



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



EDUARDO OTÁVIO DE SOUSA FILHO

APLICAÇÃO DE AIR-DECKS NAS OPERAÇÕES DE PERFURAÇÃO E DESMONTE,
VISANDO REDUÇÃO DE CUSTOS, EM MINAS DE FERRO

OURO PRETO

2019

EDUARDO OTÁVIO DE SOUSA FILHO

APLICAÇÃO DE AIR-DECKS NAS OPERAÇÕES DE PERFURAÇÃO E DESMONTE,
VISANDO REDUÇÃO DE CUSTOS, EM MINAS DE FERRO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Professor orientador: Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz

OURO PRETO

2019



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

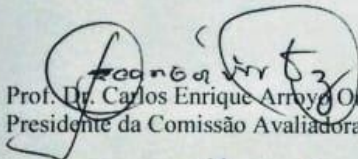
Aos dez dias do mês de junho de 2019, às 10h30min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado “**APLICAÇÃO DE AIR-DECKS NAS OPERAÇÕES DE PERFURAÇÃO E DESMONTE, VISANDO REDUÇÃO DE CUSTOS, EM MINAS DE FERRO**”, pelo aluno **Eduardo Otávio de Sousa Filho**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. Dr. Carlos Henrique Arroyo Ortiz (orientador)**, **Prof. Dr. José Margarida da Silva** e **Engº de Minas Fabiano Veloso Ferreira**.

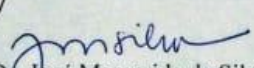
Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela aprovação do candidato, com a nota 8,8, concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

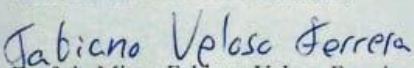
O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após o depósito, no site do Repositório UFOP, da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

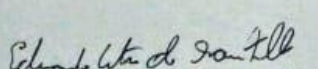
Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

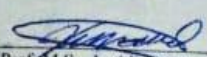
Ouro Preto, 10 de junho de 2019.


Prof. Dr. Carlos Henrique Arroyo Ortiz
Presidente da Comissão Avaliadora e Orientador


Prof. Dr. José Margarida da Silva
Membro da Comissão Avaliadora


Engº de Minas Fabiano Veloso Ferreira
Membro da Comissão Avaliadora


Eduardo Otávio de Sousa Filho


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

Dedico este trabalho aos meus pais Eduardo e Synthia pelo suporte e amor incondicional, além do incessante incentivo à ciência, educação, respeito ao próximo e ética. Às minhas irmãs Laura e Júlia por todo carinho e por serem fonte de minha alegria. À Samara pelo companheirismo, afeto e apoio durante minha trajetória. Ao meu filho Miguel, que durante sua vida busque continuamente o caminho do conhecimento e sucesso juntamente com o respeito à vida.

AGRADECIMENTO

Aos meus pais Eduardo e Synthia por terem me proporcionado todas as condições para essa conquista a qual dedico a vocês.

À Escola de Minas pelo ensino de qualidade proporcionado.

Ao programa Ciência sem Fronteiras, por ter sido fator crucial para meu amadurecimento acadêmico e pessoal.

À CSN Mineração Casa de Pedra por ter sido fonte de conhecimentos e desenvolvimento profissional.

Ao Heuzer Montes, Ronan Cândido, Rafael Paiva e Sandro Aurélio por todo ensinamento, oportunidade e credibilidade para que eu pudesse desenvolver este trabalho e me tornar o profissional que sou hoje.

À toda equipe de perfuração e desmonte da CSN Mineração Casa de Pedra, por apoiar minhas ideias e torna-las práticas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz pelo suporte, confiança e orientação neste trabalho.

Às famílias Miranda e Sousa por todo o carinho e incentivo.

Aos meus amigos de Conselheiro Lafaiete, por estarem sempre presentes em todos os momentos.

À República Tróia por ter sido meu lar durante minha graduação e a todos os seus membros e ex-alunos pela fraternidade, momentos de felicidades e aprendizados compartilhados.

RESUMO

Perfuração e desmonte são operações de grande importância dentre os processos envolvidos em mineração a céu aberto. A busca por otimização desses processos deve ser constante a fim de que essas atividades possam ser feitas de forma mais efetivas e rentáveis para as empresas. A introdução de air-deck é uma técnica que tem sido aplicada em diversas minas, a fim de reduzir custos com explosivos, ejeções e vibrações, além de promover melhor fragmentação e consequentemente maior produtividade de britadores e equipamentos. Este trabalho busca analisar tecnicamente e economicamente a utilização de air-decks nos processos de perfuração e desmonte. São demonstradas formas de se fazer análises econômicas prévias, comparando-se os custos de acessórios e explosivos para a utilização da técnica, desenvolvimento de equações e condicionais para adequar os desvios dos furos de detonação e viabilizar análises, além do uso da metodologia PDCA a fim de que as otimizações aplicadas atinjam uma meta de economia de R\$800.000,00 com explosivos em uma projeção anual.

Palavras-chave: Perfuração, Desmonte, Air-deck, Mineração a céu aberto, Reduções em ejeções e vibrações, Análise econômica da técnica de air-deck, Desvios dos furos de detonação, Metodologia PDCA.

ABSTRACT

Drilling and blasting are important unit processes among the open pit mining operations. Optimization of these operations ought to be constantly performed, in order to make them more effective and economically interesting for the companies. The air-deck technique has been applied in several mine companies, in order to reduce explosives costs, spitting and vibrations, in addition to promote better fragmentation and consequently greater productivity on the crushers and equipment. This paper aims to analyze technically and economically the air-deck performance on drilling and blasting operations. It demonstrates ways to perform pre-economic analyses, comparing the accessories and explosives costs using the technique, development of equations and conditionals to adequate the drillhole deviations and make feasible analysis, in addition of using the PDCA methodology in order that the applied optimizations reach the economic goal of R\$800,000.00 with explosives in an annual projection.

Key words: Drilling, Blasting, Air-deck, Open pit mining, Spitting and vibration reduction, Air-deck economic analysis, drillhole deviations, PDCA methodology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráficos de massa desmontada. (Fonte: Companhia, 2017).....	8
Figura 2: Resumo dos mecanismos de ruptura da rocha (ALONSO, GÓMEZ e HERBERT, 2013).....	10
Figura 3: Parâmetros geométricos de um plano de fogo (SILVA, 2014).....	12
Figura 4: Exemplo de decking utilizando a técnica de air-decking (CHIAPPETTA, 2004)....	14
Figura 5: Desenho esquemático utilizando air-deck. (POWERDECK, 2018).....	15
Figura 6: Ciclo de PDCA utilizado como metodologia.....	16
Figura 7: Desenho esquemático dos carregamentos.....	17
Figura 8: "Gás Bag" (Stemlock Company).	18
Figura 9: Fotografia após desmonte 6L.....	26
Figura 10: Praça de carregamento 7K.	34
Figura 11: Captura de vídeo do desmonte executado na 7K.	35
Figura 12: Registro fotográfico após o desmonte.....	35
Figura 13: Praça de carregamento 11J.....	38
Figura 14: Captura de vídeo do desmonte executado na 11J.	38

LISTA DE

TABELAS

Tabela 1:Exemplo de dados das planilhas de plano de fogo.	19
Tabela 2: Relação de custos de insumos relevantes na referida data.	22
Tabela 3:Planilha de cálculos 6L.....	24
Tabela 4:Análise econômica 6L.	25
Tabela 5: Relação de custos de insumos relevantes na referida data.	27
Tabela 6:Análise econômica 8L.	27
Tabela 7:Planilha de cálculos 8L.....	28
Tabela 8: Relação de custos de insumos relevantes na referida data.	29
Tabela 9:Planilha de cálculos 11J.....	29
Tabela 10:Análise econômica 11J.	30
Tabela 11:Relação de custos de insumos relevantes na referida data.	30
Tabela 12:Planilha de cálculos 6L.....	31
Tabela 13:Análise econômica 6L.	32
Tabela 14:Relação de custos de insumos relevantes na referente data.....	32
Tabela 15:Planilha de cálculos 11J.....	32
Tabela 16:Análise econômica 11J.	33
Tabela 17: Relação de custos de insumos relevantes na referente data.....	33
Tabela 18:Planilha de cálculos 7K.	36
Tabela 19:Análise econômica 7K.....	37
Tabela 20:Relação de custos de insumos relevantes na referente data.....	37
Tabela 21:Análise econômica 11J.	39
Tabela 22:Análise econômica 11J.	39
Tabela 23:Análise cronológica de viabilidade do projeto.	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Objeto de Estudo.....	7
1.2. Problemática	8
1.3. Justificativa	8
1.4. Objetivos.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. Mecanismos de Fragmentação da Rocha.....	9
2.2. Explosivos.....	10
2.3. Propriedades dos explosivos	11
2.4. Parâmetros de design de carregamento com explosivos.....	12
2.5. Air-deck	13
3. METODOLOGIA	15
4. DESENVOLVIMENTO	17
4.1. Projeto Piloto	17
4.2. Interpretação dos dados	19
5. CASO DE ESTUDO	21
5.1. Air-deck 1m: 6L.....	22
5.2. Air-deck 2m: 8L.....	27
5.3. Air-deck Tampão 4m :11J	29
5.4. Air-deck 3m: 6L.....	30
5.5. Air-deck Tampão 4m: 11J	32
5.6. Air-deck 3m: 7K (Testes finais)	33
5.7. Air-deck Tampão 4m: 11J (Testes finais).....	37
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
7. CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXO	43

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objeto de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho refere-se à uma das unidades de uma companhia localizada no quadrilátero ferrífero. Sociedade por ações de capital aberto, foi fundada em 9 de abril de 1941. A Companhia tem sede e foro na Cidade de São Paulo, Estado de São Paulo, e segundo estatuto social, tem por objeto a fabricação, transformação, comercialização, inclusive a importação e a exportação de produtos siderúrgicos e subprodutos derivados da atividade siderúrgica, bem como a exploração de quaisquer outras atividades correlatas e afins, que direta ou indiretamente digam respeito às finalidades da companhia, tais como: indústrias de mineração, de cimento e de carboquímicas, fabricação e montagem de estruturas metálicas, construção, transporte, navegação, atividades portuárias, bem como geração, gestão e comercialização de energia em diferentes formas e modalidades. Ainda, a participação no capital de outras sociedades nacionais ou internacionais constituídas sob qualquer forma societária.

