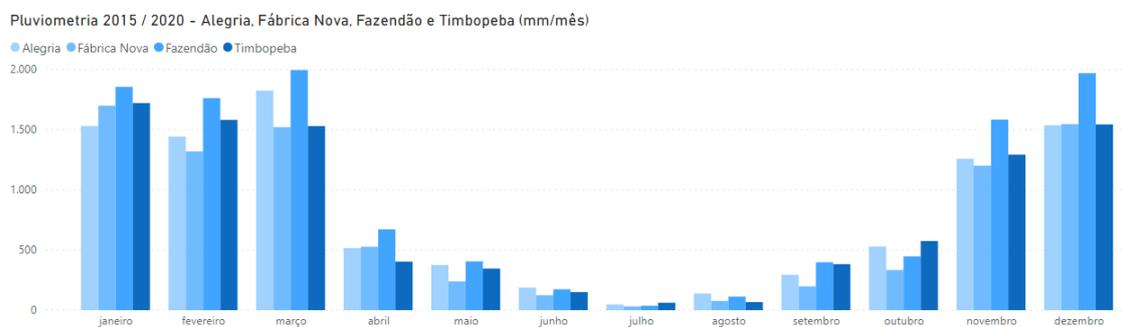
Fonte: Ensaio de Peneiramento Mariana – CPT (2022).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Influência de fatores climáticos na umidade do ROM

Buscando estabelecer uma relação entre os materiais que formam as pilhas de ROM com a produtividade nas usinas, e também sua relação com fatores climáticos traduzidos na umidade, foi elaborado um banco de dados integrando todas as informações de pilhas ao longo de 5 anos de operação, bem como os índices pluviométricos ao longo dos meses de cada ano mostrado no gráfico 1.

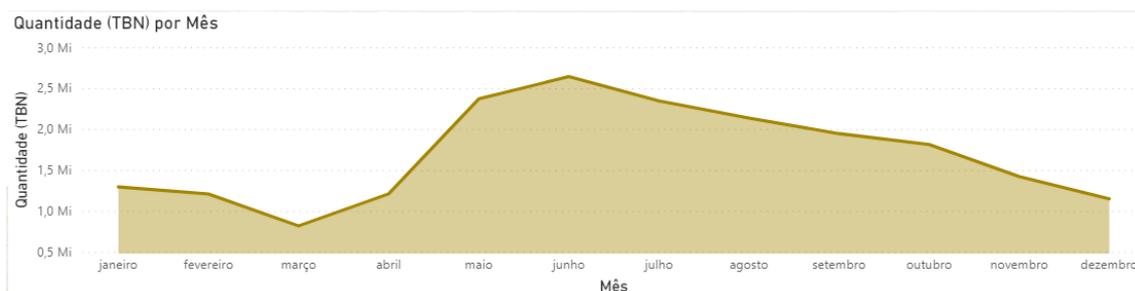
Gráfico 1 - Precipitação Pluviométrica acumulada nos anos de 2017 até 2020



Fonte: Vale, Monitoramento Ambiental (2021)

Durante o período chuvoso em Minas Gerais, que se estende de novembro até março, é comum ocorrer a hidratação do minério, o que afeta prejudicialmente a produtividade da usina pelo entupimento de britadores, acúmulo de material em chutes de transferência e cegamento da abertura de malhas de peneiramento, entre outros. A análise de dados de pluviometria comparando com a massa de concentrado produzida na usina entre 2017 e 2020, permite observar esta influência. Assim, pode-se verificar uma redução da produção, nas Usinas do Complexo Mariana, nos meses de maior incidência pluviométrica, conforme o gráfico 2.

Gráfico 2 - Produção acumulada nos anos de 2017 até 2020



Fonte: Vale, Relatório Interno de Produção (2021)

Vale ressaltar que a produção no Complexo Mariana, a partir do ano de 2016, sofreu constantes interrupções, principalmente na mina de Alegria determinado por condicionantes geotécnicas ligadas às estruturas das Barragens de rejeitos do Xingu e Campo Grande. A garantia de segurança destas estruturas impossibilitou o desmonte de minério com uso de explosivos e, conseqüentemente, a produção de minério.

Já na Mina de Fazendaõ houve uma parada na produção no ano de 2020 devido ao processo de licenciamento para expansão da cava de São Luiz.

As tabelas 6 e 7 agrupam os dados de produção das Usinas de Alegria e Fazendaõ respectivamente.

Tabela 6 – Dados de Produção das Usinas de Alegria (Mt)

Ano	Produção	Fe	Si	P	Al	Mn	PPC	H2O
2016	2 912 584	57.92	11.88	0.085	1.63	0.114	3.14	7.97
2017	13 429 397	57.97	11.06	0.108	1.59	0.176	3.79	8.03
2018	9 943 460	56.87	12.22	0.104	1.56	0.138	4.18	9.07
2019	2 771 483	55.90	14.15	0.096	1.37	0.198	3.75	8.64
2020	9 840 803	54.47	15.79	0.107	1.43	0.163	3.99	9.05
2021	5 025 046	53.15	18.55	0.087	1.47	0.114	3.19	7.79
<b>Total</b>	<b>43 922 773</b>	<b>56.25</b>	<b>13.49</b>	<b>0.102</b>	<b>1.52</b>	<b>0.155</b>	<b>3.81</b>	<b>8.50</b>
*	Dados apurados de Outubro 2016 até Julho de 2021							

Fonte: Relatório Interno de Produção – RG 20.

