



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DA RECONCILIAÇÃO DENTRO DO FLUXO DE
PLANEJAMENTO DE MINA – ESTUDO DE CASO DE MELHORIA DA
AMOSTRAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

VICTOR MATHEUS PANTOJA SOARES

Orientador: Prof. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da Silva (UFPA)

Coorientador: MSc. Flávio Azevedo Neves Amarantes (Empresa)

BELÉM – PARÁ

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DA RECONCILIAÇÃO DENTRO DO FLUXO DE
PLANEJAMENTO DE MINA – ESTUDO DE CASO DE MELHORIA DA
AMOSTRAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

VICTOR MATHEUS PANTOJA SOARES

Orientador: Prof. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da Silva (UFPA)

Coorientador: MSc. Flávio Azevedo Neves Amarantes (Empresa)

BELÉM – PARÁ

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com
ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)**

S676a Soares, Victor Matheus Pantoja.
Avaliação da reconciliação dentro do fluxo de planejamento
de mina – Estudo de caso de melhoria da amostragem / Victor
Matheus Pantoja Soares. — 2022.
xv, 61 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da Silva
Coorientador(a): Prof. Me. Flávio Azevedo Neves
Amarantes Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade
Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de
Geologia, Belém, 2022.

1. Reconciliação. 2. Planejamento de Mina. 3. Controle
de Qualidade. 4. Modelo de Blocos. 5. Minério. I. Título.

CDD 553.098115



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

**AVALIAÇÃO DA RECONCILIAÇÃO DENTRO DO FLUXO DE
PLANEJAMENTO DE MINA – ESTUDO DE CASO DE MELHORIA DA
AMOSTRAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:
VICTOR MATHEUS PANTOJA SOARES

**Como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia, área de
Geologia Econômica, linha de pesquisa em Mineração e Planejamento de Mina.**

Data da aprovação: 03/11/2022

Conceito: EXCELENTE

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da Silva – Orientador
(Doutor em Geologia Econômica e Geoquímica - UFPA)

Documento assinado digitalmente

gov.br

FLAVIO AZEVEDO NEVES AMARANTE
Data: 16/01/2023 19:35:22-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Flávio Azevedo Neves Amarantes - Coorientador
(Mestre em Geoestatística - URGs)

Documento assinado digitalmente

gov.br

FABIO HENRIQUE GARCIA DOMINGOS
Data: 17/01/2023 09:21:04-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Fábio Henrique Garcia Domingos – Membro Externo
(Doutor em Geologia Estrutural - UFPA)

AGRADECIMENTOS

Aqui quero deixar registrado meus sinceros agradecimentos a todos que me ajudaram e contribuíram de alguma forma para a minha trajetória na faculdade e na vida.

- Primeiramente, agradeço a Deus pela minha vida e da minha família, pela saúde, por todo amor, toda sabedoria, proteção, oportunidades, bençãos, por me dar forças todos os dias, por renovar sempre a minha fé e me tornar uma pessoa melhor;

- Agradeço a Nossa Senhora por sempre interceder por mim e minha família, por todo o amor e cuidado, por renovar todos os dias a minha fé e da minha família e por sempre me ouvir;

- Agradeço a minha mãe Roseli e minha Avó Antônia por todo o cuidado, por sempre acreditarem em mim, por sempre fazerem tudo que era possível e impossível para me ajudar, pelos conselhos, por ficarem felizes com cada conquista minha, como quando eu passei na faculdade e organizaram todo o churrasco, por serem minha base e minha referência, por serem minhas duas mães maravilhosas;

- Ao meu irmão Vinicius por ser tão especial e me ensinar a ser uma pessoa muito melhor todos os dias, por todo o amor e sentimento sincero e pela parceria;

- Ao meu Avô Osmar (*in memoriam*) por me ouvir ler as histórias da turma da mônica quando eu era criança, por sempre fazer de tudo pra me ajudar em alguma idéia que eu tinha, por sempre acreditar em mim e querer o meu melhor, por ficar extremamente feliz quando eu passei na faculdade, por também me ensinar a ser uma pessoa melhor e mais paciente e reconhecer quando eu estava errado. Obrigado também pelo último móvel que o senhor construiu, que foi a mesa onde eu estudo;

- Aos meus tios Rildo e Ricardo por também sempre me ajudarem, pelo incentivo e por fazerem tudo que estava ao seu alcance para me ajudar na escola ou na faculdade, por todo aprendizado e tarefas que realizamos juntos, como quando eu acompanhava meu tio Rildo a tocar cavaquinho ou quando ele deixava eu usar o PC e por todas as conversas sobre séries e filmes. Também com meu tio Ricardo tendo disciplina quando ele pedia pra eu ajuda-lo no trabalho mesmo eu querendo sair pra outro lugar, saindo com ele pra jogar bola e ajudando quando ele precisa comprar algo na internet;

- Ao meu tio Ronaldo, à tia Selma, ao meu primo Marcos e à minha prima Suellem por todas as brincadeiras principalmente quando eu era criança, por todo companheirismo, por todos os conselhos e por sempre ficarem felizes pelas minhas conquistas;

- Agradeço a minha namorada Carolina por sempre acreditar em mim, por todo amor e companheirismo, pelo incentivo, pela paciência, compreensão e por todo o apoio durante esses anos;

- À amada Universidade Federal do Pará (UFPA) por todas as oportunidades proporcionadas, por todo o aprendizado durante os anos, por todas as alegrias concedidas e por todas as pessoas que eu conheci;
- Ao Instituto de Geociências e à Faculdade de Geologia por todo o aprendizado, suporte, apoio e luta para fornecer a melhor infraestrutura e aprendizado para os alunos, tanto na faculdade quanto nas viagens de campo, as quais são muito cansativas e demandam muito investimento;
- Ao meu Orientador Dr. Evaldo da Silva por acreditar em mim e no meu trabalho, por disponibilizar seu tempo para me ajudar e por todo o suporte fornecido. Ao meu Coorientador Ms. Flávio Amarante, por todo o conhecimento compartilhado e por sempre disponibilizar seu tempo para me ajudar;
- À empresa onde estagiei e estou trabalhando atualmente pela disponibilização dos dados para meu trabalho de conclusão de curso, pelo imensurável crescimento profissional e pessoal, pelos infinitos aprendizados proporcionados tanto na minha área, quanto em áreas nas quais eu não tinha afinidade, pela grande maturidade e responsabilidade adquirida e por sempre acreditarem em mim e no meu trabalho, me ensinando um pouco mais todo os dias;
- Aos meus colegas de trabalho, especialmente Eric Sennavoinne, Sandy, Flávio, Victor, Giulli, Mayara, Thaynara, Manaças, Eliane, Lucas, Ângelo, João, Wendell, Neilton, Leonardo, José, Washington, Camila, Samanta, Julele e Fábio por sempre acreditarem no meu potencial, por sempre me ajudarem, por todo o gigantesco conhecimento compartilhado, pelos conselhos e pela amizade;
- Aos meus Gestores e colegas mais recentes Takehiro, Vinicius, por todo direcionamento, responsabilidade e maturidade adquirida, por acreditarem em mim, pelos conselhos, pelos conhecimentos compartilhados, pela motivação e pela amizade;
- A toda a equipe de sondagem pelo acolhimento, pela parceria, por acreditarem em mim, pelos inúmeros aprendizados (principalmente em manutenção), pelo respeito mútuo e por me ajudarem a manter um senso de responsabilidade e disciplina;
- Ao time do I³ por me fazer ter os primeiros contatos com áreas e pessoas fora da Geologia dentro de uma empresa de mineração, por toda a disciplina, conhecimento adquirido e por me incentivar a ter um pensamento voltado para a Melhoria Contínua;
- Agradeço a todos os funcionários da empresa, que, diretamente ou indiretamente contribuem com o nosso desenvolvimento, nos auxiliam no trabalho e ajudam a melhorar o nosso bem estar;

- À Datamine por ter me escolhido para o estágio, pelos primeiros contatos com os *softwares* voltados à mineração e pelo gigantesco aprendizado proporcionado nas principais áreas voltadas para a Geologia no mercado de trabalho da mineração. Agradeço à Anielle, Giulia, Franco, André Soares, André Reis, Thum, Cadaxa, Raylline, Maciel, Thamires, Iago, Bénédicte, Arthur e Lúcio por toda a troca de experiência;
- Aos professores e professoras da Faculdade de Geologia por sempre nos incentivarem, por nos ensinarem essa ciência maravilhosa que é a Geologia, por buscarem o nosso melhor e nos dar todo o suporte possível. Agradeço em especial aos professores com os quais tive a oportunidade de trabalhar mais próximo em Iniciações Científicas e no TCC, que são José Bandeira (JB), Carlos Marcello (CM) e Evaldo Raimundo;
- Agradeço a todos os funcionários do Instituto de Geociências que contribuem com o nosso aprendizado de forma direta ou indireta, como os técnicos, pessoal de logística das viagens de campo, pessoas que trabalham na limpeza, motoristas, professores e diretores;
- À todas as amigadas que criei durante esses anos na faculdade, principalmente à minha turma GEO 17, por toda a parceria, amizade, conselhos, ajudas, suportes e pelas milhares de histórias que vamos ter: Adriane, Maria Laura, Mayara, Gabriel, Élida, Sarah, Sara, Giovanna, Manaças, Mário, Wyllyams (regatinha), Heron (Heronzinho), Carol (dupla), Beatriz, João Matheus, Eduardo, Yvina e Brenda;
- Aos meus amigos mais antigos Bruno e Denilson, que, muitas vezes mesmo de longe, nunca deixaram de estar presentes e sempre me ajudaram e apoiaram
- À minha ex-namorada e a sua família por todo o apoio e amizade sempre que eu precisei, especialmente ao seu Pai, sua Mãe e sua Madrasta;
- A todos que eu citei, a todos que, em algum momento, contribuíram de forma direta ou indireta para o meu crescimento profissional e pessoal e me ajudaram na conclusão deste curso, inclusive aqueles os quais não consegui colocar nos agradecimentos, sou infinitamente grato. **Muito Obrigado!**

RESUMO

Para que uma empresa de mineração inicie a etapa de lavra de um minério, diversas fases anteriores precisam ser executadas, como a etapa de pesquisa mineral, sondagem, preparação e análise de amostras, juntamente com QA/QC, criação do modelo geológico, estimativa de recursos e geração do modelo de blocos, classificação de recursos, otimização de cavas e sequenciamento. Toda a etapa de Planejamento de lavra de uma mina e sequenciamento têm como base o modelo de blocos, o qual é gerado através de modelagem e estimativas usando métodos tradicionais e/ou geoestatísticos. Visto que o modelo é criado a partir de uma estimativa, é preciso fazer a validação do mesmo. Durante a criação dele diversas validações importantes são realizadas, porém a principal ratificação do modelo é obtida com as reconciliações, já com a mina em operação. As reconciliações são a comparação entre uma medição e uma estimativa, nesse caso, entre os dados reais de produção/lavra (volume/tonelagem/qualidade) e a estimativa realizada no modelo de blocos. Com isso, a reconciliação se torna um instrumento utilizado para validar o modelo, para detectar falhas nas operações e fornecer oportunidade de melhorias. No presente trabalho, foi detectado ao longo das reconciliações mensais que um dos parâmetros de qualidade do minério (*grit*) estava destoando na comparação entre os dados reais e os dados do modelo geológico. Primeiramente partiu-se da premissa que o modelo estava coerente e foi realizada auditoria em campo para verificar como as amostras que representavam a qualidade real do minério eram coletadas. Em campo, verificou-se que as amostras eram coletadas de forma inapropriada nas pilhas de minério, a amostragem era não-probabilística, a frequência de coleta era inadequada e a preparação era executada em um local impróprio e com ferramentas indevidas. A partir dessas considerações, uma equipe de trabalho foi formada e após diversas análises e debates, foi decidido interromper a amostragem das pilhas e mudá-la para uma amostragem onde se tem o produto da alimentação do *blunger* (na forma de polpa), pois considerou-se que seria uma amostragem representativa e com a periodicidade adequada. Esse tipo de amostragem já era realizada, porém se passou a coletar uma maior quantidade de amostras ao longo do dia e mais análises também passaram a ser efetuadas, permitindo que tanto a produção, utilizando esses dados instantaneamente para o controle de qualidade da blendagem, quanto a Geologia, utilizando nas reconciliações e no auxílio do controle de qualidade da mina, possam se beneficiar do novo processo. Após o início da nova amostragem foi possível verificar nas reconciliações que os dados de qualidade entre produção e o modelo de blocos se tornaram aderentes, confirmando que a discrepância existia devido a um problema em uma fase operacional (amostragem) e não devido a uma falha no modelo

Palavras-chave: reconciliação; modelo de blocos; amostragem; qualidade; minério.

ABSTRACT

For a mining company to start the mining stage of an ore, several previous stages need to be performed, such as the mineral research stage, drilling, sample preparation and analysis, along with QA/QC, creation of the geological model, estimation of resources and block model generation, resource classification, pit optimization and sequencing. All mining planning and sequencing steps are based on the Geological Model, which is generated through modeling and estimates using traditional and/or geostatistical methods. Since the model is created from an estimate, it is necessary to validate it. During block model creation, several important validations are carried out, but the main ratification of the model is obtained with the reconciliations, with the mine already in operation. Reconciliations are the comparison between a measurement and an estimate, in this case, between the production/mining data performed (volume/tonnage/quality) and the estimate made in the block model. As a result, reconciliation becomes an instrument used to validate the geological model, to detect failures in operations and provide opportunities for improvement. In the present work, it was detected during the monthly reconciliations that one of the ore quality parameters (grit) was not in harmony in the comparison between the real data and the data from the geological model. First, it was assumed that the model was coherent and an audit was carried out in the field to verify how the samples that represented the real quality of the ore were collected. In the field, it was seen that the samples were collected inappropriately in the ore piles, the sampling was non-probabilistic, the collection frequency was inadequate and the preparation was carried out in an inappropriate place and with inappropriate tools. Based on these considerations, a work team was formed and after several analyzes and debates, it was decided to interrupt the sampling of the piles and change it to a sampling where the product of the blunger feed (in the form of pulp) is presente, since was assumed that it would be a representative sampling and with the appropriate frequency. This type of sampling was already performed, but more samples throughout the day began to be collected and more analyzes were also carried out, allowing both production, using these data instantly to control the quality of the blend, and Geology, using in reconciliations and in helping to control the ore mine's quality, can benefit from the new process. After the start of the new sampling, it was possible to verify in the reconciliations that the quality data between production and the Geological Model became adherent, confirming that the discrepancy existed due to a problem in an operational phase (sampling) and not due to a failure in the Geological Model.

Keywords: reconciliation; block model; sampling; quality. ore.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da mina de estudo. A) Localização do estado do Pará dentro do Brasil, com demarcação dos limites estaduais. B) Posicionamento do município de Ipixuna do Pará dentro do estado, com demarcação dos limites municipais. C) Localização da mina onde o trabalho foi realizado dentro do município de Ipixuna do Pará.	6
Figura 2 - A) Mapa Geológico da região de estudo onde a Mina IRCC está inserida; B) Localização dentro do estado do Pará dos municípios destacados na figura A. Modificado de Vasquez; Rosa-Costa, 2008.	7
Figura 3 - Foto mostrando o Perfil Geológico da mina, com destaque para as unidades e as superfícies de discordâncias que as separam.	7
Figura 4 - Coluna estratigráfica mostrando a disposição e as correlações litoestratigráficas das unidades cretáceas da região de rio Capim (Sub-Bacia Cametá), com depósitos equivalentes em subsuperfície e depósitos cretáceos da bacia São Luís-Grajaú. Santos Jr & Fátima Rossetti (2003).	9
Figura 5 - A) Perfil exibindo o contexto Geológico local da mina em estudo no presente trabalho, com seus respectivos períodos e idades. B) Perfil estratigráfico local associado às unidades Geológicas.	10
Figura 6 - Sequência estratigráfica exibindo as principais camadas geológicas através de um perfil de uma das cavas da jazida.	11
Figura 7 - Modelo de blocos geológico, gerado através de estimativa de recursos.	15
Figura 8 - Método de lavra em tira exemplificada para lavra de carvão, que também se aplica para o Caulim. Figura evidencia as operações de exploração, decapeamento, lavra e recuperação de área. Fonte: Internet (2018).	17
Figura 9 - Fluxograma que demonstra toda as etapas de um empreendimento mineiro desde a Exploração até a Lavra e, posteriormente, a Reconciliação.	19
Figura 10 - Diagrama esquemático utilizado para classificação de pilhas de minério de acordo com a qualidade encontrada, levando em consideração os parâmetros de alvura alvejada da fração fina e quantidade de areia (grit).	20
Figura 11 - Fluxograma demonstrado a etapa de lavra até o bombeamento do minério.	21
Figura 12 - Etapas do Ciclo PDCA. Fonte: Internet.	22
Figura 13 - Fluxograma da metodologia de reconciliação utilizada.	22
Figura 14 - Visão em perspectiva de uma superfície topográfica no formato “.dwg/.dxf” repassada pela equipe de topografia.	24

Figura 15 - Desenho esquemático em seção para representar a utilização de constraints através de DTM's (superfícies). A) Modelo de blocos completo e as superfícies topográficas com as quais serão criadas as delimitações; B) Modelo de blocos filtrado com base nas superfícies utilizadas.	25
Figura 16 - Blocos restantes após a criação de constraints por superfícies. A) Visão em planta; B) Visão em perspectiva.	26
Figura 17 - Limites de lavra e decapeamento juntamente com os blocos resultantes das constraints por superfície.	27
Figura 18 - Modelo de blocos após a aplicação de delimitações. A) Modelo logo após a aplicação das constraints de DTM; B) Modelo após a aplicação de constraints de DTM e strings.	27
Figura 19 - Reconciliações em relação aos volumes de janeiro até outubro de 2021 na mina em estudo.	28
Figura 20 - Reconciliações ao longo dos meses para os parâmetros de qualidade. A) Alvura crua; B) Grit; C) Alvura alvejada da fração fina; D) PSD2 (Particle size distribution abaixo de 2 micras).	29
Figura 21 - Variações percentuais ao longo dos meses para os parâmetros de qualidade avaliados nas reconciliações. A) Alvura crua; B) Grit; C) Alvura alvejada da fração fina; D) PSD2 (Particle size distribution abaixo de 2 micras).	29
Figura 22 - Amostragem e preparação de uma amostra de minério de caulim. A) Coleta da amostra; B) Homogeneização da amostra e início do quarteamento; C) Amostra quarteada.	30
Figura 23 - Figura esquemática para representar a metodologia utilizada pra coletar amostras de minério em pilha. (Grigorieff <i>et al.</i> 2002).	31
Figura 24 - A) Caulim em cima de uma lona; B) e C) Distribuição/Homogeneização do material mediante levantamento dos vértices opostos da lona; D) Achatamento do material para possibilitar a divisão; E) Visão em planta da pilha cônica formada e dividida em 4 partes iguais; B) Junção das pilhas de setores opostos.	32
Figura 25 - Operador realizando a cada 2h a coleta do material que foi alimentado e disperso no blunger.	35
Figura 26 - Reconciliações ao longo dos meses para os parâmetros de qualidade, com destaque para os seis meses após a realização do projeto de melhoria.	36
Figura 27 - Variações percentuais ao longo dos meses para os parâmetros de qualidade avaliados nas reconciliações, incluindo os meses após o estabelecimento do projeto, e com destaque para o grit.	37

Figura 28 - Bastão utilizado em campo para o cadastro das coordenadas topográficas X, Y, Z.	42
Figura 29 - Superfície topográfica no formato “.dwg/.dxf” repassada pela equipe de topografia.	43
Figura 30 - Visão em planta de uma medição topográfica no formato de linhas.	44
Figura 31 - Caminho no surpac para geração de uma superfície DTM.	45
Figura 32 - Localização do modelo de blocos dentro dos diretórios do computador na janela Navigator	46
Figura 33 - Exibição do modelo de blocos no ambiente 3D do software.	46
Figura 34 - Acesso as ferramentas de criação de constraints.	47
Figura 35 - Ferramenta para criação de diversos tipos de constraints.	48
Figura 36 - Ferramenta para criação de constraints, com destaque para a opção DTM selecionada em Constraint Type.	48
Figura 37 - Desenho esquemático em seção para representar a utilização de constraints através de DTM's (superfícies). A) Modelo de blocos completo e as superfícies topográficas com as quais serão criadas as delimitações; B) Modelo de blocos filtrado com base nas superfícies utilizadas.	49
Figura 38 - Definição de parâmetros para a criação da primeira constraint de superfície.	50
Figura 39 - Definição de parâmetros para a criação da segunda constraint de superfície.	51
Figura 40 - Blocos restantes após a criação de constraints por superfícies. A) Visão em planta; B) Visão em perspectiva.	51
Figura 41 - Janela Navigator mostrando o diretório onde se encontram os limites de movimentação de material na mina durante um mês.	52
Figura 42 - Limites de lavra e decapeamento juntamente com os blocos resultantes das constraints por superfície.	53
Figura 43 - Acesso as ferramentas de criação de constraints.	53
Figura 44 - Parâmetros de destaque na criação de constraints a partir de strings.	54
Figura 45 - Operações booleanas na criação de constraints a partir de strings.	55
Figura 46 - Modelo de blocos após a aplicação de delimitações. A) Modelo logo após a aplicação das constraints de DTM; B) Modelo após a aplicação de constraints de DTM e strings.	55
Figura 47 - Caminho para salvar a visualização como um arquivo de constraint.	56
Figura 48 - Salvar a visualização do modelo como um arquivo de constraint.	56

Figura 49 - Caminho para criação de um report.....	57
Figura 50 - Caixa de ferramenta para a geração de report.....	58
Figura 51 - Atributos a serem utilizados na geração de um report.....	59
Figura 52 - Seleção dos atributos chave de interesse para os parâmetros reportados. ...	60
Figura 53 - Seleção de constraint para ser aplicada ao report.	61

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 RELAÇÃO ENTRE AMOSTRAGEM E RECONCILIAÇÃO	3
1.3 JUSTIFICATIVA	4
1.4 OBJETIVOS	5
1.5 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	5
1.6 CONTEXTO GEOLÓGICO	7
1.6.1 Geologia Regional	8
1.6.2 Geologia Local	9
1.6.3 Minério de Caulim	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 AMOSTRAGEM	13
2.2 UNIVERSO/POPULAÇÃO	13
2.3 AMOSTRA	13
2.4 INCREMENTO	13
2.5 AMOSTRA PRIMÁRIA	13
2.6 AMOSTRA FINAL	13
2.7 QUARTEAMENTO	14
2.8 AMOSTRAGENS DE CONTROLE DE QUALIDADE	14
2.9 AVALIAÇÃO DE RECURSOS	14
2.10 MODELO DE BLOCOS	15
2.11 PLANEJAMENTO DE LAVRA	15

2.12	MÉTODO DE LAVRA.....	16
2.13	RECONCILIAÇÃO	18
3	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EMPREENDIMENTO.....	20
3.1	PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DO MINÉRIO	20
3.2	PLANTA DE BENEFICIAMENTO	21
4	METODOLOGIA.....	22
4.1	METODOLOGIA DE RECONCILIAÇÃO.....	22
4.1.1	Geração de superfícies topográficas	23
4.1.2	Criação de constraints.....	24
4.2	IDENTIFICAÇÃO E HISTÓRICO DO PROBLEMA	28
4.3	AMOSTRAGEM.....	30
4.3.1	Auditoria em campo das amostragens de minério	30
4.4	DISCUSSÕES ACERCA DAS MELHORIAS A SEREM REALIZADAS...	33
4.5	NOVO PROCESSO DE AMOSTRAGEM.....	33
5	RESULTADOS	36
6	DISCUSSÕES	38
7	CONCLUSÕES.....	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE A-.....	42

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

No empreendimento mineiro existem diversas etapas subsequentes que utilizam o modelo numérico da jazida mineral como premissa. O planejamento de lavra, o sequenciamento e a análise econômica da jazida estão etapas necessárias para a avaliação da viabilidade do empreendimento mineral, todas estas baseadas na avaliação dos recursos minerais previa. Além disso, grandes empresas do setor da mineração constroem relatório de recursos e reservas que reporta para a bolsa de valores os resultados obtidos na estimativa de teores, volumes e tonelagens obtidas para o depósito mineral. Essas estimativas realizadas são fundamentadas majoritariamente em amostras de furos de sondagem (Chierigati *et al.* 2011), porém, no geral, menos de um bilionésimo do volume de um depósito mineral é amostrado através de sondagem, por isso teores e outros atributos os quais se quer determinar necessitam ser estimados nas regiões não amostradas.

A estimativa de recursos minerais depende direta e indiretamente de diversos processos anteriores nos quais existem erros associados. O modelo de recursos é a soma da avaliação de dados reais e interpretações do fenômeno de interesse, e desta forma subjetivo, por isso, ao final de todo o processo, existe a necessidade de avaliar os resultados obtidos.