Segundo informações do site da companhia, é a segunda maior exportadora de minério de ferro do Brasil e está entre as cinco mais competitivas no mercado transoceânico. Com reservas certificadas em mais de 3 bilhões de toneladas, a empresa detém diferentes minas, complexo de beneficiamento, participação na ferrovia MRS e terminal cativo para exportação de minério de ferro no Porto de Itaguaí (TECAR).

É a mineração de ferro mais antiga do Brasil. Os ativos de alta qualidade encontram-se no quadrilátero ferrífero. Além disso, possui a mina a qual produz três tipos de calcário, matéria prima na fabricação de aço e clínquer para o cimento.

A unidade em estudo detém 6 bilhões de toneladas em recursos e 3 bilhões de toneladas em reservas segundo o site da instituição.

A empresa possui uma ampla frota de equipamentos de infraestrutura e de operação. O minério é lavrado por escavadeiras hidráulicas, tratores e pá-carregadeiras em conjunto às operações de perfuração de desmonte. O minério é transportado por caminhões Caterpillar com capacidade de 240 toneladas da série 793-B que segue para o beneficiamento na Planta Central (rota úmida) ou nas Plantas Móveis (rota seca) localizadas próximas às áreas de extração.

Os produtos do minério de ferro destinados à exportação são transportados pela empresa MRS, a qual a companhia possui parte das ações, e destinado para o Porto de Itaguaí (TECAR), no Estado do Rio de Janeiro.

1.2. Problemática

A mina em estudo possui diversas litologias, e grande parte delas, apresentam características friáveis. As escavadeiras e pá-carregadeiras normalmente efetuam suas operações em cargas desmontadas, portanto são efetuados desmontes diariamente nos diferentes corpos da unidade.

Segundo dados coletados na empresa, no ano de 2017 foi fragmentado um total de 14.810.426 t de rocha através de desmonte com explosivos em litologias friáveis na referente unidade, representando aproximadamente 37% da massa total. Desse valor desmontado em litologias friáveis, 39% dessa massa foi gerada para pá-carregadeiras e 61% para escavadeiras. Esses dados estão representados na figura 1.

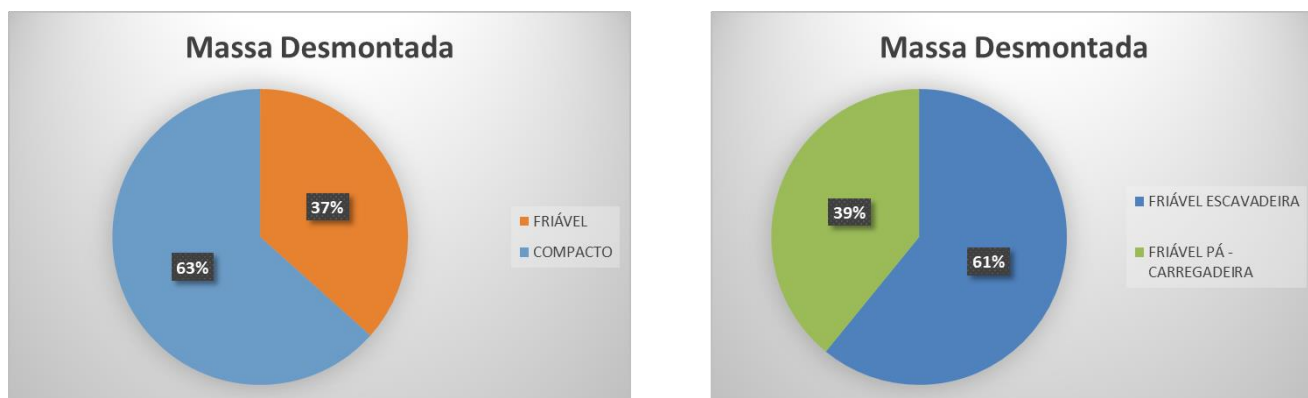


Figura 1: Gráficos de massa desmontada. (Fonte: Companhia, 2017)

De acordo com a mesma fonte de dados, foram gastos 1.899.642 kg de ANFO nestes desmontes em 2017. Neste ano foram gastos R\$17.597.772,00 com as operações de desmonte. Os gastos com desmonte representam 7% do orçamento mensal da gerência responsável por perfuração, desmonte e infraestrutura de mina.

A fim de reduzir os custos com perfuração e desmonte, foi abordado entre as gerências da empresa a necessidade de otimizar o carregamento e malhas de perfuração aplicadas em litologias friáveis para escavadeiras, visto que os desmontes anteriormente praticados foram satisfatórios e poderiam sofrer modificações sem provocar impedimentos operacionais.

1.3. Justificativa

Otimizar a razão de carga através de diferentes técnicas implica em redução de custos, melhorias em produtividade e indicadores das operações de perfuração e desmonte. A introdução da técnica de air-deck nessas operações pode atender a esses quesitos, além de promover a qualificação técnica e profissional das equipes envolvidas.

Toda redução em custos sem que promova aspectos inseguros e improdutivos são interessantes para empresa.

1.4. Objetivos

O principal objetivo desse trabalho é reduzir os gastos com ANFO em uma projeção atrativa proposta pela empresa de R\$800.000,00/ano, sem provocar grandes impactos em fragmentação, vibração e produtividade dos equipamentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Mecanismos de Fragmentação da Rocha

A fragmentação do furo acontece durante a pressão inicial de detonação. Inicialmente segundo (ALONSO, GÓMEZ e HERBERT, 2013) se produz um forte impacto devido a onda de choque, vinculada a Energia de Tensão durante um curto espaço de tempo. Durante o processo de detonação, os explosivos são rapidamente convertidos em um gás de altas temperaturas e pressões. Segundo (INC, 2014) em operações típicas, uma coluna de explosivo de 35 pés é consumida em menos de 2 milissegundos e pode gerar uma pressão no furo de detonação em até 200.000 libras.

Imediatamente, nas redondezas da carga as pressões geradas pela detonação são propagadas pelo maciço rochoso em forma de ondas de tensões. Segundo (INC, 2014) as pressões iniciais dessas ondas de choque são bem maiores que a resistência da rocha, em uma zona de duas a três vezes o diâmetro do furo, o maciço é fragmentado.

As ondas de choque viajam através das rochas adjacentes, formam-se fissuras e os gases da explosão se infiltram nas fissuras para fragmentar a rocha. As ondas formadas comprimem o maciço radialmente. Quando os pulsos formados pelas ondas de tensão interagem com fissuras e poros, o pulso é refletido. As fraturas promovem zonas de alívio das tensões e consequentemente expandindo e formando novas fissuras.

Posteriormente, os gases produzidos movem e fragmentam o maciço rochoso, provocando a ruptura flexural. Segundo (INC, 2014) assim que ocorre esse último processo, as tensões são

aliviadas e posteriores processos de fragmentação ocorrem devido a colisões entre os fragmentos durante o lançamento da carga desmontada.

A energia de detonação se move na direção da linha de menor resistência, ou seja, a face livre. A rocha é lançada da zona de detonação em direção à linha de menor resistência e consequentemente deixando uma zona de detonação desimpedida, através de uma sequência lógica determinada através de temporizações da detonação. A figura 2 ilustra o resumo dos mecanismos de ruptura dos maciços rochosos.

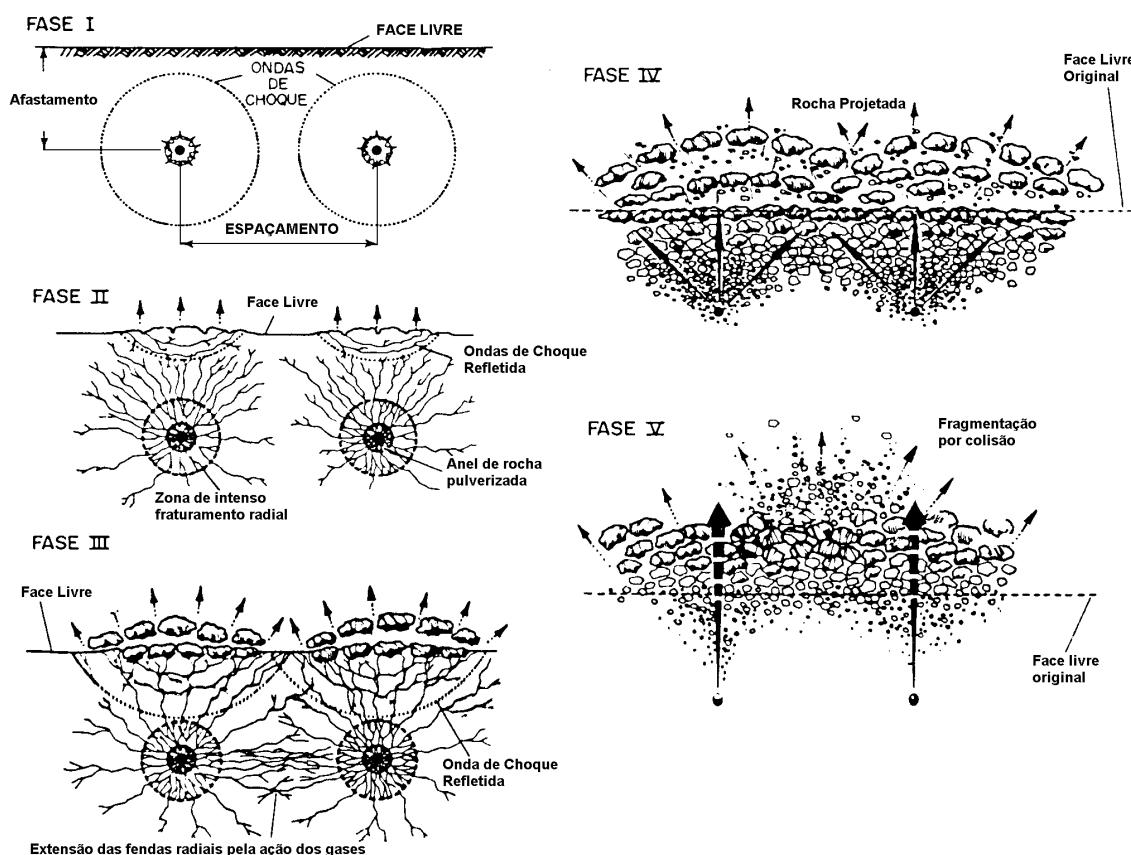


Figura 2: Resumo dos mecanismos de ruptura da rocha (ALONSO, GÓMEZ e HERBERT, 2013).