Tabela 7 – Dados de Produção da Usina de IB-IV – Mina de Fazendaõ (Mt)

Produção	Quantidade (TBN)	Fe	Si	Al	P	Mn	PPC	H2O
2016	1 105 898	58.68	12.17	1.61	0.05	0.175	1.80	7.10
2017	5 974 998	58.06	13.21	1.28	0.05	0.206	1.77	7.14
2018	4 510 128	58.44	11.88	1.49	0.07	0.233	2.34	6.91
2019	7 437 250	57.26	14.21	1.33	0.06	0.202	1.87	5.65
2020	2 501 870	54.37	17.98	1.40	0.06	0.206	2.12	6.86
2021	2 542 319	56.10	14.38	1.78	0.08	0.168	2.98	6.77
<b>Total</b>	<b>24 072 463</b>	<b>57.32</b>	<b>13.84</b>	<b>1.42</b>	<b>0.06</b>	<b>0.204</b>	<b>2.07</b>	<b>6.57</b>
*	Dados apurados de Outubro 2016 até Agosto de 2021							

Fonte: Relatório Interno de Produção – RG 20.

Na Tabela 8 apresentam-se a estatística descritiva dos teores de umidade obtidos dos produtos (fino-comum) nas usinas de Alegria e Fazendão nos anos de 2020 e 2021:

Tabela 8 – Estatística descritiva da umidade (%) dos produtos das Usinas de Alegria e Fazendão em Mariana nos anos de 2020 e 2021

<i>Fino-comum (IB-IV) - Fazendão</i>		<i>Fino-Comum (IB1, IB2 e IB3) - Alegria</i>	
Média	7.52447378	Média	8.692750411
Erro padrão	0.022888312	Erro padrão	0.009905816
Mediana	7.43	Mediana	8.6
Modo	7.03	Modo	8.58
Desvio padrão	1.792463198	Desvio padrão	1.7097795
Variância da amostra	3.212924318	Variância da amostra	2.923345938
Curtose	0.245336365	Curtose	3.775328197
Assimetria	0.287412577	Assimetria	0.640212092
Intervalo	14.51	Intervalo	29.97
Mínimo	0.45	Mínimo	0.7
Máximo	14.96	Máximo	30.67
Soma	46147.59769	Soma	258974.4203
Contagem	6133	Contagem	29792

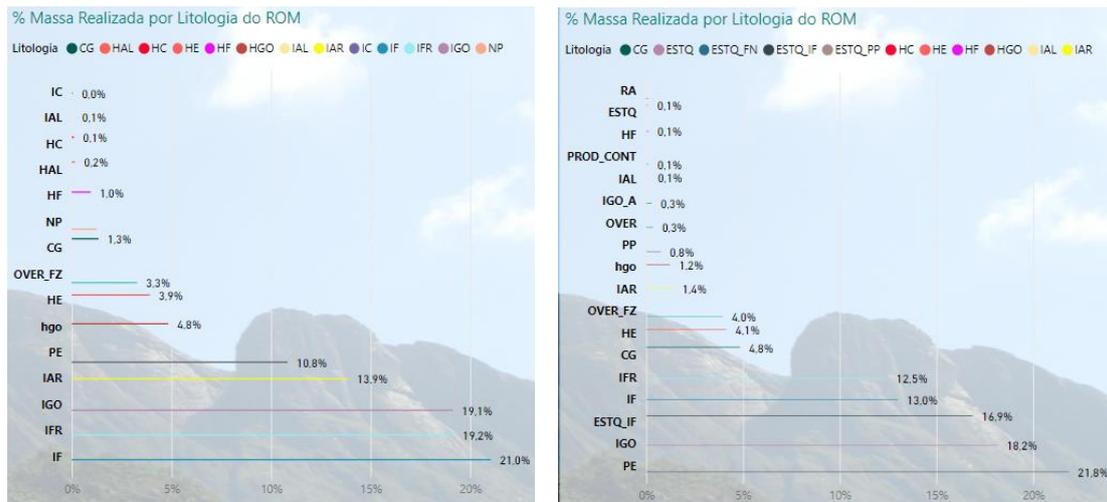
Fonte: Relatório Interno de Produção – GPVM.

Quanto ao percentual litológico na composição do ROM este tem sofrido várias modificações ao longo dos anos, seja em função da disponibilidade de minério e/ou da de demanda de qualidade dos produtos. Deve-se ainda considerar, mudanças significativas a partir obtenção da licença de expansão da cava de Fazendão e com o maior aproveitamento da Pilha de Estéril Revelado (Pilha Fosforoso) na Mina de Alegria.

Observa-se, no entanto, que a massa de ROM relacionada à Pilha de Fosforoso (PE) em Alegria e, também, a minérios do tipo canga (CG) e itabirito argiloso rico na Mina de Fazendão, teve significativo aumento na participação da alimentação das usinas no ano de 2021, em relação ao ano de 2018.

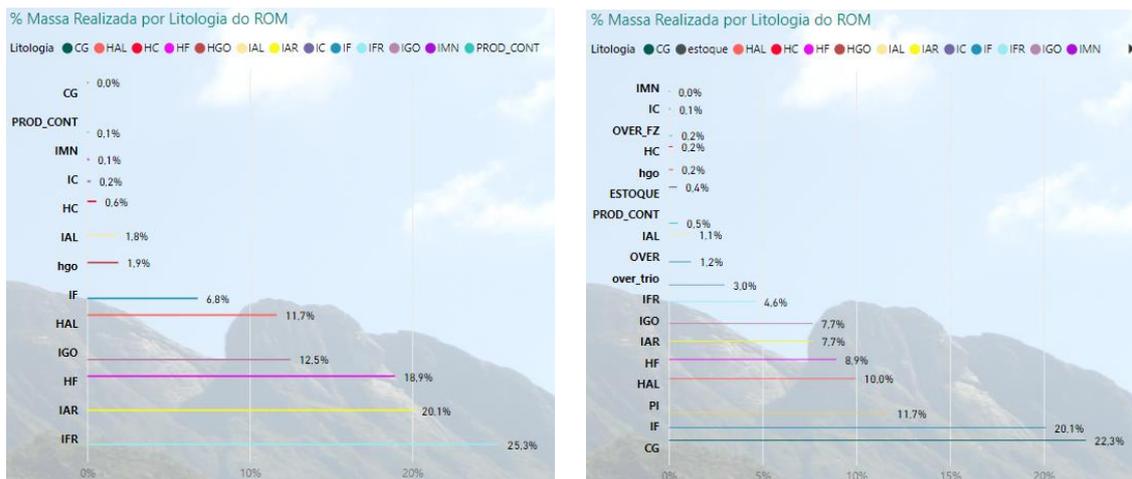
Os gráficos a seguir mostram esta evolução do ROM nas Usinas de IB3/IB2 – Mina de Alegria (gráfico 3) e IB4 – Mina de Fazendão (gráfico 4), nos anos de 2018 e 2021, respectivamente.

