

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Metalúrgica, Materiais E De Minas

Nilcélio José dos Santos

**INCORPORAÇÃO DE CAVAS FINAIS INTERMEDIÁRIAS NO
SEQUENCIAMENTO DE LAVRA PARA INTEGRAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE
CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO**

Belo Horizonte

2019

Nilcélio José dos Santos

**INCORPORAÇÃO DE CAVAS FINAIS INTERMEDIÁRIAS NO
SEQUENCIAMENTO DE LAVRA PARA INTEGRAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE
CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas

Orientador: Dr. Professor Carlos Enrique Arroyo Ortiz

Belo Horizonte

2019

S237i

Santos, Nilcélio José dos.

Incorporação de cavas finais intermediárias no sequenciamento de lavra para integração do planejamento de curto, médio e longo prazo [recurso eletrônico] / Nilcélio José dos Santos. – 2019.

1 recurso online (60 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Carlos Enrique Arroyo Ortiz.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui anexos.

Bibliografia: f. 20-36,.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia de minas – Teses. 2. Tecnologia mineral – Teses. 3. Planejamento estratégico – Teses. 4. Lavra de minas – Teses. 5. Lavra de minas - Planejamento - Teses. I. Ortiz, Carlos Enrique, 1961-. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 669(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA,
MATERIAIS E DE MINAS/MP

UFMG

ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO DO ALUNO NILCELIO JOSE DOS SANTOS

Realizou-se, no dia 30 de agosto de 2019, às 14:00 horas, Sala:4240 - Escola de Engenharia, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de dissertação, intitulada *INCORPORAÇÃO DE CAVAS FINAIS INTERMEDIÁRIAS NO SEQUENCIAMENTO DE LAVRA PARA INTEGRAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO*, apresentada por NILCELIO JOSE DOS SANTOS, número de registro 2017720792, graduado no curso de ENGENHARIA AMBIENTAL, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em ENGENHARIA METALÚRGICA, MATERIAIS E DE MINAS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Carlos Enrique Arroyo Ortiz - Orientador (UFOP), Prof(a). Alizeibek Saleimen Nader (UFMG), Prof(a). Adilson Curi (UFOP).

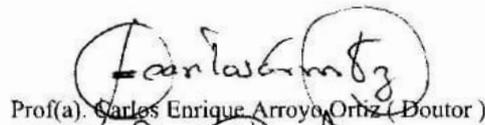
A Comissão considerou a dissertação:

Aprovada

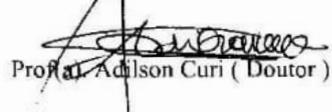
Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 30 de agosto de 2019.


Prof(a). Carlos Enrique Arroyo Ortiz (Doutor)


Prof(a). Alizeibek Saleimen Nader (Doutor)


Prof(a). Adilson Curi (Doutor)

Dedico este trabalho a minha esposa e minha filha, aos meus pais, meus irmãos e meus amigos pelo carinho, apoio, incentivo e compreensão. Todos vocês foram essenciais na minha trajetória até aqui. Que Deus os ilumine sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo amor incondicional, generoso e sem limites, pois sem ele não seria possível entender nem transpor os obstáculos e adversidades da vida.

Agradeço a minha esposa Regiane, pela compreensão e companheirismo, sempre me apoiando nos momentos de atribulação.

A minha filha Isabella que tanto tem me ensinados a ver a vida para mais carinho.

Ao meu Pai Raimundo (sempre presente) pelos ensinamentos, dedicação, apoio, carinho e pelo exemplo de vida.

A minha mãe Lucia, pelo afeto, carinho, dedicação, fundamental em minha formação, apoio, e pelo exemplo de doação.

Aos meus irmãos pelo apoio e incentivo nos momentos importantes.

Ao meu orientador Prof. Dr. Professor Carlos Arroyo pela atenção, dedicação nos ensinamentos e incentivo na elaboração deste trabalho.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da UFMG por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

Aos colegas de trabalho que foram muito importantes para a conclusão desta dissertação, destacando entre eles Ailton Gonçalves, Roberto Valentim, Tales Bianchi, Renata Menicucci e tantos outros que contribuíram para realização deste estudo.

Enfim a todos que participaram de maneira mais ou menos atuante na construção e conclusão deste trabalho.

RESUMO

A pesquisa está orientada para a observação da teoria geral de planejamento de minas e a indicação de uma referência para permitir a conexão entre os planos de produção preparados pelas distintas equipes de planejamento, assim como os distintos horizontes do planejamento de minas.

Para tal, foi feita uma seleção de intervalos geométricos relevantes na vida útil de uma mina utilizando elementos estratégicos, táticos e operacionais aplicadas no clássico processo de otimização de cava. No presente estudo, estas geometrias foram denominadas como Cavas Intermediárias ou Cavas Notáveis.

A partir desta seleção, a operacionalização destas cavas, gera um arcabouço geométrico estruturado para ser utilizado como referência na elaboração dos planos de produção por todos os horizontes de planejamento de mina.

A utilização destas cavas parciais como referência geométrica permite então que, de maneira prática, todas as diferentes equipes conheçam os marcos temporais da cava final.

Problemas de governança corporativa, tais como gerenciamento de orientação do fluxo de informações técnicas, referência geométrica remota para planos de produção de curto e médio prazo, planos anuais não operacionais utilizam um "Life of Mine" matemático, falta de conexão no sequenciamento de lavra preparado por diferentes equipes pode ser resolvidos e/ou minimizados utilizando Pits Intermediários.

Desta forma, o planejamento da mina como um todo terá referências estratégicas, táticas e operacionais integradas e uma ferramenta para aplicar a governança corporativa aplicando KPIs como índice de aderência e conformidade e eficácia.

Desta forma, todas as pessoas da equipe de planejamento de minas terão referências estratégicas, táticas e operacionais integradas e uma ferramenta para aplicar a governança corporativa através de índices tais como aderência, conformidade, eficácia.

Palavras-chave: planejamento estratégico, planejamento tático/operacional, cavas finais, sequenciamento ótimo de lavra.

ABSTRACT

The research is oriented towards the observation of the general theory of mine planning and the indication of a reference to enable the connection between the production plans prepared by different planning teams as well as the different horizons of mine planning.

For this, a selection of relevant geometric intervals in the life of a mine was made using strategic, tactical, and operational elements applied in the classic pit optimization process. In this study, these geometries were referred to as Intermediate Pits or Notable Pits.

Based on this selection, the operationalization of these pits generates a structured geometric framework to be used as a reference in the development of production plans for all mine planning horizons.

The use of these partial pits as a geometric reference then allows, in a practical way, all the different teams to know the temporal milestones of the final pit.

Corporate governance problems such as management of technical information flow guidance, remote geometric reference for short- and medium-term production plans, non-operational annual plans use a mathematical "Life of Mine", lack of connection in the mining sequencing prepared by different teams can be solved and/or minimized using Intermediate Pits.

This way the mine planning will have integrated strategic, tactical and operational references and a tool to apply corporate governance applying KPIs such as adherence and compliance index and effectiveness.

In this way, all people the mine planning team will have integrated strategic, tactical and operational references and a tool to apply corporate governance through index such as adherence, compliance, effectiveness.

Keywords: strategic planning, tactical / operational planning, final pits, optimal mine scheduler.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação Geral entre Resultados de Exploração, Recursos Minerais e Reservas Minerais. Fonte: adaptado do The Jorc Code (2012).	19
Figura 2: Classificação de recursos e reservas minerais (reproduzido a partir de CBRR, 2016, p. 5).....	20
Figura 3: Ilustração de um limite de Cava Final (James, 2008).....	23
Figura 4: Sequência de cavas aninhadas (Diedrich. 2012).....	25
Figura 5: Representação da sequencia de cavas aninhadas (James, 2008).....	26
Figura 6: Superfície da Cava Final Operacionalizada da Mina Capitão do Mato - Fonte: Autor	27
Figura 7: Simplificação de um fluxograma de planejamento estratégico de mina. Fonte: Askari-Nasab (2010).	29
Figura 8: Opções para sequenciamento de lavra - Fonte: Modificado de Prati, 1995.....	32
Figura 9: Fluxo de elaboração dos planos sequenciais – Fonte: Procedimento Interno VALE S.A.	35
Figura 10: Superfície do Plano de Anual Operacional 2019 (Ano corrente) - Fonte: Relatório Interno de Planejamento - VALE S.A.	35
Figura 11: Superfície do Plano de Anual Operacional 2020 - Fonte: Relatório Interno de Planejamento - VALE S.A.	36
Figura 12: Superfície do Plano de Anual Operacional 2021 - Fonte: Relatório Interno de Planejamento - VALE S.A.	36
Figura 13: Superfície Matemática do Plano de Ano 2022 – 2076 da Mina Capitão do Mato - Fonte: Relatório Interno de Planejamento - VALE S.A.....	37
Figura 14: Desenho Esquemático da Cava de Reserva de Longo Prazo - Fonte: Autor	39
Figura 15: Desenho Esquemático da Cava do Projeto Corrente - Fonte: Autor.....	40
Figura 16: Desenho Esquemático da Cava de Desenvolvimento - Fonte: Autor	41
Figura 17: Desenho Esquemático da Cava de Produção - Fonte: Autor	42
Figura 18: Desenho Esquemático das Cavas Finais Intermediárias ou Cavas Notáveis - Fonte: Autor.....	43
Figura 19: Sólidos das Cavas Finais Intermediárias ou Cavas Notáveis - Fonte: Autor	44
Figura 20: Superfície Operacional da Cava de Reserva da Mina Capitão do Mato Fonte: Autor	46

Figura 21: Superfície Operacional da Cava de Projeto da Mina Capitão do Mato Fonte: Autor	46
Figura 22: Superfície Operacional da Cava de Desenvolvimento da Mina Capitão do Mato Fonte: Autor.....	47
Figura 23: Superfície Operacional da Cava de Produção da Mina Capitão do Mato Fonte: Autor	47
Figura 24: Cavas Notáveis Seção Transversal 03 - Fonte: Autor.....	48
Figura 25: Superfície Operacional da Cava de Produção divididas em Fases de Desenvolvimento da Mina Capitão do Mato Fonte: Autor	49
Figura 26: Comparação ROM (Mt) - Sequenciamento Caso Base x Sequenciamento Nova Metodologia. Fonte: Autor	50
Figura 27: Comparação FE (%) - Sequenciamento Caso Base x Sequenciamento Nova Metodologia. Fonte: Autor	51
Figura 28: Comparação REM - Sequenciamento Caso Base x Sequenciamento Nova Metodologia. Fonte: Autor	51
Figura 29: Superfícies operacionais do sequenciamento LOM elaborado pela nova Fonte: Autor	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Paralelo entre os níveis de Planejamento Fonte: Modificado de Ascarza, 200831

Tabela 2: Massa e Qualidade por Tipo de Material das Cavas Notáveis – Fonte: Autor44

Tabela 3: Parâmetros Geotécnicos - Mina Capitão do Mato Fonte: Relatório Interno de Recursos e Reserva VALE 45

Tabela 4 – Especificações de massa e qualidade das Usinas VGR1 e VGR2..... 48

Tabela 5 – Sequenciamento Ano 01 & 02 - Usinas VGR1 e VGR2 Fonte: Autor 49

LISTA DE NOTAÇÕES

CBRR – Comitê Brasileiro de Recursos e Reservas

CG – Canga

CMT – Capitão do Mato

EFF – Formação Ferrífera

EST – Estéril Franco

HC – Hematita Compacta

HF – Hematita Friável

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

IC – Itabirito Compacto

ICT – Itabirito Contaminado

ICTR – Itabirito Contaminado Rico

IF – Itabirito Friável

IFR – Itabirito Friável Rico

REM – Relação Estéril Minério

NM – Nova Metodologia

NPV – Net Present Value (Valor Presente Líquido)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
3.1	Estratégia	17
3.2	Recurso e Reserva Mineral	18
3.3	Recurso Mineral	18
3.4	Reserva Mineral	20
3.5	Otimização de Cava Final	21
3.6	Cavas intermediárias e Sequência Otimizada de Extração (SOE).	25
3.7	Operacionalização de cava	26
3.8	Planejamento de Lavra	27
3.9	Sequenciamento de Lavra	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Dados e recursos utilizados	33
4.2	Metodologia geral	33
4.3	Etapas da metodologia	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Metodologia atual de elaboração do sequenciamento de lavra entre horizontes de planejamento de mina	34
5.2	Análise do processo atual de elaboração do sequenciamento de lavra ...	37
5.3	Sistematização das Cavas Finais Intermediárias ou Cavas Notáveis como referencial geométrico de desenvolvimento do sequenciamento de lavra 38	
5.3.1	Cava de Reserva - Longo Prazo	39
5.3.2	Cava do Projeto Corrente - Longo Prazo/Médio Prazo	40
5.3.3	Cava de Desenvolvimento - Longo Prazo / Médio Prazo	41
5.3.4	Cava de Produção – Médio Prazo/Curto Prazo	42
5.4	Seleção das Cavas Finais Intermediárias da Mina Capitão do Mato	44

5.4.1	Resultado da Seleção de Cavas Finais Intermediárias na Mina Capitão do Mato	44
5.4.2	Sequenciamento de Curto/Médio Prazo	48
5.4.3	Comparação entre os métodos de Sequenciamento.....	50
6	CONCLUSÕES.....	53
7	RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS	54
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

Os desafios com que os Engenheiros de Minas têm se deparado ultimamente para tornar viável um empreendimento mineiro tem aumentado muito e o sucesso de um projeto mineral passa por diversos fatores dentre eles o alinhamento eficaz entre o planejamento tático/operacional com o estratégico, uma vez que este alinhamento se apresenta como uma interface importante para manutenção da saúde financeira do negócio já que é nesta etapa se planeja os prazos, metas e os recursos necessários para execução do plano de produção do projeto. Para implantação de um empreendimento mineiro se faz necessário um conjunto de estudos que envolvam diversas especialidades da engenharia e o êxito é fortemente dependente dos resultados dos referidos estudos, e importância pertinente (Curi, 2006).