A validação do modelo de recursos tem dois objetivos principais: Garantir a confiabilidade do modelo e aderência a realidade, e fornecer uma medida de precisão da estimativa em relação as variáveis estimadas. O modelo deve representar claramente os dados disponíveis nas amostras usadas para a estimativa. Para garantir essa premissa, além da validação final do modelo, as checagens devem abranger cada etapa, desde o processo de importação dos dados, até a estimativa, tais como: validação do banco de dados, validação da topografia, verificar coordenadas dos furos, definição de domínios geológicos, validação da interpretação dos domínios, validação do modelo de blocos, validação da estimativa e classificação de recursos (Abzalov, 2016). Um modelo assertivo é aquele que reproduz de forma mais fiel possível as tonelagens/volumes e teores extraídos da jazida na realidade. Trata-se da avaliação final do modelo, a chamada reconciliação, tema principal dessa pesquisa. A reconciliação é realizada somente quando a mina já está em operação, no estágio posterior à lavra.

Na reconciliação são confrontados os dados de produção oficial da mina contra o modelo estimado, os resultados são utilizados para calibrar futuras atualizações do

modelo, identificar problemas e oportunidades de melhorias, fornecer indicadores de desempenho e validar o modelo de recursos e reservas (Rossi & Deutsch, 2013). Existem diversos tipos de reconciliações, como a comparação entre quantidade e teores do que foi planejado e o que foi executado, entre o que foi executado e o que foi estimado ou entre a lavra e a planta de beneficiamento. Quando os resultados dessas reconciliações demonstram grande variação entre os dados comparados, é possível denotar algum problema em uma das diversas etapas do empreendimento e por isso, é preciso criar estratégias que minimizem esse problema (Câmara, 2013). Além disso, a reconciliação é uma etapa indispensável dentro do planejamento de mina a céu aberto, que visa, além da comparação de volumes e qualidades da produção e modelo de blocos, apresentar a quantidade e qualidade de minério exposto e realizar o sequenciamento de lavra de curto prazo.

Neste trabalho foi realizado o estudo da reconciliação do modelo de blocos de uma jazida de caulim pertencente a Imerys, localizada no estado do Pará. Através dessa reconciliação foi possível denotar falhas no processo de amostragem e propor adequações para otimizar esse processo.

O trabalho foi desenvolvido em uma mina localizada no município de Ipixuna do Pará-PA, nordeste paraense, pertencente ao grupo Imerys. Esta empresa é uma empresa multinacional francesa que lida com comércio e exploração de diversos tipos de minerais industriais, fornecendo suporte para uma série de setores como construção civil, automotivo, bens de consumo, entre outros. A atividade foi desenvolvida em uma mina de Caulim considerada a maior mina e a segunda maior reserva de caulim do mundo (Luz *et al.*, 2008).

O controle de qualidade do minério no empreendimento citado era realizado através da coleta de amostras em pilhas de minério. Os caminhões são carregados com minério pela escavadeira dentro da cava, e o mesmos se deslocam até o pátio de estoque onde é realizado o descarregamento conforme a qualidade do minério, formando assim as pilhas de estoque de minério. Colaboradores responsáveis pela coleta retiravam pequenos incrementos para formar uma amostra com o objetivo de representar a qualidade do minério. Posteriormente as amostras eram levadas para o laboratório para análise de teores. Os resultados das diversas amostras coletadas ao longo do tempo representavam a qualidade do minério lavrado por parte da produção e serviam como dados para serem abastecer as reconciliações

1.2 RELAÇÃO ENTRE AMOSTRAGEM E RECONCILIAÇÃO

Muitas vezes uma reconciliação que parece bem-sucedida pode ser fruto de uma coincidência de erros, ou seja, ser ilusória. Isso ocorre quando um erro em uma etapa do processo é compensado por um erro em outra etapa. A principal fonte de erro a ser considerada em um processo de reconciliação é a amostragem, pois a influência do seu enviesamento é extremamente difícil de se medir (Chieregati *et al.* 2011).

Segundo Gy (1998) “A estimativa de boa qualidade é uma corrente, e a amostragem é o seu elo mais fraco”, desta forma é possível afirmar que a estimativa depende de uma série de etapas e a amostragem é a fase a qual apresenta a maior probabilidade de erro associado. A Amostragem é necessária para a estimativa em qualquer situação que não seja possível se obter dados de toda a população, desde censos, estimativa de recursos e estimativa de qualidade da produção (Chieregati *et al.* 2011). Atrelado a essa estimativa, sempre irá existir um erro intrínseco da amostragem. O erro fundamental, erro de segregação e grupamento e erro de integração são erros de amostragem que não podem ser eliminados, porém com a adição de metodologias erradas o resultado se distancia cada vez mais da realidade (Gy, 1998).

Se as amostras utilizadas para representar a qualidade do minério na reconciliação não forem realmente representativas, as estimativas não serão confiáveis e, portanto, as reconciliações serão ilusórias. A confiabilidade dos resultados obtidos na reconciliação depende da representatividade das amostras que geraram esses resultados, tanto para o modelo de blocos quanto para a produção. Para se obter uma amostra representativa é preciso haver a combinação da acuracidade e reprodutibilidade no processo de amostragem (Chieregati *et al.* 2011). Apesar das técnicas de amostragem na mineração terem evoluído bastante ao longo do tempo, a amostragem muitas vezes ainda é uma etapa negligenciada e isso causa incertezas nas estimativas realizadas. No caso da indústria mineral, é preciso obedecer a uma série de etapas de controle de qualidade do minério (Grigorieff *et al.* 2002). As três principais etapas são: Amostragem e/ou seleção da amostra;

- I) Preparação da amostra;
- II) Análise da amostra preparada.

Em relação ao primeiro item, a amostragem ou seleção da amostra dependem de fatores como frequência, representatividade e proporções iguais de incrementos. A coleta de amostras precisa de uma frequência definida. Exs: Coletar 5 incrementos para formar uma amostra a cada descarregamento de um caminhão; coletar 5 incrementos para formar uma amostra a cada 2h, entre outros. Como já citado anteriormente, a amostra precisa ser

representativa da população para fornecer confiabilidade na estimativa, isso leva em consideração uma série de fatores como aleatoriedade da coleta, espaçamento com o qual as amostras foram coletadas, qual a porcentagem da região amostrada em relação ao tamanho da população, entre outros. Além disso, as amostras coletadas e os incrementos que as compõe precisam ter igual proporção, para que a ponderação realizada na hora da análise laboratorial não fique tendenciosa e o resultado obtido seja o mais próximo da realidade.

Além de tudo, de acordo com Goes *et al.* (1991), a amostragem de minério estático, como é o caso do processo que era realizado anteriormente, está sujeito aos erros de preparação, erro fundamental e de segregação. Os principais erros que ocorrem na preparação da amostra são:

- a) Perda de partículas pertencentes à amostra;
- b) Contaminação da amostra na preparação por materiais estranhos como equipamentos que não estão bem limpos, desgaste de instrumentos, etc.;
- c) Alteração de característica da amostra devido ao mal manuseio ou armazenamento;
- d) Erros não intencionais como mistura de diferentes amostras, confundir amostras, etiquetar erroneamente, etc.;
- e) Erros intencionais como alteração de teor, umidade ou outro parâmetro.

O erro fundamental não pode ser evitado e ocorre tanto na amostragem de minério em fluxo, quanto estático. Esse erro sempre vai acontecer, pois na teoria a amostra ideal é aquela que engloba todo o universo, e isso nunca vai correr (Goes *et al.* 1991).

O erro de segregação ocorre principalmente em pilhas, onde as partículas maiores e mais densas tendem a se posicionar na base da pilha e, por consequência, as mais leves no topo, provocando uma estratificação. Esse erro pode ser minimizado realizando a homogeneização das amostras e aumentando o número de incrementos que as compõem (Goes *et al.* 1991).

1.3 JUSTIFICATIVA

Como citado anteriormente, a reconciliação é a comparação principalmente entre os dados da produção e os dados do modelo estimado, podendo ser ainda, a comparação entre o que foi planejado com o que foi executado (Chierigati *et al.* 2011). Desse modo, a reconciliação é uma atividade essencial para validar o modelo de recursos e reservas da jazida e, por isso, é realizada nas empresas de mineração corriqueiramente de forma mensal, podendo ser até semanal.

De acordo com (Câmara, 2013), muitos empreendimentos mineiros evidenciam baixas aderências no processo de reconciliação, mesmo utilizando procedimentos sistemáticos de amostragem para o controle de teores. Os dados desse trabalho foram coletados e analisados na mina IRCC da Imerys, na qual a reconciliação de volumes/tonelagens e qualidade, é realizada mensalmente. A partir dessas reconciliações foi possível avaliar a aderência entre a volume/tonelagem da produção e o modelo de blocos.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é avaliar o processo de reconciliação realizado na IRCC e a amostragem do processo de reconciliação na mina de caulim, a fim de verificar as causas das divergências significativas observadas na qualidade do minério ao compararmos o modelo de blocos com a linha de produção.

1.5 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo está localizada na parte norte do Município de Ipixuna do Pará, à Margem Esquerda do Rio Capim na região nordeste do Estado do Pará (Figura 1), a aproximadamente 243 km da capital Belém. Apesar da mina pertencer ao município de Ipixuna do Pará, o acesso é realizado através do Município de Tomé Açu através da rodovia PA-451, e posteriormente por uma estrada não pavimentada nomeada de “Estrada Água Branca”, a qual possui aproximadamente 40km e dá acesso direto a portaria da mina. A estrada água branca se encontra ao lado direito da rodovia PA-451 no sentido Tomé Açu-Concórdia, próxima a subestação de energia do município.

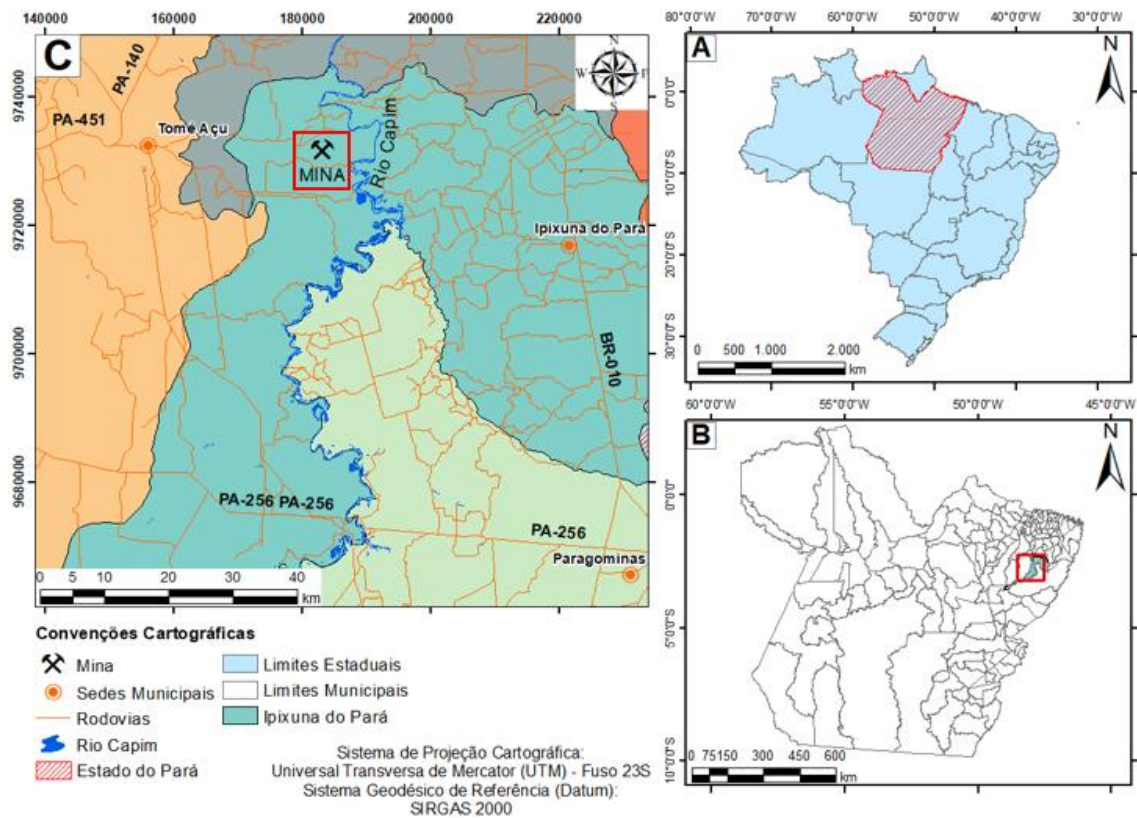


Figura 1 - Mapa de localização da mina de estudo. A) Localização do estado do Pará dentro do Brasil, com demarcação dos limites estaduais. B) Posicionamento do município de Ipixuna do Pará dentro do estado, com demarcação dos limites municipais. C) Localização da mina onde o trabalho foi realizado dentro do município de Ipixuna do Pará.

1.6 CONTEXTO GEOLÓGICO

Na região de estudo ocorrem principalmente as formações Ipixuna e Barreiras, além dos sedimentos denominados Pós-Barreiras (Figura 2).

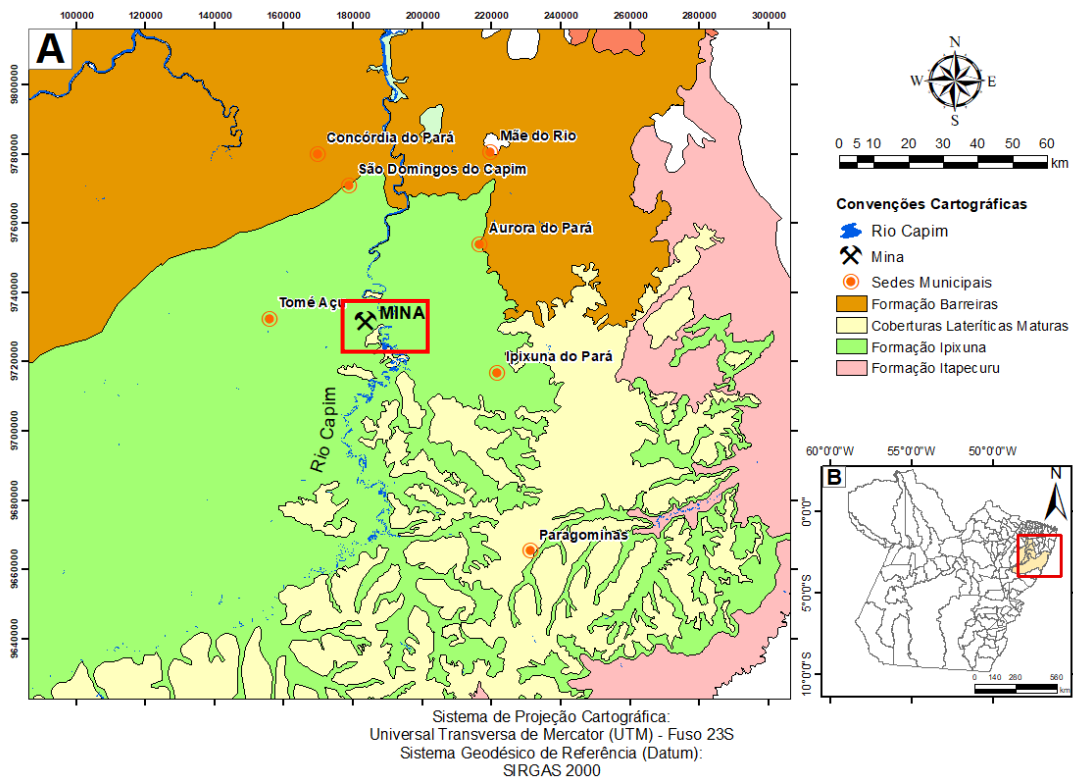


Figura 2 - A) Mapa Geológico da região de estudo onde a Mina IRCC está inserida; B) Localização dentro do estado do Pará dos municípios destacados na figura A. Modificado de Vasquez; Rosa-Costa, 2008.

As duas formações principais (Ipixuna e Barreiras) estão dispostas em duas camadas separadas, que podem ser reconhecidas como a unidade superior (Formação Barreiras) e unidade inferior (Formação Ipixuna). Elas são separadas entre si por uma superfície de discordância erosiva regional (Lima *et al.*, 2009), como evidencia a Figura 3.

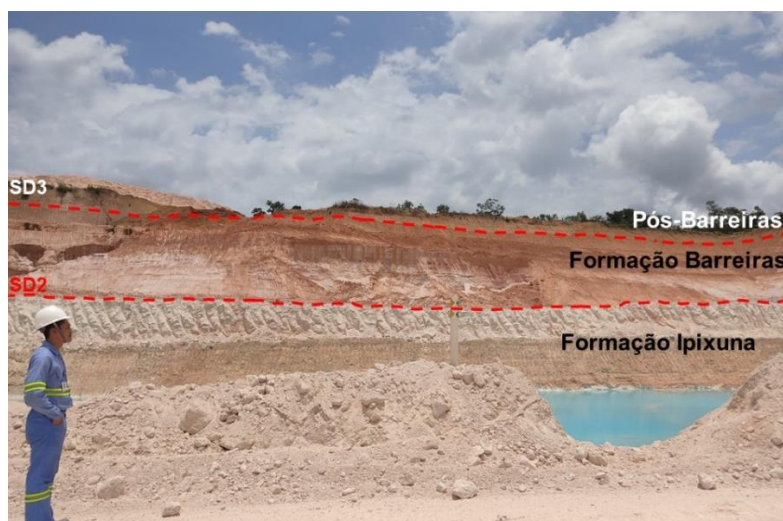


Figura 3 - Foto mostrando o Perfil Geológico da mina, com destaque para as unidades e as superfícies de discordâncias que as separam.

1.6.1 Geologia Regional

A Formação Ipixuna está localizada na margem leste da Sub-Bacia de Cameté da Bacia do Marajó e aparece em destaque por possuir um dos maiores depósitos de caulim de excelente qualidade do mundo (Murray & Keller, 1993). Ela é composta basicamente por arenitos caulínícos finos a médios, intercalados com argilitos, os quais são atribuídos a um paleoambiente de canal de maré influenciado por sistema fluvial, sendo assim, um sistema do tipo estuarino dominado por maré (Santos Jr 2006). Segundo Santos Jr. & Rossetti (2003), a Formação Ipixuna pode ser associada do Cretáceo Superior ao Terciário Inferior e está correlacionada à Formação Cujupe, da Bacia São Luís-Grajaú (Figura 4).

Na região estudada, se reconhece que o caulim da Formação Ipixuna é dividido basicamente em duas unidades (Murray & Alves 2007). A camada mais basal com tamanho de partículas relativamente grosso, chamada de caulim macio (*soft kaolin*) e uma camada superior, onde as partículas são mais finas e ela é chamada de caulim duro (*flint*), a qual a gênese é atribuída a uma unidade deposicional distinta formada por sedimentos de origens variáveis, mas com uma contribuição significativa do caulim macio subjacente. Entre as duas unidades, o minério está contido na camada de caulim macio, devido principalmente à sua boa alvura. Em função de uma definição estratigráfica, Nascimento & Góes (2005) tratam tanto o caulim duro, quanto o caulim macio como partes da Formação Ipixuna.

De acordo com Santos Jr & Rossetti (2003), a unidade inferior (*soft kaolin*) e superior (*flint*) da Formação Ipixuna são separadas por uma superfície de discordância SD1. A Unidade superior, por sua vez, é separada da Formação Barreiras pela superfície de discordância SD2.

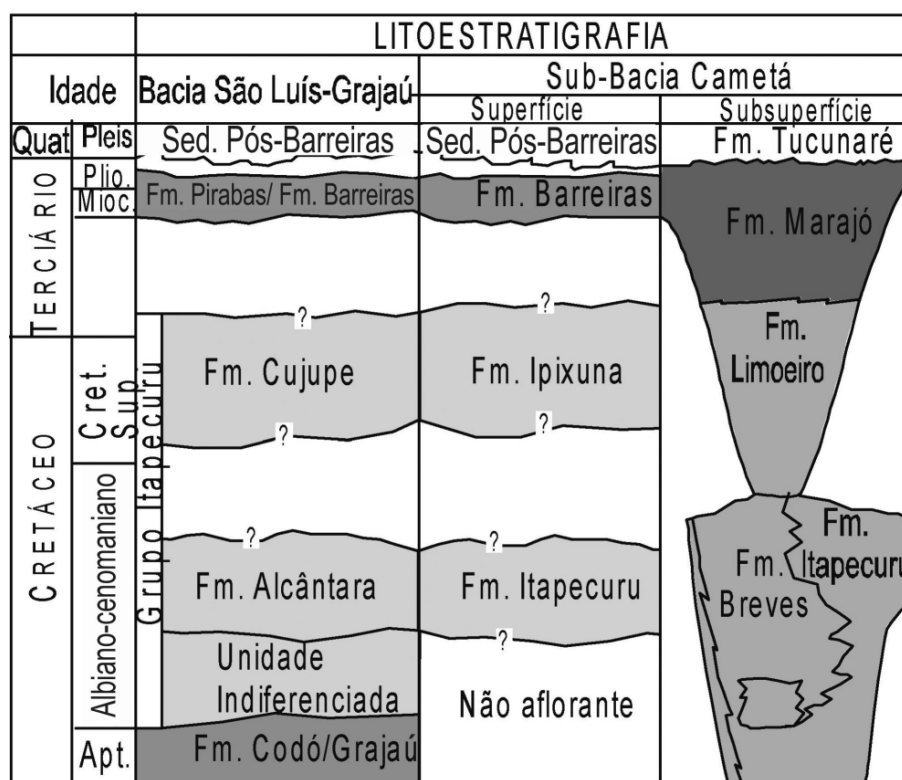


Figura 4 - Coluna estratigráfica mostrando a disposição e as correlações litoestratigráficas das unidades cretáceas da região de rio Capim (Sub-Bacia Cametá), com depósitos equivalentes em subsuperfície e depósitos cretáceos da bacia São Luís-Grajaú. Santos Jr & Rossetti (2003).

A Formação Barreiras, por sua vez, é composta por três litofácies distintas, que são a conglomerática na base, argilosa no meio e arenosa no topo, as quais foram formadas no Mioceno Inferior em um ambiente de leques aluviais e planícies de inundação, segundo (Rossetti *et al.* 1989).

Segundo (Rossetti *et al.* 2001), os sedimentos Pós-Barreiras apresentam ampla variedade faciológica que está ligada a uma gênese em diversos ambientes sedimentares, como depósitos eólicos, depósitos litorâneos, planícies de maré, canais e mangues. Admite-se ainda que os sedimentos Pós-Barreiras são os depósitos que cobrem discordantemente as formações Pirabas e Barreiras (Vasquez & Rosa-Costa 2008).

1.6.2 Geologia Local

Dentro da mina, assim como no contexto local geral, os materiais operacionalizados (estéril e minério) estão dispostos dentro dos sedimentos pós-barreiras e de duas formações geológicas principais, a Formação Ipixuna e a Formação Barreiras, como evidencia a Figura 5 (Lima *et al.*, 2009; Murray & Alves, 2007; Murray & Keller, 1993).

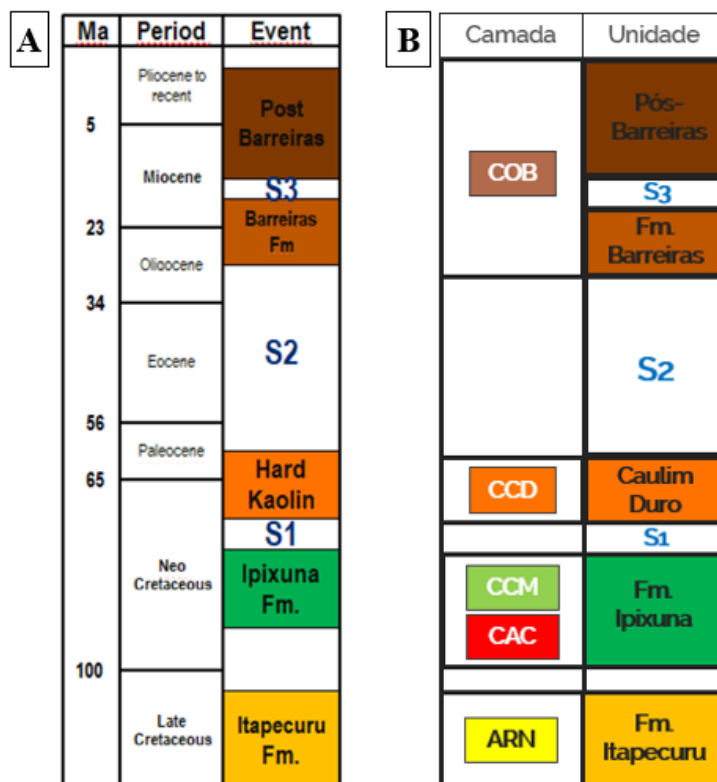


Figura 5 - A) Perfil exibindo o contexto Geológico local da mina em estudo no presente trabalho, com seus respectivos períodos e idades. B) Perfil estratigráfico local associado às unidades Geológicas.

A estratigrafia operacional da mina, associada ao seu contexto geológico são descritas a seguir (do topo para a base) e uma foto de campo mostrando essa sequência é exibida na Figura 6.

A Cobertura (COB) trata de um material areno-argiloso que reflete a cobertura de solo da região e representa grande parte do material estéril que é tratado como decapeamento. Geologicamente ela está inserida nos sedimentos Pós-Barreiras e na Formação Barreiras.

Abaixo da cobertura, está a Camada de Caulim Duro (CCD). O caulim duro representa uma rocha argilosa com grande rigidez (2ª categoria) que também é tratada como estéril e removido durante a operação de decapeamento. A maior parte dos autores não encaixam essa fácies em alguma Formação geológica, porém algumas literaturas a consideram como sendo retrabalhamento do caulim da Formação Ipixuna, o qual é separado da mesma por uma superfície de discordância (Figura 5).