Gráfico 3 - Percentual litológico na alimentação das Usinas de IB2/IB3 nos anos de 2018 e 2021.



Fonte: Vale - Controle de Programação de Pilhas (2021).

Gráfico 4 - Percentual Litológico na Alimentação das Usinas de IB4 nos anos de 2018 e 2021



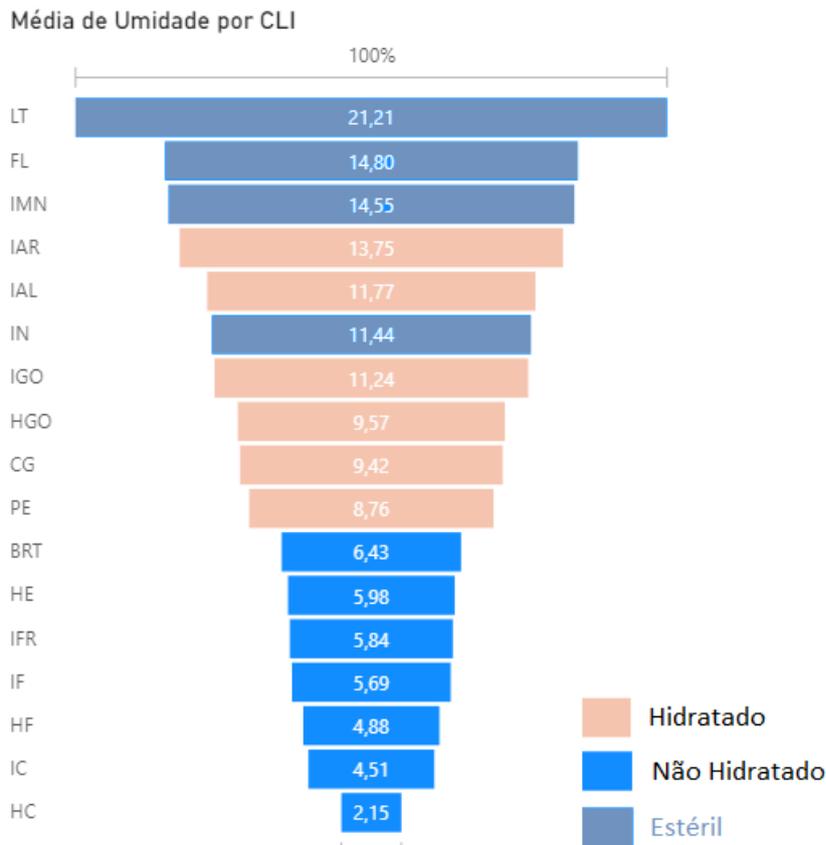
Fonte: Vale - Controle de Programação de Pilhas (2021).

## 6.2 Influência Sazonal da Umidade nos tipos de Minério / Produtos

Sabe-se que a umidade não é uma propriedade aditiva, quando se mistura os diversos materiais que compõem as pilhas, sendo necessário conhecer através de testes laboratoriais o comportamento individualizado em relação à variação do teor de água que lhe é atribuído.

Partindo de um banco de dados contendo 7.044 amostras com avaliação do teor de água (H<sub>2</sub>O), montou-se a seguinte distribuição da umidade média dos principais constituintes dos grupos litológicos das pilhas de ROM.

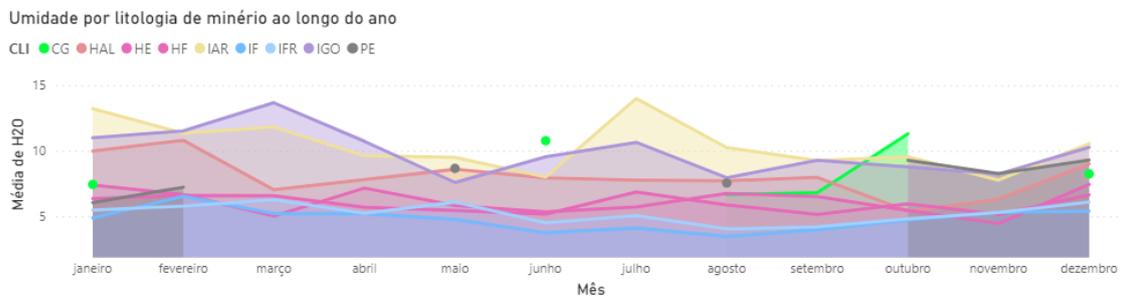
Gráfico 5: Umidade por litologia de minério/estéril.



Fonte: Vale – Banco de dados de amostras de Geologia (2021)

No entanto, havendo influência da pluviometria na umidade ao longo do ano, o gráfico 6 apresenta esta variação com base nos resultados das amostras de geologia coletadas mensalmente nas minas do Complexo Mariana. Pode-se observar que, nos primeiros meses e no final de cada ano, os valores de umidade são maiores para as principais litologias.

Gráfico 6: Variação da umidade por litologia de minério ao longo do ano.



Fonte: Vale – Banco de dados de amostras de Geologia (2021).

### 6.3 Composição do ROM na alimentação das usinas

O processo de produção diária baseia-se na programação de pilhas de ROM, que são alimentadas nas usinas de Alegria e Fazendão para a produção de fino-comum. Após formação das pilhas, a alimentação das Usinas é feita através de pás-mecânicas.