Conforme Chiavenato (2000), o planejamento constitui no primeiro papel da administração e permite o estabelecimento dos objetivos organizacionais conforme os recursos necessários para atingi-los eficazmente. Por isto entende-se que o planejamento operacional utiliza os recursos organizacionais na busca dos resultados esperados a partir de objetivos previamente estabelecidos (planejamento estratégico). Thorley (2012) afirma que as atividades de planejamento de longo prazo começam nos estudos de pré-viabilidade e permanecem ao longo da vida da mina. A maximização do VPL de um projeto ainda é o maior objetivo, entretanto interferências relacionadas à execução das operações começam a ser estudadas em maior detalhe como limitantes, isto envolve análises no amadurecimento de premissas, ênfase em elaboração e análise de cenários com objetivo identificar opções de atuação no mercado, decisões de planejamento e maior detalhe no sequenciamento da mina. Couzens (1979) afirma que os tipos de planejamento de produção são dois, o planejamento de curto prazo ou operacional que é necessário para o funcionamento de uma mina em operação e o planejamento de longo prazo ou planejamento estratégico de lavra realizado para estudar viabilidade econômica. Enquanto Bateman e Snell (1998), considera que as organizações podem ser divididas em três níveis, estratégico, tático e operacional em função do tipo de trabalho que é desenvolvido por cada nível. Segundo o IBRAM (1996), o planejamento de médio prazo é responsável por garantir a continuidade do processo de lavra, através da escolha adequada de uma rota, com o objetivo de estacionar alguns parâmetros técnicos e econômicos envolvidos no cotidiano das atividades de operação de lavra. No planejamento tático de lavra são desenvolvidos programas de produção que definindo uma sequência de lavra, decidindo onde, como e quando serão lavrados o minério, usando de forma adequada os recursos da empresa e

respeitando as restrições ambientais, físicas, operacionais, e de segurança do projeto (Ascarza et al, 2008).

Aproveitando as novas tecnologias dos softwares de planejamento de lavra e processamento computacional o foco deste estudo é apresentar uma abordagem para sistematização de uma integração prática do planejamento de lavra. A metodologia se baseia na incorporação alguns elementos de controles geométricos para nortear as interfaces dos níveis de sequenciamento de lavra curto, médio e longo prazo. Um dos principais produtos do planejamento estratégico de minas é a definição dos limites da cava final, no entanto existem outros limites tão importantes quanto e estes outros limites aqui denominados como Cavas Finais Intermediárias ou Cavas Notáveis podem contribuir muito para manutenção do valor econômico da mina. Este trabalho pretende mostrar a aplicação desta metodologia em uma mina de ferro localizada no quadrilátero ferrífero.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é desenvolver uma metodologia para integrar os diversos horizontes de planejamento de lavra de forma que contemplem elementos estratégicos econômicos e táticos operacionais fornecendo um arcabouço geométrico estruturado para estudos de cenários de sequenciamento de lavra de uma mina localizada no quadrilátero ferrífero.

2.2 Objetivos específicos

Para atingir a meta proposta, o estudo busca através de sua metodologia alcançar os seguintes objetivos:

- 1) Identificar possíveis descompasso nas interfaces dos horizontes de planejamento de lavra;
- 2) Propor uma sist
- 3) emática para ordenação e integração entre os horizontes de planejamento de lavra.
- 4) Aplicar o sistema proposto em uma mina do quadrilátero ferrífero.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Estratégia

O conceito de estratégia tem como origem antigas organizações militares, na Idade Média foi incorporado pela igreja católica e no século XX às empresas privadas (SANTOS, 2008). Porter (2000) diz que “Estratégia é a criação de uma posição única e valiosa, envolvendo um conjunto diferente de atividades. Estratégia é sinônimo de escolha”.

A abordagem estratégica no planejamento de lavra é essencial para nortear diversas decisões, conforme Mintzberg e Quinn (2001), estratégia é um plano que integra metas, políticas e ações de uma organização de forma coerente, já Maximiano (2006, p. 329) diz que estratégia é “a seleção dos meios para realizar objetivos “. Para Andrews apud Oliveira, (2002, p. 196) “Estratégia é o conjunto de objetivos, metas, finalidades, diretrizes fundamentais bem como planos para atingir os objetivos, demandados de forma que definam em que atividades se encontram a empresa, que tipo de empresa ela é ou deseja ser”. De acordo com Bethlem (2004) “Estratégia é um conceito que é necessário ser aprendido. É indispensável saber empregar este conceito senão, não há como aplicá-lo. Para se tornar uma realidade a estratégia tem que ser aprendida por várias pessoas e assimilada por todas elas”. Oliveira (2002, p. 195) ainda afirmam que “[...] estratégia é definida como um caminho ou ação formada adequadamente para alcançar os desafios e objetivos estabelecidos, no melhor posicionamento da empresa perante seu ambiente”. Ahlstrand e Lampel (2000) apresentam a seguinte definição: “estratégia é um guia, uma direção ou plano de ação para o futuro, um caminho para ir daqui até ali. ” Esta última conceituação tem uma analogia com a indústria mineral mais especificamente ao planejamento de lavra subsidiando as tomadas de decisão na operação da lavra de uma mina.

3.2 Recurso e Reserva Mineral

Segundo Curi (2014), recurso mineral é a ocorrência mineral identificada, in situ, capaz de ceder minerais de interesse econômico, mas que não foi submetida a uma avaliação econômica. O recurso medido é aquele para o qual podem ser estimados com alto nível de confiança a tonelagem, densidade, forma, características, teor, baseado em amostragens, testes, sondagens, galerias e técnicas apropriadas. Similarmente, para o recurso indicado as informações podem ser estimadas com razoável nível de confiança, e para o recurso inferido podem ser estimadas com baixo nível de confiança.

Já as reservas minerais são parte dos recursos com viabilidade técnica e econômica. A reserva provada é a parte economicamente lavrável de um recurso medido, após a aplicação de estudos de viabilidade, fatores de lavra, econômicos, metalúrgicos, de mercado, legais, ambientais, sociais, governamentais. Da mesma forma, a reserva provável é a parte economicamente lavrável de um recurso indicado.

3.3 Recurso Mineral

De acordo com CBRR (2016) um “Recurso Mineral é uma concentração ou ocorrência de material sólido de interesse econômico dentro ou na superfície da crosta terrestre onde forma, teor ou qualidade e quantidade apresentem perspectivas razoáveis de extração econômica. A localização, quantidade, teor ou qualidade, continuidade ou outra característica geológica do Recurso Mineral são conhecidos, estimados ou interpretados a partir de evidências e conhecimento geológicos específicos, incluindo amostragem”.

A figura 1 demonstra, esquematicamente, os critérios de conversão de recursos em medidos, indicados e inferidos.

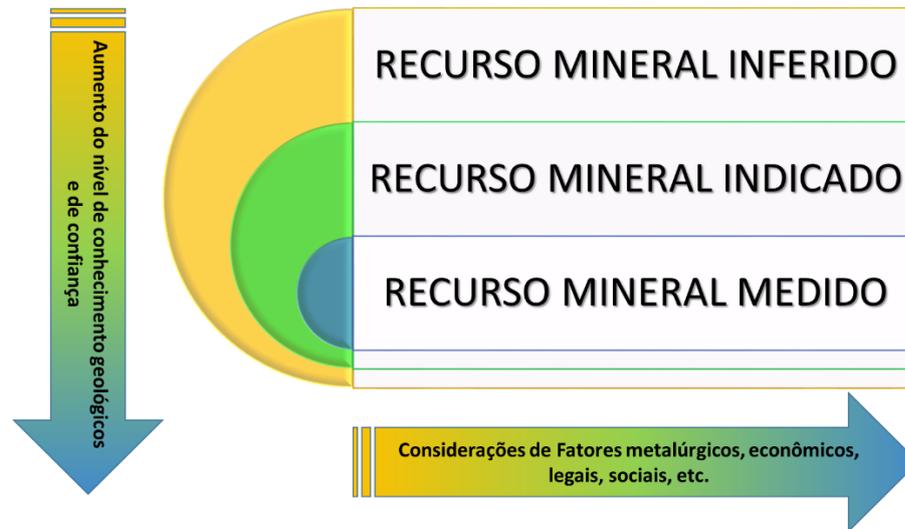


Figura 1: Relação Geral entre Resultados de Exploração, Recursos Minerais e Reservas Minerais. Fonte: adaptado do The Jorc Code (2012).

A figura acima mostra que existem dois eixos: conhecimento geológico e confiança; fatores modificadores. Os recursos minerais conforme o aumento do conhecimento geológico e confiança são classificados como inferido, indicado e medido, os quais podem ser convertidos em reservas provável e provada. A CBRR (2016) adota as seguintes definições para recurso medido, indicado e inferido:

Recurso Medido

“Um Recurso Mineral Inferido é aquela parte de um Recurso Mineral para o qual a quantidade e o teor ou a qualidade são estimados com base em evidências geológicas e amostragens limitadas. Evidências geológicas são suficientes para sugerir, mas não para atestar a continuidade geológica e o teor ou qualidade. Um Recurso Inferido tem um nível de confiabilidade mais baixo do que aquele que se aplica a um Recurso Mineral Indicado e não deve ser convertido para Reserva Mineral. É razoável esperar que a maioria dos Recursos Minerais Inferidos possa ser convertida em Recursos Minerais Indicados com a continuidade da exploração (CBRR, 2016, p. 12-13).”

Recurso Indicado

“Um Recurso Mineral Indicado é a parte de um Recurso Mineral para o qual a quantidade, o teor ou qualidade, a densidade, a forma e as características físicas são estimadas com confiabilidade suficiente para permitir a aplicação de Fatores Modificadores em detalhe suficiente para embasar o planejamento de mina e a avaliação da viabilidade econômica do depósito. Evidências geológicas são derivadas de exploração, amostragem e testes com detalhamento adequado e são confiáveis e suficientes para assumir a continuidade geológica e o teor ou qualidade entre os pontos de observação (CBRR, 2016, p. 13).”

Recurso Inferido

“Um Recurso Mineral Medido é a parte de um Recurso Mineral para a qual a quantidade, o teor ou qualidade, as densidades, as formas e as características físicas são estimadas com confiança o suficiente que permitam a aplicação dos Fatores Modificadores para embasar o planejamento de mina detalhado e uma avaliação final de viabilidade econômica do depósito. Evidências geológicas são derivadas de exploração, amostragem e testes detalhados e confiáveis e são suficientes para confirmar a continuidade geológica e o teor ou qualidade entre os pontos de observação (CBRR, 2016, p. 13). ”

3.4 Reserva Mineral

O CBRR (2016) conceitua que uma “Reserva Mineral é a parte economicamente lavrável de um Recurso Mineral Medido e/ou Indicado. Isso inclui diluição e perdas que podem ocorrer quando o material é lavrado ou extraído e é definido apropriadamente pelos estudos nos níveis de Pré –Viabilidade ou de Viabilidade que incluem a Aplicação de Fatores Modificadores”. A figura 2 demonstra, esquematicamente, os critérios de conversão de recursos em reservas minerais.

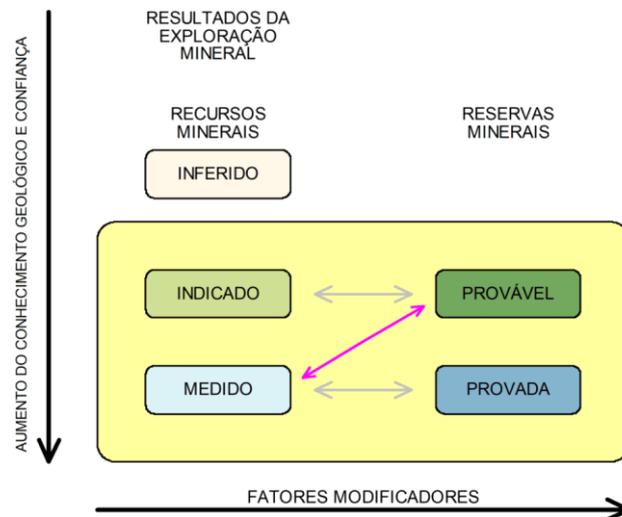


Figura 2: Classificação de recursos e reservas minerais (reproduzido a partir de CBRR, 2016, p. 5)

Segundo o código JORC (2012) uma "reserva de mineral" é a parte economicamente explorável de um Recurso Mineral Medido e/ou Indicado. Isso inclui a diluição de materiais e tolerâncias para perdas que podem ocorrer quando o material é extraído ou extraído e é definido por estudos apropriados no nível de Viabilidade ou Pré-Viabilidade que consideram a aplicação de Fatores Modificadores e demonstram que, no momento de relatar, a extração pode ser razoavelmente justificada. O código JORC (2012) traz as seguintes definições para reserva provada e provável.

Reserva de Minério Provada

Uma “Reserva Provada” é a parte economicamente explorável de um recurso mineral medido. Uma Reserva de Minério provada implica um alto grau de confiança nos Fatores Modificadores

Reserva de Minério Provável

Uma “Reserva de Minério Provável” é a parte economicamente explorável de um Recurso Mineral Indicado e, em algumas circunstâncias, de um Recurso Mineral Medido. A confiança na aplicação dos Fatores Modificadores a uma Reserva Provável é menor do que um aplicada a uma reserva de minério provada

3.5 Otimização de Cava Final

De acordo com Valente, (1982) a otimização de cavas finais até a década de 70 era feita por método manual e por meio de tentativas. Procurava-se uma cava que fosse econômica e se o estéril dentro dessa cava estive além do admissível a cava deveria ser redesenhada para se possível obter mais minério reduzindo o estéril. A cava deveria ser ampliada "em nova (s) tentativa (s) e, assim, sucessivamente, até se alcançar uma cava final satisfatória"

Para CACCETA (1988) a determinação da cava final tem sido considerada como um desafio fundamental no planejamento de lavra. O pit final contém informações essenciais para a avaliação do potencial econômico de um depósito mineral, e na elaboração de metas a longo, médio e curto prazo. De acordo com Giannini (1990) o limite da cava final de uma mina é definido pelo contorno resultado da extração do bem mineral que proporciona o lucro total máximo satisfazendo diversos requisitos operacionais práticos, tais como segurança e operacionalidade. Achireko (1998) revela que “o projeto e a otimização dos limites de lavra são de fundamental importância para se obter informações sobre a avaliação do potencial

econômico de um depósito mineral, além de possibilitar a projeção para o desenvolvimento dos planos de longo, médio e curto prazos da mina”.

Carmo, (2006) diz que “a determinação dos limites da cava final de qualquer projeto de mineração é um dos maiores desafios de um projeto de mineração. Tais limites precisam ser definidos já no início dos trabalhos de planejamento de lavra e devem ser reconsiderados, novamente e rotineiramente, durante toda a vida útil da mina. Um dos propósitos do plano de exaustão de minas a céu aberto é determinar a cava final ótima, baseando-se em um modelo econômico sujeito a restrições técnicas e visando à maximização do valor atual líquido do projeto”.