2.2. Explosivos

Segundo (LLERA, URBINA, et al., 2013) os explosivos industriais são constituídos de uma mistura de combustíveis e comburentes, que devidamente iniciadas, dão lugar a uma reação química cuja característica fundamental é sua rapidez. A reação gerada produz gases de alta pressão e temperatura, que serão as propriedades encarregadas de promover a fragmentação e o movimento do maciço rochoso.

Cada tipo de explosivo possui uma composição específica e definida. Isto supõe que suas características são diferentes e, conseqüentemente, cada explosivo tem uma aplicação diferente em função das necessidades do desmonte. Normalmente, estão vinculados a compostos de nitratos e são comumente aplicados em mineração e em construções civis.

Este trabalho tratará apenas de explosivos industriais e praticados no caso de estudo, sendo eles: ANFO e emulsões.

O explosivo denominado ANFO (Ammonium Nitrate and Fuel Oil) é uma mistura de Nitrato de Amônio Granulado e Óleo Combustível. Possui potência média, baixa densidade (em torno de $0,8 \text{ g/cm}^3$), baixa resistência à água e velocidade de detonação entre 2.000 a 3.000 m/s. Devido a sua consistência granular e sua solubilidade, não resistem à água, porém facilitam seu carregamento mecanizado.

As emulsões são produtos à base de água e óleos, que consistem em sais de nitrato em solução, mais combustíveis e emulsificantes. Segundo (ALONSO, GÓMEZ e HERBERT, 2013) suas principais características são resistência à água e alta velocidade de detonação, entre 4.500 a 5.500 m/s. Sua densidade é próxima de $1,15 \text{ g/cm}^3$.

2.3. Propriedades dos explosivos

Assim como apresentado anteriormente, os explosivos possuem diferentes propriedades. A densidade é a relação entre a massa e o volume dessa massa explosiva definida em g/cm^3 . Segundo (SILVA, 2014), para detonações difíceis, em que uma fina fragmentação é desejada, recomenda-se um explosivo denso.

Na detonação de uma coluna de carga explosiva, ocorrerá a transformação deste em um volume de gases à elevadas temperaturas e pressão. A velocidade em que se produz esta transformação se denomina velocidade de detonação, sendo sua unidade medida em metros por segundo (m/s). De acordo com (SILVA, 2014), a velocidade de detonação de um explosivo (VOD) é o índice mais importante do desempenho do mesmo(...). É um fator determinante na seleção de um explosivo para determinados desmontes de rochas. É optável por explosivos que se detonam lentamente, permitindo que sua energia se desenvolva de forma progressiva, quando são aplicados a rochas brandas, do mesmo modo para rochas mais compactas e quando se pretende fragmentações mais intensas, é recomendável o uso de explosivos dotados de maior velocidade de detonação.

Resistência à água é uma das características mandatórias na seleção de explosivos. Segundo (ALONSO, GÓMEZ e HERBERT, 2013), se entende por resistência à água a característica a qual um explosivo, sem necessidade de tratamentos superficiais, mantém suas propriedades inalteráveis durante um período de tempo em contato com a água. As emulsões resistem perfeitamente quando são carregados em furos de detonação com água, entretanto produtos granulados como o ANFO, não resistem à água pelo seu caráter solúvel.

2.4. Parâmetros de design de carregamento com explosivos

As características das malhas de perfuração são muito importantes e podem representar uma variação muito grande na qualidade do desmonte de rochas. Elas são cruciais para um bom planejamento e uma execução coerente do desmonte de rochas.

Na figura 3, podemos observar algumas variáveis geométricas em um plano de fogo.

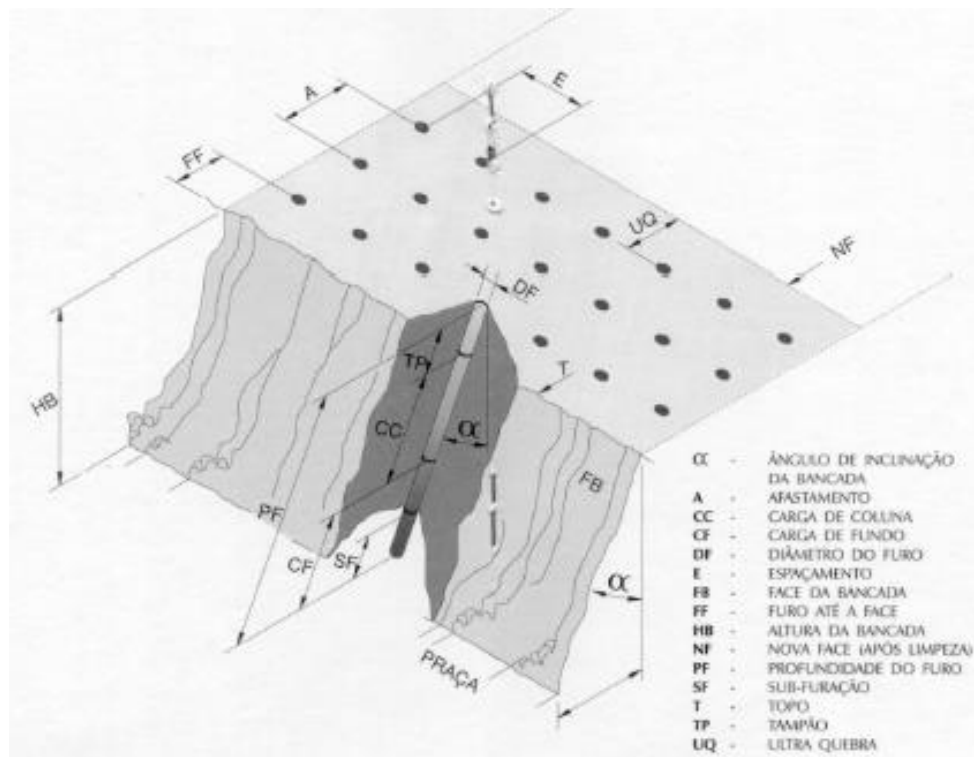


Figura 3: Parâmetros geométricos de um plano de fogo (SILVA, 2014).

O afastamento é definido pela menor distância do furo até sua face livre. É um dos parâmetros críticos em um dimensionamento de malhas de perfuração e desmonte. Um afastamento excessivo pode provocar ultra lançamento dos fragmentos, devido à distância excessiva à face livre. Pode provocar uma fragmentação grosseira, necessitando posteriormente de um desmonte secundário.

O espaçamento é a menor distância entre os furos de uma mesma linha. Assim como o afastamento, a definição do tamanho do espaçamento deve ser devidamente dimensionada. Espaçamentos menores do que o afastamento pode provocar fragmentação grosseira, e espaçamento excessivos são indicados apenas para litologias friáveis.

A subperfuração é o comprimento perfurado abaixo da cota definida à praça do equipamento de lavra. Essa técnica consiste em garantir que o maciço rochoso estará fragmentado como o necessário para que o equipamento de corte ou de carga consiga atingir a cota da praça definida.

O tampão é a coluna de material, responsável pelo confinamento dos gases e energia dos furos de detonação. Essa coluna pode ser carregada por material inerte presente na praça de perfuração ou algum outro material que promova o confinamento desejado.

O diâmetro do furo é definido pelos equipamentos e acessórios utilizados durante o processo de perfuração das malhas de detonação.

2.5. Air-deck

Nas últimas décadas, a técnica de air-deck tem sido aplicada em minas a céu aberto em diversos países. Qualquer técnica que permita reduzir custos de forma inovadora em custos diretos associados ao carregamento com explosivos e eficiência do desmonte devem ser estudadas e avaliadas sua aplicação. Partindo da necessidade de melhores rendimentos nos desmontes com menores consumos de explosivos, a técnica de air-deck apresenta-se com uma solução a ser analisada.

Segundo (CHIAPPETTA, 2004), air-decking é uma técnica que pode ser utilizada para eliminar a subperfuração, diminuir as vibrações no terreno, melhorar a fragmentação e reduzir o consumo de explosivos. Consiste em utilizar uma câmara de ar entre as colunas de carga com explosivo ou localizada abaixo da carga de fundo.

Essa técnica visa em otimizar o aproveitamento das energias e gases liberados pelos explosivos presentes no furo, que tendem a direcionar-se para a zona de menor confinamento. Na figura 4, podemos observar um exemplo de introdução de air-deck abaixo da carga de fundo.

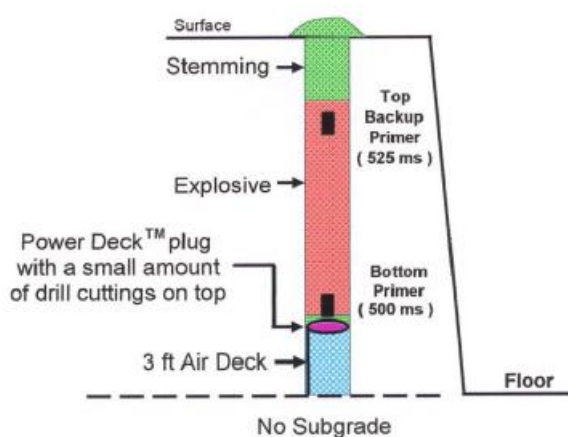


Figura 4: Exemplo de decking utilizando a técnica de air-decking (CHIAPPETTA, 2004).