As pilhas de alimentação são programadas de acordo com o plano de lavra, obedecendo aos percentuais litológicos para o *blend* do ROM, considerando as qualidades previstas para o produto e os percentuais de material hidratado. Neste processo, são considerados como materiais hidratados os tipos de minério goethíticos e argilosos (Tabela 9). Estoques e pilhas depositados no interior da cava também são considerados materiais hidratados. A variação do percentual de hidratado tem implicações diretas na usina, sendo inversamente proporcional à produtividade.

Geralmente estes materiais possuem um índice mais elevado de umidade conforme mostrado no gráfico 5 e abaixo listados, sendo eles:

Tabela 09: Materiais considerados hidratados nas minas do Complexo Mariana.

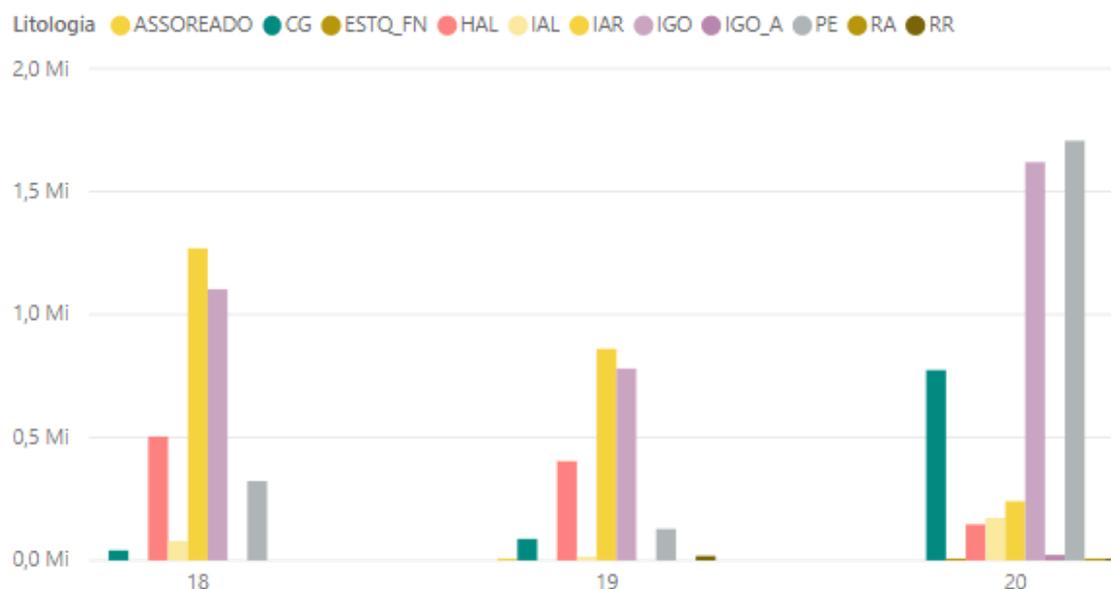
Litologia	Descrição
CG	Canga
HAL	Hematita Aluminosa
HGO	Hematita Gethítica
IAR	Itabirito Argiloso Rico
IGO	Itabirito Goethítico
PF/PE	Pilha de Estéril Temporário
RA	Rolado Argiloso
RR	Rolado Rico

Fonte: Plano de Lavra – Complexo Mariana.

Ao longo dos anos, a fornecimento de minerais tem-se condicionado à escassez de minérios mais nobres (hematitas limpas e itabiritos ricos); isto gerado pelo tempo de vida da mina, com disponibilidade de minério nas partes mais profundas da cava e geralmente com maior compacidade. Por outro lado, a abertura do *pit* de mina tem possibilitado minérios hidratados e com maior teor gerado por processos supergênicos.

O gráfico 7 mostra a crescente participação de materiais hidratados na alimentação das usinas de Alegria e Fazendão, nos anos de 2018, 2019 e 2020, principalmente, por materiais do tipo canga e itabiritos goethíticos.

Gráfico 7: Contribuição percentual por tipo de material hidratado na alimentação das Usinas de Alegria e Fazendão, nos anos 2018, 2019 e 2020



Fonte: Vale - Controle de Programação de Pilhas (2021)

## 6.4 Teste de Peneiramento

A análise química das amostras de litologia definidas a serem utilizadas no teste de peneiramento, é apresentar a seguir:

Tabela 10 – Resultados químicos das amostras de litologias (%)

Amostras	Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC
AM 1-FAZ-HAL	61,49	5,80	0,047	2,20	0,821	0,150	0,015	0,120	2,97
AM 2-FAZ-IAR	61,53	4,38	0,192	2,18	0,134	0,160	0,010	0,140	5,52
AM 3-FAZ-CG	60,84	2,42	0,114	4,25	0,069	0,474	0,019	0,010	6,41
AM 4-FAZ-CG	64,20	3,58	0,098	1,29	0,038	0,262	0,010	0,010	3,37
AM 5-ALG-IF	50,70	24,31	0,089	0,56	0,013	0,011	0,010	0,015	3,05
AM 6-ALG-IGO	50,65	12,67	0,151	3,23	1,676	0,078	0,022	0,208	9,79
AM 7-ALG-PE	54,10	15,30	0,118	2,11	0,060	0,284	0,010	0,065	4,43
AM 8-ALG-PE	60,84	7,98	0,110	0,86	0,047	0,087	0,010	0,109	3,61
AM 9-ALG-PE	57,76	8,62	0,137	1,92	0,099	0,253	0,010	0,115	6,68
AM 10-ALG-IAL	39,73	33,18	0,114	2,60	0,414	0,086	0,012	0,396	5,32
AM 11-FN-CG	60,46	3,23	0,241	1,49	0,061	0,412	0,010	0,092	8,15
AM 12-FN-IGO	52,34	17,02	0,098	1,25	1,338	0,040	0,015	0,140	3,77
AM 13-FN-RR	61,33	2,60	0,160	3,33	0,070	0,292	0,010	0,106	5,23
AM 14-FN-IF	40,79	39,83	0,053	0,67	0,201	0,026	0,010	0,139	0,89

Fonte: CPT – Teste de Peneiramento (2022).