De acordo com Carmo (2006) Lerchs e Grossmann foram pioneiros em apresentar o primeiro algoritmo para resolver problemas de abertura de cavas de minas em 1965 e, apesar de ser "antigo", é o algoritmo mais comum e mais aplicado na indústria de mineração até os dias atuais. O algoritmo considera o centroide dos blocos e linhas de precedência entre blocos, de acordo com a sequência de extração definida pelas restrições do talude e trabalha com o valor de cada bloco. Usa precedência de lavra definida pelo usuário e obtém a envolvente de maior valor possível e resolve problemas de máximo fluxo em fechamento de grafos e ao mesmo tempo o problema de corte mínimo. Carmo, (2006) ainda diz que “Vários algoritmos foram desenvolvidos durante os últimos anos para solucionar o problema dos limites finais da cava de mineração. Dentre estes os algoritmos Johnson e Sharp, Robinson e Prenn (1996), Koborov, Koenigsberg (1982), Dowd e Onur (1993), Zhao e Kim (1979), Huttagosol e Cameron etc. Entre estes, só os algoritmos Lerchs e Grossmann e a “network simplex” resolvem o problema da otimização. Os outros algoritmos são meramente variantes do algoritmo de Lerchs e Grossmann ou são algoritmos heurísticos que não garantem uma solução ótima”.

A figura 3 apresenta uma seção de um limite de cava final cujo contorno envolve a parte econômica do recurso mineral.

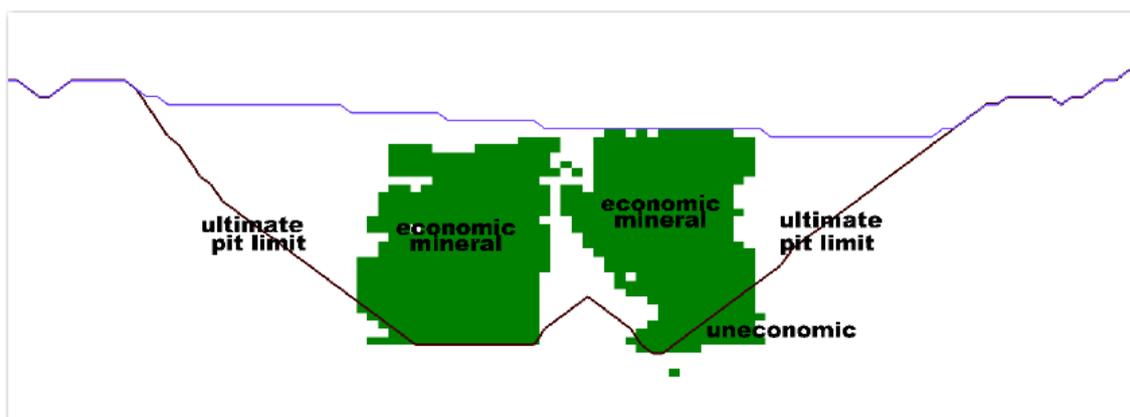


Figura 3: Ilustração de um limite de Cava Final (James, 2008)

De acordo com CANDIDO (2012) a base para projetos de cava final é o modelo de blocos que representa o corpo de minério e cada bloco armazena informações para utilização no planejamento da lavra. O modelo de blocos pode ser conceituado pela construção de um prisma tridimensional cobrindo a extensão da área de interesse subdividido em blocos menores. A cada bloco é atribuído um valor econômico a partir de um modelo e este valor/benefício é calculado por uma função. O valor econômico de cada bloco será usado pelo algoritmo para decidir se o bloco será lavrado ou não se tem que elaborar um modelo econômico para o cenário em estudo. Na modelagem econômica utiliza-se diversos parâmetros para elaboração da equação “Função Benefício”. Esta equação “Função Benefício” permitirá calcular o valor de cada bloco de acordo com suas características intrínsecas (químicas e físicas) correspondente aos parâmetros utilizados na equação.

Os parâmetros comumente utilizados para compor a função benefício são:

- 1) De ordem Financeira: objetivos corporativos, taxa de desconto, preço e custos.
- 2) Metalúrgicos: recuperação, capacidade e teor de corte.
- 3) Mina: seletividade, diluição, recuperação e taxas de produção.
- 4) Geologia: toneladas, teores, litologias e geotécnica.

O benefício líquido do bloco, é então dado pela formula (equação simplificada): $\text{Benefício} = \text{Receita} - \text{Custo}$.

Os mais vários métodos têm sido utilizados para projetos de delimitação dos contornos finais de cava. As técnicas mais utilizadas são simulação e a programação dinâmica. As técnicas de simulação incluem a técnica dos cones móveis já os métodos de programação dinâmica incluem algoritmos bidimensionais e tridimensionais.

Candido (2012) apresenta os algoritmos que se tornaram mais populares e que propõem atingir os objetivos da otimização dos limites de uma cava, sendo eles: cones flutuantes (Pana & Carlson, 1966; David et al., 1974; Lemieux, 1979) e o algoritmo de Lerchs-Grossmann (de Lerchs-Grossmann, 1965). Estes algoritmos utilizam um modelo de blocos como base e atribui um valor econômico para cada bloco por meio da função benefício determinando quais serão os blocos que trarão retorno econômico positivo gerando assim o conjunto de blocos de um depósito mineral que deverão ser lavrados.

O Método computacional do Cone flutuante simula o movimento de um cone invertido através do modelo se movendo de um bloco a outro, caso o valor do cone seja positivo o classifica como “extraído”. O procedimento se repete até não encontrar nenhum cone com valor positivo então tem se o conjunto de blocos econômicos portando os limites da “cava ótima”.

Das diversas metodologias usadas para definição dos limites da cava final a mais comum é a geração de cavas aninhadas me que se varia um fator de 0 a 1 na receita da função benefício (Whittle, 2011), esta variação mostra o desenvolvimento sequencial de extração resultando no se denomina família de cavas, variando da cava menor e mais rica (mais atrativa economicamente) até à cava maior e mais pobre (menos atrativa economicamente).

A figura 4 mostra a sequência de cavas aninhadas e os níveis de bancada, é este esquema ilustra as duas opções de lavra sendo a lavra banco a banco e a lavra cava a cava.

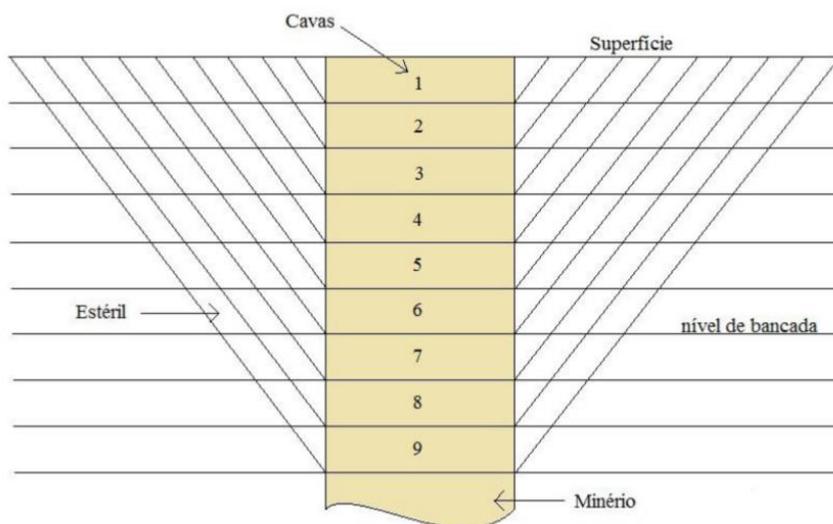


Figura 4: Sequência de cavas aninhadas (Diedrich. 2012).

3.6 Cavas intermediárias e Sequência Otimizada de Extração (SOE).

Conforme já mencionado anteriormente as cavas aninhadas é um produto do processo de otimização de cava final. De acordo com SILVA (2008) as cavas intermediárias são criadas a partir da variação dos parâmetros econômicos, utilizando-se do algoritmo de otimização como o Lerchs e Grossmann. Cada cava intermediária, corresponde à superfície de cava final de máximo valor correspondente, que está associada a um conjunto de condições de preços/custos, previamente relacionados. Em geral, a menor cava intermediária é aquela que representa o melhor valor possível a ser lavrado num estágio preliminar, além de ser a cava que continuaria a ser rentável mesmo em condições econômicas menos favoráveis. Similarmente, a maior cava intermediária representa aquela com a maior vida útil, sob as melhores condições econômicas. Como consequência, as cavas intermediárias gradam do mais alto valor para o mais baixo valor.

A figura 5 mostra uma sequência de cavas aninhadas, resultado de geração de cavas no processo de otimização.

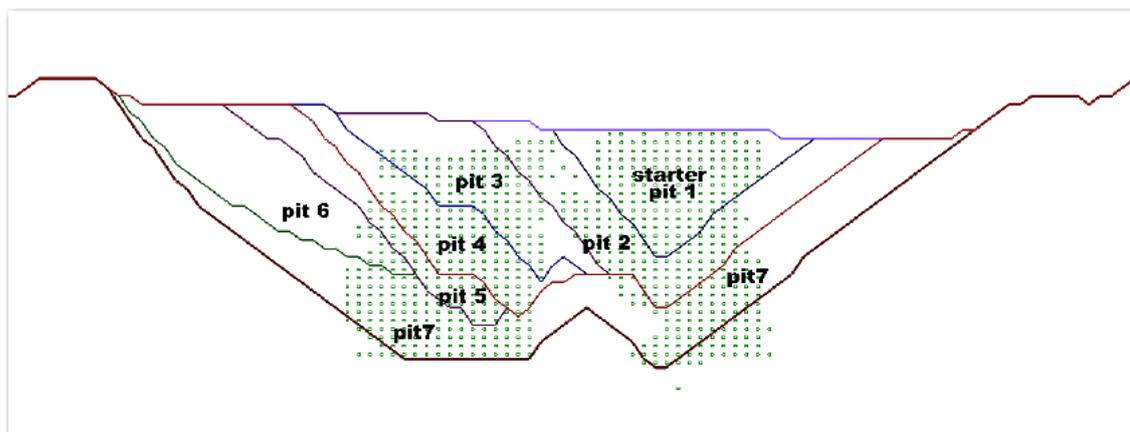


Figura 5: Representação da sequência de cavas aninhadas (James, 2008)

Considerando que a percepção do melhor valor é um princípio básico para maximizar o Valor Presente Líquido, a ordem das cavas intermediárias representa o primeiro nível de categorização do valor e o primeiro estágio de determinação da Sequência Otimizada de Extração (SOE). Ainda de acordo com SILVA (2008) a Sequência Otimizada de Extração é aplicada bloco a bloco, com o intuito de prover o mais alto Valor Presente Líquido possível. Esta é determinada considerando-se cada cava intermediária por vez e então dentro de cada cava intermediária considerando-se cada banco (uma unidade “fase-banco”) por vez, a partir do mais alto para o mais baixo nível de referência baseado na premissa de que numa mina a céu aberto a lavra geralmente ocorre da superfície para baixo.

3.7 Operacionalização de cava

A operacionalização das cavas finais é elaborada em um software de desenho e consiste no traçado de pés e cristas dos bancos, das rampas de acesso, de acordo com parâmetros geotécnicos permitindo o desenvolvimento seguro e eficiente das operações de lavra.

Segundo ROCHA (2015), a cava final ou matemática é composta de linhas de contorno que passam pelos centros dos blocos que entraram na otimização. Portanto, não possui definição de pés, cristas, rampas e acessos. A operacionalização de cava é o trabalho de desenho desses elementos, tendo como base a cava final. Durante o desenho, os parâmetros operacionais de

largura de berma, largura mínima de praça, altura de banco, ângulos de taludes e largura de rampa, necessários ao projeto, fazem com que a cava operacional se distancie da cava final. A figura 6 traz a Cava Final Operacionalizada da Mina Capitão do Mato.

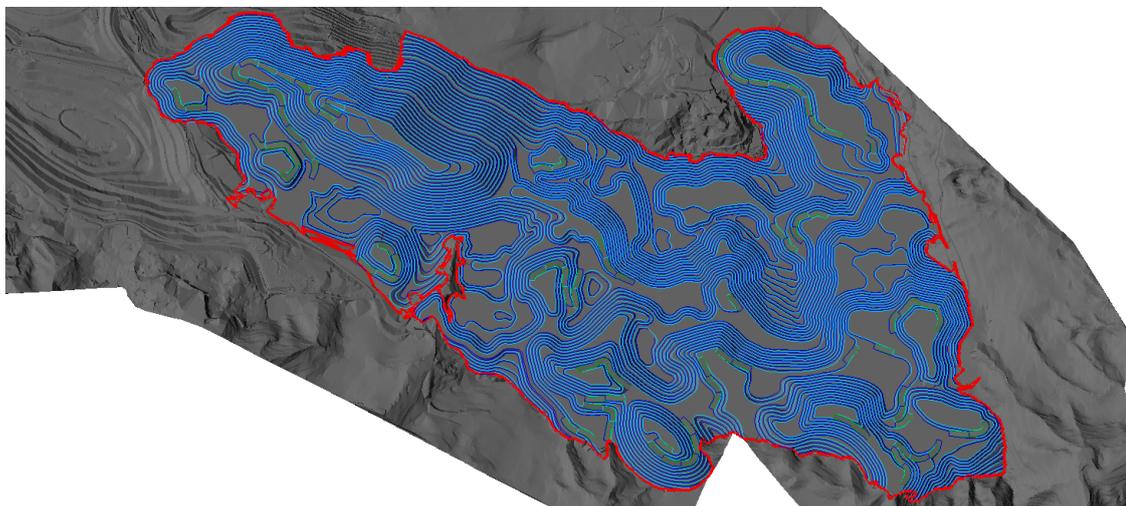


Figura 6: Superfície da Cava Final Operacionalizada da Mina Capitão do Mato - Fonte: Autor

Geralmente são realizados alguns designs afim de buscar a maior aderência com as cavas matemáticas selecionadas sendo aceitos pela indústria desvios de até 5% para minério e 10% para estéril, em relação à massa da cava final não operacional.