Em seguida se apresenta a Camada de Caulim Intermediário (CCI). Essa camada, diferentemente das outras, não ocorre obrigatoriamente em todas as regiões da jazida. Por isso, ela pode ou não ser encontrada. Caracteristicamente ela é composta por minerais argilosos e uma grande quantidade de contaminantes como o anatásio, e minerais de ferro

por essa razão, ela também é considerada um material estéril e removida durante o decapeamento.

Abaixo do CCI e/ou CCD é possível encontrar o primeiro estrato de minério. Ele é designado de Camada de Caulim Macio (CCM) e, composicionalmente, é predominado por material argiloso, podendo possuir também lentes arenosas e alguns contaminantes. Esse estrato, juntamente com a camada inferior (CAC), faz parte da Formação Ipixuna.

A camada de Arenito Caulinítico (CAC), juntamente com o CCM, compõe os estratos de minério da jazida estudada. O CAC é composto essencialmente por areia e argila em menor proporção, porém com excelente alvura.

Dentro das camadas minério pode haver a ocorrência de lentes de estéril, denominadas de Estéril Interno (EST). O estéril interno é composto principalmente por óxidos de ferro, como hematita e goethita.

Abaixo dos estratos de minério há a ocorrência de arenito (ARN). Ele é geralmente a última camada litológica encontrada nas jazidas e é composto essencialmente por areia e, por esse motivo, é um material considerado estéril. Esse estrato é geralmente associado a Formação Itapecuru.

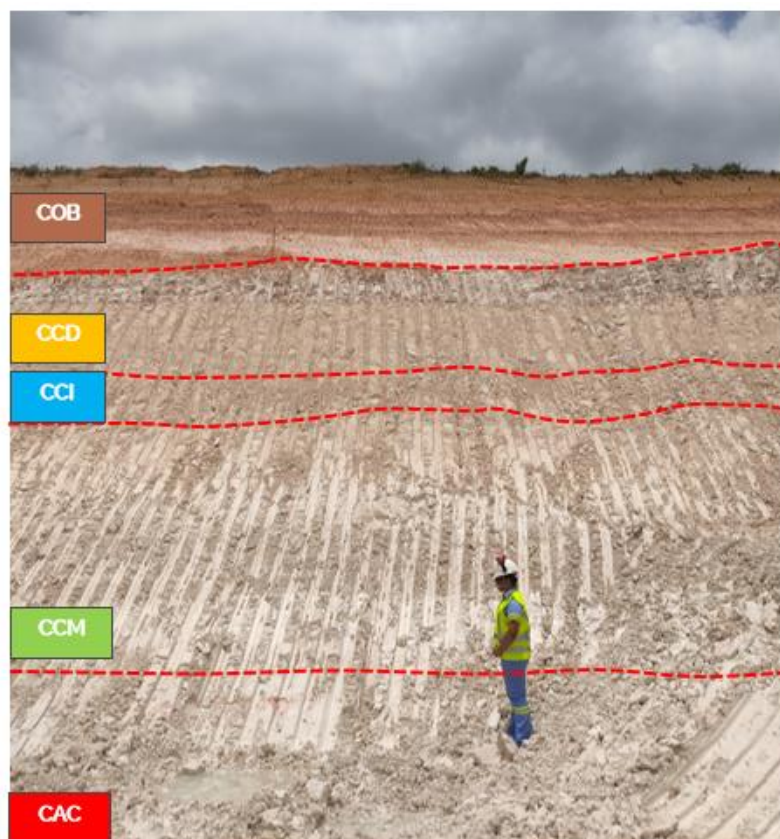


Figura 6 - Sequência estratigráfica exibindo as principais camadas geológicas através de um perfil de uma das cavas da jazida.

1.6.3 Minério de Caulim

Caulim é um termo utilizado de várias formas distintas, porém ele essencialmente se refere a rocha que contém a caulinita como seu principal mineral constituinte. O caulim é uma rocha de cor branca, granulometria fina e composta majoritariamente por material argiloso (caulinita e outros argilominerais) (Luz *et al.* 2008).

A caulinita é um filossilicato de alumínio hidratado ($\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$) e, como citado anteriormente, ela é o mineral mais abundante contido no caulim. Porém, além dela, o caulim apresenta outros minerais que são tratados como impurezas, como quartzo, muscovita, feldspato, óxidos de ferro e titânio, minerais pesados, entre outros, os quais necessitam ser retirados do minério na etapa de beneficiamento (Luz *et al.* 2008).

A produção do caulim resumidamente começa com a remoção da camada de estéril dentro da mina e posteriormente a extração do minério bruto. O minério é levado para a pilha e depois para a planta de beneficiamento, disperso em água, a areia é retirada, há a etapa de centrifugação, remoção do ferro por separação magnética e branqueamento químico, para então o material ser filtrado e secado, gerando produtos finais que serão comercializados (Mártires, 2009).

Na mina onde o presente trabalho foi desenvolvido, os principais contaminantes do minério de caulim são os minerais de quartzo (areia), goethita e hematita (óxidos de ferro) e anatásio (óxido de titânio). A areia do caulim é retirada durante a etapa de desareamento, já na fase de beneficiamento do minério (Luz *et al.* 2008).

O caulim apresenta como uma das principais características a sua elevada alvura (condição do que é alvo - branco). Por isso, o caulim precisa ficar o mais branco possível e para isso, na etapa de beneficiamento, são empregados processos que visem a remoção de impurezas prejudiciais a cor branca do caulim. Na jazida em questão, os principais contaminantes que interferem nessa condição são o anatásio (TiO_2), hematita (Fe_2O_3) e goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) (Luz *et al.* 2008). A hematita e goethita, como são minerais de ferro, podem ser removidos através da separação magnética. A separação magnética funciona basicamente como um ímã que atrai os minerais magnéticos e os retiram da polpa de caulim. O anatásio é chamado comumente de “caulim cinza” e não consegue ser tratado ou retirado através do beneficiamento, por isso ele é o contaminante com o qual se deve ter maior cuidado na etapa de lavra, a qual fará a seletividade desse contaminante.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AMOSTRAGEM

A amostragem pode ser tratada com um conjunto de operações que visa a obtenção de uma amostra representativa em relação a um determinado universo ou população. A amostragem não se trata somente da parte da coleta da amostra, mas sim também da preparação (britagem, moagem, secagem, homogeneização, quarteamento) e todas as metodologias que devem ser seguidas (Oliveira & Aquino, 2007).

2.2 UNIVERSO/POPULAÇÃO

O universo ou população se trata da massa original de um determinado material o qual se deseja conhecer as características/propriedades de interesse (Oliveira & Aquino, 2007).

2.3 AMOSTRA

Amostra é uma quantidade representativa do universo que se deseja amostrar. O método de amostragem deve garantir que a amostra seja representativa do universo a ser amostrado. Normalmente uma amostra deve ser composta pelo maior número possível de incrementos (Goes *et al.* 1991).

2.4 INCREMENTO

Incremento é uma quantidade modular de material retirado do universo que se deseja amostrar, para fazer parte da composição da amostra. Na amostragem, é preciso levar em consideração a variabilidade das características do material em relação a posição e ao tempo. Visto que uma amostra precisa representar fielmente os atributos do universo como um todo, vários incrementos são retirados em locais distintos para compô-la (Goes *et al.* 1991; Oliveira & Aquino, 2007).

2.5 AMOSTRA PRIMÁRIA

A amostra primária é a quantidade de material obtida através da etapa de amostragem propriamente dita. Ela é resultante da composição de vários incrementos retirados do universo (Goes *et al.* 1991; Oliveira & Aquino, 2007).

2.6 AMOSTRA FINAL

A amostra final é o resultado obtido após a amostra primária passar por uma série de processo de redução de massa, como quarteamento e/ou redução de tamanhos dos grãos. A amostra final geralmente tem massa superior a requerida para realização de análises e testes, por isso ela precisa ser reduzida (Oliveira & Aquino, 2007).

2.7 QUARTEAMENTO

O quarteramento é realizado para que seja possível reduzir a massa da amostra em alíquotas menores para obtenção de uma amostra final que tenha a mesma característica do material “dispensado”. Essa operação pode ser feita de forma manual ou com auxílio de equipamentos (Goes *et al.* 1991; Oliveira & Aquino, 2007).

2.8 AMOSTRAGENS DE CONTROLE DE QUALIDADE

Atualmente, para qualquer área da indústria, existe a necessidade da fabricação de produtos com qualidade assegurada e específica de acordo com os parâmetros pré-definidos pela empresa. No caso da indústria mineral não é diferente, o minério precisa atender às especificações definidas tanto na etapa de lavra quanto nas diversas etapas de beneficiamento e isso é feito através do controle de qualidade da mina. O presente trabalho é focado no controle de qualidade da etapa de lavra. Na mineração o controle de qualidade do minério é dividido em três etapas essenciais: I) Amostragem e/ou seleção da amostra; II) Preparação da amostra; III) Análise da amostra preparada (Grigorieff; Costa; Koppe, 2002).

2.9 AVALIAÇÃO DE RECURSOS

O objetivo principal da estimativa de recursos é tentar prever os futuros teores e tonelagens dos materiais a serem lavrados dentro da jazida. Existem dois tipos de estimativa: I) Estimativa intermediária com dados espaçados e informações que servirão como base para tomada de decisão final, por exemplo, estimativas de longo prazo; II) Estimativa final para diferenciação metalúrgica entre minério e estéril, que são estimativas de curto prazo (Rossi & Deutsch, 2013). A estimativa de recursos minerais é uma das tarefas mais importantes da equipe de geologia, que desenvolve e avalia os projetos de mineração do empreendimento. Geólogos de longo e curto prazo, juntamente com engenheiros de minas estimam as reservas de minério que são deduzidas do modelo de recursos minerais, adicionando a eles fatores modificadores (Abzalov, 2016).

A variabilidade estatística é intrínseca às variáveis as quais se quer estimar e, por isso, a estimativa muitas vezes não é um processo fácil. Existem diversos métodos de estimativas que são utilizados na indústria mineral, uns com objetivos distintos muitas vezes de outros. Por exemplo, se o objetivo da estimativa for a reprodutibilidade simplicidade, o método do inverso da potência da distância (IPD) é mais adequado. Se o objetivo for revelar tendências geológicas, a krigagem pode ser aplicada da melhor forma.

Em todos os casos, independentemente do método, o objetivo da estimativa é prever o teor e tonelagem do material a ser lavrado (Rossi & Deutsch, 2013).

2.10 MODELO DE BLOCOS

Os modelos de blocos buscam representar de modo tridimensional de depósitos minerais em forma de poliedros regulares de seis lados, ou seja, na forma de blocos (Figura 7). Eles são ferramentas imprescindíveis para o cálculo e estimativa de recursos do depósito mineral e para o planejamento de mina, incluindo otimização de cavas. O modelo de blocos representa espacialmente uma massa de rocha, onde são atribuídos parâmetros alfanuméricos e numéricos, como teor, densidade, etc. Além disso, a compartimentação da jazida em blocos facilita a sua avaliação pelo modelo matemático, onde cada bloco representa a menor porção do corpo mineral a ser avaliada (Curi, 2014). No modelo estão representados os dados anteriormente pontuais que estavam somente nas amostras dos furos de sondagem e foram redistribuídas para ele através de estimativa.

A geometria do modelo de blocos depende essencialmente das características da jazida em questão, como tamanho dos corpos mineralizados, restrições estruturais e geotécnicas, restrições ambientais e fundiárias, especificidades do planejamento de mina e dimensionamento de frota, como tamanho de equipamentos a serem utilizados para lavar um bloco (Rossi & Deutsch, 2013).

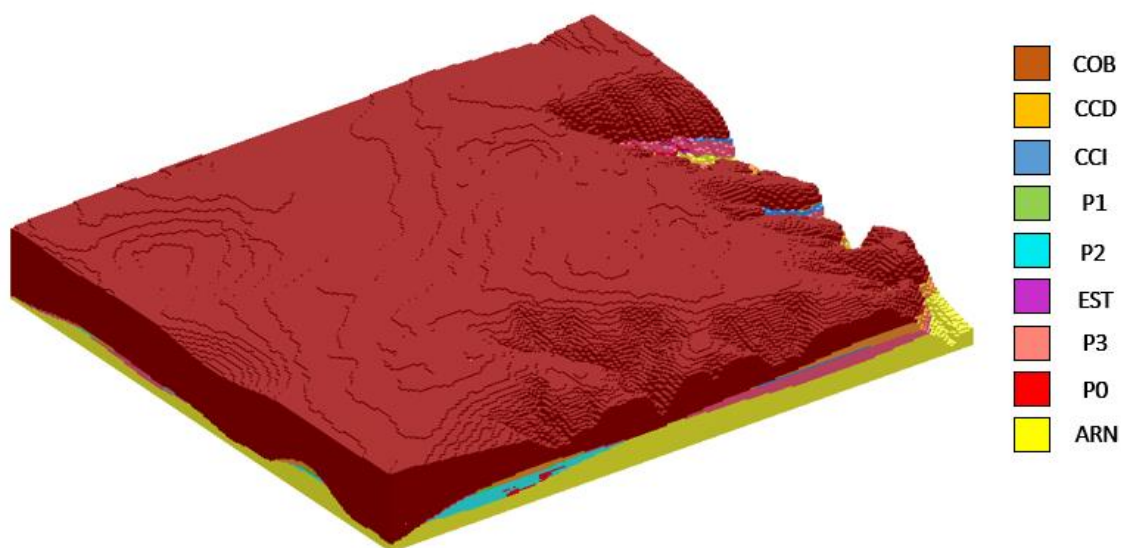


Figura 7 - Modelo de blocos geológico, gerado através de estimativa de recursos.

2.11 PLANEJAMENTO DE LAVRA

O planejamento de lavra corresponde ao roteiro elaborado para evolução operacional da mina e do avanço de lavra, desde sua implantação, passando por todas as fases de desenvolvimento até o seu fechamento e programa de recuperação de áreas

degradadas (PRAD), quando já exaurida. Dentro dessa fase é sempre preciso equipar-se com as ferramentas necessárias. Com isso e o devido planejamento, será possível prever os custos e adequar de forma antecipada e coerente os recursos e os meios necessários à execução do planejamento definido. Os recursos podem ser os equipamentos, insumos, colaboradores; os meios são as formas pelas quais as tarefas serão realizadas e os custos são decorrentes da operação de equipamentos, consumo dos insumos e pagamento de pessoal (Curi, 2014).

O planejamento pode ser classificado em longo, médio ou curto prazo. O longo prazo se atém principalmente a cubagem da reserva tecnicamente lavrável da jazida, definição de *cut-offs*, determinação da relação estéril/minério, sequenciamento de lavra, definição de *pits*, criação do projeto final de pilhas de estéril, dimensionamento da frota de equipamentos e planejamento do PRAD. Respeitando o plano de longo prazo quanto aos limites de cavas, parâmetros definidos e restrições impostas, o médio e curto prazo entram em cena para elaboração de planos que visem o cumprimento do que foi estabelecido pelo longo prazo, respeitando intervalos de tempo definidos (anuais, semestrais, etc.) e recursos disponíveis. Planos de médio e curto prazo, no geral, são mais flexíveis pois estão mais envolvidos com a operação e com os diversos contratemplos do dia-a-dia (Curi, 2017).

2.12 MÉTODO DE LAVRA

Os métodos de lavra são classificados de acordo com a região na qual a lavra ocorre e maneira de exploração, em dois grandes grupos, lavra a céu aberto e subterrânea. Essa classificação, de acordo com (Curi, 2017) não leva em consideração a jazida, mas sim a operação. Se não há necessidade de acesso humano a regiões subterrâneas, a lavra é considerada a céu aberto, mesmo que haja necessidade de algumas operações subterrâneas. Os principais métodos de lavra a céu aberto são a lavra por bancadas (*open pit mining*), lavra em tiras (*strip mining* ou *open cast mining*) e a lavra de pedreiras (*quarry mining*).

Na maioria das minas de caulim do planeta, a extração é realizada através da lavra a céu aberto, mais especificamente pelo método de lavra em tiras (*strip mining*). Isso ocorre devido a dois motivos principais, geralmente os custos de produção e as condições mecânicas do caulim tornam o método de lavra subterrânea proibitivo e além disso, o caulim geralmente ocorre em baixas profundidades, fazendo com que seja economicamente viável lavrá-lo à céu aberto (Luz *et al.* 2008). O fator mais importante para a aplicação do método de lavra em tiras é a forma do depósito, que preferencialmente

precisa ser tabular e horizontal/quase horizontal, além disso, a grande extensão lateral e continuidade facilitam a aplicação do método (Curi, 2017).

O método de lavra utilizado na mina onde o trabalho foi realizado é pelo método de lavra em tiras (*strip mining*). A lavra em tiras consiste basicamente na remoção de estéril e de minério ao longo de cortes longitudinais de grandes comprimentos e pequenas larguras no formato de tiras, sendo denominados desse modo (Figura 8). O estéril que é removido por esse método é depositado imediatamente na tira ao lado que foi lavrada anteriormente, para iniciar a recuperação da área (Souza, 2011).

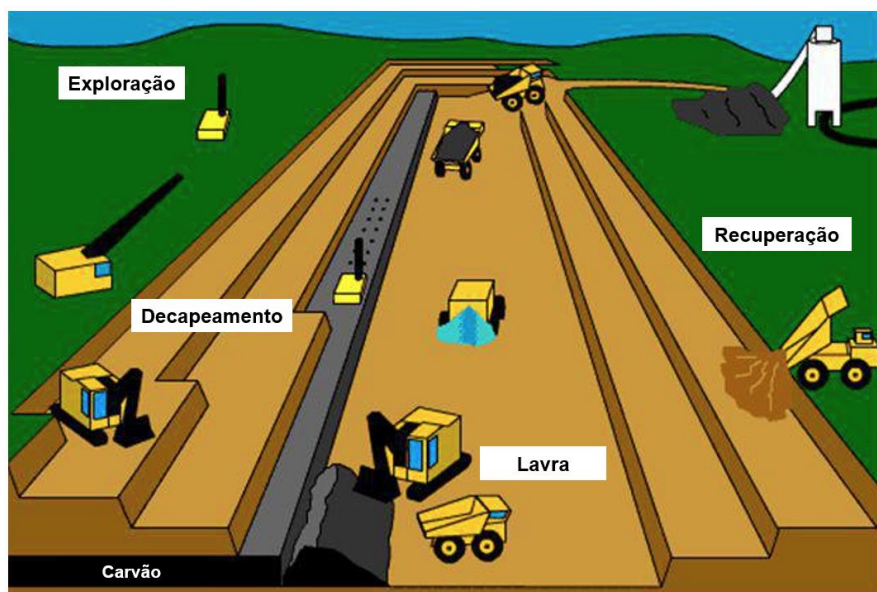


Figura 8 - Método de lavra em tira exemplificada para lavra de carvão, que também se aplica para o Caulim. Figura evidencia as operações de exploração, decapeamento, lavra e recuperação de área. Fonte: Internet.

Quando o minério é friável, como no caso do caulim ou carvão, a lavra é facilitada na parte do desmonte da rocha. Quando isso ocorre, o minério pode ser escavado pelos mesmos equipamentos que serão utilizados no carregamento, sem uma preparação anterior, como a escavadeira hidráulica por exemplo (Curi, 2017). Essa metodologia é empregada na mina citada neste trabalho.

As operações unitárias do método de lavra em tiras são, desde o início:

1 – Supressão vegetal:

O termo “supressão” deriva do verbo “suprimir”, o qual se refere ao ato de anular, fazer desaparecer ou impedir algo de existir. Com isso a supressão vegetal indica a retirada da vegetação de uma determinada região urbana ou rural, com o objetivo de usar a área para fins alternativos (Brasil, 2012), nesse caso a exploração de minério.

2 – Remoção de estéril/Decapeamento:

O material estéril que recobre a camada de minério é retirado logo após a realização da supressão vegetal. Esta etapa consiste na retirada do estéril e, de acordo com

a metodologia de lavra em tira, este material é depositado imediatamente na tira anteriormente lavrada, para fechá-la e prepará-la para a etapa de recuperação (Souza, 2011).

3 – Desmonte do minério e avanço da lavra:

É a quebra da rocha que contém o minério (ou que é o minério). Pode-se utilizar explosivos que são carregados mecânica ou manualmente, detonação elétrica ou por cordel. Há também a alternativa de se utilizar o desmonte mecânico com o uso de escarificadores presentes nos tratores de esteira ou as próprias escavadeiras;

4 – Escavação e carregamento:

Consiste no ato de carregar o minério ou estéril para o caminhão ou correia transportadora. É realizada por *draglines*, escavadeiras *shovel*, *buckets-wheel*, carregadeiras e tratores.

5 – Transporte:

É o remanejamento do minério ou estéril para os locais de destino. No caso do minério, geralmente é um local próximo a planta de beneficiamento ou a própria planta. Corriqueiramente é feito por caminhões e correias transportadoras

6 – Reconformação e Recuperação da área:

Segundo Hartman & Mutmansky (2002), essa é uma das etapas auxiliares mais importantes no método de lavra em tiras. Ela faz parte desde a fase de planejamento até a desativação do empreendimento. A reconformação diz respeito ao fechamento das tiras anteriormente lavradas e é apenas uma etapa da recuperação de áreas degradadas. A recuperação em si é a restituição de um ecossistema degradado a uma forma utilizável novamente, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo (Santos, 2017). Visto que a recuperação de áreas degradadas é uma atividade muito importante, ela é uma das atividades que balizam a avaliação de impacto ambiental do empreendimento (Longo *et al.*, 2019).

2.13 RECONCILIAÇÃO

A reconciliação é uma atividade indispensável dentro do fluxo da indústria mineral. Ela é, de modo geral, a comparação entre uma medição e uma estimativa, ou seja, entre os dados reais de produção (seja volume/tonelagem/qualidade) e a estimativa realizada no modelo, após a fase de lavra do minério (Figura 9).



Figura 9 - Fluxograma que demonstra toda as etapas de um empreendimento mineiro desde a Exploração até a Lavra e, posteriormente, a Reconciliação.

Com isso, a reconciliação se torna um instrumento utilizado para detecção de falhas nas operações e/ou nas estimativas, evidenciando esses problemas, destacando oportunidade de melhorias e fornecendo meios para a resolução dos mesmos (Chierigati *et al.* 2011). Ela fornece indicadores de desempenho, detecta problemas em amostragens, métodos de lavra, na etapa de beneficiamento e em outras áreas técnicas. Além disso, um dos principais objetivos da reconciliação também é validar a precisão da estimativa e o modelo de recursos e reservas da jazida (Morley & Thompson, 2006; Rossi & Deutsch, 2013).

3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EMPREENDIMENTO

A Imerys, empresa detentora dos dados do presente trabalho, é a maior produtora mundial de caulim e dispõe de minas e usinas de beneficiamento em diversos países, inclusive no Brasil. Atualmente, a Imerys apresenta quatro grupos de negócios: especialidades minerais, pigmentos para papel, materiais para construção, refratários e abrasivos.

3.1 PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DO MINÉRIO

Na mina em estudo, os principais parâmetros analisados no minério de caulim para o controle de qualidade são: alvura, *grit* (% resíduo), PSD - *particle size distribution* (Neves, 2016), Fe e Ti. Desses, os mais importantes são a alvura e o *grit*, os quais são os parâmetros bases utilizados para classificar o minério de acordo com a qualidade, em função de pilhas, como é visto na Figura 10.

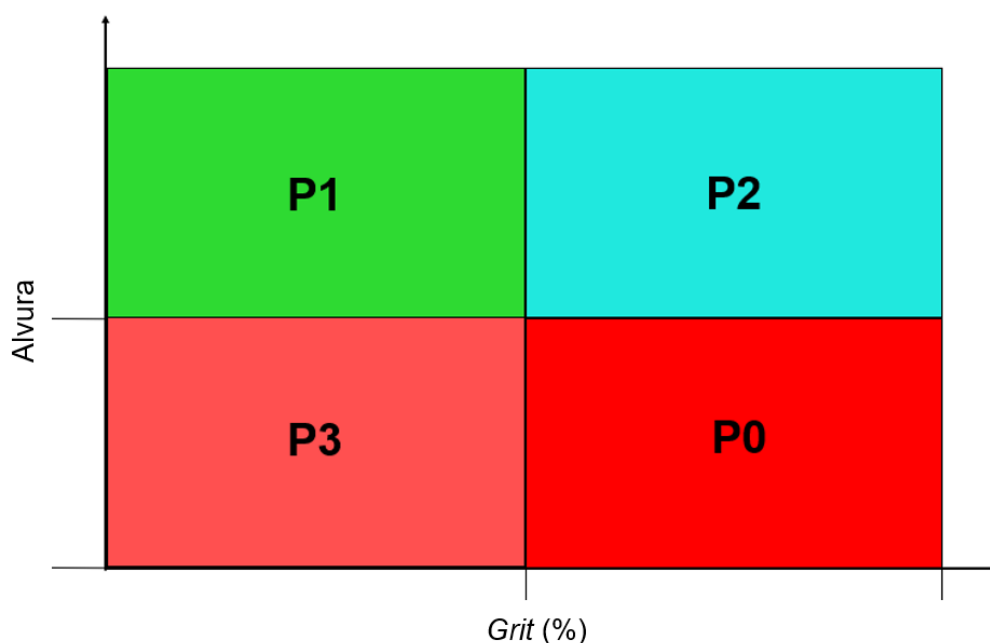


Figura 10 - Diagrama esquemático utilizado para classificação de pilhas de minério de acordo com a qualidade encontrada, levando em consideração os parâmetros de alvura alvejada da fração fina e quantidade de areia (*grit*).