Observe que na figura 4 é apresentada a técnica com air-deck de 3 pés e sem subperforação. É utilizado um iniciador (primer) acima do plugue desenvolvido pela empresa Power Deck na região da carga explosiva e outro como reforçador abaixo da região do tampão (stemming).

Segundo (CAVADAS, 2012) , quando uma carga é detonada num furo a pressão que é exercida inicialmente excede em larga medida as resistências dinâmicas da rocha. A onda de choque começa a propagar-se pela rocha, fragmentando-a em pequenas dimensões. Na área de influência da carga explosiva, uma grande parte da energia da detonação é desperdiçada.

Ainda de acordo com (CAVADAS, 2012), com a aplicação de air-decks no topo, a meio, ou no fundo da coluna explosiva, múltiplas ondas de pressão são produzidas e permitem a extensão da duração da sua ação, aumentado desta forma a extensão da propagação de fissuras no maciço rochoso.

De acordo com a empresa (POWERDECK, 2018), quando o furo é iniciado o pulso de pressão gerado é direcionado diretamente para a camada de ar ou água acompanhada pela onda gerada pelos gases. A combinação desses causa fraturas horizontais ou efeito de pré-corte, gerando tensões no fundo e propagando-se furo a furo. O padrão de ondas de estresse gerado

irá refletir das fissuras do fundo do furo na forma de tensão, criando tensões suficientes para suprir a necessidade de subperfuração. Podemos observar este comportamento na figura 5.

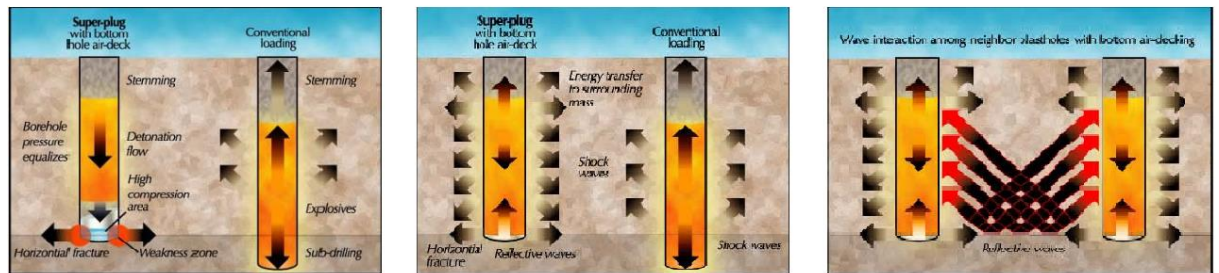


Figura 5: Desenho esquemático utilizando air-deck. (POWERDECK,2018).

Nesse método são utilizados dois iniciadores, promovendo a colisão de energias geradas entre o iniciador mais acima e o outro localizado no fundo do furo, evitando que toda a energia seja projetada na direção do tamponamento do furo e utilizando mais efetivamente o tempo em que a energia é confinada

Experimentos utilizando a técnica demonstrada acima realizados no estado de Nevada nos EUA, de acordo com (FLOYD, 2004), reduziram o consumo de explosivos em 31% em desmontes no estéril sem prejudicar a performance do equipamento de lavra utilizado, no caso, uma escavadeira. Ainda, a redução de metros perfurados obtida devido a não realização da subperfuração e uso de air-deck, resultou em uma otimização de 131 turnos nas operações de perfuração.

3. METODOLOGIA

Para a realização do trabalho, foi utilizado o método de PDCA assim como representado na figura 6.

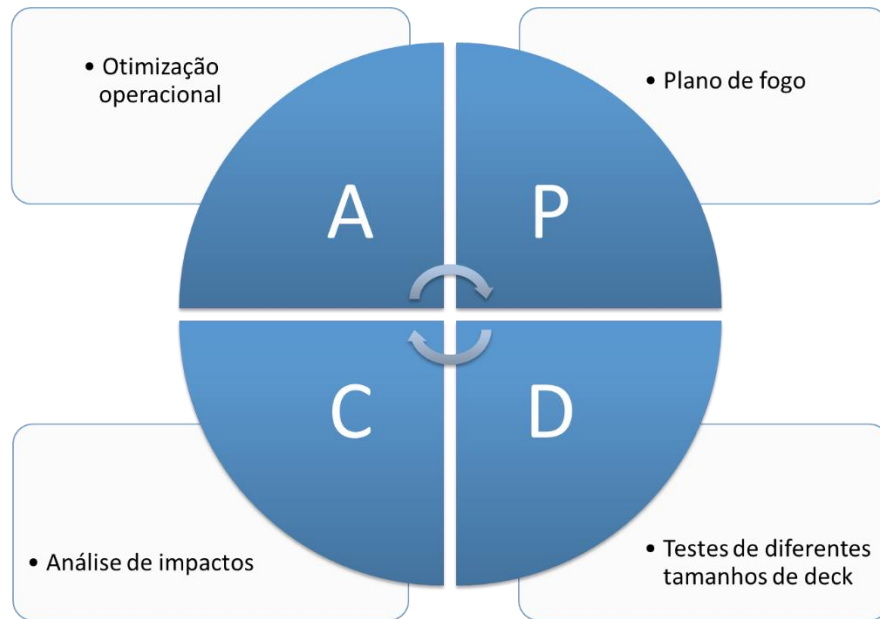


Figura 6:Ciclo de PDCA utilizado como metodologia.

Para obter a aprovação gerencial e operacional para a execução do projeto, foi necessário produzir um projeto piloto, apresentando os aspectos econômicos, produtivos, de meio ambiente e segurança, além de busca de informações com fornecedores dos insumos a serem utilizados e entre as equipes de perfuração e desmonte, pois, qualquer experimento feito envolveria os ativos da empresa, compreendendo, portanto, a maior parte das atividades.

Após a aprovação, foi definido um plano de ação com todas as atividades a serem desenvolvidas e com suas respectivas *deadlines*, a fim de manter o desenvolvimento efetivo e observar a aderência das equipes às atividades determinadas.

Em seguida foram definidas as áreas a serem aplicadas a técnica de acordo com dados da equipe de geologia, em relação às litologias às massas a serem desmontadas de acordo com a equipe de planejamento de lavra.

Definidas as áreas, foram executados os desmontes em suas respectivas datas definidas pela equipe de perfuração e desmonte utilizado diferentes tamanhos de decking.

Os desmontes foram registrados através de vídeos e fotografias. Os insumos gastos foram relatados através dos dados coletados em campo e registrado no plano de fogo. Através desses dados e registros, foi possível analisar os impactos em vibrações, geração de particulados, projeção de fragmentos e os gastos financeiros com explosivos.

Comparando-se os impactos gerados pelo desmonte executado e o que seria pelo método convencional, foram definidas as ações para otimizar as operações para que o projeto seja viável em termos de segurança, meio ambiente e principalmente economicamente.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. Projeto Piloto

Assim como citado anteriormente, previamente foi feito um projeto piloto envolvendo diferentes aspectos. foram definidos três tipos de métodos de carregamentos com explosivos: Convencional, “Air-deck” e “Air-deck Tampão”. Observe-os na figura 7:

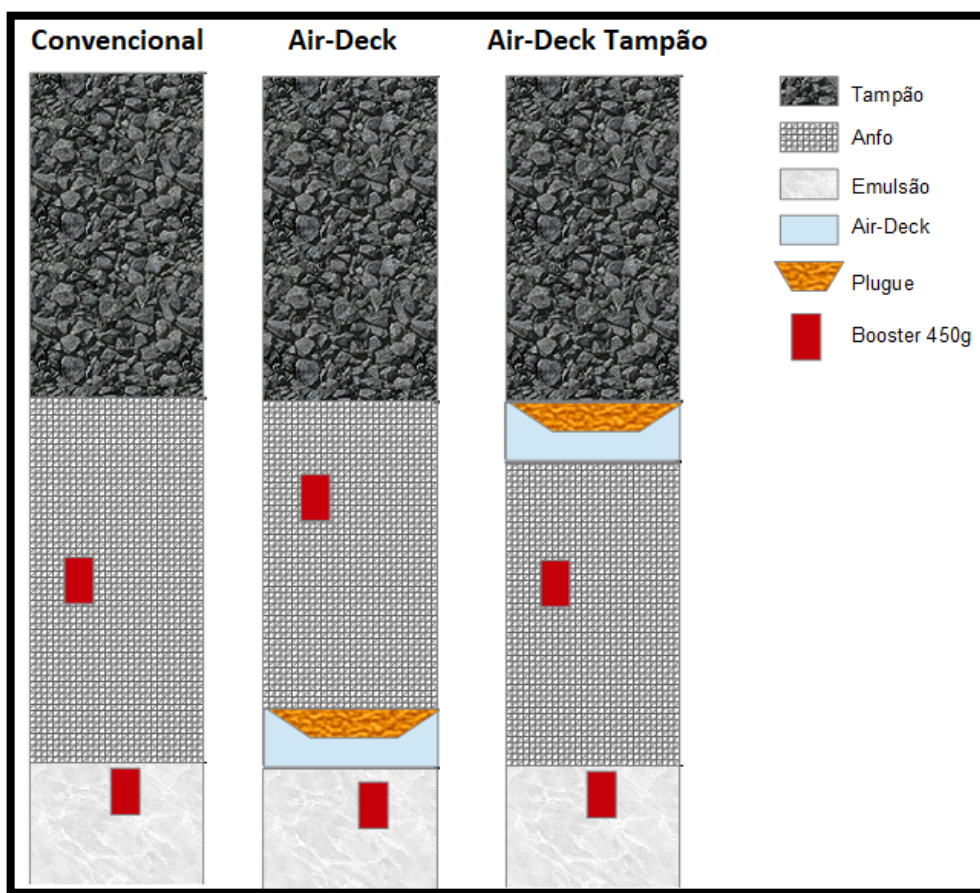


Figura 7: Desenho esquemático dos carregamentos.

Para que o projeto fosse economicamente viável, a massa de explosivos substituída pela camada de ar multiplicado pelo seu valor monetário deveria ser pelo menos maior do que o valor do acessório utilizado. Foi utilizado um acessório denominado “Gás Bag” para produzir o air-deck nos furos de detonação, que pode ser observado na figura 8.