Cada amostra foi testada isoladamente, apresentando a seguinte distribuição granulométrica nos testes de peneiramento:

Tabela 11 – Análise granulométrica do material passante em 40mm

Amostras	+40mm (%)	-40mm (%)	Amostras	% Passante (µm)						
				40.000	31.500	6.300	1.000	150	45	10
AM 1-FAZ-HAL	4,4	95,6	AM 1-FAZ-HAL	100,00	100,00	90,53	75,15	61,48	44,85	23,25
AM 2-FAZ-IAR	11,1	88,9	AM 2-FAZ-IAR	100,00	97,27	77,58	56,50	44,66	30,10	15,16
AM 3-FAZ-CG	44,2	55,8	AM 3-FAZ-CG	100,00	91,02	55,58	29,98	20,53	14,26	6,06
AM 4-FAZ-CG	61,0	39,0	AM 4-FAZ-CG	100,00	94,98	49,59	27,02	17,49	10,22	3,33
AM 5-ALG-IF	5,2	94,8	AM 5-ALG-IF	100,00	98,43	77,76	56,05	43,95	21,06	3,93
AM 6-ALG-IGO	6,7	93,3	AM 6-ALG-IGO	100,00	94,33	64,60	35,25	23,32	14,68	7,78
AM 7-ALG-PE	8,1	91,9	AM 7-ALG-PE	100,00	97,56	74,16	52,84	40,02	22,64	9,93
AM 8-ALG-PE	5,2	94,8	AM 8-ALG-PE	100,00	96,02	79,50	56,58	39,70	26,07	10,16
AM 9-ALG-PE	6,8	93,2	AM 9-ALG-PE	100,00	97,19	76,85	54,46	39,13	23,66	12,27
AM 10-ALG-IAR	0,5	99,5	AM 10-ALG-IAR	100,00	98,48	93,39	86,11	73,97	50,11	32,57
AM 11-FN-CG	63,3	36,7	AM 11-FN-CG	100,00	93,22	48,10	17,11	8,46	4,70	2,81
AM 12-FN-IGO	5,5	94,5	AM 12-FN-IGO	100,00	97,92	72,49	42,05	28,08	10,11	4,38
AM 13-FN-RR	27,1	72,9	AM 13-FN-RR	100,00	94,70	54,78	26,76	19,33	11,77	5,49
AM 14-FN-IF	0,8	99,2	AM 14-FN-IF	100,00	100,00	88,20	71,24	57,55	21,98	6,78

Fonte: CPT – Teste de Peneiramento (2022).

Na Tabela 12 e 13 são apresentados os teores e curvas de distribuição granulométrica, respectivamente, para o estudo de grupos litológicos.

Tabela 12 – Teores das amostras dos grupos litológicos (%)

Litologias	Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC
Plano 2022	56,53	12,21	0,115	1,76	0,256	0,191	0,012	0,079	4,74
Grupo 2	56,99	11,23	0,126	1,76	0,235	0,214	0,012	0,079	5,05
Grupo 3	56,00	12,39	0,117	1,84	0,385	0,179	0,013	0,089	5,04
Grupo 4	56,88	11,65	0,120	1,79	0,248	0,189	0,012	0,083	4,79
Grupo 5	57,28	11,03	0,127	1,83	0,238	0,186	0,012	0,088	4,86
Grupo 6	56,71	11,93	0,116	1,74	0,223	0,194	0,012	0,082	4,77
Grupo 7	56,94	11,57	0,118	1,71	0,181	0,198	0,011	0,086	4,81

Fonte: CPT – Teste de Peneiramento (2022).

Tabela 13 – Distribuição granulométrica das amostras dos grupos litológicos

Litologias	% Passante (µm)							
	40.000	31.500	16.000	6.300	1.000	150	45	10
Plano 2022	100,0	96,5	85,9	71,0	48,0	35,5	20,6	8,3
Grupo 2	100,0	96,1	84,4	68,7	44,9	32,8	19,0	7,8
Grupo 3	100,0	96,4	85,8	70,7	47,0	34,4	19,8	8,2
Grupo 4	100,0	96,5	86,2	71,5	48,6	36,1	21,2	8,8
Grupo 5	100,0	96,6	86,5	72,0	49,3	36,9	22,0	9,4
Grupo 6	100,0	96,5	86,6	72,1	49,2	36,2	21,2	8,8
Grupo 7	100,0	96,6	87,4	73,4	50,7	37,1	22,0	9,3

Fonte: CPT – Teste de Peneiramento (2022).

Percebeu-se, no entanto, que os valores dos teores em cada grupo litológico não foram diferentes do teor médio geral definido pelos parâmetros de produção.

#### 6.4.1 Análise Mineralógica

A caracterização mineralógica por fotomicrografia resultou nas seguintes composições mostradas na tabela 14.