Na mina onde o presente trabalho foi realizado, o controle de qualidade do minério era realizado através de coleta de amostras nas pilhas de minério. Após a escavadeira desmontar o minério dentro da cava, a mesma carrega o caminhão e ele se desloca até as pilhas onde o minério é descarregado dependendo do tipo o qual o caminhão está carregando, formando assim as pilhas de minério para onde os operadores se deslocavam e coletavam pequenos incrementos para formar uma amostra que representasse a qualidade do minério. Posteriormente essa amostra era levada para o laboratório e o

resultado de diversas amostras ao longo dos meses representava a qualidade do minério lavrado por parte da produção.

3.2 PLANTA DE BENEFICIAMENTO

Logo após o minério ser descarregado nas pilhas pelos caminhões, as escavadeiras iniciam a entrada do minério na fase de beneficiamento através do *blunger* (Figura 11). O *blunger* é um equipamento agitador utilizado na dispersão de minerais pouco consolidados. Na presença do minério ROM (*Run of Mine*), adição de água, adição de dispersantes químicos e reagentes reguladores de pH, a função do *blunger* é realizar a transformação do minério em polpa. Esse equipamento é amplamente utilizado na indústria de caulim e está presente em praticamente todas as usinas de beneficiamento desse tipo de minério. Ele se trata da primeira etapa de beneficiamento na mina onde o trabalho foi desenvolvido e é a principal fase de desagregação do minério, realizando a dispersão do caulim (Luz *et al.* 2008; Pereira, 2010).



Figura 11 - Fluxograma demonstrado a etapa de lavra até o bombeamento do minério.

Após a dispersão, a polpa de caulim é enviada para a etapa de Desareamento, que tem o objetivo de remover as partículas com granulometria superior a 0,25mm (60 malhas), principalmente minerais de quartzo, micas e óxidos de ferro e titânio, que podem estar compondo a granulometria areia da rocha. Para fazer a remoção dessas partículas, são utilizados tanques de sedimentação, classificadores hidráulicos e peneiras, capazes de separar e remover os materiais com a maior granulometria (Luz *et al.* 2008).

Algumas indústrias existem que o caulim apresente pouca variação em sua distribuição granulométrica, ou pode haver diversos tipos de produtos confeccionados com o caulim que demandem diferentes tipos de granulometria. Por isso, a etapa de separação por tamanho de partículas é realizada utilizando a ação de um campo centrífugo (centrifugação) [Luz *et al.* 2008].

4. METODOLOGIA

O presente trabalho teve início a partir da constatação, pela equipe de Geologia e Planejamento de Mina, de problemas recorrentes relacionados a aderência na qualidade do minério durante as reconciliações mensais. A partir da identificação do problema, o projeto de tratativa foi desenvolvido segundo a metodologia PDCA (*Plan* - Planejar, *Do* - Fazer, *Check* - Checar, *Act* - Agir) (Figura 12).

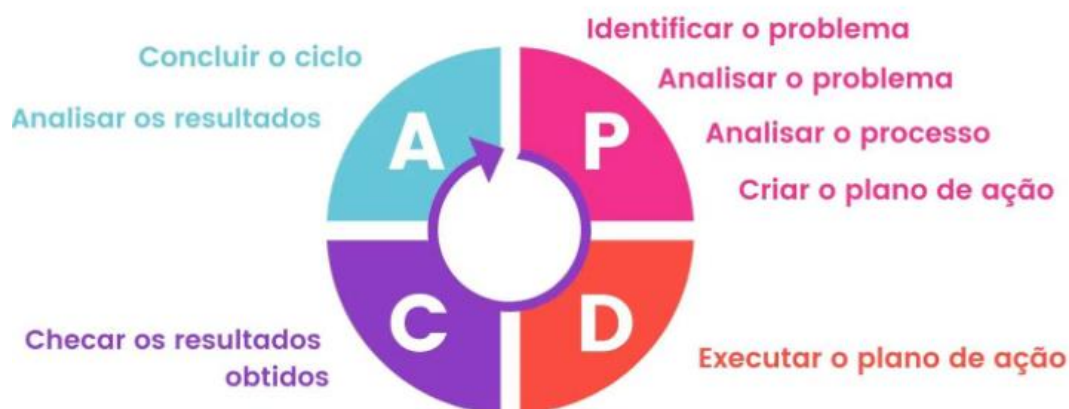


Figura 12 - Etapas do Ciclo PDCA. Fonte: Internet. (2019).

4.1 METODOLOGIA DE RECONCILIAÇÃO

A reconciliação é, a comparação entre uma medição (dados de movimentação da produção, os quais geralmente são fornecidos pela planta de beneficiamento) e uma estimativa (modelo de recursos e reservas, controle de teores, planejamento de lavra) (Câmara 2013, Rossi & Deutsch 2013). A Figura 13 demonstra todo o passo a passo da reconciliação através de um fluxograma geral. O Anexo 1 demonstra todo o passo a passo para a metodologia de reconciliação utilizada.

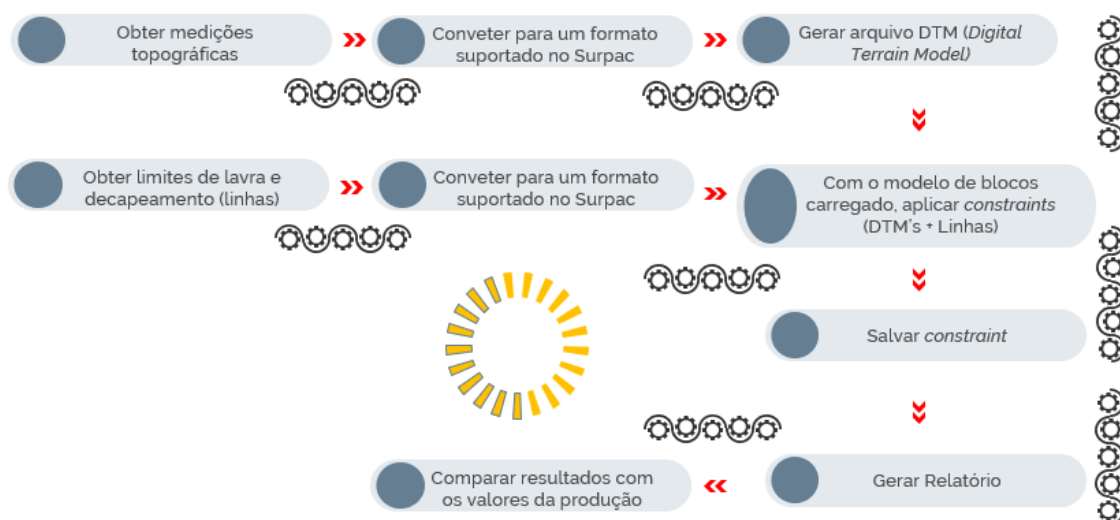


Figura 13 - Fluxograma da metodologia de reconciliação utilizada.

De modo geral, a primeira etapa na reconciliação é a obtenção das medições topográficas dos meses de interesse, juntamente com os limites de movimentação de estéril e minério. Com o modelo de blocos carregado no *software*, é preciso aplicar um filtro (*constraint*) nele, de modo que os blocos restantes representem somente o material (estéril e minério) movimentado durante um mês. Deve-se salvar essa *constraint* e utilizá-la para gerar um *report* contendo os atributos relevantes sobre os blocos filtrados. Por fim, é necessário fazer a comparação dos dados que foram gerados pelo modelo com os dados oficiais reportados pela produção e verificar a aderência entre eles.

Para a metodologia demonstrada no presente trabalho, o *software* GEOVIA Surpac 2021 foi utilizado. Ele é um dos *softwares* de Geologia e Planejamento de Mina mais utilizados no mundo, suportando trabalhar com operações tanto de minas a céu aberto quanto subterrâneas. Ele realiza desde as etapas iniciais de Geologia como importação de banco de dados, criação e validação de furos de sondagem, modelagem geológica, criação de *wireframes*/superfícies topográficas, criação de modelos de blocos e estimativa de recursos através de métodos tradicionais e geoestatísticos e classificação de recursos; além das fases destinadas para Engenheiros de Minas, como o planejamento de lavra, sequenciamento da jazida, desenho de cavas e *pits*, entre outros. Além disso, ele possui conexão direta com vários tipos de formatos de arquivos, como .dwg, .dxf, .dtm, .str, .shp, .laz, etc.

4.1.1 Geração de superfícies topográficas

A primeira etapa de todo o processo de reconciliação é a geração de superfícies topográficas. Com o desenho de cava atualizado pela equipe de topografia (Figura 14), o arquivo é repassado para a equipe de Geologia e Planejamento de Mina e é dado continuidade ao trabalho de reconciliação. Para fazer reconciliações, é preciso obter um arquivo de superfície “.dtm” (*Digital terrain Model* ou Modelo digital de terreno).

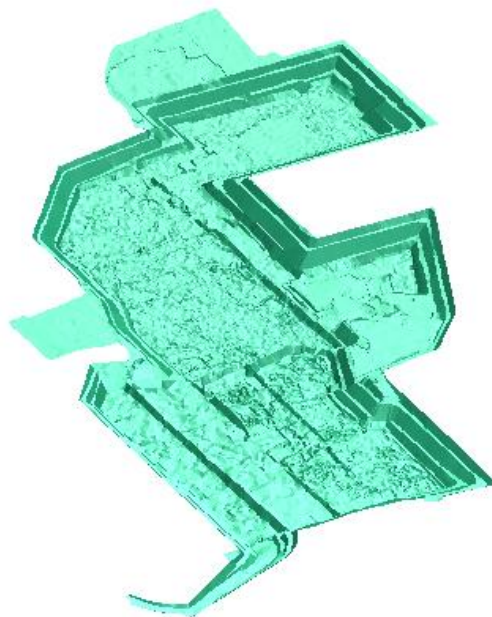


Figura 14 - Visão em perspectiva de uma superfície topográfica no formato “.dwg/.dxf” repassada pela equipe de topografia.

4.1.2 Criação de constraints

Em resumo, *constraints* são delimitações/filtros que podem ser aplicados aos modelos de blocos. Eles podem ser criados em função de diversos parâmetros como atributos do modelo, linhas, superfícies, entre outros.

A Figura 15 ilustra em seção como funciona a criação de filtros através de DTM's (superfícies). O exemplo “A” evidencia o modelo de blocos completo e as topografias a serem utilizadas para criar os filtros. Já no exemplo B, o modelo de blocos já está filtrado com base nas duas topografias utilizadas.

O material de interesse representado pelos blocos está abaixo da topografia do dia 28 de fevereiro (mais antiga) e acima da topografia do dia 31 de março (mais recente). Ou seja, os blocos remanescentes representam o material movimentado durante 1 mês, o qual é o período geralmente utilizado para a realização de reconciliações. As informações de espacialidade, informando se os blocos desejados estão acima ou abaixo das superfícies que estão sendo utilizadas são extremamente importantes para a criação de *constraints* utilizando DTM's no Surpac.

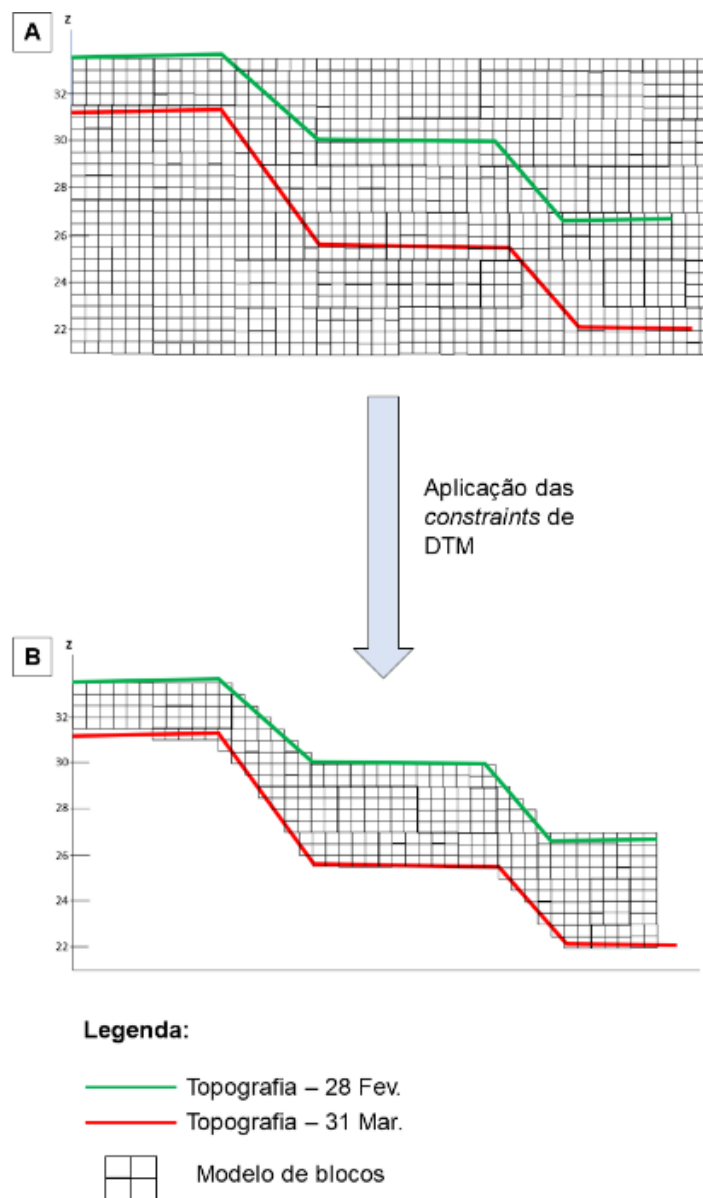


Figura 15 - Desenho esquemático em seção para representar a utilização de *constraints* através de DTM's (superfícies). A) Modelo de blocos completo e as superfícies topográficas com as quais serão criadas as delimitações; B) Modelo de blocos filtrado com base nas superfícies utilizadas.

Após a aplicação das *constraints* delimitando os blocos de interesse por superfícies, os blocos a serem exibidos no ambiente *3D* irão tender a ser somente o material movimentado no período entre as datas das duas topografias (Figura 16). Nesse exemplo o período entre as duas superfícies é de um mês.

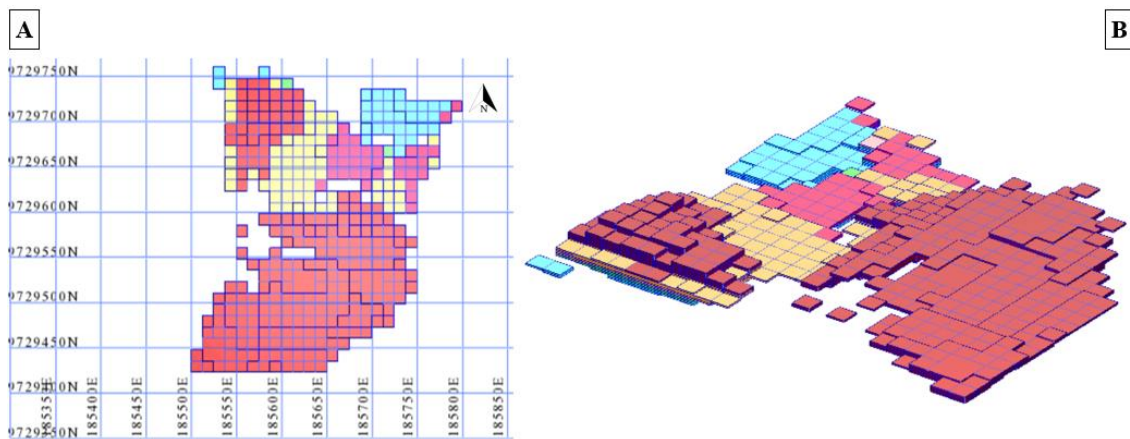


Figura 16 - Blocos restantes após a criação de *constraints* por superfícies. A) Visão em planta; B) Visão em perspectiva.

Porém, é preciso confirmar se os blocos que restaram representam somente e verdadeiramente o material que foi movimentado na mina durante um mês. Para isso, é preciso criar novas *constraints*, porém utilizando como parâmetro algumas *strings* (linhas), para restringir o limite dos blocos.

Essa etapa de verificação através das *strings* precisa ser realizada, pois na criação de *constraints* utilizando somente as superfícies pode haver erros, e blocos que não fazem parte da movimentação podem permanecer na *constraint* erroneamente, como será mostrado mais à frente. Então, no fechamento das medições topográficas, a equipe de topografia também deve repassar para a equipe de Planejamento de Mina os limites de minério que foi lavrado e do estéril que foi decapeado durante o mês. Esses limites devem ser repassados na forma de linhas para que seja possível utilizá-los para criar novos filtros.

A Figura 17 mostra os limites de lavra (verde) e decapeamento (laranja) juntamente com o modelo de blocos. Com isso, é possível avaliar se os blocos resultantes das *constraints* por superfícies representam verdadeiramente o material movimentado na mina durante o mês. Através das marcações em vermelho, é possível ver que alguns poucos blocos estão fora dos limites reais definidos, por isso eles não devem participar da *constraint* que representa o que foi operacionalizado na mina e o filtro com restrição pelas linhas dever ser aplicado.

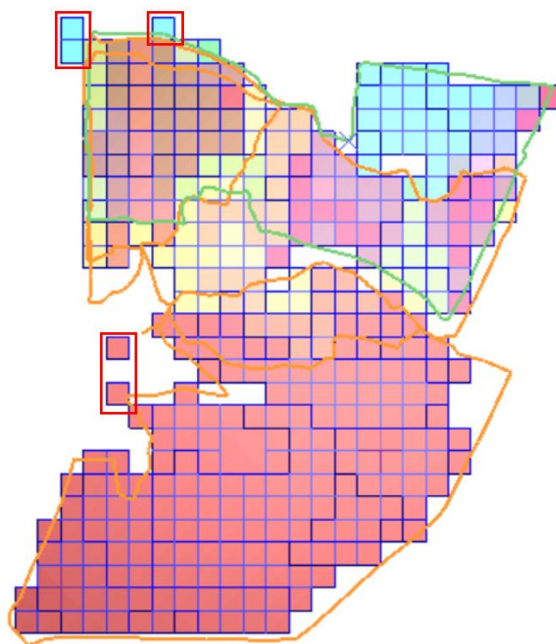


Figura 17 - Limites de lavra e decaimento juntamente com os blocos resultantes das *constraints* por superfície.

A Figura 18 exibe a transição dos blocos antes e após a aplicação das *constraints* de *string*. Na Figura 18-A, é possível ver ainda alguns blocos que estão fora dos limites de material movimentado, demarcados em vermelho. Após a utilização de filtros inserindo as *strings* como parâmetros, os blocos restantes serão somente os que estão dentro dos limites de minério e estéril movimentados (Figura 18-B).

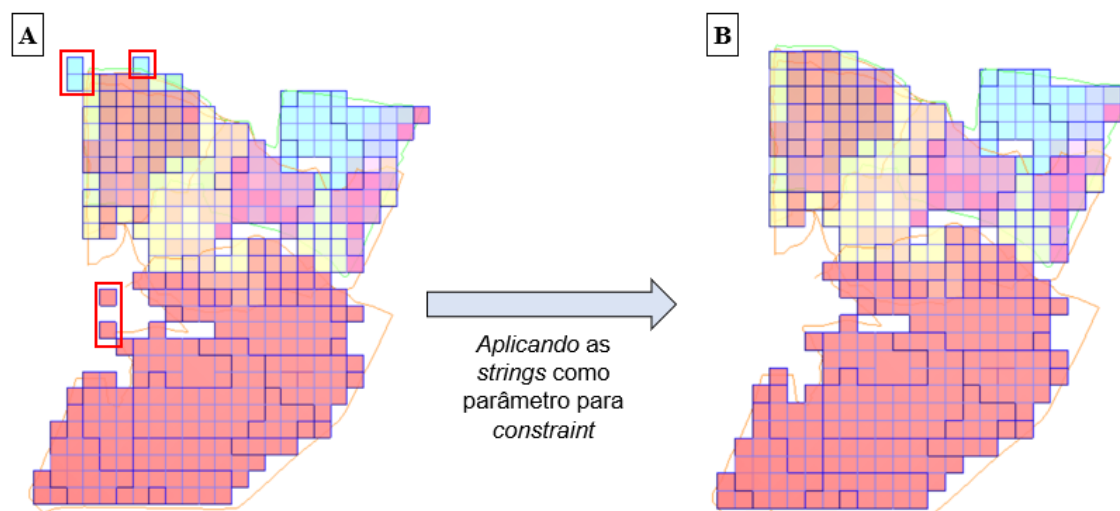


Figura 18 - Modelo de blocos após a aplicação de delimitações. A) Modelo logo após a aplicação das *constraints* de DTM; B) Modelo após a aplicação de *constraints* de DTM e *strings*.

Após a criação da *constraint* definitiva, é preciso salvá-la e gerar o report (relatório) com as informações relevantes acerca dos blocos destacados. Os resultados devem ser colocados em uma planilha para comparação com os dados de volumes e qualidades oficiais da produção.

4.2 IDENTIFICAÇÃO E HISTÓRICO DO PROBLEMA

As reconciliações mensais na mina onde o trabalho foi desenvolvido, atualmente, são a comparação entre o que foi realizado e o que foi estimado no modelo de blocos como foi possível identificar nos tópicos anteriores, tanto em questão de volume quanto qualidades.

Em relação às reconciliações de volume movimentado (minério e estéril) ao longo dos meses na mina onde o trabalho foi executado, é possível perceber que os valores do modelo geológico estão bastante aderentes aos volumes realizados oficialmente pela produção como mostra a Figura 19, onde as curvas da produção e do modelo se mostram com a mesma tendência, sendo assim, aderentes. Na mesma figura, os valores em verde evidenciam a variação percentual mensal entre a produção e o modelo, onde a média ao longo do ano de 2021 ficou em 3.59%, valor abaixo do limite de variação estabelecido de 4% para essa variável.

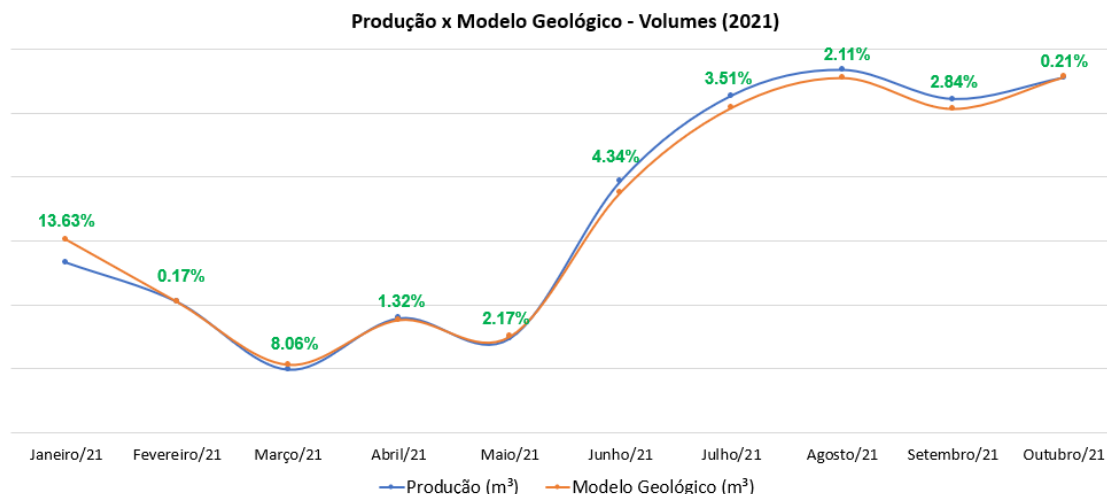


Figura 19 - Reconciliações em relação aos volumes de janeiro até outubro de 2021 na mina em estudo.

Os principais parâmetros de qualidade reportados nas reconciliações são alvura “crua”, alvura alvejada da fração fina, *grit* e PSD. Esses atributos são utilizados pois são os primeiros a destacar possíveis problemas na qualidade do minério.

Nas reconciliações mensais, assim como no caso dos volumes, também foi possível verificar uma concordância entre os valores de qualidade obtidos pelas análises de laboratório e os valores reportados no modelo de blocos para a maioria dos parâmetros, exceto para o *grit*, fato esse que destaca um possível problema que poderia estar ocorrendo em alguma das etapas que fornecem medições para as reconciliações. As variações entre a produção e o modelo com relação às qualidades podem ser percebidas na Figura 20, onde há os gráficos que demonstram a aderência entre a produção e o modelo de blocos para os 4 principais parâmetros. É possível perceber nessa figura que o

grit é o parâmetro que demonstra menor aderência entre a produção e o modelo (Figura 20-B).



Figura 20 - Reconciliações ao longo dos meses para os parâmetros de qualidade. A) Alvura crua; B) *Grit*; C) Alvura alvejada da fração fina; D) PSD2 (*Particle size distribution* abaixo de 2 micras).

A figura a seguir demonstra com maior clareza as variações percentuais para os parâmetros de qualidade obtidas nas reconciliações. As barras em azul representam a variação percentual mês a mês entre a produção e o modelo, e a linha vermelha é o limite aceitável para essa variação. Cada variável apresenta seu limite particular com base na distribuição estatística dos seus valores.