3.8 Planejamento de Lavra

Pode ser conceituado como planejamento estratégico o conjunto de ações que possibilitam o executivo situar o rumo a ser seguido pela empresa, visando a obtenção um nível de ideal na relação da empresa com o seu ambiente (OLIVEIRA, 1991). Planejamento tático definido por Oliveira (1991), tem por objetivo a otimização de determinada área e não a empresa como um todo. Para isso, trabalha com objetivos e desafios constituídos no planejamento estratégico. E por fim o planejamento operacional pode ser entendido como a formalização das metodologias de implantação e desenvolvimento das tarefas.

MENGOLLA, SAN'TANNA, (2001, p.15) afirmam que “Planejar é uma realidade que acompanhou a trajetória histórica da humanidade. O homem sempre sonhou, pensou e imaginou algo na sua vida.” De acordo com Maximiano (2004) o planejamento estratégico é um processo de definição de objetivos que a empresa busca alcançar e que facilita a escolha dos melhores caminhos a seguir. De acordo com BIGNETTI (2002) apud (OLIVEIRA, 1991) o planejamento

direciona as ações do administrador para o cenário futuro, portanto a atividade de planejar deve resultar em decisões no presente, analisando o impacto delas

no futuro. Podem-se distinguir três tipos de planejamento em planejamento estratégico, planejamento tático e o planejamento operacional.

O Planejamento de mina é por natureza uma atividade dinâmica ao longo da vida da mina, portanto devem ser elaboradas estratégias de lavra para serem aplicados a diferentes períodos e circunstâncias sejam elas tecnológicas ou de mercado. O planejamento na produção mineral tem por característica a otimização do recurso mineral com vista a atender a uma expectativa da indústria de transformação, portanto o planejamento da lavra compreende diversas etapas. O planejamento da produção mineral deve conhecer e administrar alguns fatores como flutuações de mercado, riscos ambientais, financeiros, operacionais e ainda a incerteza geológica, característica esta peculiar à atividade mineral. Segundo Askari -Nasab (2010), existem cinco etapas principais a serem seguidas no planejamento da lavra: modelo de blocos do corpo mineral, modelo de blocos econômico, limite final da cava, pushback design e sequenciamento de lavra da mina. A figura a seguir mostra o fluxo das etapas:

A figura 7 mostra um fluxograma simplificação das etapas da sequência de lavra do planejamento estratégico de mina.

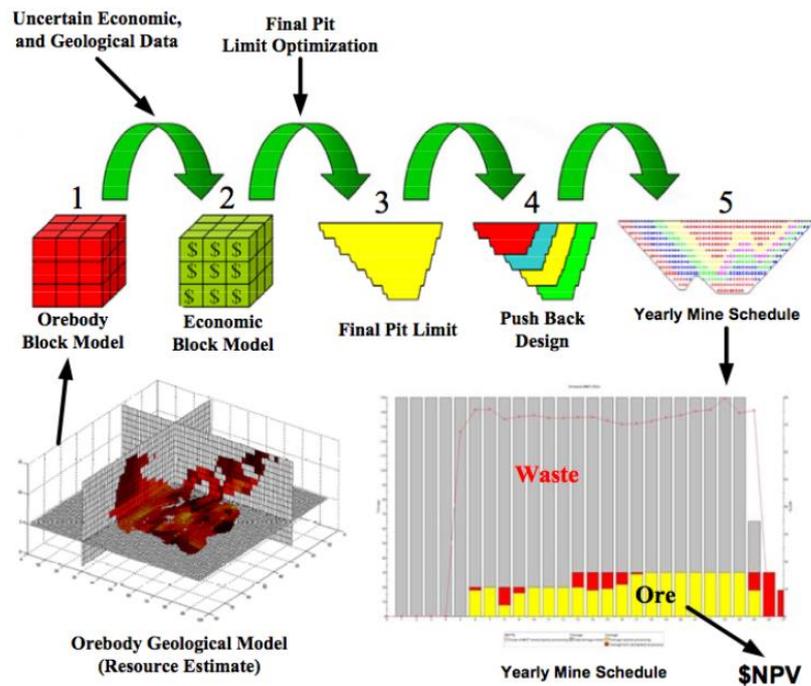


Figura 7: Simplificação de um fluxograma de planejamento estratégico de mina. Fonte: Askari-Nasab (2010).

Para GIANINNI, (1990) o planejamento de lavra de uma mina passa pela determinação do limite da cava final da mina caracterizado pelo limite de contorno cujo resultado da extração do volume de material proporcione o lucro total máximo satisfazendo determinados requisitos operacionais práticos e ainda uma sequência de extração ótima ao longo de um tempo determinado geralmente a vida do depósito mineral.

O planejamento da produção segundo Couzens (1979) são: planejamento de curto prazo ou operacional que é necessário para o funcionamento de uma mina em operação e o planejamento de produção de longo prazo ou planejamento estratégico de lavra realizado para estudar viabilidade econômica. No entanto o planejamento de lavra como sugeriu Steffen (2005), deve ser elaborado em 3 diferentes horizontes:

- **Planejamento “Life of Mine” vida útil da mina:** seria o primeiro passo do processo de planejamento de lavra visando definir o inventário das reservas lavráveis de minério de com os parâmetros econômicos adotados; definir a capacidade de produção; definir os requisitos para infraestrutura; determinar os custos de capital fixos fornecendo informações para tomadas de decisão estratégicas.
- **Planejamento de longo prazo:** elaboração da estratégia de lavra e operação, com vistas a maximizar o retorno financeiro para os investidores minimizando os riscos e maximizar a vida útil da mina.
- **Planejamento de curto prazo:** alinhado aos objetivos definidos no longo prazo elaborar os planos de produção dos horizontes mensais, semanais e diários. Sendo os principais objetivos: o controle de qualidade do material lavrado; controle de custos; utilização de equipamentos e; produtividade operacional.

A tabela 1 mostra as diferenças de abrangência dos níveis de planejamento.

Indicadores	Planejamento		
	Estratégico	Tático	Operacional
Prazos	Longo	Médio	Curto
Amplitudes	Grande amplitude	Amplitude mediana	Restrita
Riscos	Menores	Intermediários	Menor
Atividades	Finais e médios	Médias	Médias
Flexibilidade	Menor	Intermediária	Maior

Tabela 1: Paralelo entre os níveis de Planejamento Fonte: Modificado de Ascarza, 2008

Thorley (2012) afirma que as atividades de planejamento de longo prazo começam nos estudos de pré-viabilidade e permanecem ao longo da vida da mina. A maximização do VPL do projeto ainda é o maior objetivo, entretanto interferências relacionadas à execução das operações começam a ser estudadas em maior detalhe como limitantes, isto envolve análises no amadurecimento de premissas, ênfase em elaboração e análise de cenários com objetivo identificar opções de atuação no mercado, decisões de planejamento e maior detalhe no sequenciamento da mina. Algumas decisões tomadas durante a etapa de planejamento estratégico podem ser revisadas no planejamento de longo prazo, o planejamento de longo prazo tem como base de estudo o plano estratégico e a partir deste elabora um plano que apresenta decisões tanto estratégicas como táticas.

O planejamento de curto prazo tem como objetivo a garantia de atendimento da demanda das ITM's Instalações de tratamento de minério no que diz respeito a massa e qualidade do Feed, tomando como premissas as especificações definidas no plano de longo prazo. Desta forma entende-se o planejamento de longo prazo como uma extensão do planejamento estratégico já o planejamento de curto prazo se responsabiliza pelo detalhamento, para que o plano de longo prazo seja implementado.

Thorley, 2012 ainda afirma que um planejamento de longo prazo sem detalhamento ou indevido pode ser substituído ou complementado por um plano de curto prazo, já um plano de curto prazo executado indevidamente pode implicar em perdas significativas para o LOM de uma mina. A estratégia do plano de longo prazo é executada por intermédio do plano de curto prazo em que são definidos os planos de orçamento anual/quinquenal. O planejamento de curto prazo é com frequência denominado plano de produção ou plano operacional pois sua função existe em minas em pré-operação e minas em operação. O detalhamento do planejamento de curto prazo compreende progressivamente períodos dos primeiros doze ou dezoito meses até planos diários das operações de lavra e ao passo que estes horizontes progridem de meses para dia os níveis

de certeza são mais exigidos com relação aos índices operacionais como cronogramas de manutenção, disponibilidade física dos equipamentos, demanda de alimentação da usina, avanços de lavra nos bancos, avanço das pilhas de disposição de estéril, dentre outros.

3.9 Sequenciamento de Lavra

O sequenciamento de lavra é uma das etapas mais importantes no processo de mineração e tem direta participação no sucesso econômico de exploração. O sequenciamento de lavra de uma mina a céu aberto pode ser definido como sendo a especificação da sequência na qual os blocos deverão ser lavrados. Comumente o critério para selecionar a “melhor” sequência de lavra é a maximização do VPL. No entanto a logística de se determinar a melhor sequência de lavra na prática tem grandes dificuldades em função da natureza dinâmica da própria lavra e isto se dá pelas inúmeras possibilidades de combinações de incrementos para extração durante qualquer período determinado da lavra (Wright, 1989). Resgatando o conceito das cavas aninhadas temos por meio delas a Sequência Otimizada de Extração que do ponto de vista financeiro é a a melhor opção em contraponto temos a opção de lavra nível a nível onde a abertura do nível inferior depende do término do nível superior. Na figura 8 são apresentadas as duas possibilidades de forma de lavra, opção 01 lavra cava a cava gera o melhor VPL e a opção 02 lavra banco a banco gerando o pior VPL.

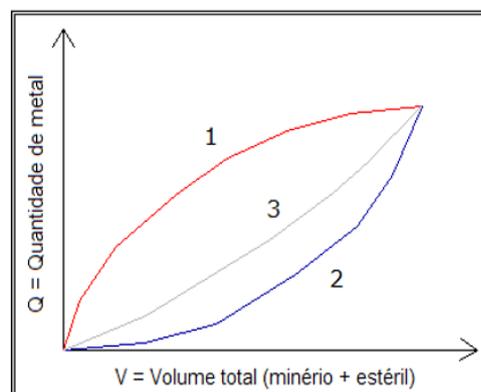


Figura 8: Opções para sequenciamento de lavra - Fonte: Modificado de Prati, 1995.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração da pesquisa foi utilizado como caso base a mina Capitão do Mato situada em Nova Lima, Minas Gerais distante cerca de 30km de Belo Horizonte esta mina é responsável pela extração média de 15Mta de minério de ferro. Os dados utilizados no estudo foram: Modelo de blocos tridimensional, o levantamento topográfico da mina, contendo informação sobre a cava atual, limite de propriedade, identificação dos principais locais de infraestrutura da mina dentre outras. Além de relatório de parâmetros geotécnicos da cava final. Foram utilizados também planos de longo prazo e planos operacionais de lavra da mina em questão no período do objeto da pesquisa.

4.1 Dados e recursos utilizados

A pesquisa foi desenvolvida com algumas ferramentas computacionais aplicadas no cotidiano da indústria mineral. As ferramentas computacionais utilizadas no desenvolvimento do trabalho foram: Softwares NPVScheduler, Datamine Studio OP, Vulcan, Deswik, Microsoft Excel.

4.2 Metodologia geral

Entende-se como método o processo para se atingir um determinado fim ou para se chegar ao conhecimento. O principal desafio nesta proposta é promover um contato eficiente e eficaz entre o nível estratégico e o nível operacional. Sabendo que na definição de recursos há diversas incertezas geológicas, o planejamento de lavra deve se preparar para lidar com estas incertezas pois economicamente falando a importância do caminho da lavra tem maior relevância do que própria cava final já que o melhor retorno econômico é obtido por um sequenciamento ótimo e não uma cava ótima.

4.3 Etapas da metodologia

As principais etapas na elaboração do presente estudo foram:

- a) Apresentação da metodologia atual de elaboração do sequenciamento de lavra entre horizontes de planejamento de mina;
- b) Análise do processo atual de elaboração do sequenciamento de lavra;
- c) Elaboração um sistema prático de ordenação e integração do sequenciamento entre os níveis de planejamento de lavra;
- d) Aplicação da sistemática em uma mina do quadrilátero ferrífero.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Metodologia atual de elaboração do sequenciamento de lavra entre horizontes de planejamento de mina

Costumeiramente a sequência de lavra completa desde o curto prazo até à exaustão da mina é elaborada pelo seguinte ordenamento:

- Equipe de Planejamento de Curto Prazo desenha o Plano de Anual Operacional A+0 (Ano corrente);
- Equipe de Planejamento de Médio Prazo desenha o Plano de Anual Operacional A+1 e A+2;
- Equipe de Planejamento de Longo Prazo desenha o Plano de Anual Operacional A+3, A+4 e A+5;
- Equipe de Planejamento de Longo Prazo elabora o sequenciamento LOM via Software NPVS@ (Planos matemáticos);

As informações fluem pelos níveis de planejamento no seguinte sentido curto prazo => médio prazo => longo prazo. O fluxograma a seguir apresenta de maneira simplificada a ordenação atual das atividades do ciclo de planejamento.

A figura 9 mostra o fluxo esquemático de elaboração dos planos sequenciais.

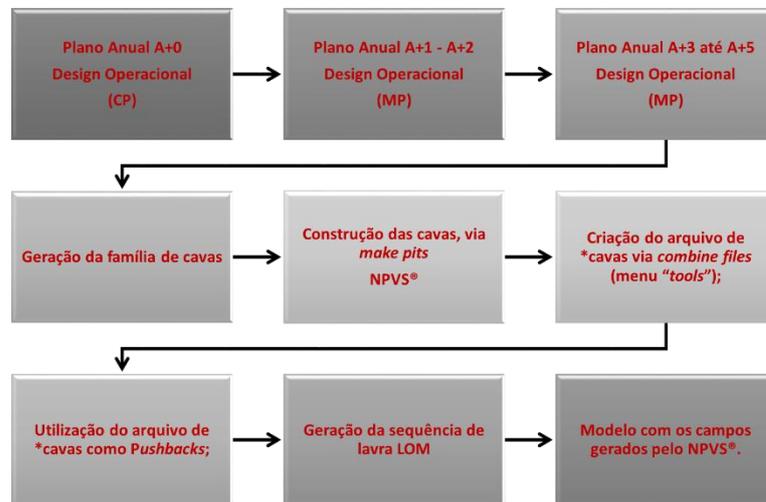


Figura 9: Fluxo de elaboração dos planos sequenciais – Fonte: Procedimento Interno VALE S.A.