Tabela 14 – Resultados da análise mineralógica por fotomicrografia das amostras e amostras de grupos

Amostras	Quantificação Mineralógica (%)														
	HE	HL	HG	HS	HC	HM	MA	GAnf	Galv	GMac	GT	OZ	MN	CA	GB
AM 1-FAZ-HAL	9,5	27,9	19,3	15,3	72,0	0,1	0,3	0,2	0,0	16,9	1,4	5,6	1,1	1,0	1,3
AM 2-FAZ-IAR	1,1	3,4	0,8	0,2	5,5	28,1	3,3	0,0	2,6	47,1	4,5	4,0	1,0	1,5	2,4
AM 3-FAZ-CG	4,2	12,3	6,0	16,1	38,6	13,0	3,2	0,0	3,2	34,0	0,4	2,2	0,0	0,0	5,4
AM 4-FAZ-CG	6,5	22,8	9,9	5,7	45,0	12,0	4,1	0,0	0,1	34,3	0,1	3,2	0,0	0,0	1,0
AM 5-ALG-IF	1,9	8,6	1,6	0,6	12,7	35,1	0,2	0,0	1,5	24,3	0,2	24,8	0,0	1,0	0,1
AM 6-ALG-IGO	0,1	0,5	0,5	0,0	1,2	1,6	1,2	0,7	13,0	61,7	2,0	8,8	2,4	6,6	0,7
AM 7-ALG-PE	1,5	6,8	1,9	9,7	20,0	22,1	6,7	1,5	2,3	29,6	1,0	14,5	0,0	0,0	2,0
AM 8-ALG-PE	4,0	22,5	11,1	7,0	44,6	14,7	2,5	0,1	0,0	27,9	1,8	7,5	0,0	0,0	0,9
AM 9-ALG-PE	0,4	2,4	0,6	0,7	4,1	24,4	5,3	2,5	2,3	48,3	2,6	7,8	0,0	0,2	2,5
AM 10-ALG-IAL	0,2	0,2	0,0	0,2	0,7	15,6	7,5	0,0	0,0	15,1	25,9	33,8	0,2	1,0	0,4
AM 11-FN-CG	0,0	0,0	1,5	1,6	3,2	21,2	4,6	0,0	0,4	63,8	2,5	3,6	0,5	0,0	0,4
AM 12-FN-IGO	2,6	3,6	1,2	35,1	42,6	8,8	2,3	0,0	2,3	21,6	1,9	16,6	2,1	0,1	1,6
AM 13-FN-RR	6,4	16,0	4,1	13,7	40,2	20,8	3,2	0,0	1,0	23,0	2,5	2,5	0,0	0,0	6,8
AM 14-FN-IF	6,2	9,3	1,5	5,7	22,6	20,7	8,7	0,6	0,1	5,9	0,8	38,1	0,2	1,4	0,5
<b>Plano 2022</b>	3,2	11,2	5,0	6,9	26,4	18,7	3,3	0,5	2,0	33,4	1,3	11,7	0,4	0,8	1,6
<b>Grupo 2</b>	3,0	10,4	4,8	6,5	24,6	18,8	3,4	0,5	1,8	36,1	1,4	10,8	0,4	0,7	1,5
<b>Grupo 3</b>	3,0	10,3	4,6	7,4	25,2	17,3	3,1	0,5	2,7	34,9	1,4	11,6	0,6	1,1	1,5
<b>Grupo 4</b>	3,0	10,7	4,7	6,4	24,9	19,4	3,3	0,5	2,0	34,3	1,5	11,1	0,4	0,8	1,6
<b>Grupo 5</b>	2,9	10,1	4,4	5,9	23,2	20,1	3,3	0,5	2,1	35,4	1,8	10,5	0,4	0,9	1,7
<b>Grupo 6</b>	3,0	11,1	5,0	6,7	25,8	19,0	3,5	0,7	1,9	33,7	1,4	11,4	0,3	0,6	1,6
<b>Grupo 7</b>	2,7	11,0	4,9	6,4	25,0	19,4	3,9	0,9	1,8	34,1	1,5	11,0	0,2	0,5	1,7

#### Legenda

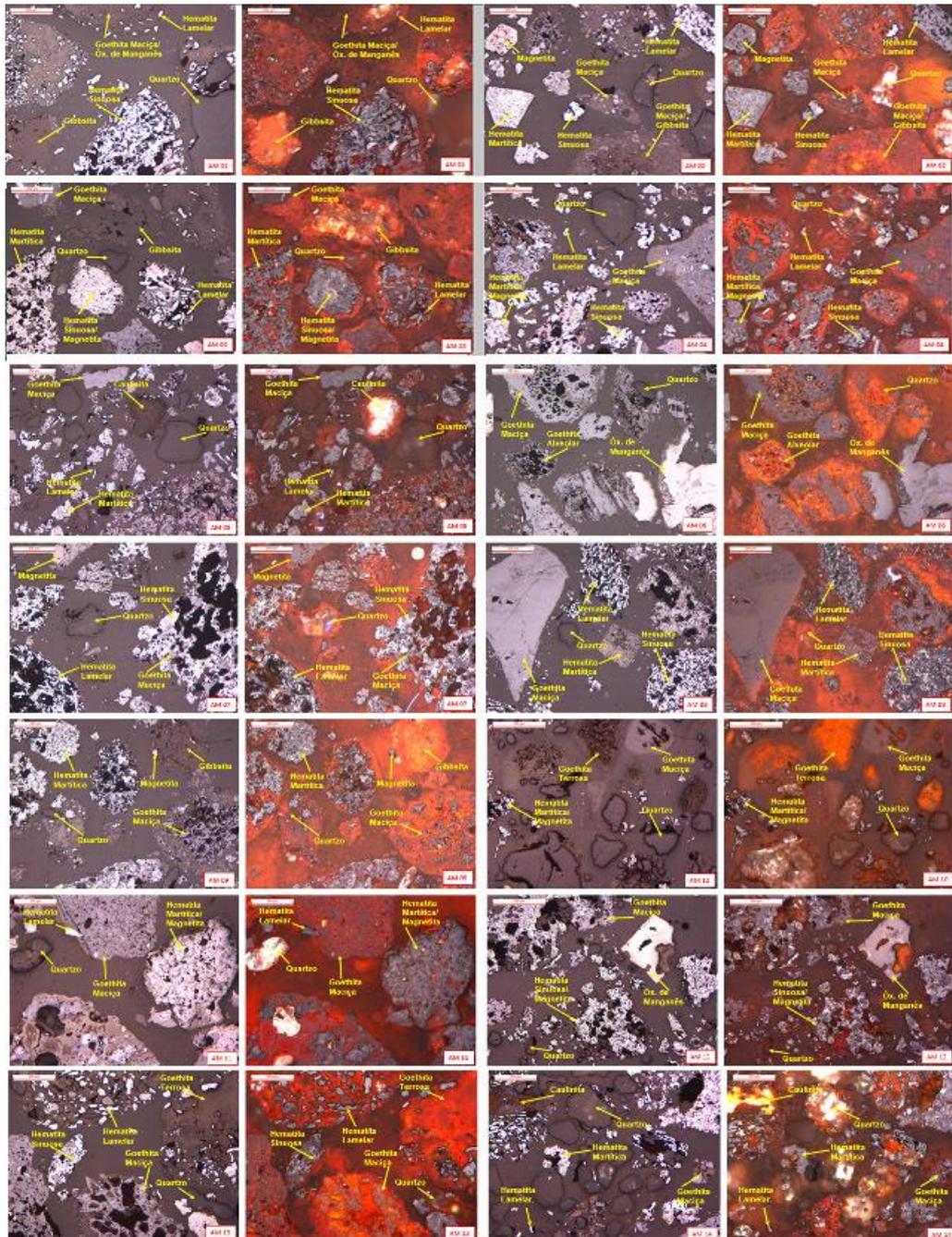
HL = Hematita Lamelar	HS = Hematita Sinuosa	GAnf = Goethita Anibolítica	QL = Quartzo Livre	GB = Gibbsite
HE = Hematita Especular	HC's = Hematitas compactas	GMac = Goethita Maciça	QM = Quartzo Misto	OT = Outros minerais
HG = Hematita Granular	HM = Hematita martítica	GD = Goethita	MN = Óxido de manganês	GCom = Goethita Compacta
HMic = Hematita Microcristalina	MA = Magnetita	GT = Goethita Terrosa	CA = Caulinita	