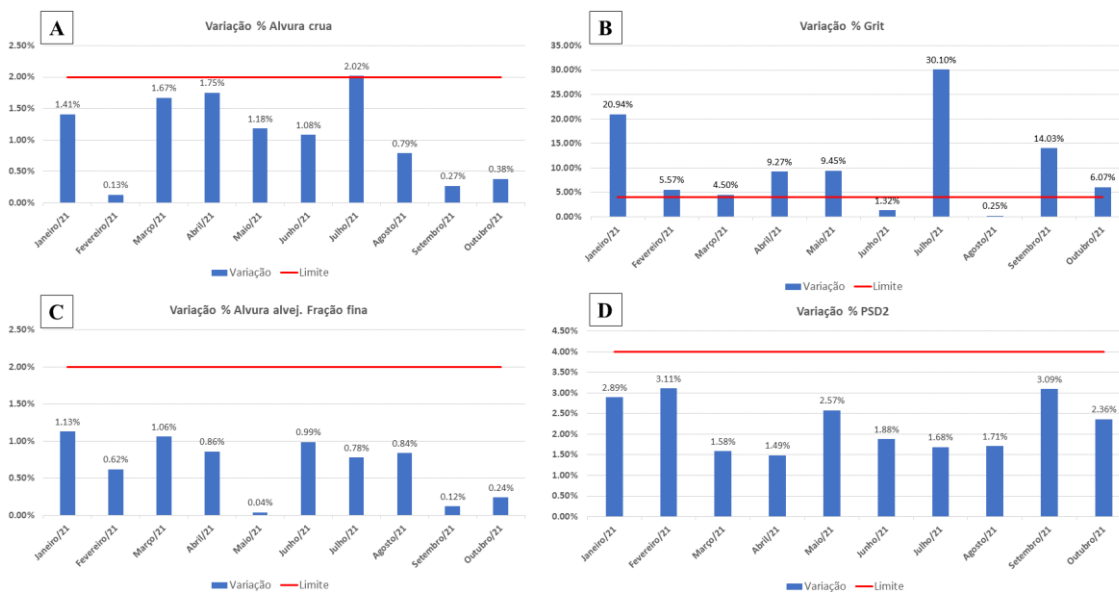


Figura 21 - Variações percentuais ao longo dos meses para os parâmetros de qualidade avaliados nas reconciliações. A) Alvura crua; B) *Grit*; C) Alvura alvejada da fração fina; D) PSD2 (*Particle size distribution* abaixo de 2 micras).

É possível denotar na Figura 21 que a maioria dos parâmetros permanecem abaixo dos limites de variação estabelecidos em praticamente todos os meses, porém o *grit*, destoando da tendência estabelecida pelas outras variáveis, apresenta quase sempre uma variação maior do que o limite estipulado (Figura 21 – B).

A variação entre a produção e o modelo com valores acima do limite estabelecido percentualmente, evidencia um problema ou no modelo de blocos ou, como se trata de um parâmetro de qualidade, problema na amostragem realizada no minério.

O modelo de blocos passa por uma série de validações, tanto na modelagem quanto na estimativa de recursos. As amostras utilizadas na estimativa provêm de furos de sondagem que tendem a gerar dados representativos, as amostras passam por uma série de tratamentos e preparações, os *softwares* utilizados são de alta capacidade e os métodos de estimativa geoestatísticos tendem a reduzir o erro o máximo possível. Tendo isso em vista, primeiramente adotou-se a premissa de que o modelo estava correto e o primeiro passo para tentar identificar o problema foi a verificação em campo das amostragens de minério realizadas.

4.3 AMOSTRAGEM

4.3.1 Auditoria em campo das amostragens de minério

Levando em consideração todos os processos descritos na literatura que precisam ser realizados na etapa de amostragem, foi iniciada a etapa de auditoria dessa tarefa para verificar se a metodologia utilizada seguia as boas práticas necessárias. Ao realizar auditoria do trabalho de amostragem feito em campo (Figura 22), verificou-se uma série de problemas relacionados a metodologia nas duas etapas essenciais, as quais são a seleção e a preparação da amostra.

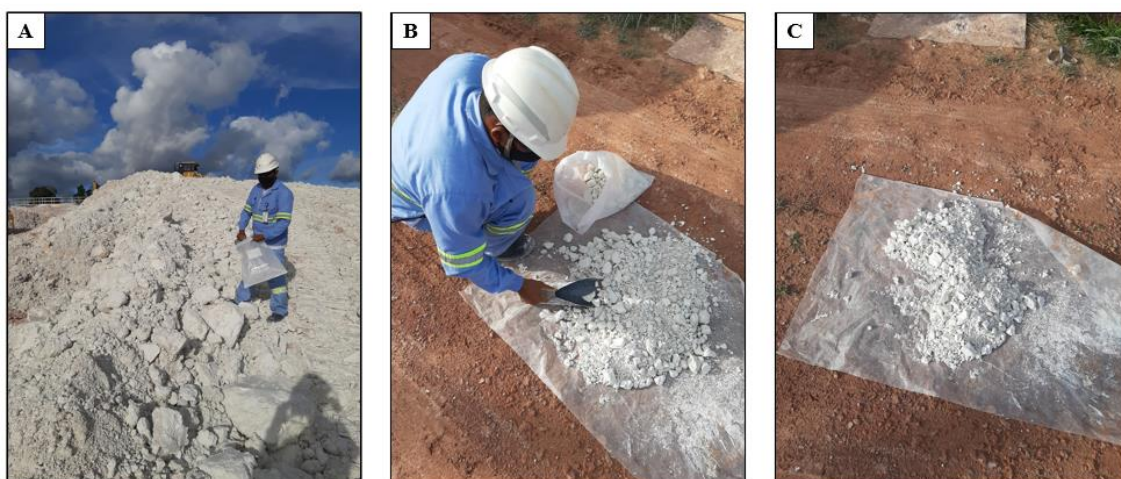


Figura 22 - Amostragem e preparação de uma amostra de minério de caulim. A) Coleta da amostra; B) Homogeneização da amostra e início do quartejamento; C) Amostra quarteeada.

Foi verificado que os operadores realizavam as amostragens diretamente nas pilhas de minério como demonstrado nas Figura 22-A e Figura 23, algum tempo depois dos caminhões descarregarem o minério. A amostragem manual em pilha era realizada com o auxílio de uma pá, a qual coletava somente o material superficial da pilha, como demonstrado no desenho esquemático da Figura 23.

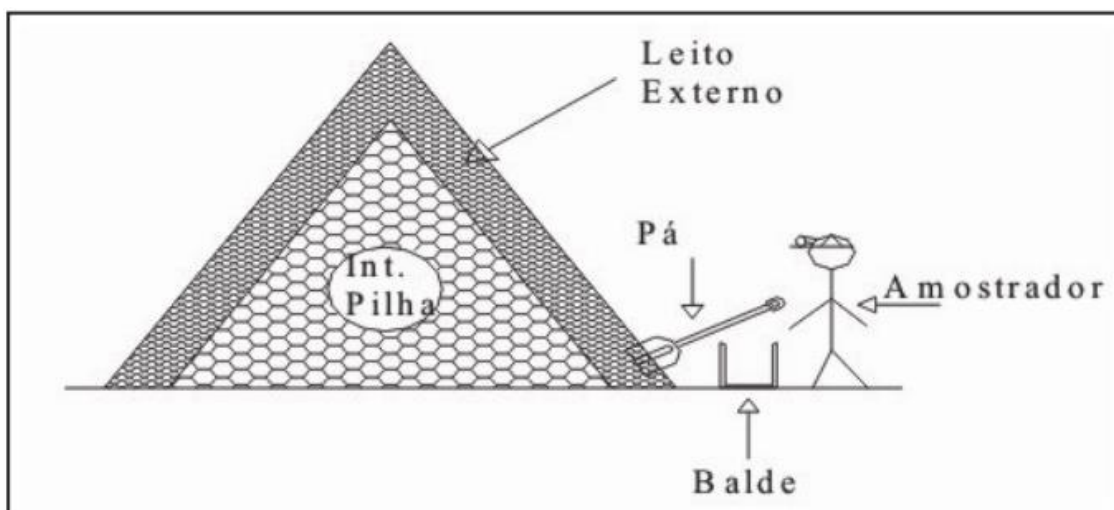


Figura 23 - Figura esquemática para representar a metodologia utilizada pra coletar amostras de minério em pilha. (Grigorieff *et al.* 2002)

Na preparação da amostra há uma série de procedimentos que precisam ser seguidos para que o processo de amostragem como um todo funcione da forma correta, desde a etapa de coleta, secagem, homogeneização e quarteamento, de acordo com uma série de normas pré-estabelecidas demonstradas na literatura (Goes *et al.* 1991, Grigorieff *et al.* 2002, Gy 1998, Oliveira & Aquino 2007) e nos procedimentos internos da empresa.

O tipo de amostragem realizado anteriormente não é correto, pois não coincide com uma das premissas da teoria da amostragem, a qual pressupõe que cada partícula componente do lote deve ter a mesma probabilidade de pertencer a ele (Grigorieff *et al.* 2002, Gy 1998). Isso ocorre pois o material localizado no interior da pilha não apresenta as mesmas características das partículas superficiais, além de não conseguir ser alcançado pela pá, fazendo com que a amostragem seja enviesada.

Após a coleta da amostra, é indispensável, no caso do caulim, que ela seja levada a uma estufa e aquecida por 24h para secagem. Após isso, a amostra precisa ser bem homogeneizada antes de ser quarteada. A homogeneização da amostra tem a função de produzir uma distribuição mais uniforme das partículas, permitindo que exista uma amostragem percentualmente mais probabilística e o quarteamento em frações de massas menores. Os métodos manuais de homogeneização (sem equipamento específico) mais utilizados são as pilhas na forma de tronco, de cone ou longitudinais (Oliveira & Aquino 2007). Para a situação do trabalho atual, a maneira mais apropriada de preparação seria através do método de pilha cônica (Oliveira & Aquino 2007, Goes *et al.* 1991). Para construção desse tipo de pilha, o material necessita ser colocado sobre uma lona retangular ou quadrada (Figura 24-A) e os vértices da lona são levantados alternadamente (Figura 24-B e C), assim o material da base da pilha de um lado é passado para o topo da pilha em cada passada. Realizar esse procedimento repetidas vezes e de forma alternada,

faz com que o material continue no formato de pilha e possa ser considerado homogêneo (Oliveira & Aquino 2007).

Posteriormente, usa-se uma espátula para “achatar” o material e auxiliar na divisão dele em quatro setores iguais (Figura 24-D). O quarteamento é realizado formando-se duas pilhas cônicas compostas pelos setores opostos da pilha inicial (Figura 24-E), como demonstrando na Figura 24-F. Dependendo do volume de material que se queira atingir, o processo deve ser repetido, tomando-se uma das pilhas formadas e dando continuidade à operação quantas vezes forem necessárias.

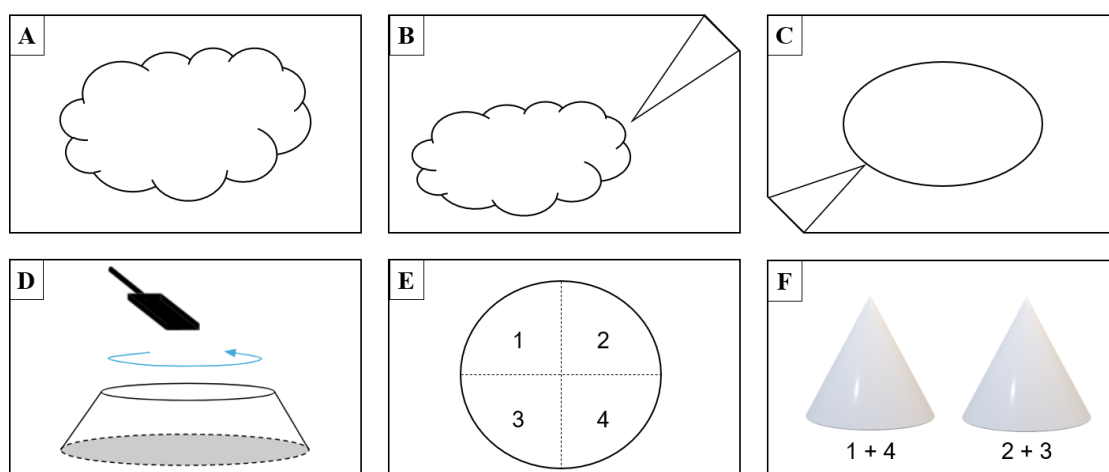


Figura 24 - A) Caulim em cima de uma lona; B) e C) Distribuição/Homogeneização do material mediante levantamento dos vértices opostos da lona; D) Achatamento do material para possibilitar a divisão; E) Visão em planta da pilha cônica formada e dividida em 4 partes iguais; F) Junção das pilhas de setores opostos.

Ao fazer a comparação entre as normas e procedimentos que devem ser seguidos, como evidenciado no texto anterior, e o trabalho que estava sendo realizado em campo, foi possível constatar que todo o processo de coleta e preparação de amostra não era realizado da forma correta, pois não tinha concordância com nenhuma metodologia definida existente na literatura e nem com os procedimentos internos da empresa. De outro modo, a maneira executada ia de encontro com as práticas consideradas assertivas, portanto, ela podia ser considerada inexata.

Em resumo, os principais problemas identificados foram:

- Amostragem não-probabilística
- Coleta de amostras/incrementos com frequência aleatória;
- Método de coleta impróprio;
- Ponderações inadequadas das amostras;
- Local adequado de preparação inexistente;
- Materiais discordantes com a atividade realizada;
- Falta de colaboradores dedicados para a atividade;

- Processos de quarteamento e homogeneização indevidos.

Além de tudo, na amostragem manual em pilhas, além da variabilidade existente entre as partículas, os erros de amostragem são influenciados pela disposição das partículas no interior do lote. Como essa disposição é circunstancial, os resultados de qualidade são consequência das circunstâncias que envolvem a deposição do caulim nas pilhas (Grigorieff *et al.* 2002)

Todas essas inadequações evidenciadas no processo de amostragem de minério da produção na pilha, acarretam em uma série de problemas para o processo da empresa como um todo. Alguns desses já foram citados anteriormente:

- Desconhecimento da qualidade do minério a ser alimentado na planta;
- Falta de validação da qualidade do minério por parte da produção;
- Tomadas de decisões atrasadas;
- Incerteza na estimativa de recursos devido a resultados de reconciliações não confiáveis;
- Problemas na planta de beneficiamento devido a entrada de material com qualidade ruim;

4.4 DISCUSSÕES ACERCA DAS MELHORIAS A SEREM REALIZADAS

Após a percepção de todo o processo de amostragem realizado de maneira incorreta e todas as perdas qualitativas e quantitativas que esse fato estava causando para a cadeia do processo mineral da empresa, uma série de reuniões foram realizadas para tentar estabelecer as melhorias necessárias para o processo de amostragem. As reuniões contavam com membros principalmente das áreas de Geologia e Planejamento, Controle de qualidade, Gestão de Processos, Gerentes e Diretores de *sites*. Levando em consideração uma série de fatores imprescindíveis para estabelecer um processo de amostragem adequado, como condições de segurança apropriadas, maior representatividade da amostra, investimento necessário, metodologia concordante e mão de obra disponível, foi estabelecido um novo processo de amostragem diferente do qual estava sendo realizado anteriormente.

4.5 NOVO PROCESSO DE AMOSTRAGEM

Após as discussões realizadas e todos os fatores envolvidos analisados de forma cautelosa, foi decidido por todos os gestores envolvidos que o melhor método para se obter uma amostra que representasse apropriadamente a qualidade do minério lavrado, levando em consideração as limitações existentes, seria por meio da amostragem através

do material que sai do *blunger*, do tipo “Amostragem manual do minério em Fluxo ou Amostragem de Polpas”.

A amostragem de polpas é utilizada amplamente em diversas usinas de concentração e beneficiamento mineral pois a maioria delas faz o processamento do minério a úmido. Esse tipo de amostragem é utilizado para acompanhar a qualidade do minério durante as etapas de entrada na planta, etapas intermediárias e finais. Esse tipo de amostragem pode ser realizado de forma automática ou manual (Oliveira & Aquino 2007).

Na amostragem manual, algumas recomendações adicionais precisam ser seguidas para garantir a representatividade da amostra (Oliveira & Aquino, 2007):

- a) O movimento do copo de amostragem através do fluxo de material deve percorrer toda a seção transversal desse fluxo;
- b) O tamanho da abertura do copo deve ser, no mínimo, três vezes maior que a maior partícula da amostra;
- c) O tamanho do copo deve ser capaz de armazenar o volume equivalente ao material da seção transversal do fluxo em uma passada através dele;
- d) É necessário mover o copo em uma velocidade tal que não haja transbordamento de material;
- e) Caso o volume da amostra coletada em um fluxo seja muito grande, é necessário homogeneizar a amostra e utilizar um quarteador de polpa para redução desse volume;
- f) A amostra final deve ser formada pela mistura de vários incrementos coletados pela passagem do copo pelo fluxo várias vezes

Com a amostragem sendo estabelecida no *blunger*, uma série de atividades poderiam ser removidas do então atual processo, e diversas melhorias seriam adicionadas:

- Sem necessidade de operador de lavra para realizar amostragem (diminuição de custo HH);
- Diminuição do erro associado a coleta de amostra;
- Eliminação da etapa de preparação da amostra e o erro associado a ela;
- Periodicidade definida de coleta;
- Ponderação exata das amostras;

É importante ressaltar que a amostragem através do *blunger* já era um processo realizado anteriormente, porém os resultados obtidos não eram utilizados pela Geologia e não eram rápidos o suficiente para tomada de decisões da produção, pois ela era realizada somente 4 vezes ao dia. Além disso, os parâmetros analisados eram somente

densidade, *grit*, granulometria e alvura crua. Quando o novo processo de amostragem no *blunger* foi estabelecido, os parâmetros analisados anteriormente foram mantidos e outros foram adicionados, como: alvura alvejada das frações fina e grosseira, alvura não magnética, teores de Fe e Ti, PSD2 e parâmetros L^* , a^* , b^* (colorimetria). Além do maior número de atributos analisados, aproximadamente 12 amostragens passaram a ser realizadas por dia, fornecendo um maior número de informações, maior controle dos principais atributos de qualidade do minério, maior confiabilidade dos dados e mais rapidez nas tomadas de decisão por parte da produção.

A cada 2h e 4h o operador se desloca até a uma tubulação que se encontra na saída do *blunger*, por onde o minério que já foi dispersado está passando, e realiza a coleta de uma amostra de aproximadamente 2L através de vários incrementos (Figura 25). Imediatamente essa amostra é levada ao laboratório para análise e o resultado é lançado nas informações de qualidade.



Figura 25 - Operador realizando a cada 2h a coleta do material que foi alimentado e disperso no *blunger*.

5. RESULTADOS

Após a mudança no processo de amostragem é possível afirmar que houve uma melhoria na representatividade do minério lavrado, pois mais amostragens com metodologias adequadas passaram a ser realizadas ao longo do dia, além do maior número análises laboratoriais (anteriormente, aproximadamente 4 ou 5 coletas eram realizadas diariamente). Com isso, pode-se dizer que a “real” qualidade do minério passou a ser aproximadamente conhecida.

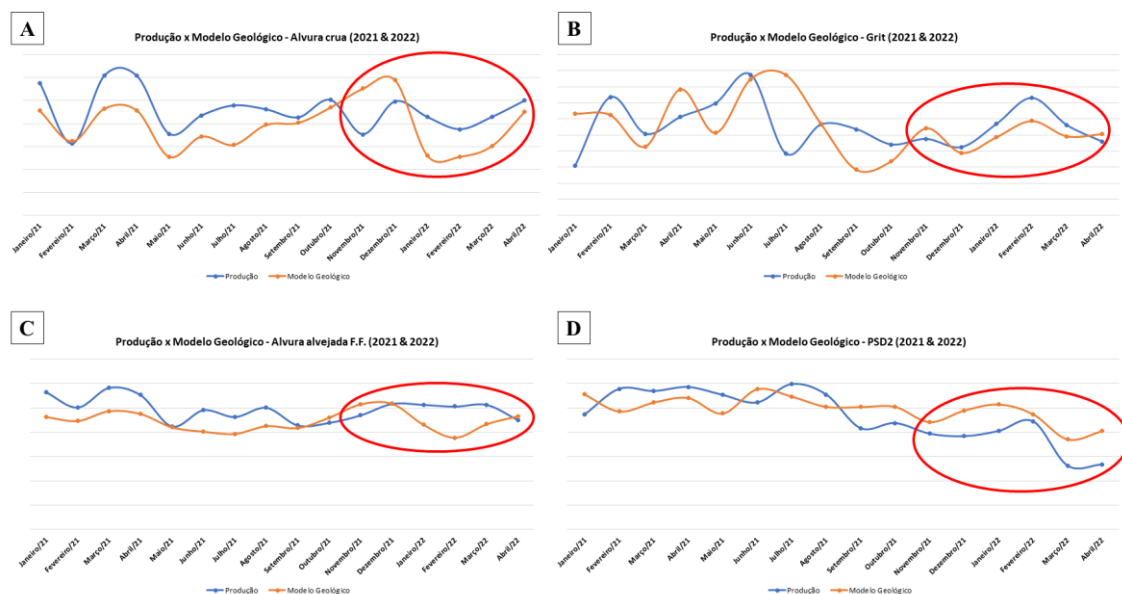


Figura 26 - Reconciliações ao longo dos meses para os parâmetros de qualidade, com destaque para os seis meses após a realização do projeto de melhoria.

Além disso, como um dos objetivos do trabalho, foi possível denotar que a aderência entre o modelo de blocos e a produção em relação aos valores de qualidades aumentou, principalmente em relação ao *grit*, como demonstrado nas Figura 26 e Figura 27.

A Figura 27 mostra, na forma de valores percentuais relativos mensais, as variações entre a produção e o modelo de blocos com destaque para o *grit* nos meses após o estabelecimento do projeto. É possível ver que nos seis meses após a modificação no processo, as variações entre o modelo e a produção ficaram abaixo do limite estabelecido de 4% (linha em vermelho), exceto em fevereiro, evidenciando que a melhoria realizada no processo de amostragem influenciou, de fato, nos resultados obtidos.

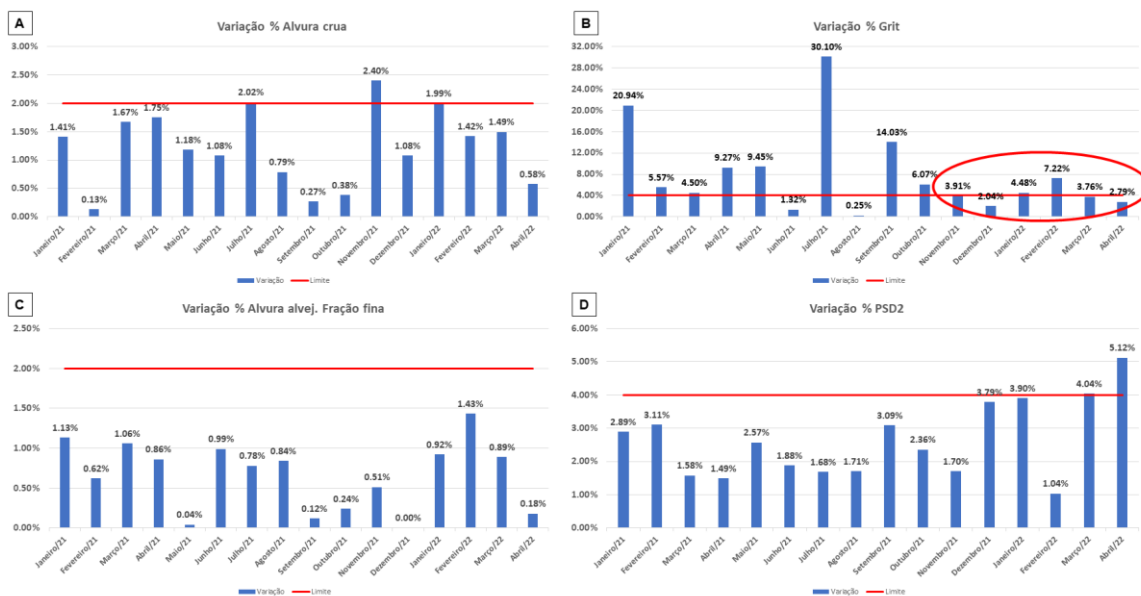


Figura 27 - Variações percentuais ao longo dos meses para os parâmetros de qualidade avaliados nas reconciliações, incluindo os meses após o estabelecimento do projeto, e com destaque para o *grit*.

Outro fator relevante é o fato de que com mais amostragens e resultados diários, áreas como a produção também puderam fazer uso desses dados. Quando os resultados das análises são disponibilizados, os supervisores de produção e engenheiros de processo logo podem avaliar se a blendagem que está sendo utilizada para o minério condiz com os padrões de qualidade estabelecidos.

6. DISCUSSÕES

Através da percepção de problemática na metodologia de amostragem, uma série de discussões foram propostas para tentar estabelecer uma metodologia que atendesse tanto as questões técnicas quanto questões financeiras para a empresa, ou seja, que não necessitasse de grandes investimentos e que tornasse o método de amostragem mais confiável.