Figura 8: "Gás Bag" (Stemlock Company).

Este acessório, fornecido pela empresa Drillco, consiste de uma bolsa química que possui em seu interior um lacre (inner reactor bag) separando certa quantidade de vinagre e bicarbonato de sódio, que através de um impacto se rompe e inicia a reação da mistura, produzindo gases e expandindo a parede da bolsa até um diâmetro de 8”, 10” e 12”. Tal acessório era utilizado anteriormente pela equipe de desmonte em desmontes esculturais, pré-cortes e amortização de cargas. Portanto, haviam itens em quantidades suficientes nos estoques, favorecendo o desenvolvimento do projeto por promover uma melhoria com ativos já disponíveis. O fornecimento de explosivos e outros acessórios utilizados eram providos da empresa Orica.

Segundo os dados do mês corrente do projeto piloto, o valor de cada unidade da bolsa química era de R\$70,99 e o valor do quilograma de ANFO era de R\$2,35. Com esses dados, pode-se fazer uma análise econômica prévia do projeto através da equação apresentada a seguir.

$$\text{Air Deck (m)} = \frac{\text{Custo Gás bag } \left(\frac{\text{R\$}}{\text{unidade}} \right)}{\text{RLC Anfo } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) * \text{Custo Anfo } \left(\frac{\text{R\$}}{\text{kg}} \right)}$$

A razão linear de carga (RLC) é um parâmetro o qual fornece a massa de explosivos necessária para se elevar a carga explosiva em um metro na coluna de detonação. Pode ser obtida através da seguinte relação:

$$\text{Razão Linear de Carga (kg/m)} = (\Phi^2 * \pi * \rho_{\text{Explosivo}}) / 4000$$

Onde,

$\Phi(\text{mm})$ = Diâmetro do furo;

$\rho_{\text{Explosivo}}$: Densidades fornecidas pela Orica (g/cm³);

Os furos de detonação são feitos pela equipe de perfuração utilizando diferentes tipos de equipamentos de acordo com as determinações da equipe de desmonte e planejamento de lavra. As perfuratrizes utilizadas na unidade utilizam o mecanismo rotopercussivo, que consiste na sintonia entre os processos de percussão, rotação, limpeza e avanço nos furos. Além disso podem utilizar diferentes tipos de acessórios de perfuração como brocas e bits.

Em litologias friáveis, majoritariamente os furos são perfurados utilizando brocas que possuem diâmetro de 9 polegadas (228,6mm).

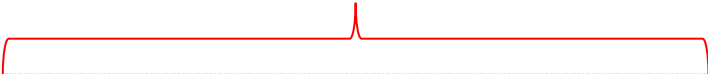
Através da equação anterior, com os valores do acessório e explosivos citados anteriormente e com a densidade do ANFO de 0,85 (g/cm³), aproximadamente 0,87 metros de air-deck seriam suficientes para igualar os custos com acessórios e ANFO. O projeto foi analisado para utilizar tamanhos de air-deck de 1 a 4 metros, portanto haveria uma economia significativa por furo partindo desses dados teóricos.

Entretanto o objetivo desse trabalho é garantir com confiabilidade a economia em explosivos através da técnica utilizada, portanto somente com os dados obtidos após aplicação da técnica e com dados de campo que seria possível fazer uma análise segura.

4.2. Interpretação dos dados

Esse trabalho apresentará a análise de diferentes desmontes em diferentes frentes de lavra. Para que as análises econômicas fossem feitas de forma efetiva através das planilhas geradas com os dados de campo, foi definida a seguinte metodologia de interpretação de dados:

Dados plano de fogo



Mina	Prof. Realizada (m)	Tampão Realizado (m)	Emulsão Bombeada (kg)	Nitrato (ANFO Derramado) (kg)	Profundidade Calculada (m)	Decking Realizado (m)	Diâmetro Teórico (mm)	Razão Linear de Carga Calculada (kg/m)
4	14,40	7,30	150,00	220,00	16,78	-2,38	264,21	46,60
5	14,00	5,30	150,00	130,00	12,20	1,80	228,60	34,89

Tabela 1:Exemplo de dados das planilhas de plano de fogo.

Dados plano de fogo

Dados coletados em campo.

Profundidade Calculada (m)

A “Profundidade Calculada” é um valor obtido através dos dados obtidos em campo. Calculada pelo somatório das alturas que os explosivos ocupam nos furos com suas massas acrescidas da altura do tampão.

$$\text{Profundidade Calculada(m)} = (M_{\text{Emulsão}} (\text{kg}) / \text{RLC}_{\text{Emulsão}} (\text{kg/m})) + (M_{\text{ANFO}} (\text{kg}) / \text{RLC}_{\text{ANFO}} (\text{kg/m})) + \text{Tampão Realizado (m)}$$

$$\text{Onde: } \Phi = 228,6 \text{ mm} = 9''$$

Decking Realizado (m)

A coluna de air-deck aplicada é calculada através da diferença entre a profundidade realizada e a calculada. A “Profundidade Realizada” foi aferida através de uma trena em campo., após a perfuração dos furos e antes da detonação Já a “Profundidade Calculada” foi obtida através de cálculos das massas de explosivos e tampão como apresentado anteriormente. O “Tampão Realizado” é obtido através de uma trena em campo, a medida em que os furos são carregados com explosivos.

As massas e a coluna de air-deck, são definidas previamente através da “Profundidade Realizada”, portanto:

$$\text{Prof. Realizada (m)} = H_{\text{Carga de Coluna}}(\text{m}) + H_{\text{Carga de Fundo}}(\text{m}) + H_{\text{Tampão}}(\text{m}) + \text{Decking Realizado(m)}$$

Através dos dados obtidos após o carregamento, obtemos a “Profundidade Calculada” e o “Decking Realizado”:

$$\text{Decking Realizado (m)} = \text{Prof. Realizada (m)} - \text{Profundidade Calculada (m)}$$

Diâmetro Teórico (mm)

O diâmetro do furo é um dos fatores cruciais para o dimensionamento das cargas de explosivos. O acessório de perfuração utilizado em litologias friáveis na unidade são brocas de 9” (228,5mm).

A razão linear de carga indica o quanto de massa de explosivo é acrescentado a cada metro dentro dos furos de detonação. Portanto, para analisar desvios no diâmetro do furo utilizamos o seguinte condicional:

- Se $H_{\text{Furo}} - (H_{\text{Carga Coluna}} + H_{\text{Tampão}} + H_{\text{Carga de Fundo}}) \geq 0$
 - $\Phi = 228,6 \text{ (mm)}$
- Se $H_{\text{Furo}} - (H_{\text{Carga Coluna}} + H_{\text{Tampão}} + H_{\text{Carga de Fundo}}) \leq 0$
 - $\Phi = \sqrt{\left(\frac{4000}{\pi * [H_{\text{furo}} - H_{\text{Tampão}}]}\right) * \left(\frac{M_{\text{ANFO}}}{\rho_{\text{ANFO}}} * \frac{M_{\text{Emulsão}}}{\rho_{\text{Emulsão}}}\right)} \text{ (mm)}$

Razão Linear de Carga Calculada (kg/m)

Após calculado o diâmetro, podemos calcular a razão linear de carga novamente:

$$\text{RLC (kg/m)} = (\Phi^2 * \pi * \rho_{\text{Explosivo}}) / 4000$$

Onde: Φ = Diâmetro Teórico (mm) $\rho_{\text{Explosivo}}$ fornecidos pela Orica (g/cm³)

Nitrato Calculado (kg)

Após calculada a razão linear de carga, podemos obter o “Nitrato Calculado”. O “Nitrato Calculado” indica o quanto de explosivo seria gasto em um carregamento sem decking.

$$\text{Nitrato Calculado (kg)} = (\text{Prof. Realizada(m)} - H_{\text{Tampão(m)}} - (M_{\text{Emulsão (kg)}} / (\text{RLC}_{\text{CalculadaEmulsão (kg/m)}})) * \text{RLC}_{\text{CalculadaANFO (kg/m)}}$$

5. CASO DE ESTUDO

Foram definidos e realizados diferentes testes com diferentes tipos de carregamento utilizando a técnica de air-deck em distintas frentes de lavra, as quais são denominadas por quadrantes (Exemplo:6L). O trabalho será analisado utilizando uma configuração de perfuração, carregamento e design para uma bancada de 13m e 1m de subperfuração. O diâmetro de perfuração base será o de brocas tricônicas utilizada na mina, de 9” (228,5mm) em malhas estagiadas e triângulo equilátero em litologias friáveis.

Serão comparados três métodos de carregamento: “Convencional”, o qual será o método padrão a ser comparado; “Air-deck”, o qual o acessório é inserido acima da carga de fundo e “Air-deck tampão” o qual o acessório é inserido entre a carga de coluna e o tampão.

Os cálculos dos diferentes carregamentos podem ser feitos utilizando as seguintes formulações:

$$H_{\text{Carga Coluna}}(\text{m}) = H_{\text{Furo}} - (H_{\text{Tampão}} + H_{\text{Carga de Fundo}})$$

$$\text{RLC}(\text{kg/m}) = (\Phi^2 \cdot \pi \cdot \rho_{\text{Explosivo}}) / 4000 \quad \Phi = \text{Diâmetro do furo (mm)}$$

$$H_{\text{Carga de Fundo}}(\text{m}) = M_{\text{Emulsão}} / \text{RLC}_{\text{Emulsão}}(\text{kg/m})$$

$$M_{\text{ANFO}}(\text{kg}) = \text{RLC}_{\text{ANFO}}(\text{kg/m}) \cdot H_{\text{Carga Coluna}}(\text{m})$$

$$M_{\text{Total de Explosivos}}(\text{kg}) = (M_{\text{ANFO}} + M_{\text{Emulsão}}) \cdot N_{\text{furos}}$$

$$N_{\text{furos}} = \text{Área}(\text{m}^2) / A(\text{m}) \cdot E(\text{m})$$

$$M_{\text{Desmontada}}(\text{t}) = A(\text{m}) \cdot E(\text{m}) \cdot N_{\text{furos}} \cdot H_{\text{Bancada}} \cdot \rho_{\text{Litologia}}$$

$$\text{Razão de Carga}(\text{g/t}) = M_{\text{Total de Explosivos}}(\text{kg}) \cdot 10^3 / M_{\text{Desmontada}}(\text{t})$$

5.1. Air-deck 1m: 6L

O primeiro teste foi realizado na área denominada 6L, a qual apresentava litologias friáveis como colúvios e itabiritos brandos goethíticos, utilizando 1m de air-deck. A seguir são apresentados dados, parâmetros e cálculos referentes ao desmonte realizados:

Afastamento (m)	Espaçamento (m)	Diâmetro (mm)	Litologia
6,5	7,6	228,6	CEL/IBG

Código	Denominação	Custo Unitário - Orç.	Custo Unitário - Real
8680322	REAGENTE NITRATO AMONIO FERTILIZ.	R\$ 2,10	R\$ 2,17
8526086	BOLSA QUIMICA INFLAVEL DIAM 9.7/8"	R\$ 70,99	R\$ 0,00

Tabela 2: Relação de custos de insumos relevantes na referida data.