Da figura 10 até a figura 17 são apresentados os produtos gerados por cada nível de planejamento de acordo com a rotina atual.

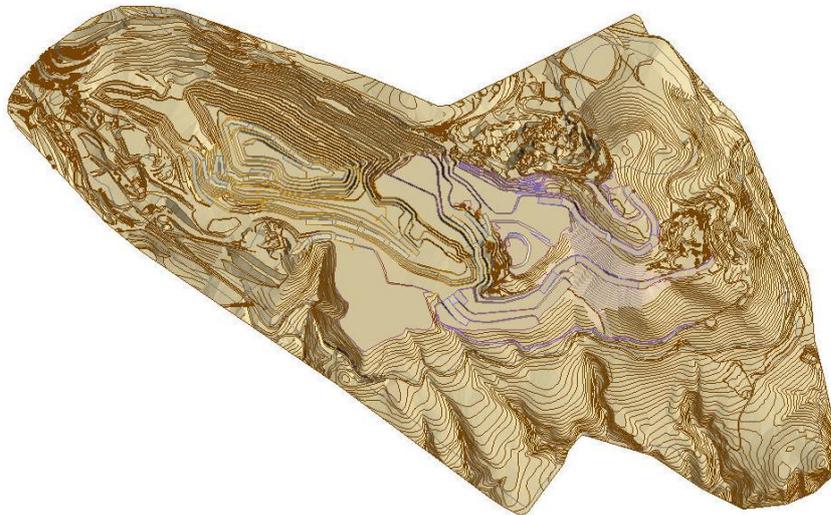


Figura 10: Superfície do Plano de Anual Operacional 2019 (Ano corrente) - Fonte: Relatório Interno de Planejamento - VALE S.A.

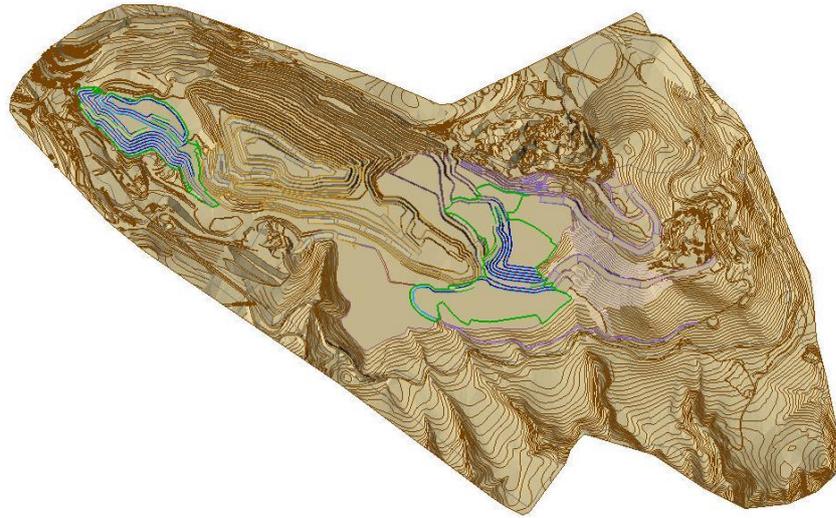


Figura 11: Superfície do Plano de Anual Operacional 2020 - Fonte: Relatório Interno de Planejamento - VALE S.A.

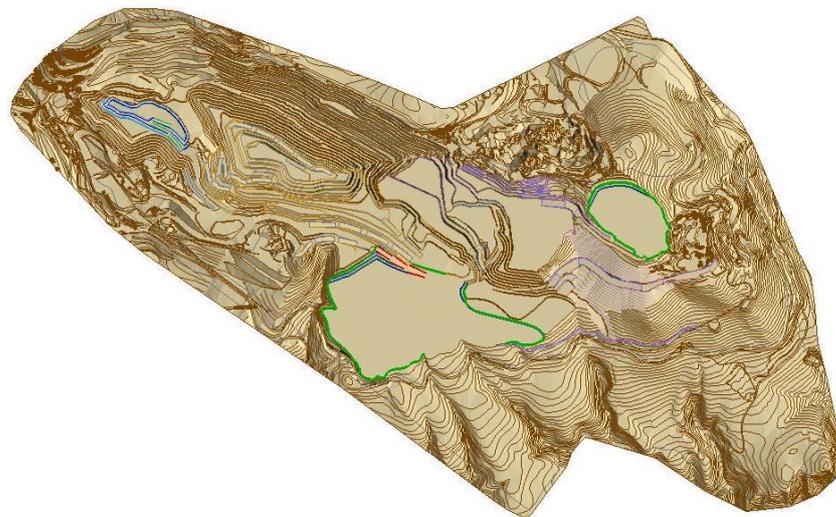
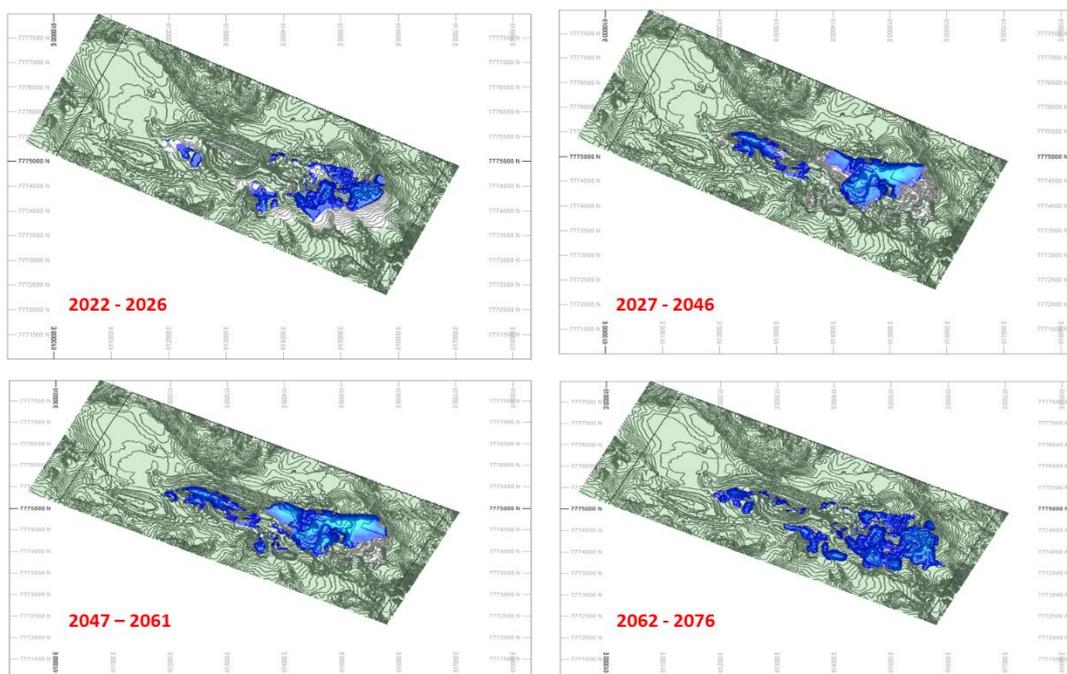


Figura12: Superfície do Plano de Anual Operacional 2021 - Fonte: Relatório Interno de Planejamento - VALE S.A.

Em seguida o Sequenciamento LOM via Software NPVS@ (Planos matemáticos):



**Figura 13: Superfície Matemática do Plano de Ano 2022 – 2076 da Mina Capitão do Mato -
Fonte: Relatório Interno de Planejamento - VALE S.A.**

5.2 Análise do processo atual de elaboração do sequenciamento de lavra

O objetivo desta etapa é a identificação de possíveis gaps na metodologia atual fomentando a pesquisa por meios que possam contribuir para melhoria do processo.

Na metodologia apresentada no item anterior pode-se observar as seguintes questões:

- 1) O fluxo de informação segue no sentido do plano operacional para o plano estratégico;
- 2) Os níveis de planejamento curto e médio prazo tem como referência geométrica somente a topografia atual e a cava final além do limite de Licença Ambiental para a elaboração dos planos operacionais;
- 3) Os 5 primeiros planos anuais operacionais são elaborados considerando premissas de atendimento à alimentação da usina, restrições operacionais, ambientais;
- 4) Do 6 ano à exaustão da cava os planos de produção são elaborados a partir de sequenciamento matemático;
- 5) Há 4 outputs produzidos por 3 equipes distintas;

No item 01 percebe-se que no fluxo há uma inversão da orientação da geração da sequência de extração;

Nos itens 02 e 03 os níveis de planejamento curto e médio prazo tem como referência de desenvolvimento geométrico, a cava final, um horizonte longínquo;

No item 04 vimos que a escolha da sequência de lavra é feita através de superfícies matemáticas;

No item 05 tem-se produtos gerados de forma independente.

De forma geral compreendemos que a sequência de lavra do curto ao longo prazo é elaborada de forma seriada atendo às premissas, no entanto esta metodologia abriga sutilmente alguns gaps como:

- ✓ Conexão entre os planos
- ✓ Marcos estratégicos de desenvolvimento
- ✓ Garantia de lavra do “próximo melhor minério”
- ✓ Sustentação da REM por fase

Para minimizar os gaps da metodologia atual e contribuir para melhoria do processo de elaboração do sequenciamento de será apresentado a seguir uma nova proposta.

5.3 Sistematização das Cavas Finais Intermediárias ou Cavas Notáveis como referencial geométrico de desenvolvimento do sequenciamento de lavra

A finalidade das Cavas Notáveis através de superfícies operacionais de desenvolvimento é proporcionar uma conexão prática entre os planos de longo prazo (planejamento estratégico) passando pelos planos de médio prazo (planejamento tático) até os planos de curto prazo (planejamento operacional). Os pits gerados na família de cavas devem analisados e filtrados de acordo com as restrições físicas e temporais destacando então algumas geometrias de alta relevância que servirão como guias de desenvolvimento geométrico na elaboração da sequência de lavra. A seguir são listadas as Cavas finais intermediárias consideradas de alta relevância objeto do estudo:

- Cava de Reserva----- (Longo Prazo)
- Cava do Projeto Corrente----- (Longo Prazo/Médio Prazo)
- Cava de Desenvolvimento----- (Longo Prazo/Médio Prazo)
- Cava de Produção----- (Médio Prazo/Curto Prazo)

5.3.1 Cava de Reserva - Longo Prazo

Resultado do processo de otimização que determina a superfície final da fração econômica do Recurso Mineral conforme conceituada no referencial teórico. Esta superfície limite é suporte para valoração econômica e definições estratégicas do projeto mineiro.

As figuras 14 até 18 mostram a definição da sequência de Cavas Finais Intermediárias ou Cavas Notáveis. A figura 18 mostra a cava de reserva de Longo Prazo.

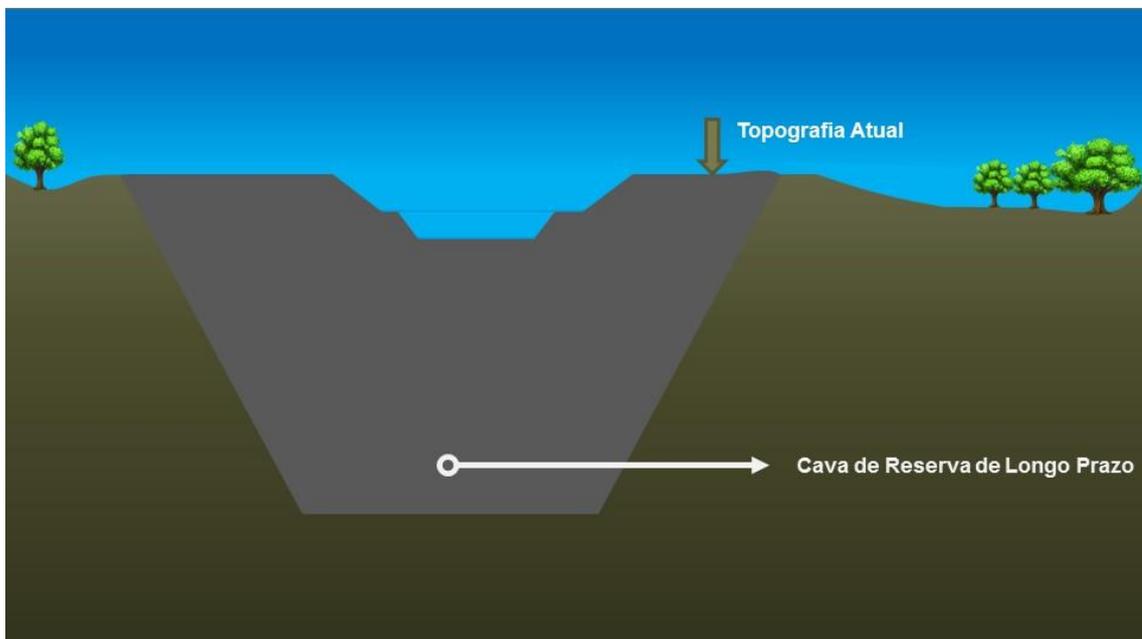


Figura 14: Desenho Esquemático da Cava de Reserva de Longo Prazo - Fonte: Autor

5.3.2 Cava do Projeto Corrente - Longo Prazo/Médio Prazo

É a superfície operacional que define a parte da reserva cujo minério atende às especificações do processo de tratamento corrente, ela também é a última Cava de Desenvolvimento pois partir desta a ITM deverá ser ajuste ao restante do minério da cava de reserva. Acontece por exemplo quando existe duas fases de teores na reserva: Fase Rica e Fase Podre. A figura 19 mostra a cava de projeto do projeto atual.