Fonte: CPT – Teste de Peneiramento (2022).

Observou-se nítida presença de goethita maciça nas litologias mais hidratadas, tais como IAR, IGO, PE e Canga. Adicionalmente, uma forte correlação entre a caulinita e óxidos de manganês.

O conjunto das fotomicrografias da caracterização mineralógica das amostras pode ser visto na Figura 43.

Figura 43 – Fotomicrografias da caracterização mineral das amostras de grupos



Fonte: CPT – Teste de Peneiramento (2022).

A partir do teste de peneiramento, com a peneira sem fim, aplicado aos grupos litológicos distribuídos conforme a ordem de prioridade e variando-se a umidade, obteve-se os seguintes resultados:

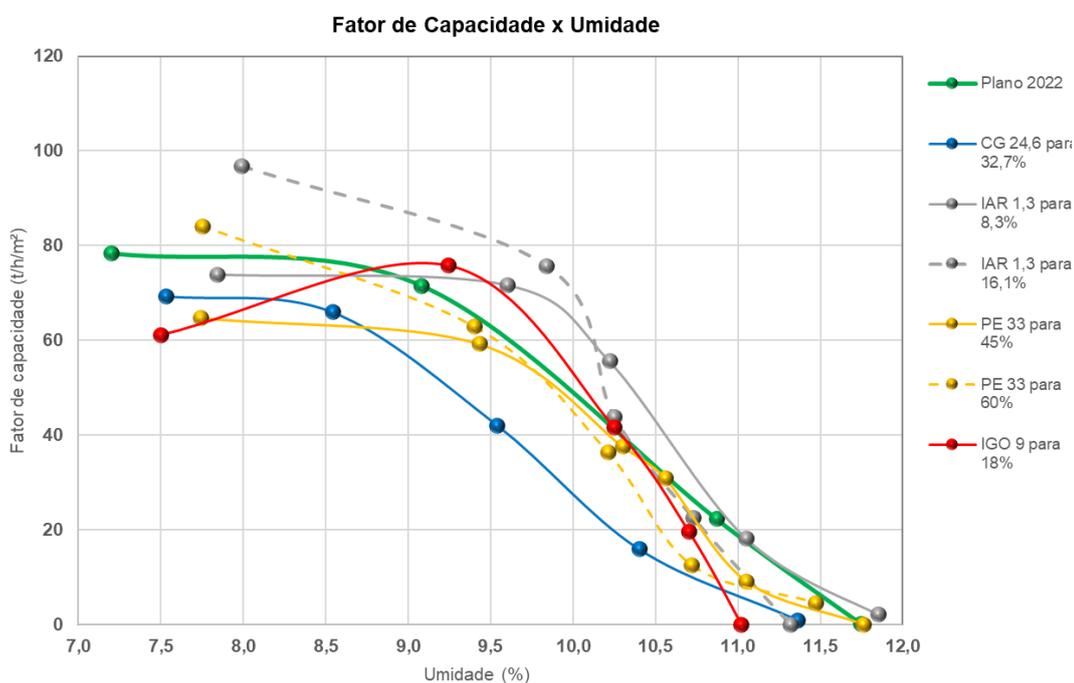
Tabela 15 – Resultados do Teste de Peneiramento - Umidade, eficiência de peneiramento e fator de capacidade

Ensaio	ID	Umidade (%)						Tempo 90% de eficiência (s)						Fator de capacidade (t/h/m <sup>2</sup> )					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Grupo 1	Plano 2022	7,20	9,08	10,87	11,75			4,7	5,3	17,2	ND			78,4	71,6	22,3	0,0		
Grupo 2	CG 24,6 para 32,7%	7,53	8,54	9,54	10,40	11,36	11,85	5,3	5,8	9,0	24,7	385,2	ND	69,3	66,0	42,1	15,9	0,9	0,0
Grupo 4	IAR 1,3 para 8,3%	7,84	9,60	10,22	11,05	11,85		5,2	5,5	7,1	21,7	182,7		73,9	71,6	55,6	18,2	2,1	
Grupo 5	IAR 1,3 para 16,1%	7,99	9,84	10,25	10,73	11,32		3,9	5,2	8,9	15,9	ND		96,8	75,8	43,9	22,6	0,0	
Grupo 6	PE 33 para 45%	7,74	9,43	10,30	10,56	11,05	11,76	5,8	6,5	10,7	13,1	44,2	ND	64,7	59,2	37,6	30,8	9,1	0,0
Grupo 7	PE 33 para 60%	7,75	9,40	10,21	10,72	11,47		4,7	6,1	10,7	31,3	80,3		84,1	62,9	36,4	12,5	4,6	
Grupo 3	IGO 9 para 18%	7,50	9,24	10,25	10,70	11,02		6,2	5,1	9,6	20,1	ND		61,2	75,9	41,6	19,7	0,0	

Fonte: CPT – Teste de Peneiramento.