Após perfuradas as áreas, os furos de detonação são aferidos através de uma trena para determinar as suas profundidades.

Em seguida os explosivos são carregados pelos caminhões da empresa Orica, os quais reportam a massa em quilogramas de cada explosivo utilizado nos furos. Além disso, a altura do tampão é aferida após o carregamento de explosivos utilizando-se uma trena.

Durante o carregamento, várias anomalias ocorreram, sendo incompatível uma análise em que o carregamento ocorresse de forma perfeita em termos de razão de carga, diâmetro de perfuração e decking aplicados, assim como os cálculos teóricos previamente utilizados.

Para identificar tais anomalias, foram observados alguns indicadores como por exemplo a profundidade do furo de detonação.

Teoricamente, utilizando-se as formulações apresentadas anteriormente e os dados obtidos no campo após o carregamento com emulsão bombeada, nitrato (ANFO derramado), tampão e o diâmetro do furo conseguiríamos investigar se os dados estão de acordo com os que foram previamente calculados antes do carregamento.

Porém, fazendo-se os cálculos, é notável pela planilha utilizada, a qual será demonstrada posteriormente, que isso não ocorre como o previsto. Observamos que isso pode ter ocorrido por vários fatores. Dentre eles podemos destacar:

- Diâmetro de perfuração.
- Porosidade do maciço rochoso.
- Imprecisões de medidas por aferição em campo.

Dentre os fatores acima citados, podemos destacar o diâmetro de perfuração. Esse pode provocar mudanças em razão linear de carga com explosivos e em consequentemente vários outros parâmetros de carregamento com explosivos. O aumento desse diâmetro pode ter ocorrido pela forma como cada operador perfurou os furos de detonação ou pela presença de cavidades.

Foram realizadas duas análises econômicas: uma para o carregamento executado com decking e outra para um carregamento convencional teórico utilizando os mesmos parâmetros. Para minimizar tais anomalias, durante os cálculos foi utilizado o condicional para o diâmetro de perfuração do carregamento ideal a ser comparado apresentado anteriormente:

- Se $H_{\text{Furo}} - (H_{\text{Carga Coluna}} + H_{\text{Tampão}} + H_{\text{Carga de Fundo}}) \geq 0$
 - $\Phi = 228,6 \text{ (mm)}$

- Se $H_{\text{Furo}} - (H_{\text{Carga Coluna}} + H_{\text{Tampão}} + H_{\text{Carga de Fundo}}) \leq 0$

$$\Phi = \sqrt{\left(\frac{4000}{\pi \cdot [H_{\text{furo}} - H_{\text{Tampão}}]}\right) * \left(\frac{M_{\text{ANFO}}}{\rho_{\text{ANFO}}} * \frac{M_{\text{Emulsão}}}{\rho_{\text{Emulsão}}}\right)} \text{ (mm)}$$

Assim, após a adequação de diâmetro de perfuração, foi possível analisar se o air-deck introduzido nos furos, teoricamente de 1m, foram satisfatórios em sua aplicação, calculando a diferença entre a altura do furo medida em campo menos a altura calculada após as adequações.

A seguir, será apresentada a planilha resumida para os cálculos do desmonte da frente de lavra 6L. A planilha completa encontra-se nos anexos do trabalho.

Mina	Prof. Realizada (m)	Tampão Realizado (m)	Emulsão Bombeada (kg)	Nitrato (ANFO Derramado) (kg)	Profundidade Calculada (m)	Decking Realizado (m)	Diâmetro Teórico (mm)	Razão Linear de Carga Calculada (kg/m)	Nitrato Calculado (kg)
1	14,40	5,80	120,00	200,00	14,08	0,32	228,60	34,89	211,29
2	14,40	5,80	120,00	210,00	14,36	0,04	228,60	34,89	211,29
3	14,20	5,80	120,00	220,00	14,65	-0,45	234,62	36,75	219,96
4	14,70	5,60	120,00	220,00	14,45	0,25	228,60	34,89	228,73
5	13,70	5,20	120,00	220,00	14,05	-0,35	233,24	36,32	219,96
6	14,70	5,40	120,00	240,00	14,82	-0,12	230,09	35,34	239,96
7	15,00	6,00	120,00	220,00	14,85	0,15	228,60	34,89	225,24
8	14,40	5,80	120,00	220,00	14,65	-0,25	231,88	35,89	219,96
9	13,50	5,20	120,00	220,00	14,05	-0,55	236,03	37,19	219,96
10	14,30	5,60	120,00	220,00	14,45	-0,15	230,54	35,48	219,96
11	14,80	5,40	120,00	220,00	14,25	0,55	228,60	34,89	239,20
12	13,00	5,40	120,00	200,00	13,68	-0,68	238,54	37,99	199,96
13	14,30	5,50	120,00	220,00	14,35	-0,05	229,23	35,08	219,96
14	14,50	5,40	120,00	240,00	14,82	-0,32	232,61	36,12	239,96
15	13,80	5,60	120,00	240,00	15,02	-1,22	245,04	40,08	239,96

...

Total	14	7	2.700	6.080	13	1	232	36	7.786
--------------	----	---	-------	--------------	----	---	-----	----	--------------

Tabela 3: Planilha de cálculos 6L.

Note que no campo calculado “Decking Realizado” existem valores negativos, o que seria impossível. Os cálculos foram feitos em função da massa de explosivo carregada, ou seja, tais valores indicam que foram gastos mais explosivos do que o planejado, e que este valor em metros, representa a altura da carga de explosivos a mais que foram carregadas para um diâmetro de 9”, indicando conseqüentemente que houve um aumento no diâmetro do furo.

As análises econômicas foram feitas comparando o carregamento executado e um carregamento convencional utilizando os mesmos parâmetros. Para tanto, utilizando o

condicional anteriormente demonstrado, foi possível calcular a razão linear de carga para os furos que apresentaram anomalias e definir a massa de nitrato (ANFO derramado). Assim podemos calcular os custos com nitrato envolvidos nos carregamentos em estudo utilizando a relação de custos citados:

Descrição	Teórico sem Decking	Executado com Decking de 3m
Quant. Furo (un)	105,00	105,00
Explosivo Gasto (kg)	10.486,32	8.780,00
Razão de Carga(g/t)	150,92	127,28
M. Desmontada Minério (t)	69.482,21	69.482,21
Explosivo Emulsão 5800m/S Granel (kg)	2.700,00	2.700,00
Nitrato de Amônio (ANFO Derramado) (kg)	7.786,32	6.080,00
Gastos com Nitrato de Amônio (R\$)	R\$16.883,64	R\$13.183,70
Bolsas Químicas (un)	N/A	84,00
Economia (ANFO)	N/A	R\$3.699,95
Gastos Gás-Bag	N/A	R\$5.963,16
Variação Por Furo	N/A	-R\$26,94
Variação	N/A	-R\$2.263,21

Tabela 4:Análise econômica 6L.

Economicamente, obtivemos reduções significativas em custos com nitrato, porém um gasto elevado com acessórios.

Além dos parâmetros econômicos, é necessário analisar se o desmonte foi satisfatório em relação a sua fragmentação. A figura 9 apresenta uma fotografia registrada após o desmonte realizado:



Figura 9: Fotografia após desmonte 6L.

Podemos observar que visualmente não há presença de fragmentos em tamanhos excessivos, sendo um índice favorável em uma análise prévia e superficial.

Durante a execução do carregamento, foi possível observar alguns gargalos:

- Introdução do acessório no furo.
- Sincronia entre os operadores dos caminhões de explosivos e os auxiliares de bláster.
- Danificação prematura do acessório.

O acessório “Gás-Bag” proporcionou algumas dificuldades operacionais, como o desenrolar do fitilho, rompimento do lacre de forma ideal e introdução do mesmo na cota determinada no furo em tempo hábil.

Em paralelo a essas atividades, os operadores de caminhão com explosivos dão início a atividade de carregamento dos outros furos. Devido as dificuldades anteriormente citadas e a não predefinição clara do sequenciamento de carregamento dos operadores, a introdução do

acessório se tornou extremamente dificultada. Além disso, alguns acessórios se danificam prematuramente devido às condições climáticas, transporte e manuseio.

Apesar de não satisfatório economicamente e apresentar alguns gargalos em sua execução, baseando-se no relatório de campo o teste não provocou impactos inseguros como ultra lançamentos, vibrações excessivas ou improdutividade para com os equipamentos, o que fomentou a realização de posteriores testes.

5.2. Air-deck 2m: 8L

Foi realizado um teste utilizando 2m de air-deck na área denominada 8L, a qual apresentava litologias friáveis como colúvios e itabiritos brandos silicosos. A seguir são apresentados dados, parâmetros e cálculos referentes ao desmonte.