A nova metodologia de amostragem aplicada permite que os resultados sejam mais rápidos e representativos do que os obtidos no método de amostragem anterior, os quais eram obtidos somente um dia após a coleta do material e não eram significativos para representar a qualidade do minério de fato. Com a nova amostragem, além das análises serem úteis para a Geologia, os supervisores da planta de beneficiamento podem utilizá-los para tomar decisões acerca da blendagem de minério que está sendo realizada. Através dessas análises, de 2 em 2h eles verificam se a qualidade do minério que está na planta está compatível com os parâmetros estipulados ou se é necessário alterar a blendagem utilizada.

Sabe-se que o método utilizado ainda está longe de ser o ideal para representar de fato a qualidade do minério lavrado. Atualmente, as amostras são coletadas com o material advindo do *blunger*, ou seja, após a blendagem de minério ter sido realizada. Mesmo que a operação de mina mantenha a proporção de material lavrado igual a do que está sendo alimentado no *blunger* e o minério lavrado seja levado diretamente para a alimentação, ainda há um pequeno viés devido ao efeito do estoque em pilha que ocorre quando um minério mais antigo (que foi lavrado 1 mês ou mais antes de ser alimentado no *blunger*) é mandado para a alimentação do *blunger*. Além de tudo, a amostragem manual de minério não é o ideal a ser realizada, principalmente sem o quarteador rotativo no caso de polpas, pois, além do erro sistemático de amostragem que é intrínseco ao processo de amostragem, ao realizar a amostragem manual, o erro de coleta também fica em evidência, fazendo com que ações humanas possam causar o viés da amostragem, o que também é muito difícil de evitar na maioria dos casos, exceto quando se tem o uso de amostradores automáticos. Sem o quarteador rotativo, fica difícil controlar que todo o fluxo passante tenha igual probabilidade de ser coletado. Porém, a probabilidade de ocorrer erros diminuiu ao realizar a mudança de metodologia da amostragem, pois no método anterior de coleta em pilha a amostragem dependia muito mais da “escolha” da região de coleta e também da organização espacial das partículas na pilha e na amostragem de polpa isso não ocorre.

7. CONCLUSÕES

O presente trabalho, através da metodologia de reconciliação utilizada e com o objetivo de avaliar essas reconciliações, ajudou na percepção de uma problemática na atividade de amostragem, pois identificou que ela estava sendo realizada de forma totalmente inadequada, ou seja, a amostragem não estava representando de fato a qualidade do minério lavrado. Após a detecção desse problema, através da metodologia PDCA aplicada, houve a mudança no processo de amostragem e ela passou a ser um pouco mais representativa. As reconciliações foram utilizadas de forma adequada para o seu propósito, que é identificar falhas em algumas etapas de um empreendimento mineiro, como na estimativa de recursos, nos processos de medição topográfica, lavra, amostragem, entre outros

Levando em conta as metodologias discutidas e todos os recursos disponíveis para a realização do trabalho, a melhor metodologia que poderia ser aplicada foi utilizada. Porém, para que a qualidade do minério lavrado seja confiavelmente conhecida, é necessário realizar amostragens na frente de lavra, através de trado, canaletas, ou outras ferramentas, para que a amostragem seja realizada concomitantemente ao que está sendo lavrado *in situ*.

A longo prazo, no período de 6 meses a 1 ano, vai ser possível ver de melhor forma adequação de qualidade entre o modelo e os dados oficiais da produção, pois o efeito do estoque vai diminuir, visto que em um período de 6 meses todo minério lavrado seja consumido pela planta de beneficiamento.

Além de tudo, foi possível verificar que a aderência entre os valores de qualidade da produção e do modelo de blocos aumentou, sendo assim, além de utilizar a metodologia de reconciliação para identificar falhas em processos, o segundo principal objetivo do presente trabalho também foi alcançado.

REFERÊNCIAS

- Abzalov M. 2016. *Applied mining geology*. [S.l.], Springer, v. 12.
- Câmara T. R. 2013. *Sistematização do cálculo de diluição e perdas operacionais para reconciliação de teores e massas em larva a céu aberto*. Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre, 88p.
- Chierigati A. C., Pignatari L. E. C., Delboni Jr H. 2011. Novo modelo de reconciliação para a indústria do ouro. *Rem: Revista Escola de Minas*, **64** (2): 237–243.
- Curi A. 2014. *Minas a céu aberto: planejamento de lavra*. São Paulo, Oficina de Textos.
- Curi A. 2017. *Lavra de minas*. São Paulo, Oficina de Textos.
- Goes M. A. C. D. *et al.* 1991. *Amostragem de minérios*. Rio de Janeiro, CETEM. 48p.
- Grigorieff A. *et al.* 2002. O problema de amostragem manual na indústria mineral. *Rem: Revista Escola de Minas*, **55**(3): 229–233.
- Gy P. 1998. *Sampling for analytical purposes*. [S.l.], John Wiley & Sons.
- Hartman H. L. & Mutmanský J. M. 2002. *Introductory mining engineering*. [S.l.], John Wiley & Sons.
- Lima M. *et al.* 2009. The contribution of lateritization processes to the formation of the kaolin deposits from eastern Amazon. *Journal of South American Earth Sciences*, **27** (2–3): 219–234.
- Lima Paula Elissa Antonio de. 2016. *Caulim calcinado: estudo cinético da dissolução do alumínio em meio ácido e aplicação como precursor na produção de sílica porosa*. Orientador: Roberto de Freitas Neves. PhD Theses, em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016, 113 fp. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/9020>. Acesso em: 02/04/2022.
- Longo M. H. C. *et al.* 2019. Recuperação de áreas degradadas por mineração: associação de técnicas de bioengenharia de solos com geração e manutenção de serviços ecossistêmicos. *Revista IPT: Tecnologia e Inovação*, **3** (12): 6-17, dez.
- Luz A. B. da *et al.* 2008. Argila-caulim. In: Luz A.B. & Lins F.A.F (ed.). *Rochas & minerais industriais: usos e especificações*. 2. ed. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, p. 255-294.
- Mártires R. A. C. 2009. Caulim. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Economia mineral do Brasil*. [S.l.], DNPM, p. 442–451.
- Morley C. & Thompson K. 2006. Extreme reconciliation-a case study from Diavik diamond mine, Canada. In: 6^o International Mining Geology Conference. *Proceedings*[...], Darwin, NT. p. 313-321.
- Murray H. H. & Alves C. A. 2007. Mining , processing and applications of the Capim basin kaolin, Brazil. *Clay Minerals*, **42**(2): 145-151.

Murray H. H. & Keller W. D. 1993. Kaolins, kaolins, and kaolins. <https://doi.org/10.1346/CMS-SP-1.1>.

Nascimento M. S. & Góes A. M. 2005. Distribuição estratigráfica e proveniência de minerais pesados das formações Ipixuna e Barreiras, região do rio Capim, sul da Sub-bacia de Cametá. *Brazilian Journal of Geology*, **35**(1): 49–58.

Oliveira M. L. M. & Aquino J. A. 2007. Amostragem. In: Sampaio J. A. *et al. Tratamento de minério: práticas laboratoriais*. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, p. 35.

Pereira F. I. T. 2010. *Otimização na blendagem de caulim para obtenção de polpa de acordo com as especificações*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá. Disponível em: <http://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/369> 2010. Acesso em: 03/03/2022.

Rossetti D.F. *et al.* 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Série Ciências da Terra, **1**(1): 25-74.

Rossetti D.F. *et al.* 2001 Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós-Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. *Revista Brasileira de Geofísica*, **19**: 113–130.

Rossi M. E. & Deutsch C. V. 2013. *Mineral resource estimation*. [S.l.], Springer Science & Business Media.

Santos J. A. G. 2017. *Recuperação e reabilitação de áreas degradadas pela mineração*. Especialização, Mineração e Meio Ambiente, UFRB, Cruz das Almas - BA, 44p.

Santos Jr A. E. A. 2006. *Análise integrada dos depósitos de caulim na região do Rio Capim: fácies, estratigrafia, petrografia e isótopos estáveis*. Orientadora: Dilce de Fátima Rossetti. PhD Theses, Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006. 107p. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/8279>. Acesso em 02/02/2022.

Santos Jr. A. E. & Rossetti D.F. 2003. Paleoambiente e estratigrafia da Formação Ipixuna, área do Rio Capim, leste da Sub-bacia de Cametá. *Brazilian Journal of Geology*, **33** (3):313–324.

Souza G. F. 2011. *Plano de fechamento de mina-método de lavra em tiras (strip mining)*. Orientador: Alexandre José Buril deMacedo. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, 51 p. Disponível em: <http://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/396>. Acesso em: 08/06/2022.

Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T. da. (org.). 2008. *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará*. Belém, CPRM, 328p. (Programa Geologia do Brasil (PGB)).

APÊNDICE A

I. METODOLOGIA DE RECONCILIAÇÃO

II GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES TOPOGRÁFICAS

A primeira etapa de todo o processo de reconciliação é a geração de superfícies topográficas. Porém, para ela existir, é necessário haver anteriormente levantamentos topográficos em campo das áreas que estão sendo lavradas e/ou decapeadas. Os levantamentos são realizados através do posicionamento de um bastão em cada ponto no qual se quer fazer a obtenção das coordenadas de interesse, como demonstrando na Figura 28. Com isso, as coordenadas x , y e z das áreas de interesse são armazenadas no aparelho utilizado. Posteriormente, essas coordenadas são transferidas para *softwares* dedicados a topografia para produzir um desenho da cava atualizada pelo topógrafo.



Figura 28 - Bastão utilizado em campo para o cadastro das coordenadas topográficas X, Y, Z.

Com o desenho de cava atualizado pela equipe de topografia (Figura 29), o arquivo é repassado para a equipe de Geologia e Planejamento de Mina e essa dá

continuidade ao trabalho de reconciliação. Para fazer reconciliações, é preciso obter um arquivo de superfície “.dtm” (*Digital terrain Model* ou Modelo digital de terreno).

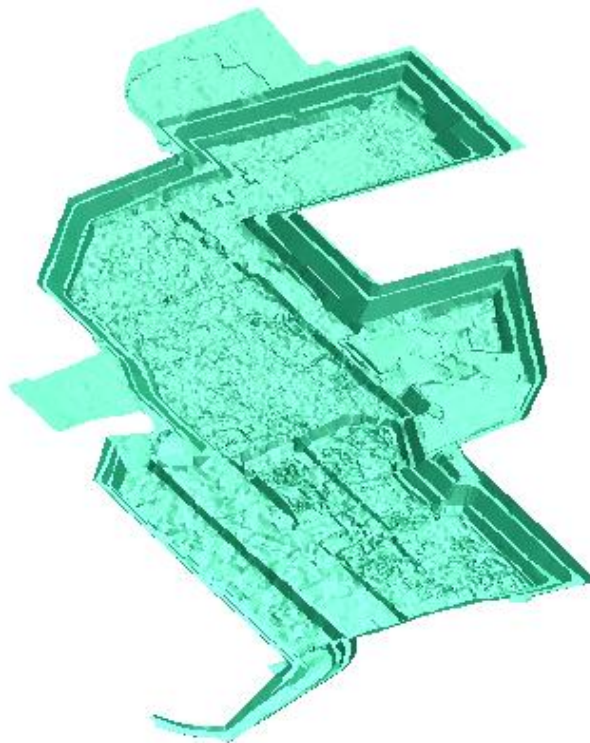


Figura 29 - Superfície topográfica no formato “.dwg/.dxf” repassada pela equipe de topografia.

Arquivos em formato “.dwg” ou “.dxf” são reconhecidos no *surpac*, porém não é possível fazer operações com eles dentro do *software*, portanto é preciso fazer a conversão desse formato para outros que possam ser utilizados. Nesse caso, o formato de interesse do arquivo é o formato “.dtm” Para isso:

1. O arquivo “.dwg” ou “.dxf” deve ser aberto no ambiente *3D* do *surpac*, para que seja possível visualizá-lo;
2. É preciso salvar o arquivo em um formato que seja reconhecido no *software*, nesse caso, os formatos “.str” ou diretamente o formato “.dtm”.

Quando o arquivo “.dwg” ou “.dxf” já foi triangulado no *software* que o gerou é possível salvá-lo diretamente em “.dtm”. Se não, é preciso transformar o arquivo “.dwg” ou “.dxf” em “.str” (linhas) [Figura 30] e depois gerar uma superfície (“.dtm”).

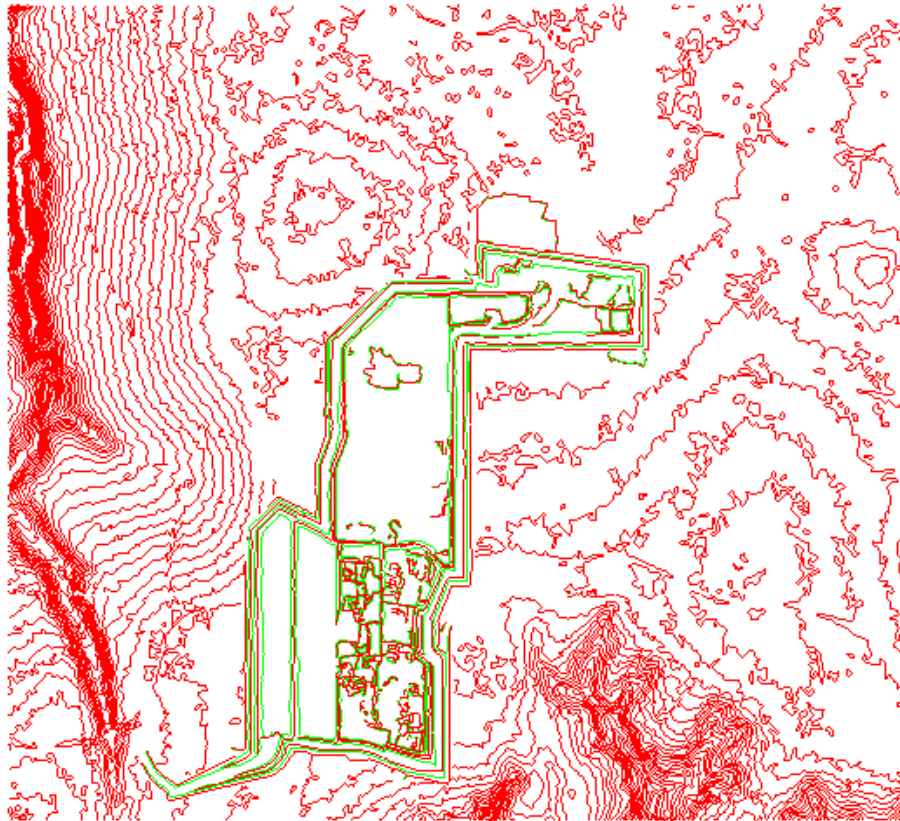


Figura 30 - Visão em planta de uma medição topográfica no formato de linhas.

Para gerar uma topografia no formato “.dtm” a partir de um arquivo de linhas, os passos 1 e 2 mostrados anteriormente devem ser repetidos.

3. Com o arquivo de linhas *string* gerado, é preciso selecionar a aba **Surfaces**, opção **DTM File functions** e **Create DTM from string file** (Figura 31);

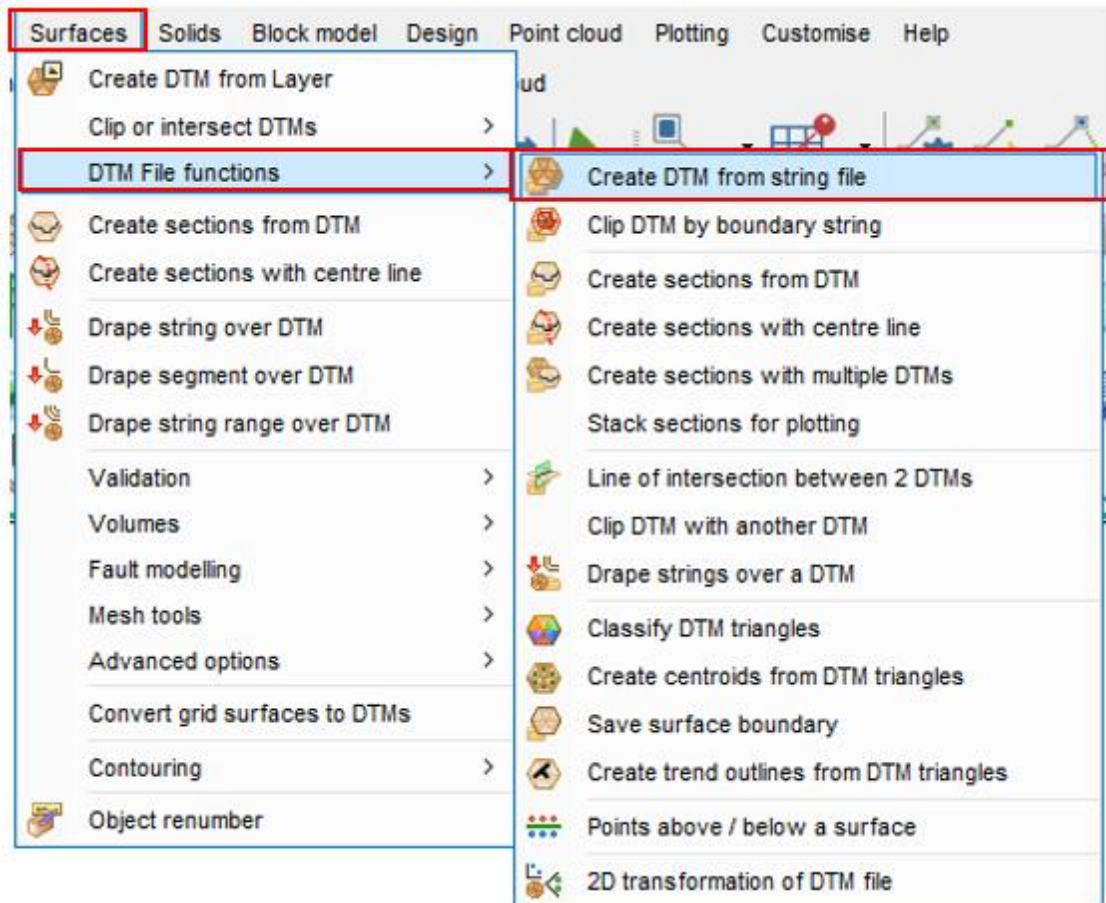


Figura 31 - Caminho no surpac para geração de uma superfície DTM.

Quando a topografia no formato “.dtm” for gerada, é preciso repetir as etapas novamente para criar a outra superfície topográfica a ser utilizada para fazer a reconciliação. Por exemplo, primeiro gerar a superfície do final do mês de março e logo após gerar a superfície do final do mês de fevereiro.

I.II CRIAÇÃO DE CONSTRAINTS

Em resumo, *constraints* são delimitações/filtros que podem ser aplicados aos modelos de blocos. Eles podem ser criados em função de diversos parâmetros como atributos do modelo, linhas, superfícies, entre outros.

1. Para carregar o modelo, é preciso se direcionar até a janela **Navigator**. Nela, os diretórios do computador serão mostrados e é preciso localizar a pasta na qual o modelo de blocos de interesse está salvo (Figura 32);
2. Ao localizar o modelo de blocos, é preciso clicar 2x em cima dele para carregá-lo no *software* (Figura 32);

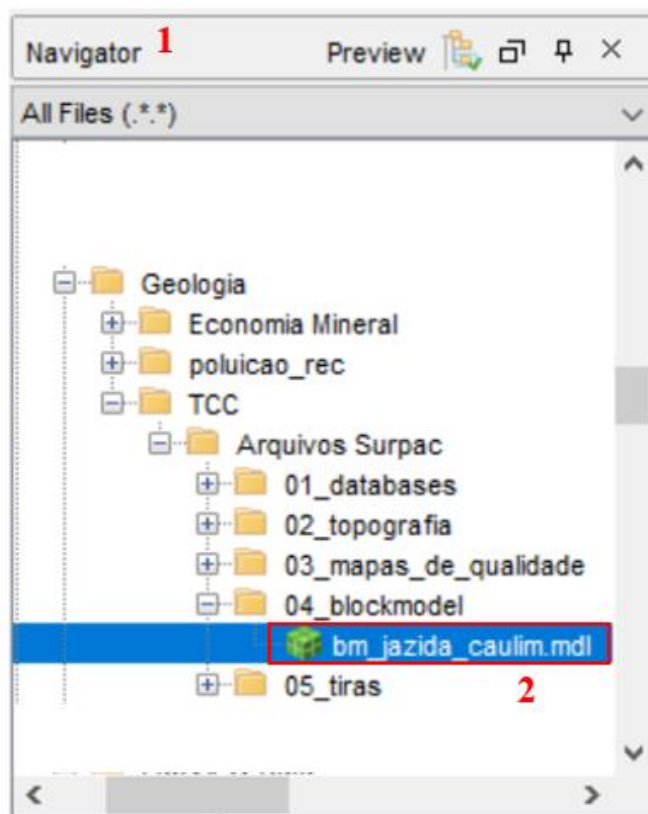


Figura 32 - Localização do modelo de blocos dentro dos diretórios do computador na janela **Navigator**

3. Para o modelo de blocos ser exibido no ambiente *3D*, é preciso localizar o arquivo referente a ele na barra inferior da janela, selecioná-lo e clicar em **Display** (Figura 33);
4. A janela **Draw block model** vai aparecer, dentro dela basta clicar em **Apply** (Figura 33);

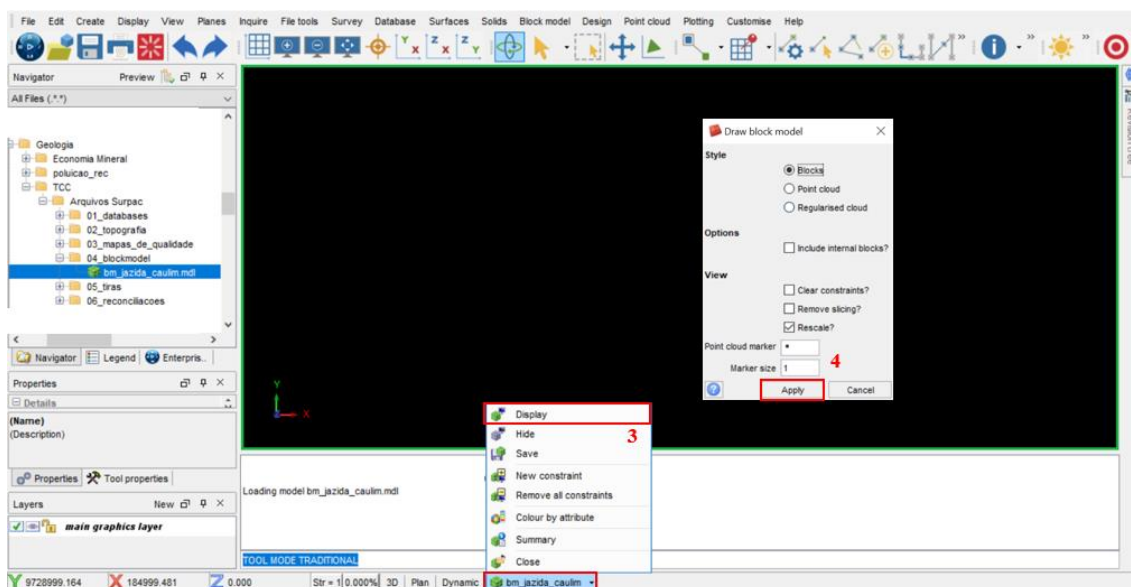


Figura 33 - Exibição do modelo de blocos no ambiente *3D* do *software*.

1. Com o modelo carregado no ambiente 3D do *software*, é preciso acessar a aba **Block model**, opção **Constraints** e posteriormente a opção **New constraint file** (Figura 34);

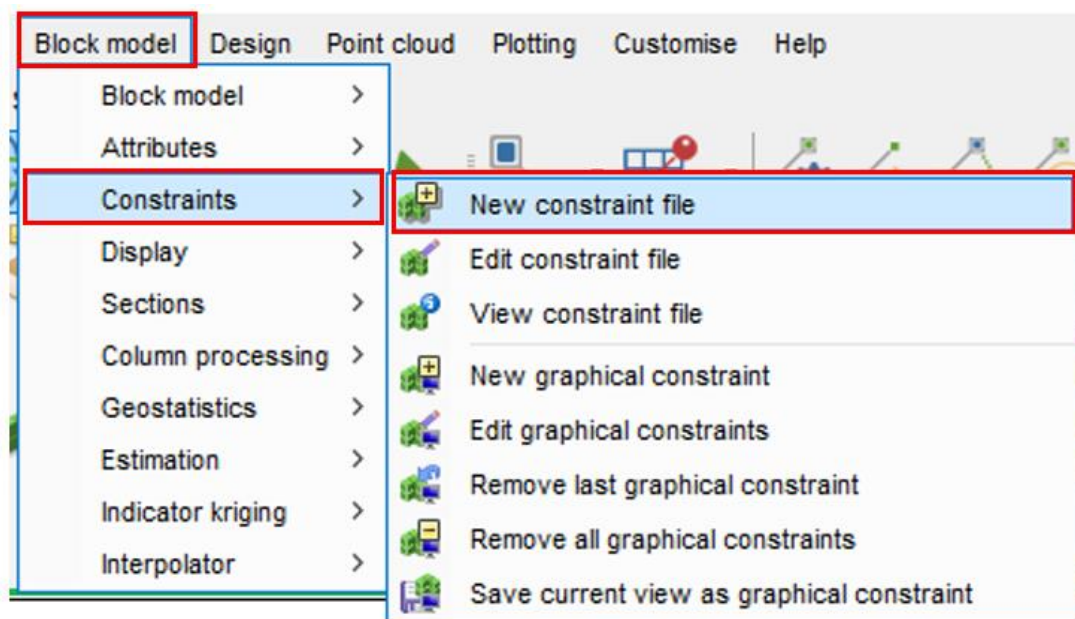


Figura 34 - Acesso as ferramentas de criação de *constraints*.