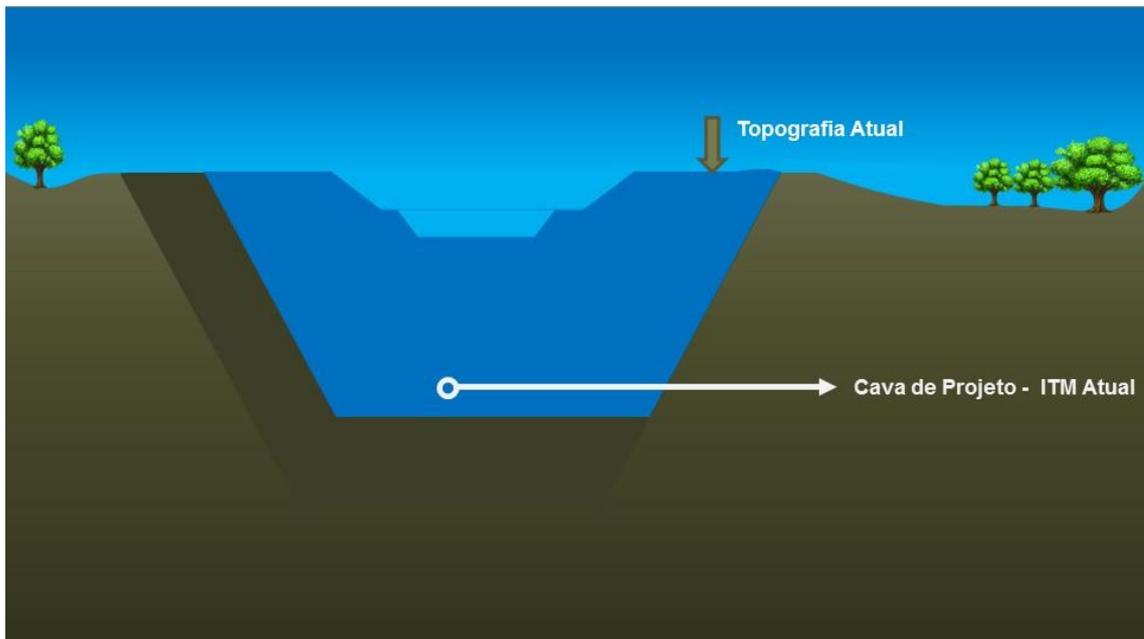


Figura 15: Desenho Esquemático da Cava do Projeto Corrente - Fonte: Autor

5.3.3 Cava de Desenvolvimento - Longo Prazo / Médio Prazo

São superfícies operacionais cujo design contemplam interferências de média relevância que se caracterizam como restrição de lavra para a Cava de Produção. Orientada para o equilíbrio e transição dos horizontes de lavra de curto e longo prazo. A figura 20 ilustra a cava de desenvolvimento.

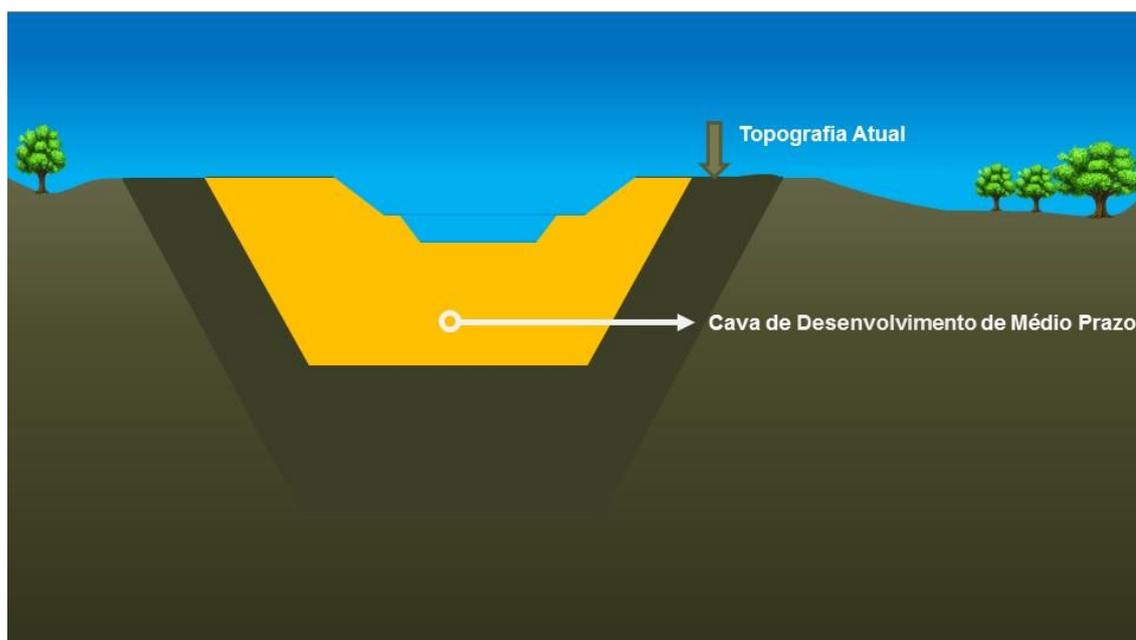


Figura 16: Desenho Esquemático da Cava de Desenvolvimento - Fonte: Autor

5.3.4 Cava de Produção – Médio Prazo/Curto Prazo

É a superfície cujo design operacional representa a parte da cava de reserva que está livre de qualquer tipo de restrição operacional no horizonte de curto prazo. Orientada para o atendimento imediato do mercado consumidor. A figura 20 ilustra a cava de desenvolvimento. A figura 21 mostra a cava de produção.

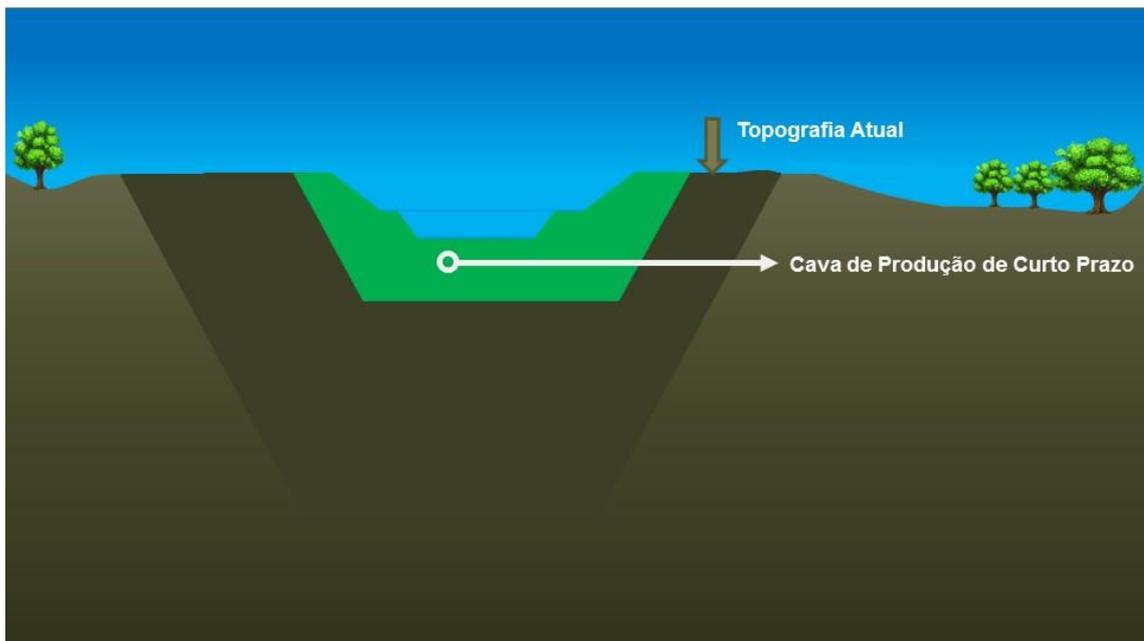


Figura 17: Desenho Esquemático da Cava de Produção - Fonte: Autor

A figura 22 mostra a sequência de Cavas Finais Intermediárias ou Cavas Notáveis

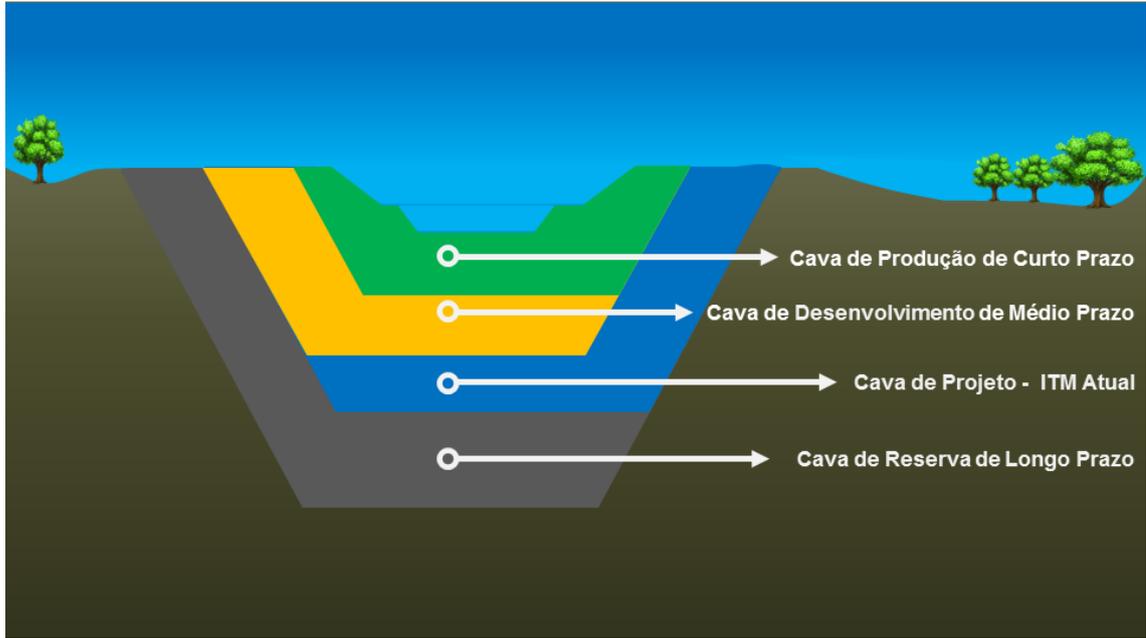


Figura 18: Desenho Esquemático das Cavas Finais Intermediárias ou Cavas Notáveis - Fonte: Autor.

5.4 Seleção das Cavas Finais Intermediárias da Mina Capitão do Mato

Após a definição do sistema para referenciar o sequenciamento de lavra nos 3 níveis de planejamento foi elaborada a seleção de Cavas Finais Intermediárias para a Mina Capitão do Mato cujo resultado está apresentado a seguir.

5.4.1 Resultado da Seleção de Cavas Finais Intermediárias na Mina Capitão do Mato

O resultado da seleção das cavas notáveis da Mina Capitão do Mato ocorreu como esperado, a figura 23 mostra a acumulação evolutiva das geometrias partindo da topografia atual até à superfície de exaustão.

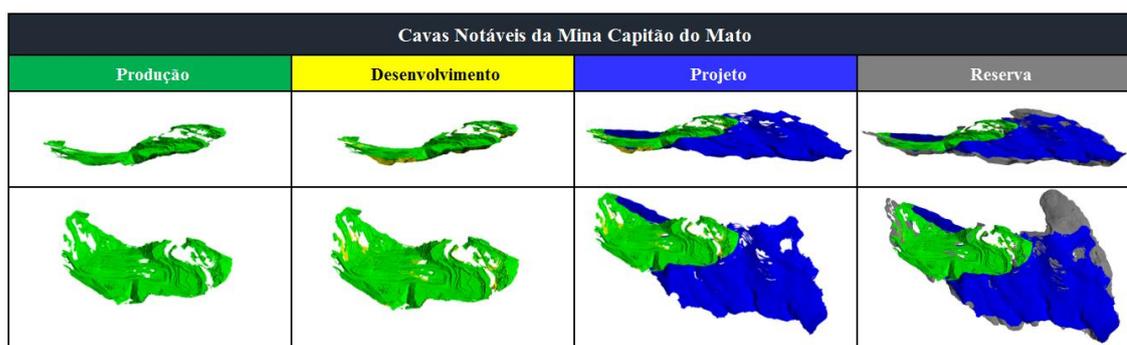


Figura 19: Sólidos das Cavas Finais Intermediárias ou Cavas Notáveis - Fonte: Autor

A tabela 2 mostra o resultado das cubagens de cada cava selecionada e operacionalizada.

Seleção de Cavas Notáveis	HEM (Mt)	FEGL	SIGL	ITAB (Mt)	FEGL	SIGL	EF (Mt)	Total (Mt)
Cava_De_Producao	30.9	63.8	2.6	49.4	44.2	30.6	14.4	94.7
Cava_De_Deenvolvimento	4.9	63.7	4.8	56.5	40.5	38.9	2.9	64.3
Cava_De_Projeto	179.4	61.2	4.7	41.3	45.0	30.8	34.6	255.3
Cava_De_Reserva	59.9	61.6	6.9	500.6	42.7	36.4	26.0	586.5
Totais	275.1	61.6	5.0	647.9	42.8	35.8	77.9	1,000.8

Tabela 2: Massa e Qualidade por Tipo de Material das Cavas Notáveis – Fonte: Autor

Para otimização da Cava de Reserva foram definidos os seguintes tipos para:

- **MINÉRIO RICO – ROM HEMATÍTICO E ITABIRITO:**

- Formado pelas hematitas e itabiritos friáveis ricos, cangas, rolados e ferro manganês, recurso medido e indicado;
- **MINÉRIO POBRE – ROM ITABIRITO:**
 - Formado pelos itabiritos friáveis pobres, itabiritos contaminados e itabiritos compactos, recurso medido e indicado;
- **EFF – FORMAÇÃO FERRÍFERA:**
 - Formado pelas hematitas e itabiritos, cangas, rolados e ferro manganês que são classificados como recursos inferidos ou não são classificados e ainda os itabiritos compactos. Este tipo de material é considerado estéril na geração de cava final;
- **EST – ESTÉRIL FRANCO:**
 - Incluem-se todos os blocos que não pertencem à formação ferrífera. Inclui as litologias xisto, intrusiva, quartzitos, solo e veio de quartzo.
 - Todo material que está em DM de terceiros é considerado como estéril.

Para elaboração do processo de otimização e de operacionalização das cavas foram usados os seguintes parâmetros geotécnicos apresentados pela tabela 3.