Afastamento (m)	Espaçamento (m)	Diâmetro (mm)	Litologia
5,0	10,0	228,6	CEL/IBS

Código	Denominação	Custo Unitário - Orç.	Custo Unitário - Real	Unid.
8680322	REAGENTE NITRATO AMONIO FERTILIZ.	R\$ 2,10	R\$ 2,35	kg
8526086	BOLSA QUIMICA INFLAVEL DIAM 9.7/8"	R\$ 70,99	R\$ 0,00	CDA

Tabela 5: Relação de custos de insumos relevantes na referida data.

A análise desse teste seguirá os mesmos procedimentos adotados no primeiro teste, assim como nos posteriores, comparando seus diferentes parâmetros.

A seguir será apresentada a planilha utilizada para os cálculos do desmonte referente:

Descrição	Teórico sem Decking	Executado com Decking de 2m
Quant. Furo (un)	45,00	45,00
Explosivo Gasto (kg)	12.153,37	11.060,00
Razão de Carga (g/t)	156,91	94,94
M. Desmontada Minério (t)	77.455,18	77.455,18
Explosivo Emulsão 5800m/S Granel (kg)	4.800,00	4.800,00
Nitrato de Amônio (ANFO Derramado) (kg)	7.353,37	6.260,00
Gastos com Nitrato de Amônio (R\$)	R\$17.289,64	R\$14.718,85
Bolsas Químicas (un)	N/A	40,00
Economia (ANFO)	N/A	R\$2.570,79
Gastos Gás-Bag	N/A	R\$2.839,60
Por Furo	N/A	-R\$6,72
Variação	N/A	-R\$268,81

Tabela 6: Análise econômica 8L.

Mina	Prof. Realizada (m)	Tampão Realizado (m)	Emulsão Bombeada (kg)	Nitrato (ANFO Derramado) (kg)	Profundidade Calculada (m)	Decking Realizado (m)	Diâmetro Teórico (mm)	Razão Linear de Carga Calculada (kg/m)	Nitrato Calculado (kg)
4	14,40	7,30	150,00	220,00	16,78	-2,38	264,21	46,60	219,94
5	14,00	5,30	150,00	130,00	12,20	1,80	228,60	34,89	192,59
6	13,60	5,40	150,00	180,00	13,74	-0,14	230,51	35,47	179,94
7	14,10	6,50	150,00	200,00	15,41	-1,31	247,53	40,90	199,94
8	10,70	4,30	150,00	180,00	12,64	-1,94	260,92	45,45	179,94
9	10,70	4,50	100,00	160,00	11,20	-0,50	237,73	37,73	159,96
10	11,60	4,40	100,00	180,00	11,68	-0,08	229,84	35,27	179,96
11	11,50	4,50	100,00	150,00	10,92	0,58	228,60	34,89	170,26
12	11,80	4,50	100,00	170,00	11,49	0,31	228,60	34,89	180,72
13	12,50	5,50	100,00	180,00	12,78	-0,28	233,10	36,27	179,96
14	14,30	7,00	100,00	120,00	12,56	1,74	228,60	34,89	180,72
15	14,50	7,20	150,00	220,00	16,68	-2,18	260,56	45,32	219,94
16	14,50	5,30	150,00	50,00	9,91	4,59	228,60	34,89	210,03
17	12,70	5,80	150,00	80,00	11,27	1,43	228,60	34,89	129,79
18	14,10	5,70	150,00	230,00	15,47	-1,37	246,55	40,58	229,94
19	15,70	7,00	150,00	160,00	14,76	0,94	228,60	34,89	192,59
20	13,70	5,00	150,00	150,00	12,48	1,22	228,60	34,89	192,59
21	14,00	5,50	150,00	150,00	12,98	1,02	228,60	34,89	185,61
22	13,70	5,00	100,00	80,00	9,41	4,29	228,60	34,89	229,56
23	14,20	7,50	150,00	220,00	16,98	-2,78	271,98	49,38	219,94
24	14,20	6,40	150,00	220,00	15,88	-1,68	252,07	42,42	219,94
25	13,00	7,80	100,00	100,00	12,79	0,21	228,60	34,89	107,46
26	14,00	7,00	100,00	200,00	14,85	-0,85	242,10	39,13	199,96
27	14,00	7,00	100,00	100,00	11,99	2,01	228,60	34,89	170,26
28	14,30	6,80	150,00	170,00	14,85	-0,55	236,85	37,45	169,94
29	13,40	6,60	100,00	170,00	13,59	-0,19	231,80	35,87	169,96
30	15,30	6,70	150,00	150,00	14,18	1,12	228,60	34,89	189,10
31	16,00	6,00	150,00	100,00	12,04	3,96	228,60	34,89	237,94
32	14,30	6,00	150,00	180,00	14,34	-0,04	229,12	35,04	179,94
33	12,60	5,00	100,00	180,00	12,28	0,32	228,60	34,89	191,19
34	13,40	5,80	100,00	240,00	14,80	-1,40	248,74	41,30	239,96
35	14,40	7,00	150,00	130,00	13,90	0,50	228,60	34,89	147,24
36	14,20	11,50	0,00	100,00	14,37	-0,17	235,54	37,04	100,00
37	14,00	11,00	0,00	100,00	13,87	0,13	228,60	34,89	104,66
38	14,00	6,80	150,00	180,00	15,14	-1,14	246,00	40,40	179,94
39	14,10	7,00	100,00	180,00	14,28	-0,18	231,45	35,76	179,96
40	13,40	6,50	100,00	180,00	13,78	-0,38	234,78	36,80	179,96
41	14,30	7,00	150,00	160,00	14,76	-0,46	235,76	37,11	159,94
42	14,40	6,50	150,00	80,00	11,97	2,43	228,60	34,89	164,68
43	16,80	7,30	150,00	200,00	16,21	0,59	228,60	34,89	220,50
44	13,70	7,00	100,00	180,00	14,28	-0,58	238,26	37,90	179,96
45	14,60	7,50	150,00	180,00	15,84	-1,24	247,72	40,97	179,94
46	14,00	6,00	100,00	100,00	10,99	3,01	228,60	34,89	205,14
47	13,40	6,00	100,00	150,00	12,42	0,98	228,60	34,89	184,21
48	14,00	6,00	150,00	230,00	15,77	-1,77	252,64	42,61	229,94
Total	13,83	6,47	4.800,00	6.260,00	13,49	0,34	235,36	37,05	7.353,37

Tabela 7: Planilha de cálculos 8L.

Note que diferentemente do primeiro teste realizado, apenas 40 furos foram carregados com bolsa química. Foram analisados 45 furos, pois estes compunham as 5 primeiras linhas as quais foram utilizadas a técnica de air-decking, porém não foi possível identificar e diferenciá-los através do croqui e planilha de plano de fogo.

Podemos observar que mesmo reduzindo consideravelmente os gastos com nitrato, o valor gasto com o acessório ainda supera a economia feita com explosivos. Analisando a planilha, é notável que os desvios ainda continuam presentes.

Durante o carregamento, houve melhoras em relação aos gargalos apresentados no teste anterior, entretanto a sincronia entre a introdução dos acessórios e o carregamento não foi satisfatória principalmente devido ao prazo de entrega da praça carregada, causando novamente desvios. Não houveram impedimentos operacionais dos equipamentos de carga relatado em campo.

5.3. Air-deck Tampão 4m :11J

Foi realizado um teste utilizando 4m de air-deck entre a carga de coluna e o tampão, na área denominada 11J, a qual apresentava litologias friáveis, basicamente itabiritos brandos silicosos, e a qual historicamente apresentava desmontes satisfatórios utilizando razão de carga reduzida. A seguir serão apresentados os dados, cálculos e parâmetros do desmonte realizado.

Afastamento (m)	Espaçamento (m)	Diâmetro (mm)	Litologia
4,5	9,0	228,6	IBS

Código	Denominação	Custo Unitário - Orç.	Custo Unitário - Real	Unid.
8680322	REAGENTE NITRATO AMONIO FERTILIZ.	R\$ 2,10	R\$ 2,35	kg
8526086	BOLSA QUIMICA INFLAVEL DIAM 9.7/8"	R\$ 70,99	R\$ 0,00	CDA

Tabela 8: Relação de custos de insumos relevantes na referida data.

Mina	Prof. Realizada (m)	Tampão Realizado (m)	Emulsão Bombeada (kg)	Nitrato (ANFO Derramado) (kg)	Profundidade Calculada(m)	Decking Realizado (m)	Diâmetro Teórico (mm)	Razão Linear de Carga Calculada (kg/m)	Nitrato Calculado (kg)
21	14,40	8,00	0,00	75,00	10,15	4,25	228,60	34,89	223,28
22	14,00	8,00	0,00	75,00	10,15	3,85	228,60	34,89	209,32
23	14,40	8,00	0,00	75,00	10,15	4,25	228,60	34,89	223,28
24	14,30	8,00	0,00	75,00	10,15	4,15	228,60	34,89	219,79
25	14,10	8,00	0,00	75,00	10,15	3,95	228,60	34,89	212,81
26	13,70	8,00	0,00	75,00	10,15	3,55	228,60	34,89	198,85
27	14,20	8,00	0,00	75,00	10,15	4,05	228,60	34,89	216,30
32	14,40	12,50	0,00	50,00	13,93	0,47	228,60	34,89	66,28
33	13,30	8,00	0,00	75,00	10,15	3,15	228,60	34,89	184,90
34	14,00	8,00	0,00	75,00	10,15	3,85	228,60	34,89	209,32
35	14,10	8,00	0,00	75,00	10,15	3,95	228,60	34,89	212,81
Total	14	8	0	800	10	4	229	35	2.177

Tabela 9:Planilha de cálculos 11J.

Podemos analisar pela planilha que os resultados foram bem satisfatórios em termos de redução de carga de nitrato (ANFO derramado). A seguir serão apresentados cálculos de gastos com explosivos e acessórios.