2. A janela **Enter constraints** será aberta. Dentro da opção **Constraint Type** é preciso escolher o tipo de filtro que se deseja aplicar. Os tipos de delimitações que podem ser utilizadas são (Figura 35):

Constraint – Quando já existe um filtro pré-salvo, é possível utilizá-lo nessa opção para fazer uma nova *constraint*;

3DM - Filtrar blocos dentro ou fora de um ou mais objetos fechados e válidos;

Block – Utilizar atributos do modelo de blocos para fazer um filtro. Ex: Filtrar somente os blocos com alvura acima de 85;

DTM – Utilizar arquivos no formato “.dtm”, para fazer filtros. É possível deixar como blocos remanescentes os que estão acima ou abaixo de determinada superfície;

Plane – Filtrar blocos acima ou abaixo de um plano definido por uma equação;

String – Filtrar blocos que estejam dentro ou fora de um determinado arquivo de *string* (linhas);

X Plane – Filtrar blocos que estão acima ou abaixo de um plano imaginário definido por uma coordenada x;

Y Plane – Filtrar blocos que estão acima ou abaixo de um plano imaginário definido por uma coordenada y;

Z Plane - Filtrar blocos que estão acima ou abaixo de um plano imaginário definido por uma coordenada z (altitude).

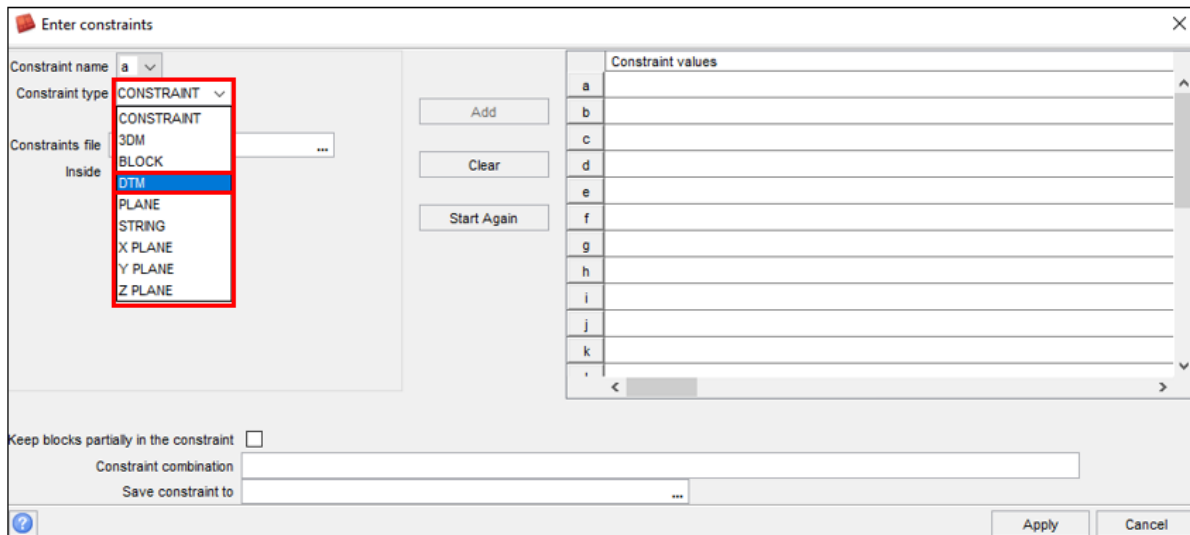


Figura 35 - Ferramenta para criação de diversos tipos de constraints

3. Como o trabalho se trata de realizar reconciliações com auxílio da superfície topográfica, no comando **Constraint Type** é necessário selecionar a opção *DTM* (Figura 36);

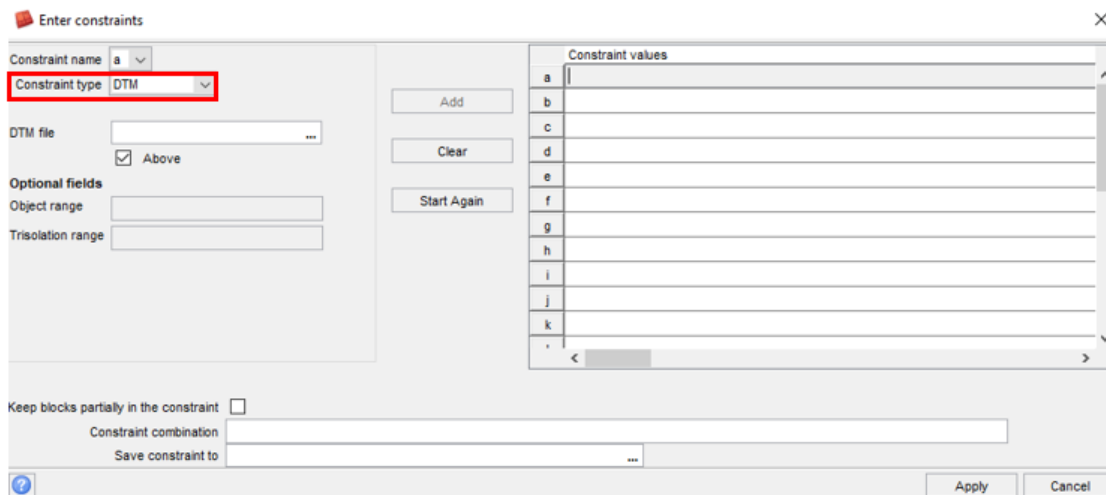


Figura 36 - Ferramenta para criação de *constraints*, com destaque para a opção DTM selecionada em **Constraint Type**.

A Figura 37 ilustra em seção como funciona a criação de delimitações através de DTM's (superfícies). O exemplo "A" evidencia o modelo de blocos completo e as superfícies a serem utilizadas para criar os filtros. Já no exemplo B, o modelo de blocos já está filtrado com base nas duas topografias utilizadas.

O material de interesse representado pelos blocos está abaixo da topografia do dia 28 de fevereiro (mais antiga) e acima da topografia do dia 31 de março (mais recente). Ou seja, os blocos remanescentes representam o material movimentado durante 1 mês, o qual é o período geralmente utilizado para a realização de reconciliações. As informações de espacialidade, informando se os blocos desejados estão acima ou abaixo das superfícies que estão sendo utilizadas são extremamente importantes para a criação de *constraints* utilizando DTM's no Surpac.

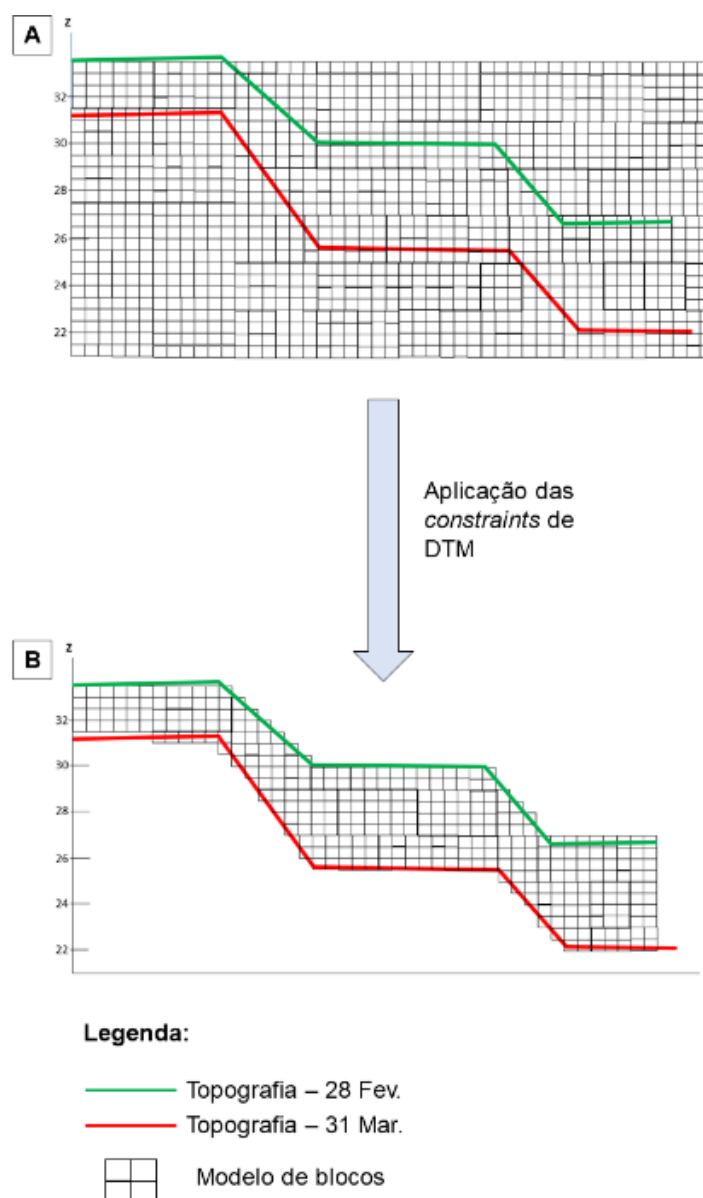


Figura 37 - Desenho esquemático em seção para representar a utilização de *constraints* através de DTM's (superfícies). A) Modelo de blocos completo e as superfícies topográficas com as quais serão criadas as delimitações; B) Modelo de blocos filtrado com base nas superfícies utilizadas.

4. Na opção **DTM file**, é preciso escolher uma das topografias a serem utilizadas. Nesse exemplo, foi utilizada a superfície mais antiga entre as duas (Figura 38);

5. Como a topografia utilizada na Figura 36 é a mais antiga entre as duas a serem trabalhadas, ela vai estar espacialmente acima da mais recente, pois à medida que a lavra/decapeamento vai avançando, o nível topográfico vai se alterando, fazendo com que a superfície esteja em uma cota mais baixa depois de algum tempo. Por isso, nesse caso é preciso deixar a opção **Above** (acima) desmarcada, visto que os blocos de interesse estarão abaixo da superfície em questão (Figura 38);
6. Com isso, é necessário clicar em **Add** para adicionar a superfície escolhida como a primeira *constraint* a ser aplicada (Figura 38);
7. Quando a primeira *constraint* for adicionada, será possível vê-la na aba **Constraint values** como o valor “a” e com a informação escolhida como filtro “*Not above* (abaixo da superfície)” - Figura 38;

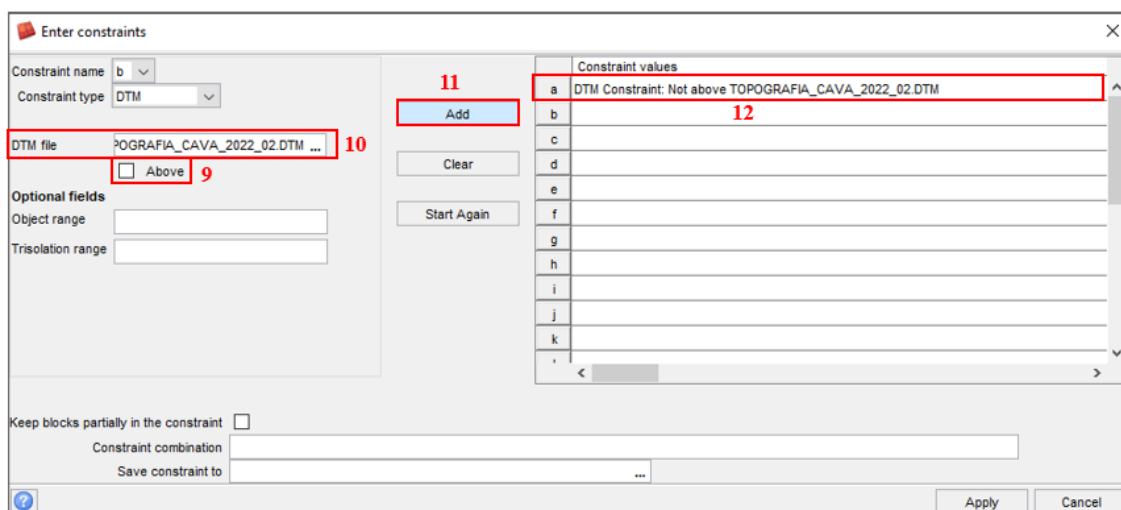


Figura 38 - Definição de parâmetros para a criação da primeira *constraint* de superfície.

8. Posteriormente, será preciso adicionar a segunda superfície como filtro para delimitar os blocos de interesse. Novamente, em **DTM file** é preciso procurar o arquivo da DTM no diretório do computador (Figura 39);
9. Como nesse exemplo a segunda superfície a ser adicionada se trata da mais recente, o material de interesse está localizado acima dela. Por isso, é preciso marcar a caixa **Above** (Figura 39);
10. Para adicionar a segunda *constraint* criada, é preciso clicar em **Add** (Figura 39);
11. O filtro criado irá aparecer na janela **Constraint values** como o valor “b” e mostrando a informação escolhida como filtro “*Above* (acima da superfície)” (Figura 39);
12. Por fim, é preciso clicar em **Apply** para os filtros criados serem aplicados ao modelo de blocos (Figura 39).

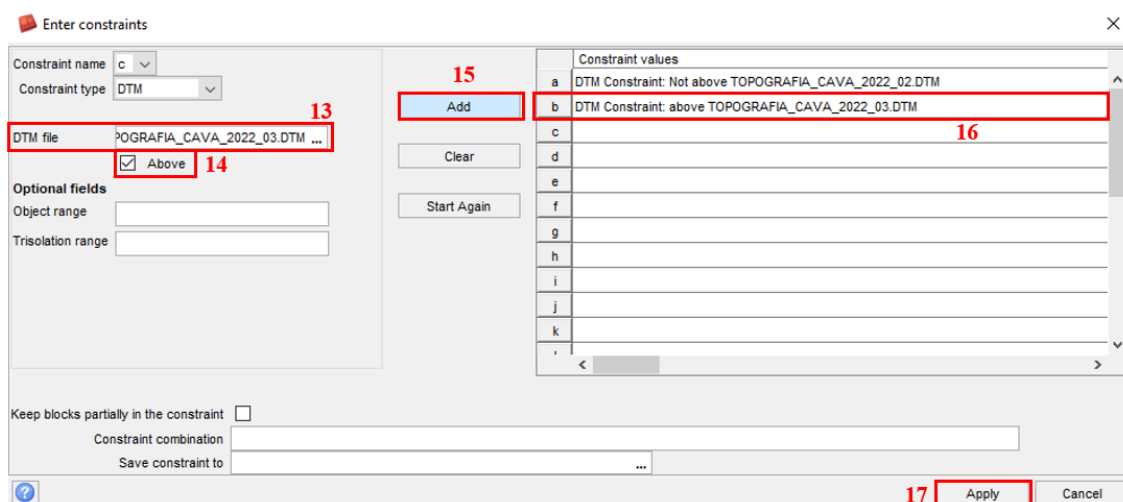


Figura 39 - Definição de parâmetros para a criação da segunda *constraint* de superfície.

Após a aplicação das *constraints* delimitando os blocos de interesse por superfícies, os blocos a serem exibidos no ambiente *3D* irão tender a ser somente o material movimentado no período entre as datas das duas topografias (Figura 40). Nesse exemplo o período entre as duas superfícies é de um mês.

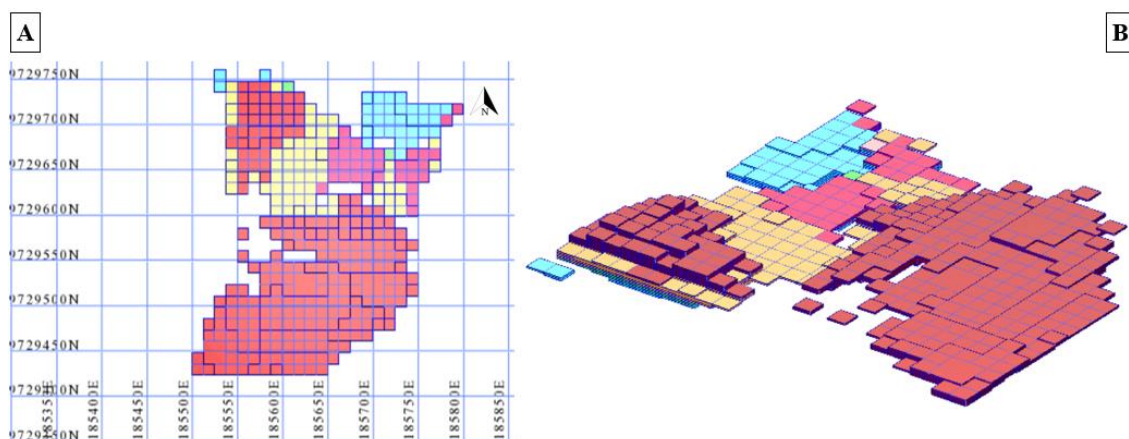


Figura 40 - Blocos restantes após a criação de *constraints* por superfícies. A) Visão em planta; B) Visão em perspectiva.

Após a criação das *constraints* por superfície, é preciso confirmar se os blocos que restaram representam verdadeiramente o material que foi movimentado na mina durante um mês. Para isso, é preciso criar novas *constraints*, porém utilizando como parâmetro algumas *strings* (linhas).

Essa etapa de verificação através das *strings* precisa ser realizada, pois na criação de *constraints* utilizando somente as superfícies pode haver erros, e blocos que não fazem parte da movimentação podem ser adicionados a *constraint* erroneamente, como será mostrado mais à frente. Esse erro ocorre, pois, as superfícies são geradas através de triangulações de linhas, e os triângulos podem variar de DTM para DTM dentro de uma

determinada região, mesmo que o desenho original não tenha sido alterado naquela região. Essa variação pode acontecer pois os triângulos são muito sensíveis a qualquer mínimo deslocamento de linha dentro do desenho original.

No fechamento das medições topográficas, a equipe de topografia também deve repassar a equipe de Planejamento de Mina os limites do minério que foi lavrado e do estéril que foi decapeado durante o mês. Esses limites devem ser repassados na forma de linhas para que seja possível utilizá-los para realizar novos filtros.

Normalmente as linhas são repassadas pela equipe de topografia também em formato “.dwg” ou “.dxf”. Para converter esses arquivos em *strings*, que são reconhecidas pelo *surpac*, é preciso repetir os passos 1 a 3 e 8 a 11 do tópico 4.1.1.

13. De posse dos limites de movimentação durante o mês, como mostrado na Figura 41, é preciso exibi-los no ambiente tridimensional do *software*. Para isso, basta clicar 2x em cada um dos limites

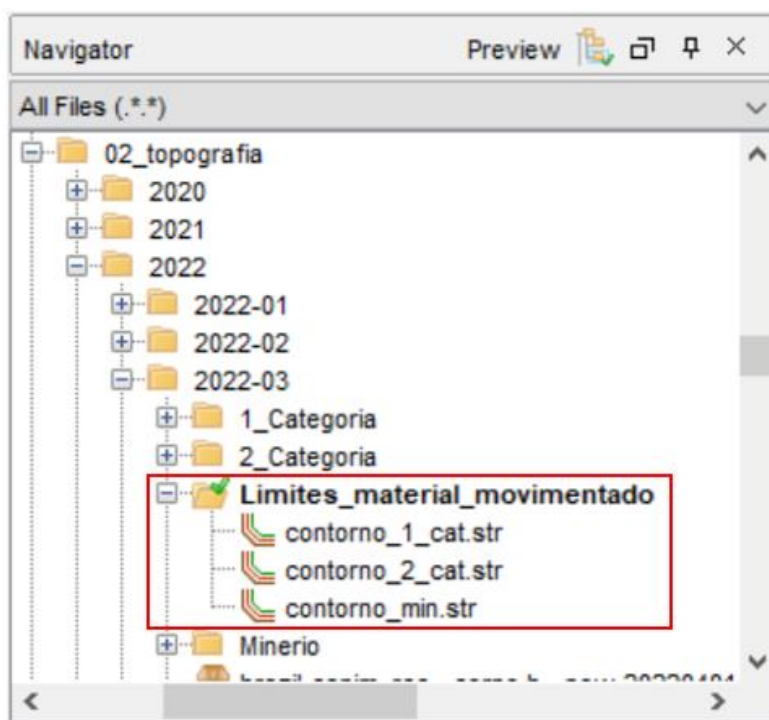


Figura 41 - Janela **Navigator** mostrando o diretório onde se encontram os limites de movimentação de material na mina durante um mês.

A Figura 42 mostra os limites de lavra (verde) e decapeamento (laranja) juntamente com o modelo de blocos. Com isso, é possível avaliar se os blocos resultantes das *constraints* por superfícies representam verdadeiramente o material movimentado na mina durante o mês. Através das marcações em vermelho, é possível ver que alguns

poucos blocos estão fora dos limites definidos, por isso eles não devem participar da *constraint* que representa o que foi movimentado na mina.

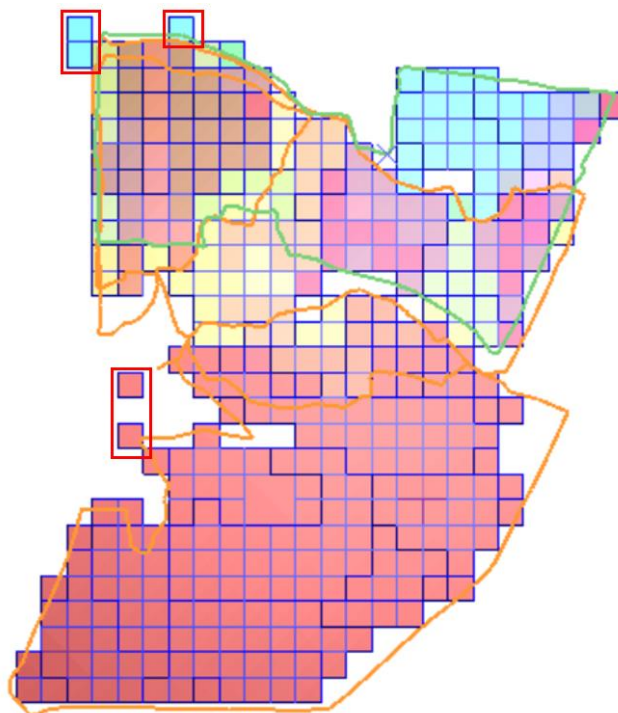


Figura 42 - Limites de lavra e decapeamento juntamente com os blocos resultantes das *constraints* por superfície.

14. Para que os blocos que não fazem parte sejam retirados, deve-se aplicar outra *constraint* usando justamente os limites existentes. Para isso, novamente é preciso ir até a aba **Block model** e opções **Constraints** | **New constraint file** (Figura 43);

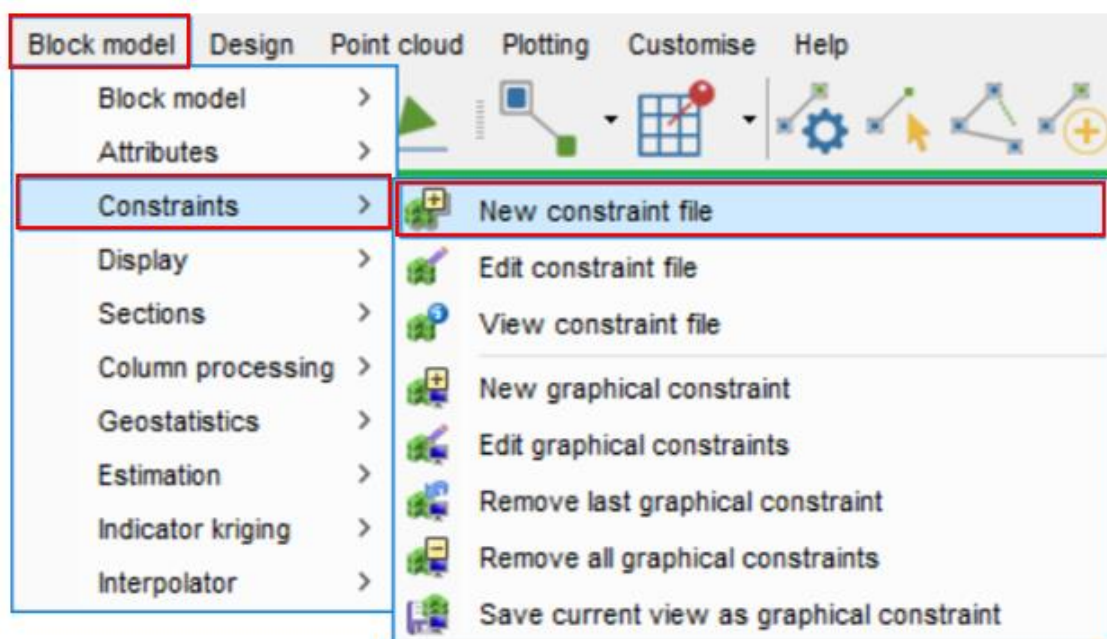


Figura 43 - Acesso às ferramentas de criação de *constraints*.