De acordo com os resultados do teste de peneiramento foi montada a curva de umidade em relação ao fator de capacidade (t/h/m<sup>2</sup>) para os respectivos grupos considerando as variações percentuais das litologias consideradas em cada contexto. De acordo com as curvas obtidas, pode-se notar que o aumento da proporção de minério do tipo canga é prejudicial ao peneiramento, enquanto litologias como itabirito argiloso rico e itabirito goethítico a níveis de umidade inferior a 10.5% não afetam negativamente na eficiência do peneiramento.

Figura 44 – Curvas de peneiramento das amostras de grupos.



Fonte: CPT – Teste de Peneiramento (2022).

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A análise dos resultados do teste de peneiramento permitiu entender o comportamento das diversas litologias que compõem o ROM das Usinas do Complexo Mariana. Neste sentido, poderão ser estabelecidos parâmetros que garantirão uma maior produtividade considerando grupos litológicos e suas variações de umidade.

De acordo com os testes, evidenciado pelas curvas de peneiramento, para valores superiores a 9.5% de umidade dos grupos litológicos, o fator de capacidade do peneiramento é reduzido substancialmente. Por este motivo, é recomendável a realização de teste em escala industrial para reprodução dos testes laboratoriais e verificação destes parâmetros na capacidade produtiva da usina.

Sugere-se para a melhoria do desempenho das usinas o estudo de critérios para a formação de pilhas, que consistem na mistura de materiais com propriedades intrínsecas de peneiramento. Ou seja, a existência da possibilidade de formar pilhas de itabiritos e minérios aluminosos sem que sejam alimentados de forma isolada nos silos de alimentação. Esta prática é necessária, uma vez que, não existe processo de homogeneização dos materiais que compõem o ROM antes de alimentarem as usinas do Complexo Mariana.

Sabe-se que a variação da umidade na alimentação de usinas pode variar constantemente, por isso a previsão do teor de água por meio de ensaios laboratoriais precisos e de forma rápida podem auxiliar nas etapas subsequentes do beneficiamento de minério. Neste sentido, algumas empresas têm adotado a determinação do teor de água usando analisador de umidade por infravermelho, que permite obter resultados em tempos muito inferiores em relação aos métodos convencionais.

Recomenda-se o estudo do uso de superabsorventes antes do peneiramento para absorção de água através de polímeros o que contribui para um melhor escoamento/peneiramento da produção. Contudo, a oferta e o custo destes produtos podem ser elevados.

Conclui-se que é importante analisar tecnologias de melhorias na produtividade, seja através da substituição de equipamentos (tipo de peneira, telas); mudanças de processos que envolvam a formação do ROM; utilização de insumos externos; e conhecimento prévio dos teores de umidade alimentados na usina, principalmente durante o período chuvoso. Na área de conhecimento de modelagem geológica,

recomenda-se a otimização dos processos de estimativa da umidade, considerando a análise de teores de H<sub>2</sub>O em amostras de geologia, apresentadas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ROSSI, Daniel Quinaud. **Estratigrafia e arcabouço estrutural da região de Fábrica Nova, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais** / Daniel Quinaud Rossi, 2014.

FERREIRA, R. F. et al. **Limite de umidade transportável de minério de ferro: aspectos regulatórios e técnicos**. Tecnologia em metalurgia, materiais e mineração, São Paulo, jan-mar 2017. p.16-23.

ITV. **Redução da umidade do minério de ferro: inovações**. Vale do Rio Doce, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <<http://www.itv.org/inovacao/reducao-da-umidade-do-minerio/>>. Acesso em Julho de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 3087: Minérios de ferro - Determinação do teor de umidade de um lote**. ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16307: Minérios de ferro - Procedimentos para controle de umidade nos portos do Brasil para segurança no transporte marítimo de cargas**. ABNT, 2014.

AGUIAR, V. A. F. **Estudo da cinética de secagem e avaliação de metodologias para a determinação da umidade de sinter feed em analisador de umidade por infravermelho e em estufa**. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Química em 2018.

CUNHA, C. C. R. F. D. **Determinação dos teores de água em amostras de minério de ferro, manganês e de oxihidróxidos de ferro sintéticos**. Dissertação (Mestrado em Química) - UFOP. Ouro Preto, p. 92. 2016.

NUNES FILHO, Edis Siqueira. **Influência da umidade no dimensionamento e seleção de peneira vibratórias em instalações de britagem**. São Paulo, p.114. 2017.

CHAVES, A. P. **Britagem, Peneiramento e Moagem: Teoria e prática do tratamento de minério**. 4 ed. São Paulo, 2009. V.3

CORREIA, Julio Cesar G. **Tratamento de Minérios**. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT. 5 ed. Rio de Janeiro, p.965. 2010.

PRO-024448, Rev.: 02 – 27/11/2019 – **Teste de Peneiramento** (Documento Interno Vale).

CORREIA, J.C.G. **Classificação e peneiramento**. In: LUZ, A.B., SAMPAIO, J.A., FRANÇA, S.C.A. (Eds.) Tratamento de Minérios, 5ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM, 2010, p. 257-298