LITOLOGIAS CAPITÃO DO MATO	ÂNGULO INTERRRAMPAS POR CLASSE (Para uso do NPV)	ÂNGULO DE FACE MÉDIO DA LITO	D.DESC/ D.TAL	D.DESC/ D.TAL	D.DESC/ D.TAL	CLASSE
			(0° a 30°)	(30° a 60°)	(60° a 90°)	
DO, HC, HCTC, IC, ICTC	50°	65°	65°	+ 3°	+ 5°	1
CG, CGC, CGF, CGM, IM, ICTM, HCTM, IMNC, IMR, HM, IMNM	46°	60°	- 5°	60°	+ 5°	2
HF, HFF, IF, IFR, IMN, IMNF, HCT, ICT, ICTF, HCTF, IFRF	39	50°	- 5°	55°	+ 5°	3
FFA, FL, QF, QT, XI	33°	50°	- 5°	50°	+ 5°	4
CH, FD, IN, VU	30°	45°	- 5°	40°	+ 5°	5
AG, LA	28°	40°	45°	45°	45°	6
AT	23°	27°	27°	27°	27°	7

Tabela 3: Parâmetros Geotécnicos - Mina Capitão do Mato Fonte: Relatório Interno de Recursos e Reserva VALE

A figura 24 mostra a cava de reserva de Longo Prazo de Reserva da Mina Capitão do Mato.

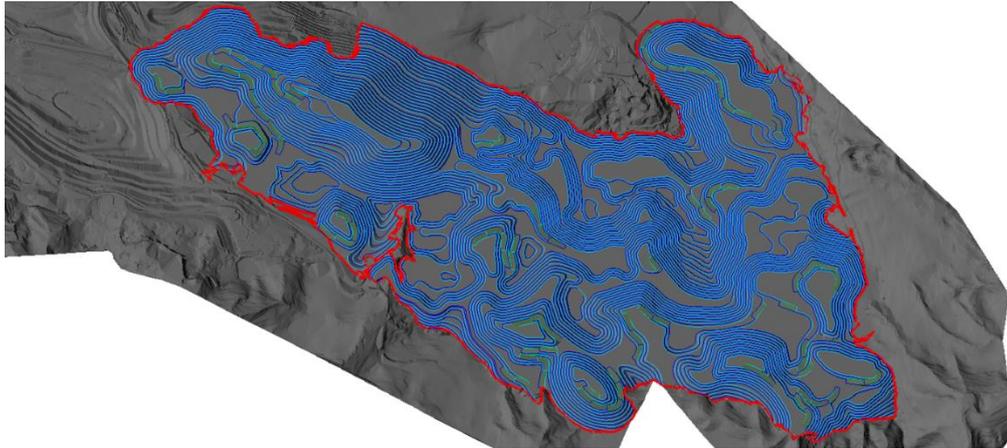


Figura 20: Superfície Operacional da Cava de Reserva da Mina Capitão do Mato Fonte: Autor

A figura 25 mostra a cava do Projeto Corrente da Mina Capitão do Mato para definições de Longo Prazo/Médio Prazo.

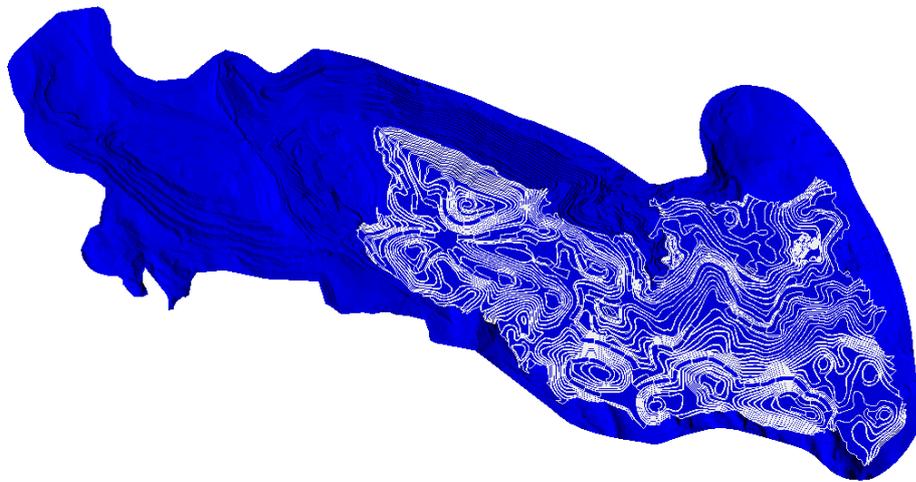


Figura 21: Superfície Operacional da Cava de Projeto da Mina Capitão do Mato Fonte: Autor

A figura 26 mostra a cava de desenvolvimento da Mina Capitão do Mato de para definições de Longo Prazo/Médio Prazo.



Figura 22: Superfície Operacional da Cava de Desenvolvimento da Mina Capitão do Mato
Fonte: Autor

Para definição da cava de produção foram usados os mesmos parâmetros geotécnicos da cava final de reserva além de considerar o limite operacional ambiental licenciado e ainda as estruturas que demandam tempo e investimento para realocação como os prédios dos escritórios da unidade, oficina mecânica, posto de combustíveis e borracharia.

A figura 28 mostra a cava de produção da Mina Capitão do Mato de para definições de Longo Prazo/Médio Prazo.

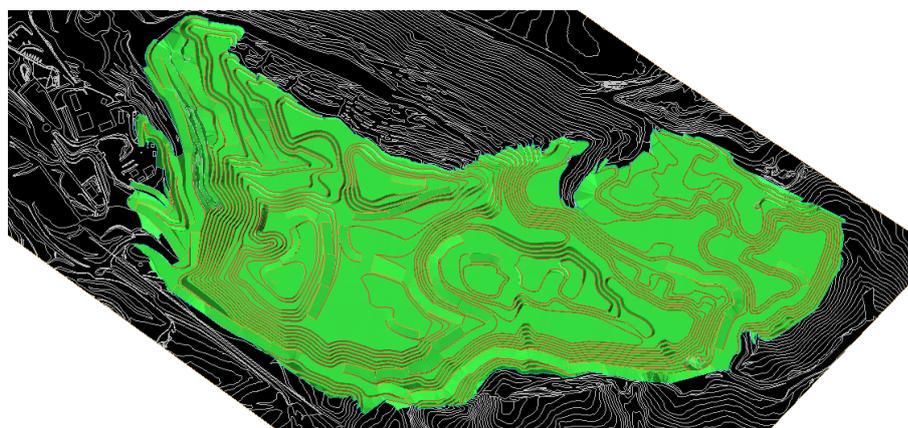


Figura 23: Superfície Operacional da Cava de Produção da Mina Capitão do Mato Fonte: Autor

A figura 32 mostra uma seção transversal com as principais geometrias de cava.

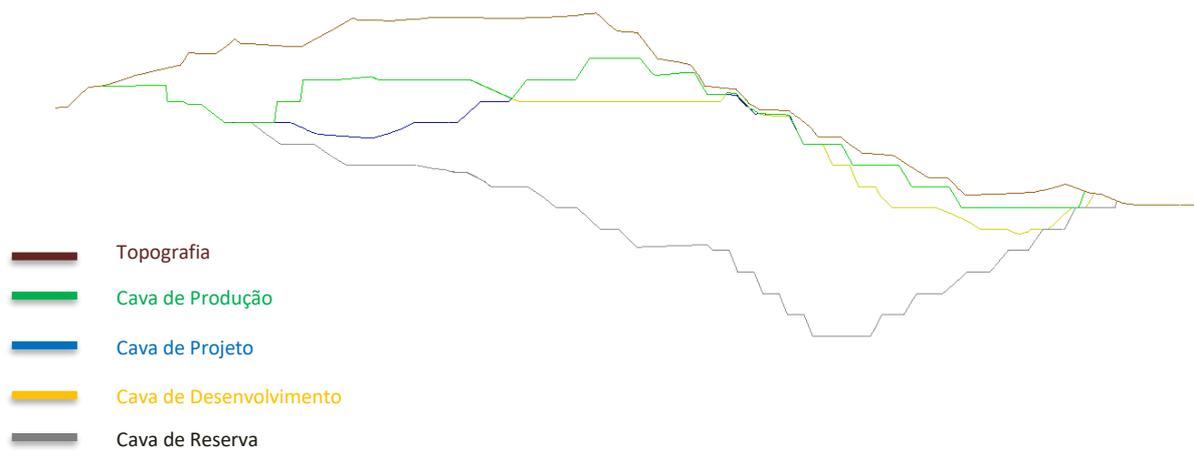


Figura 24: Cavas Notáveis Seção Transversal 03 - Fonte: Autor

5.4.2 Sequenciamento de Curto/Médio Prazo

Após a seleção e operacionalização das Cavas Finais Intermediárias da Mina Capitão do Mato foi elaborado um sequenciamento buscando a alimentação das usinas no horizonte de curto/médio prazo então foi sequenciado os primeiros anos em parcelas mensais utilizando o Software Deswik. A tabela 4 mostra as premissas de massa e qualidade para alimentação das plantas VGR 1 e VGR 2.

	VGR1	VGR2	Estéril	Total
Movimentação	150,000	600,000	250,000	1,000,000
FEGL (%)	58.00	41.00		
SIGL (%)	7.58	40.03		

Tabela 4 – Especificações de massa e qualidade das Usinas VGR1 e VGR2

A figura 29 mostra a cava de produção da Mina Capitão do Mato dividida em geometria de Fases de Desenvolvimento de para definições de curto /médio prazo.

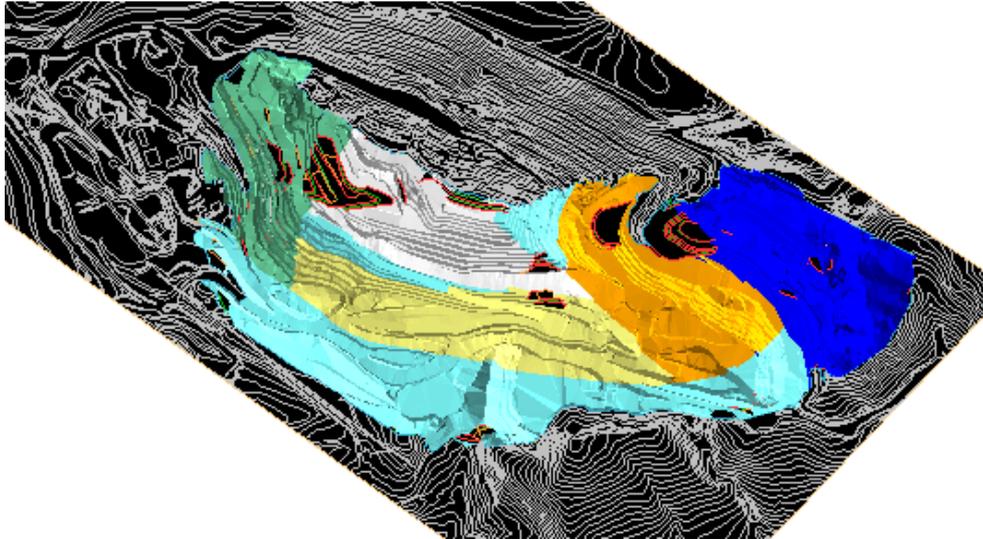


Figura 25: Superfície Operacional da Cava de Produção divididas em Fases de Desenvolvimento da Mina Capitão do Mato Fonte: Autor

A tabela 5 mostra o resultado do sequenciamento elaborado utilizando o modulo “Blend” do software Deswik.

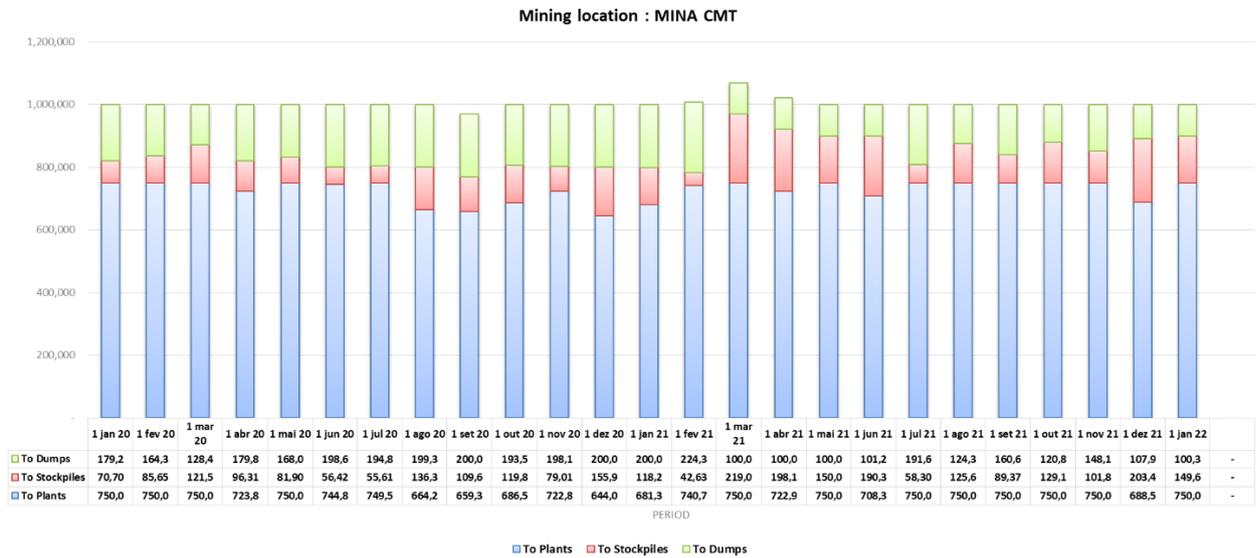


Tabela 5 – Sequenciamento Ano 01 & 02 - Usinas VGR1 e VGR2 Fonte: Autor

5.4.3 Comparação entre os métodos de Sequenciamento

Com o mesmo arcabouço de operacionalização da Cavais Finais Intermediárias da Mina Capitão do Mato foi então possível elaborar a continuidade do sequenciamento da mina agora com o objetivo médio/longo prazo e massa e qualidade para alimentação das plantas. O sequenciamento foi dividido em parcelas com a seguinte distribuição de massa: as cinco primeiras parcelas em anuais e posteriormente em parcelas quinquenais. A figura 26 mostra uma comparação das massas de ROM sequenciadas utilizando o primeiro sequenciamento metodologia atual para o caso base e a nova metodologia para o segundo sequenciamento.