19. Na opção **Constraint type**, deve-se selecionar a opção **STRING** (Figura 44);

20. Em **String file** é preciso procurar os arquivos que serão utilizados (Figura 44);
- 20.1 Nesse caso, deve-se adicionar os 3 arquivos existentes, os quais compõe o limite de material movimentado, tanto estéril quanto minério. Os 3 arquivos precisam ser selecionados e adicionados separadamente (Figura 44);
21. Após a primeira *string* ser escolhida, é preciso clicar em **Open** para carregá-la (Figura 44);
22. É necessário deixar a caixa **Inside** (dentro) marcada, pois os blocos de interesse estão dentro das *strings* selecionadas (Figura 44);
23. Para adicionar a *string* como uma *constraint* é preciso clicar em **Add** (Figura 44);
24. Após isso, é preciso repetir os passos 21, 22, 23 e 24 para adicionar as *strings* restantes;

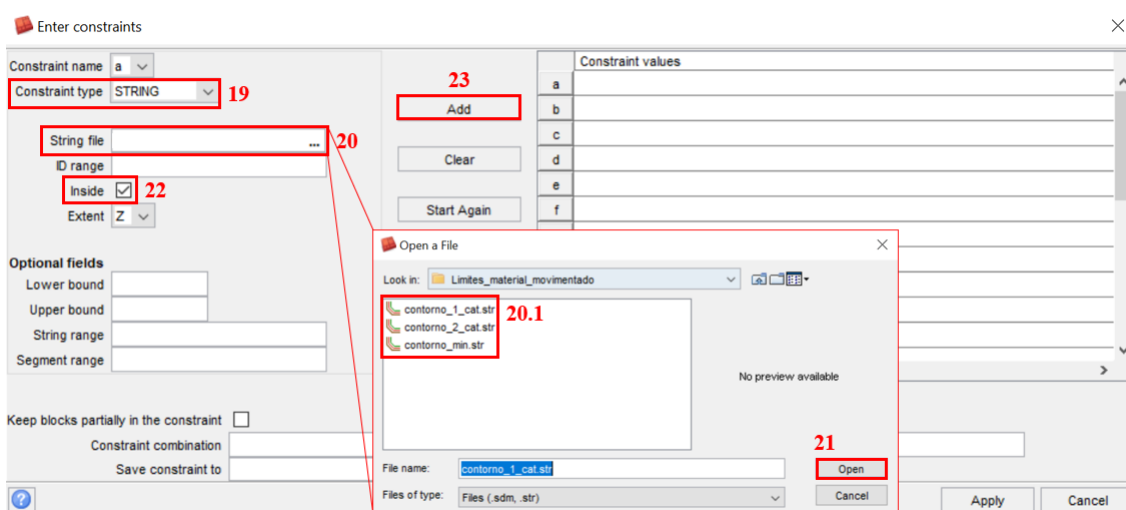


Figura 44 - Parâmetros de destaque na criação de *constraints* a partir de *strings*.

25. Após cada limite ter sido adicionado separadamente, eles irão ser mostrados na janela **Constraint values**, como valores “a”, “b” e “c” nesse caso (Figura 45);

As *constraints* são regidas pela lógica booleana da matemática. Todo valor que é adicionado em **Constraint values** o *software* assume que ele está fazendo uma intersecção com o outro valor (se houver). Nesse caso, seria feita uma intersecção das três *strings* adicionadas e os blocos restantes seriam aqueles que estivessem dentro das três ao mesmo tempo. Porém, não é esse o objetivo. Nesse caso, o material de interesse pode estar tanto dentro do valor “a” (1^o *string*), quanto do valor “b” (2^a *string*), ou valor “c” (3^a *string*);

26. Para que seja feita uma soma dos limites e não uma intersecção, é preciso utilizar a opção **Constraint combination** (combinação de *constraints*). Na caixa de texto que diz respeito a essa opção, nesse caso, deve-se escrever “a and (b or c)”. Ou seja, são necessários os blocos que estão tanto dentro do valor “a”, quanto “b” ou “c” (Figura 45);
27. Por fim, para que o filtro criado seja aplicado, deve-se clicar em **Apply** (Figura 45);

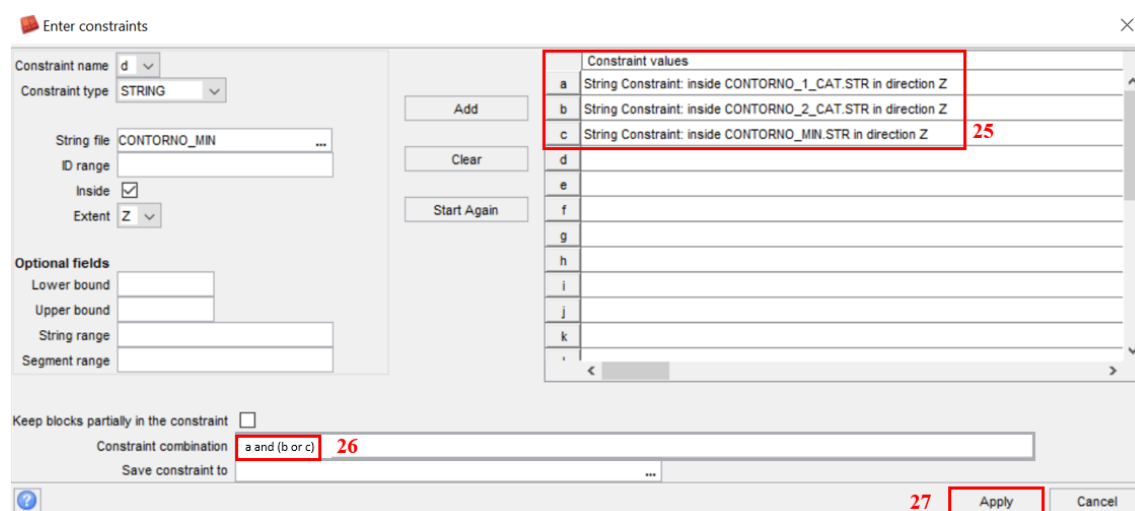


Figura 45 - Operações booleanas na criação de *constraints* a partir de strings

A Figura 46 exibe a transição dos blocos antes e após a aplicação das *constraints* de *string*. Na Figura 46-A, é possível ver ainda alguns blocos que estão fora dos limites de material movimentado, demarcados em vermelho. Após a utilização de filtros inserindo as *strings* como parâmetros, os blocos restantes serão somente os que estão dentro dos limites de minério e estéril movimentados (Figura 46-B).

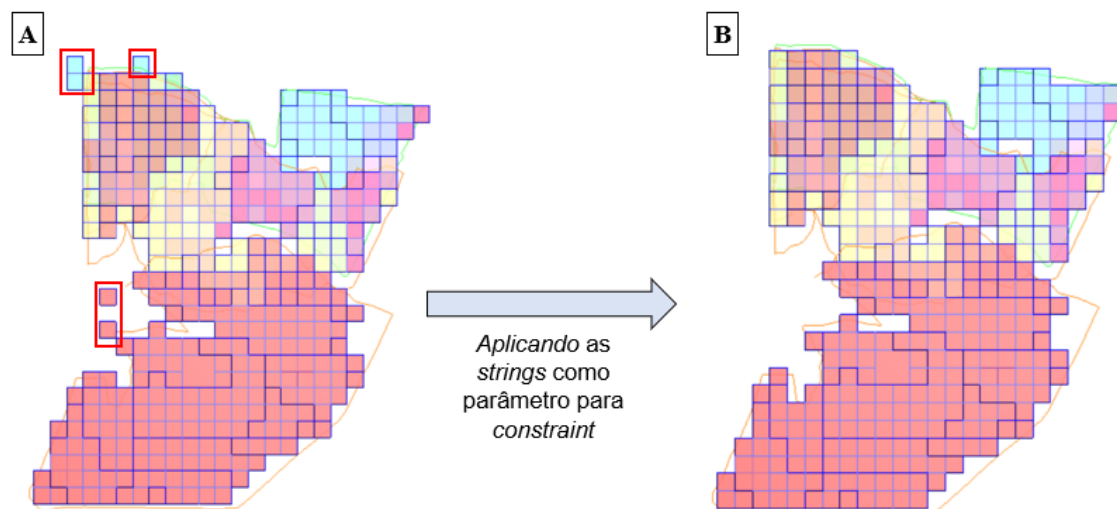


Figura 46 - Modelo de blocos após a aplicação de delimitações. A) Modelo logo após a aplicação das *constraints* de DTM; B) Modelo após a aplicação de *constraints* de DTM e *strings*.

28. Após a criação da *constraint* definitiva, é preciso salvá-la. Para isso, é preciso ir até a aba **Block model** e escolher as opções **Constraints** e **Save current view as graphical constraint** (Figura 47)

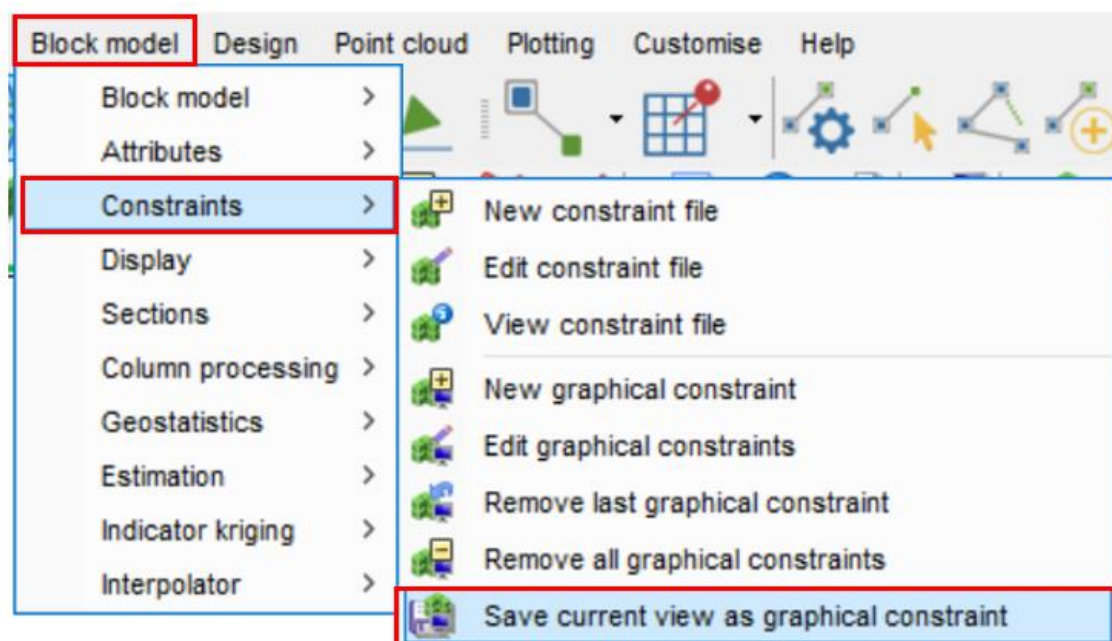
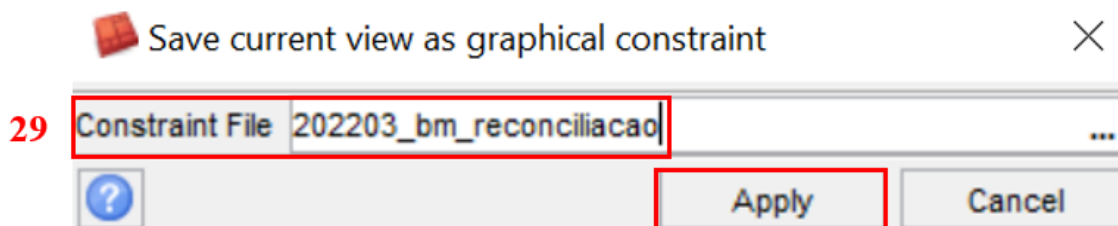


Figura 47 - Caminho para salvar a visualização como um arquivo de *constraint*.

29. A janela **Save current view as graphical constraint** será mostrada. Nela, é preciso escolher o nome e o diretório do arquivo de *constraint* a ser salvo (Figura 48);

30. Por fim, deve-se clicar em **Apply** para efetivar o *save* realizado (Figura 48);



30

Figura 48 - Salvar a visualização do modelo como um arquivo de *constraint*.

I.III GERAÇÃO DE REPORTS E DO MODELO DE BLOCOS

O *report* do modelo de blocos se trata da criação de um relatório que mostra as informações sobre os atributos de interesse do modelo como um todo, ou de uma parte dele, utilizando as *constraints*.

1. Para criar um *report* é preciso acessar o seguinte caminho: **Block model | Block model | Report**, como mostrado na Figura 49.

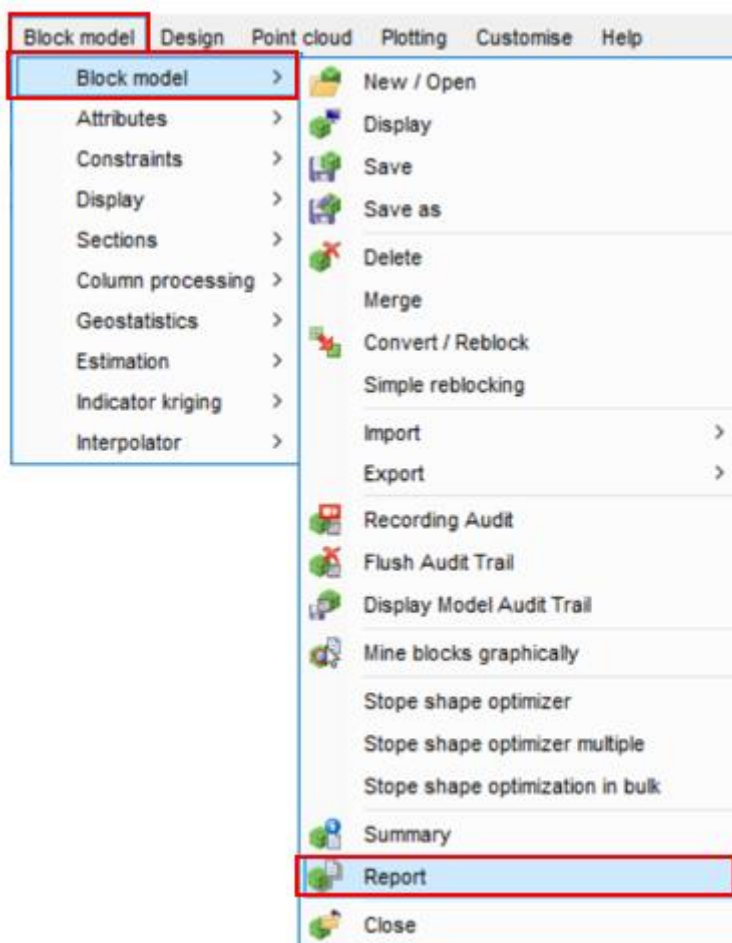


Figura 49 - Caminho para criação de um *report*.

2. A janela **Block model report format file** será aberta. Dentro da caixa de texto **Output report file name** é preciso escolher o nome e o diretório do *report* que será gerado (Figura 50);
3. Em **Output report file format** é preciso escolher o formato do *report* a ser gerado. O formato ideal para se trabalhar com reconciliações é o “.csv”, visto que é mais fácil abri-lo em uma planilha e comparar os resultados com as informações de produção da mina (Figura 50). Outras extensões existentes são “.not”, “.htm”, “.html”, “.pdf”, “.ps” e “.rtf”.
4. Nesse caso, a caixa **Contrain** deve ficar marcada, pois será utilizada uma *constraint* para limitar o *report*, ou seja, o relatório será gerado somente para as informações da *constraint* que foi gerada anteriormente (a qual representa um mês de decapeamento e lavra de minério) e não para o modelo inteiro (Figura 50);
5. Por fim, deve-se clicar em **Apply** (Figura 50);

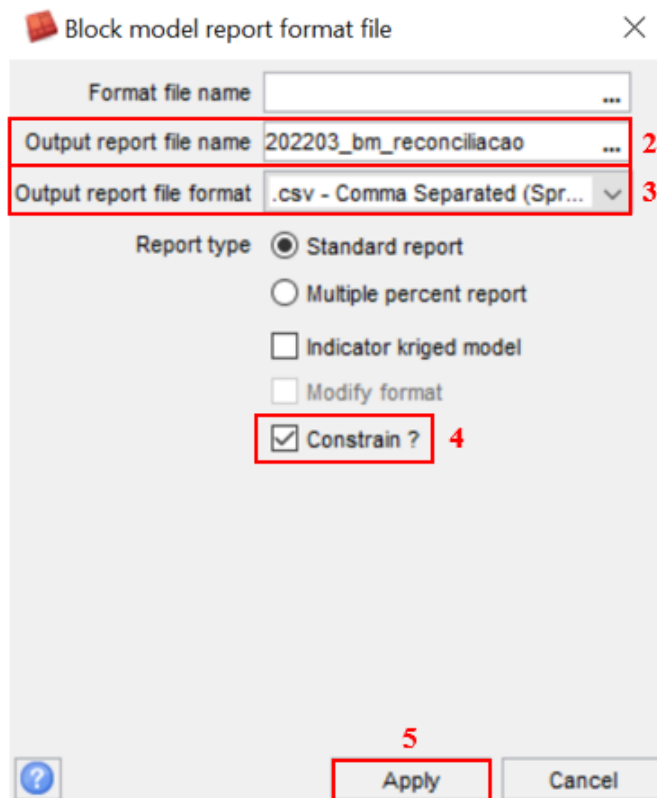


Figura 50 - Caixa de ferramenta para a geração de *report*.

6. A janela **Block model report** vai ser aberta. Na guia de destaque em vermelho é preciso selecionar todos os atributos de interesse os quais se quer reportar. Para as reconciliações realizadas atualmente, os principais atributos a serem reportados são alvura crua, alvura alvejada, *grit* e PSD2 (Figura 51);
7. Outra informação importante que precisa constar no modelo são as toneladas de material. Porém, para se obter essa informação é preciso saber a densidade de cada tipo de material do modelo, para que seja possível converter volume em tonelada. Na guia **Density adjustment** há três maneiras de informar a densidade. Ao deixar **None** marcado, nenhuma densidade vai ser considerada; em **Attribute** é necessário selecionar um dos atributos do modelo de blocos que corresponde aos valores de densidade para cada tipo de material; em **Value** um valor fixo de densidade é utilizado. Nesse caso, o modelo de blocos possui um parâmetro que contém a densidade dos materiais, então a opção **Attribute** é utilizada (Figura 51);
8. Na guia **Grouping attributes** é preciso selecionar um “atributo chave” pelo qual os parâmetros reportados vão ser agrupados. Nesse caso o atributo chave selecionado foi o tipo de material do modelo (COB, CCD, CCI, P1, P2, P3, P0 e

ARN). Nessa situação, por exemplo, a alvura crua média e os outros atributos serão reportados para cada tipo de material (Figura 51);

9. Por fim, é necessário clicar em **Apply** para que as configurações realizadas sejam aplicadas (Figura 51);

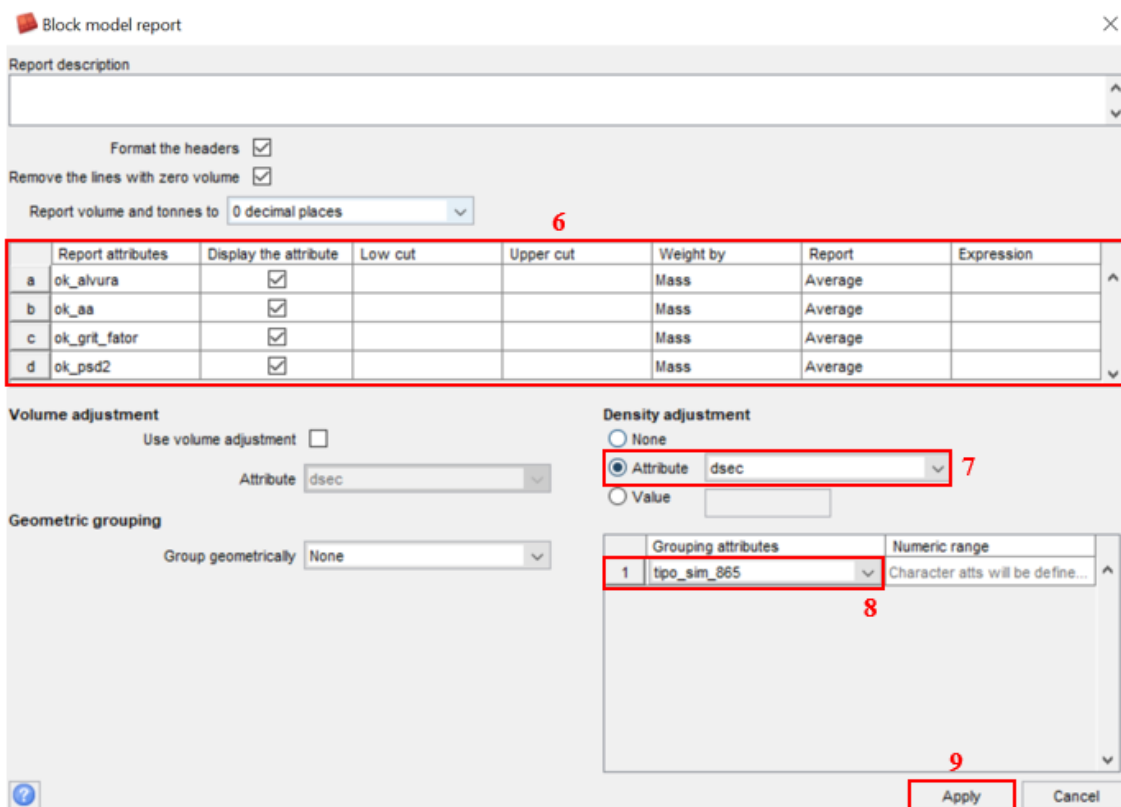


Figura 51 - Atributos a serem utilizados na geração de um *report*.

10. A caixa **Define string groups** se abrirá. Ela é utilizada para escolher quais os atributos chaves são desejados no *report*. Por exemplo, se fosse necessário só as pilhas de minério, somente P1, P2, P3 e P0 seriam os atributos chaves desejados. Porém no caso das reconciliações, o ideal é manter todos os atributos presentes, para que seja possível ver tanto o estéril quanto minério movimentado, seus volumes, tonelagens e qualidades. Nessa janela não é necessário fazer nenhuma alteração, somente clicar em **Apply** (Figura 52);



Figura 52 - Seleção dos atributos chave de interesse para os parâmetros reportados.

11. A janela **Enter constraints** será aberta novamente para que seja possível adicionar a *constraint* criada anteriormente e realizar o *report* somente para os blocos que a contemplam. Em **Constraint type**, é necessário selecionar a opção CONSTRAINT (Figura 53);
12. Em **Constraints file** é preciso adicionar o arquivo de *constraint* que foi criado anteriormente no tópico 4.1.2 - **Criação de constraints** (Figura 53);
13. Deve-se clicar em **Add** para que o arquivo de *constraint* seja adicionado (Figura 53);
14. Por fim, é necessário clicar em **Apply** (Figura 53);

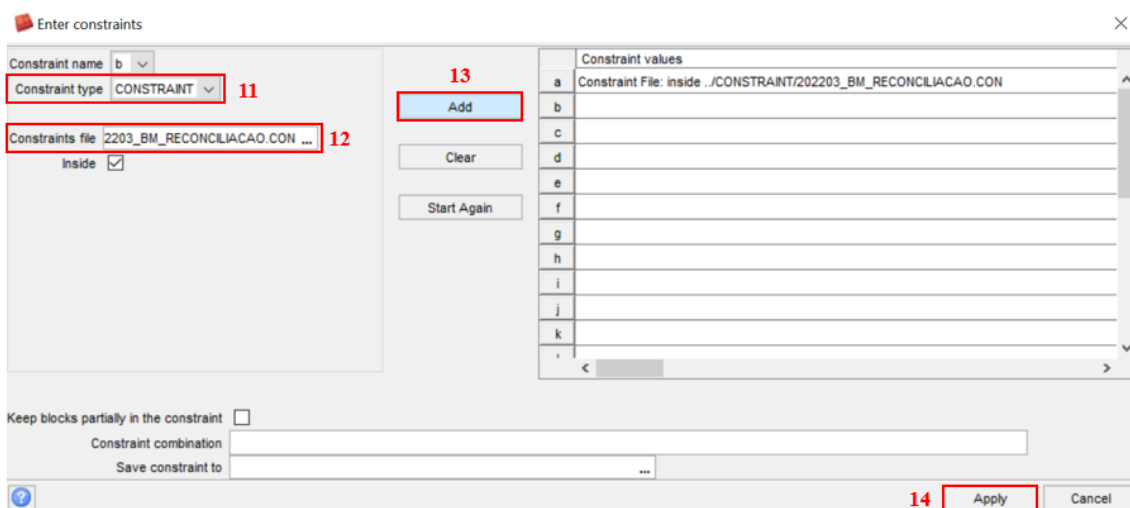


Figura 53 - Seleção de *constraint* para ser aplicada ao *report*.

15. Se o computador tiver um *software* próprio para abrir arquivos formato “.csv”, o *report* será aberto automaticamente em uma planilha;
16. Os resultados devem ser colocados em uma planilha para comparação com os dados de volumes e qualidades oficiais.