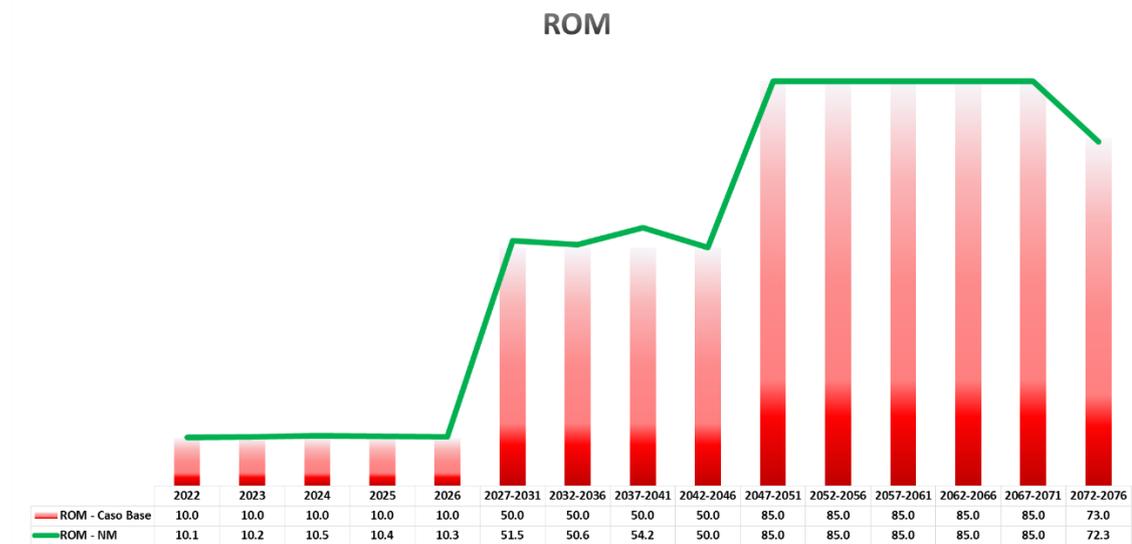


Figura 26: Comparação ROM (Mt) - Sequenciamento Caso Base x Sequenciamento Nova Metodologia. Fonte: Autor

A figura 27 mostra o resultado comparativo do controle de teor de FE para o caso base e a sequenciada utilizando a nova metodologia.

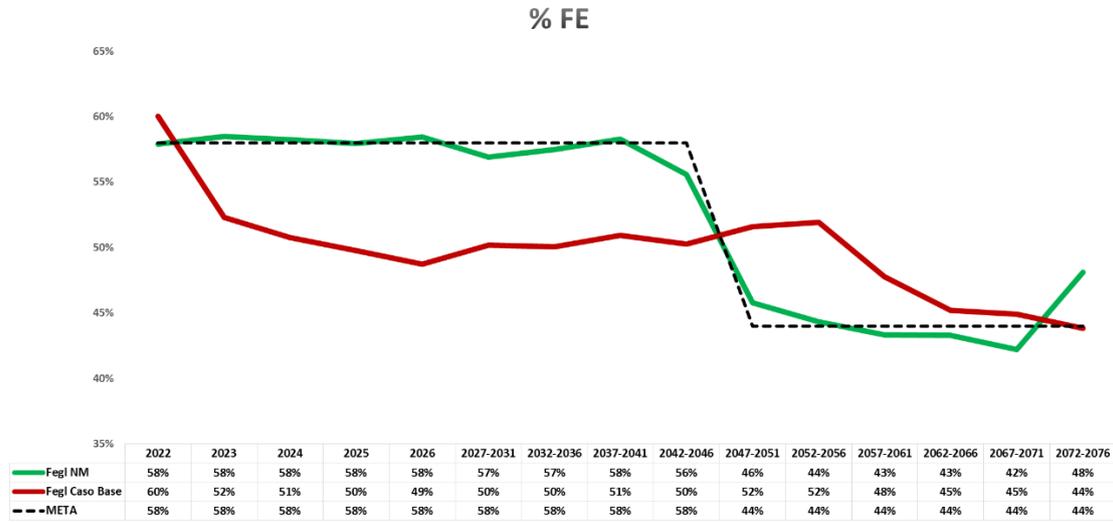


Figura 27: Comparação FE (%) - Sequenciamento Caso Base x Sequenciamento Nova Metodologia. Fonte: Autor

A figura 28 mostra o resultado comparativo do indicador REM para o caso base e a sequenciada utilizando a nova metodologia.

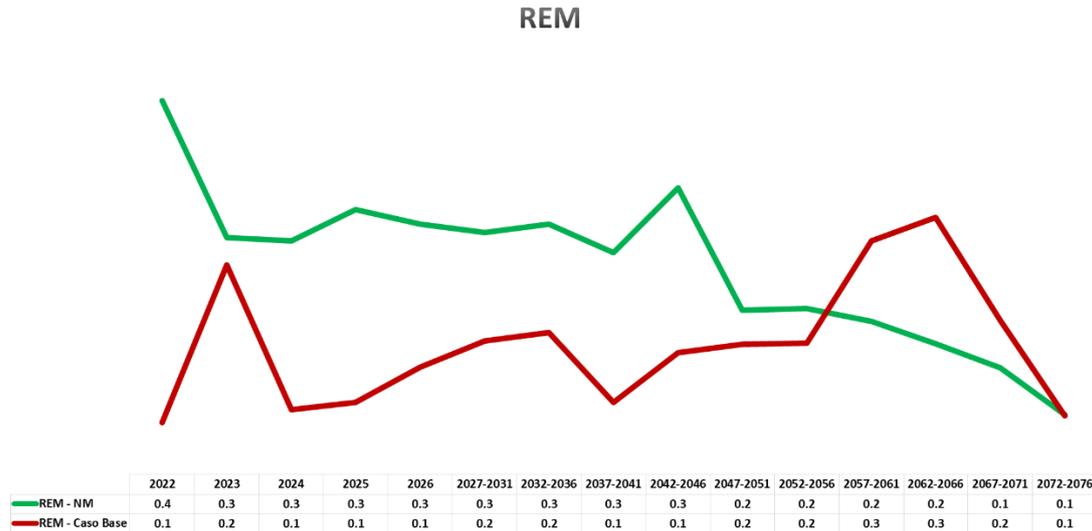


Figura 28: Comparação REM - Sequenciamento Caso Base x Sequenciamento Nova Metodologia. Fonte: Autor

A figura 28 mostra o resultado comparativo do indicador REM para o caso base e a sequenciada utilizando a nova metodologia.

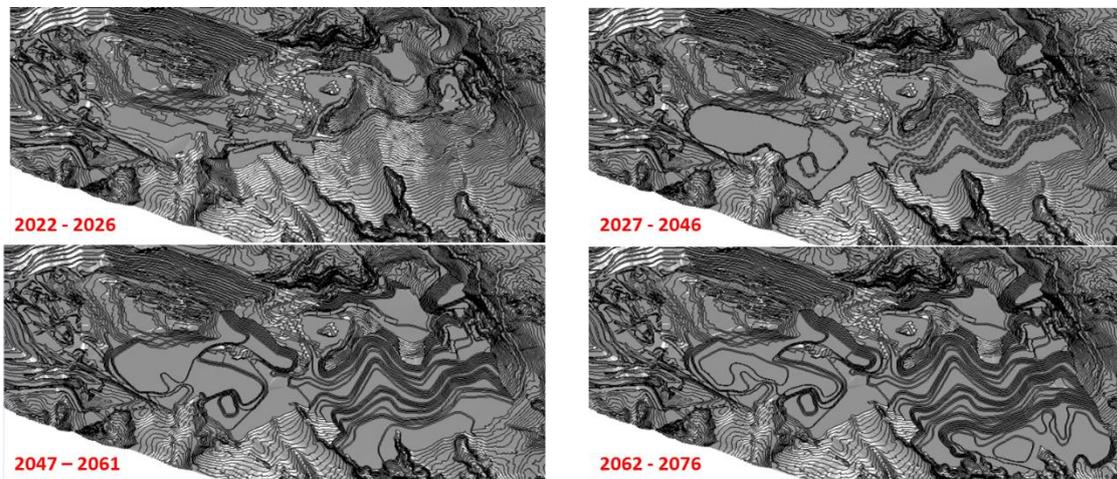


Figura 29: Superfícies operacionais do sequenciamento LOM elaborado pela nova Fonte: Autor

6 CONCLUSÕES

Como a função objetivo do sequenciamento foi de atendimento do valor absoluto da massa de ROM, com a nova metodologia de pode-se observar que alguns indicadores operacionais como REM e FE tiveram resultados mais ajustados aos processos utilizando a Nova Metodologia “NM”. Enquanto no caso base tivemos uma variação de REM o sequenciamento pela “NM” o resultado foi regular e apresentou dois patamares bem definidos assim como na variação do teor de FE pois no sequenciamento caso base o controle do teor não foi tão satisfatório pois não atingiu a meta o sequenciamento segundo a “NM” a flutuação de teor foi bem aderente à meta. Outro aspecto a ser observado foi a distribuição de massa por região. No sequenciamento segundo a “NM” as áreas de lavra foram mais distribuídas melhorando a condição operacional de distribuição de equipamentos de mina o que evitaria atrasos operacionais como fila de caminhões etc.

7 RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS

Problemas de ordem de governança de gestão do planejamento como:

- Gestão da orientação do Fluxo de Informação
- Referência Geométrica Longínqua para os planos de produção de Curto e Médio Prazo
- Planos Anuais Não Operacionais considerando um Life of Mine matemático
- Falta de conexão no sequenciamento de lavra preparado por equipes distintas

São resolvidos e/ou minimizados usando as Cavas intermediarias criando:

- Conexão entre os planos de produção
- Orientação Estratégica no Desenvolvimento
- Garantia de Lavra do “Próximo Melhor Minério”
- Sustentação da REM

Isto por haver uma geometria orientada cada horizonte de planejamento.

Como pontos relevantes neste trabalho pode-se observar alguns aspectos como:

Análises das interferências físicas e temporais na definição e seleção de cavas operacionais intermediarias à cava final podendo contribuir para decisões estratégicas.

Definição de um único arcabouço geométrico de suporte para elaboração de sequenciamentos com marcos intermediários interligados levando à garantia de exequibilidade operacional da lavra.

E ainda os resultados da aplicação mostraram que além da possibilidade de integração os níveis de sequenciamento de lavra os marcos geométricos de desenvolvimento permitiram o controle de flutuação de variáveis de lavra ao longo da execução do projeto.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros são apontados os seguintes:

- i. Testar a seleção de cavas notáveis em outras minas;
- ii. Estruturar a etapa operacionalização de cavas notáveis em fases no escopo de trabalho do planejamento estratégico;
- iii. Aprimorar a atividade de sequenciamento integrado de curto prazo e Life of Mine;
- iv. Testar a metodologia em plataforma de softwares distintos.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREWS, K. R.. **O conceito de estratégia empresarial**, In: H. Mintzberg; J. B. Quinn. O processo da estratégia. Porto Alegre: Bookman, 2002.

ASCARZA, B. F. **Planejamento de lavra estratégico e tático de morro da mina Conselheiro Lafayete-MG**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2008, 132p.

BATEMAN, T. S.; SNELL, S. A. **Administração: Construindo Vantagem Competitiva**. São Paulo, SP: Atlas, 1998. 539 p.

BETHLEM, A. S. **Estratégia empresarial: conceitos, processo e administração estratégica**. São Paulo: Atlas, 2004.

CARMO, Frederico Augusto Rosa do; CURI, Adilson; SOUSA, Wilson Trigueiro de. **Otimização econômica de explorações a céu aberto**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 59, n. 3, setembro. 2006.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à teoria geral da administração**. Elsevier Brasil, 2000.

Comissão Brasileira de Recursos e Reservas – CBRR. 2016. **Guia CBRR para declaração de resultados de exploração, recursos e reservas minerais**. Brasília, CBRR. 54p.

COUZENS, T. R. **Aspects of production planning: operating layout and phase plans, open pit mine planning and design**. New York: SME-AIME, 1979. p.219-213.

CURI, A. **Minas a Céu Aberto: planejamento de lavra**, 2014, 223 p, Oficina de Textos, São Paulo, 2014.

DA COSTA, Felipe Pereira. **Aplicações de técnicas de otimização a problemas de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto.

Diedrich. C.,2012. **Incorporação da variabilidade dos teores para análise de Risco de recursos minerais e sequenciamento de lavra**. 188p. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FILHO, E.R.; **Princípios Econômicos na Mineração**. In: *Revista Minérios & Minerale*s, Ed. 249, Jun 2000.

FISCHMANN, Adalberto Américo; ZILBER, Moises Ari. **Utilização de indicadores de desempenho para a tomada de decisões estratégicas: um sistema de controle**. Revista de Administração Mackenzie, v. 1, n. 1, 2009.

IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração. **Workshop “Planejamento de mina: práticas e experiências de empresas de mineração”, Módulo I e II**. Belo Horizonte, 1996.

JÚNIOR, Miranda, & IVAN S. **"Diretrizes fundamentais para um estudo de avaliação econômica de empreendimentos de mineração: um estudo bibliográfico."** (2011).

MAXIMIANO, Antonio Cesar Amaru. **Introdução a Administração**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2004.

MAXIMIANO, Antonio Cesar Amaru. **Introdução à Administração**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

MENEGOLLA, Maximiliano. SANT'ANNA, Ilza Martins. **Por que Planejar? Como Planejar?** 10ª Ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.

MINTZBERG, Henry, AHLSTRAND, Bruce, LAMPEL, Joseph. **Safári de Estratégia: Um Roteiro pela Selva do Planejamento Estratégico**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

MINTZBERG, Henry; QUINN, James Brian. **O Processo da Estratégia**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

OLIVEIRA, Djalma P. Rebouças. **Planejamento Estratégico - Conceitos, Metodologia, Práticas**. 18ª ed. rev. ampl. São Paulo: Atlas, 2002.

PORTER, Michael. E. **A nova era da estratégia**. HSM Management. São Paulo: mar/abr., p.18 - 28, 2000

ROCHA, Antonio Carlos Pereira da. (2015, 10). **Avaliação do material estéril de formação ferrífera em mineração para disposição seletiva e reaproveitamento futuro**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.

SILVA, N. C. S. **Metodologia de Planejamento Estratégico de Lavra incorporando riscos e incertezas para a obtenção de resultados operacionais**, 2008, Dissertação (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SANTOS C. S. dos. **Introdução à gestão pública**. São Paulo: Saraiva, 2008

STEFFEN, O.; **Planning of Open Pit Mines. In: Australian Centre for Geotechnics, CSIRO, Curtin University and University of Western Australia, Austrália, 2005.**

THORLEY, U. **Open Pit Mine Planning: Analysis and System Modeling of Conventional and Oil Sands Applications.** PhD thesis. Queen's University Kingston, Ontario, Canada. September 2012, 77p.