Descrição	Teórico sem Decking	Executado com Decking de 4m
Quant. Furo (un)	11,00	11,00
Explosivo Gasto (kg)	2.176,94	800,00
Razão de Carga (g/t)	126,69	46,56
M. Desmontada Minério (t)	17.183,37	17.183,37
Explosivo Emulsão 5800m/S Granel (kg)	0,00	0,00
Nitrato de Amônio (ANFO Derramado) (kg)	2.176,94	800,00
Gastos com Nitrato de Amônio (R\$)	R\$5.118,53	R\$1.881,00
Bolsas Químicas (un)	N/A	11,00
Economia (ANFO)	N/A	R\$3.237,53
Gastos Gás-Bag	N/A	R\$780,89
Por Furo	N/A	R\$223,33
Varição	N/A	R\$2.456,64

Tabela 10:Análise econômica 11J.

Houve uma economia de gastos com explosivos de R\$3.237,53 e despesas de apenas R\$780,89 o que resultou em uma redução de R\$2.456,64. Entretanto, a técnica foi utilizada em apenas alguns furos, necessitando de testes posteriores para serem mais representativos.

5.4. Air-deck 3m: 6L

Foi realizado um teste com 3m de air-deck na denominada área 6L, a qual apresentava litologias friáveis como itabiritos brandos silicosos e itabiritos brandos ricos. A seguir serão apresentados os cálculos, dados e parâmetros do desmonte:

Afastamento (m)	Espaçamento (m)	Diâmetro (mm)	Litologia
5,0	10,0	228,6	IBS/IBR

Código	Denominação	Custo Unitário - Orç.	Custo Unitário - Real	Unid.
8680322	REAGENTE NITRATO AMONIO FERTILIZ.	R\$ 2,10	R\$ 2,35	kg
8526086	BOLSA QUIMICA INFLAVEL DIAM 9.7/8"	R\$ 70,99	R\$ 0,00	CDA

Tabela 11:Relação de custos de insumos relevantes na referida data.

Mina	Prof. Realizada (m)	Tampão Realizado (m)	Emulsão Bombeada (kg)	Nitrato (ANFO Derramado) (kg)	Profundidade Calculada(m)	Decking Realizado (m)	Diâmetro Teórico (mm)	Razão Linear de Carga Calculada (kg)	Nitrato Calculado (kg)
1	15,60	5,00	100,00	100,00	9,99	5,61	228,60	34,89	295,85
2	14,50	5,00	100,00	200,00	12,85	1,65	228,60	34,89	257,47
3	12,70	4,80	100,00	100,00	9,79	2,91	228,60	34,89	201,66
4	15,20	5,40	100,00	100,00	10,39	4,81	228,60	34,89	267,94
5	16,30	6,00	150,00	220,00	15,48	0,82	228,60	34,89	248,41
6	15,80	6,00	150,00	250,00	16,34	-0,54	234,86	36,82	249,94
7	16,00	5,50	100,00	250,00	14,78	1,22	228,60	34,89	292,36
8	15,60	6,00	100,00	150,00	12,42	3,18	228,60	34,89	260,96
9	16,00	6,00	100,00	150,00	12,42	3,58	228,60	34,89	274,92
10	16,40	6,20	100,00	150,00	12,62	3,78	228,60	34,89	281,89
11	16,20	6,00	100,00	200,00	13,85	2,35	228,60	34,89	281,89
12	14,70	5,00	150,00	100,00	11,04	3,66	228,60	34,89	227,48
13	15,20	6,00	150,00	200,00	14,91	0,29	228,60	34,89	210,03
14	15,40	6,00	150,00	220,00	15,48	-0,08	229,62	35,20	219,94
15	16,40	6,00	150,00	150,00	13,48	2,92	228,60	34,89	251,90
16	16,60	6,00	150,00	150,00	13,48	3,12	228,60	34,89	258,87
17	16,00	6,00	150,00	150,00	13,48	2,52	228,60	34,89	237,94
18	15,80	6,00	150,00	100,00	12,04	3,76	228,60	34,89	230,96
19	17,80	6,50	150,00	240,00	16,56	1,24	228,60	34,89	283,30
20	17,00	6,30	150,00	100,00	12,34	4,66	228,60	34,89	262,36
21	16,10	6,00	150,00	220,00	15,48	0,62	228,60	34,89	241,43
22	15,60	6,00	150,00	220,00	15,48	0,12	228,60	34,89	223,99
23	14,70	5,00	150,00	200,00	13,91	0,79	228,60	34,89	227,48
24	14,80	5,00	150,00	220,00	14,48	0,32	228,60	34,89	230,96
25	16,50	6,50	150,00	70,00	11,68	4,82	228,60	34,89	237,94
26	15,00	6,00	150,00	150,00	13,48	1,52	228,60	34,89	203,06
27	15,80	5,00	150,00	150,00	12,48	3,32	228,60	34,89	265,85
28	15,80	5,00	150,00	150,00	12,48	3,32	228,60	34,89	265,85
29	14,00	4,00	150,00	100,00	10,04	3,96	228,60	34,89	237,94
30	16,50	5,50	150,00	250,00	15,84	0,66	228,60	34,89	272,83
31	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	228,60	34,89	0,00
32	16,40	6,00	150,00	240,00	16,06	0,34	228,60	34,89	251,90
33	14,60	5,00	150,00	220,00	14,48	0,12	228,60	34,89	223,99
34	15,00	6,00	100,00	220,00	14,42	0,58	228,60	34,89	240,03
35	15,50	6,20	100,00	240,00	15,20	0,30	228,60	34,89	250,50
36	16,20	6,50	100,00	250,00	15,78	0,42	228,60	34,89	264,45
37	16,70	6,50	100,00	250,00	15,78	0,92	228,60	34,89	281,89
38	16,80	6,80	200,00	150,00	15,34	1,46	228,60	34,89	200,97
39	16,70	6,60	150,00	240,00	16,66	0,04	228,60	34,89	241,43
40	15,40	6,00	150,00	60,00	10,90	4,50	228,60	34,89	217,01
Total	15	6	5.250	6.880	13	2	229	35	9.676

Tabela 12:Planilha de cálculos 6L.

Descrição	Teórico sem Decking	Executado com Decking de 3m
Quant. Furo (un)	40,00	40,00
Explosivo Gasto (kg)	14.925,59	12.130,00
Razão de Carga(g/t)	79,08	143,32
M. Desmontada Minério (t)	188.738,28	188.738,28
Explosivo Emulsão 5800m/S Granel (kg)	5.250,00	5.250,00
Nitrato de Amônio (ANFO Derramado) (kg)	9.675,59	6.880,00
Gastos com Nitrato de Amônio (R\$)	R\$22.749,78	R\$16.176,63
Bolsas Químicas (un)	N/A	40,00
Economia (ANFO)	N/A	R\$6.573,15
Gastos Gás-Bag	N/A	R\$2.839,60
Por Furo	N/A	R\$93,34
Variação	N/A	R\$3.733,55

Tabela 13:Análise econômica 6L.

Houve uma redução significativa de R\$6.573,15 nos gastos com nitrato (ANFO derramado). Os gastos com acessórios foram no valor de R\$2.839,60 e inferiores aos valores reduzidos em nitrato, obtendo-se uma economia de R\$3.733,55 no desmante.

5.5. Air-deck Tampão 4m: 11J

Foi realizado o segundo desmante com air-deck de 4m entre a carga de coluna e o tampão na denominada área 11J, a qual apresentava litologias friáveis como itabiritos brandos silicosos. A seguir serão apresentados os cálculos, dados e parâmetros desse desmante.

Afastamento (m)	Espaçamento (m)	Diâmetro (mm)	Litologia
4,5	9,0	228,6	IBS

Código	Denominação	Custo Unitário – Orç.	Custo Unitário – Real	Unid.
8680322	REAGENTE NITRATO AMONIO FERTILIZ.	R\$ 2,10	R\$ 2,35	kg
8526086	BOLSA QUIMICA INFLAVEL DIAM 9.7/8"	R\$ 70,99	R\$ 0,00	CDA

Tabela 14:Relação de custos de insumos relevantes na referente data.

Mina	Prof. Realizada (m)	Tampão Realizado (m)	Emulsão Bombeada (kg)	Nitrato (ANFO Derramado (kg))	Profundidade Calculada(m)	Decking Realizado (m)	Diâmetro Teórico (mm)	Razão Linear de Carga Calculada (kg/m)	Nitrato Calculado (kg)
19	9,80	1,70	0,00	160,00	6,29	3,51	228,60	34,89	282,58
20	9,80	1,10	0,00	160,00	5,69	4,11	228,60	34,89	303,52
21	10,50	1,50	0,00	160,00	6,09	4,41	228,60	34,89	313,98
22	10,50	2,30	0,00	160,00	6,89	3,61	228,60	34,89	286,07
23	11,00	2,10	0,00	160,00	6,69	4,31	228,60	34,89	310,49
24	10,00	1,10	0,00	160,00	5,69	4,31	228,60	34,89	310,49
25	10,50	2,00	0,00	160,00	6,59	3,91	228,60	34,89	296,54
26	10,50	2,50	0,00	160,00	7,09	3,41	228,60	34,89	279,09
27	10,30	1,90	0,00	160,00	6,49	3,81	228,60	34,89	293,05
28	10,60	2,30	0,00	160,00	6,89	3,71	228,60	34,89	289,56
Total	10	2	0	1.600	6	4	229	35	2.965

Tabela 15:Planilha de cálculos 11J.

Descrição	Teórico sem Decking	Executado com Decking de 4m
Quant. Furo (un)	10,00	10,00
Explosivo Gasto (kg)	2.965,38	1.600,00
Razão de Carga (g/t)	262,26	141,50
M. Desmontada Minério (t)	11.307,04	11.307,04
Explosivo Emulsão 5800m/S Granel (kg)	0,00	0,00
Nitrato de Amônio (ANFO Derramado) (kg)	2.965,38	1.600,00
Gastos com Nitrato de Amônio (R\$)	R\$6.972,36	R\$3.762,01
Bolsas Químicas (un)	N/A	10,00
Economia (ANFO)	N/A	R\$3.210,35
Gastos Gás-Bag	N/A	R\$709,90
Por Furo	N/A	R\$250,05
Variação	N/A	R\$2.500,45

Tabela 16: Análise econômica 11J.

Houve uma redução significativa de R\$3.210,35 nos gastos com nitrato (ANFO derramado). Os gastos com acessórios foram baixos, no valor de R\$709,90 e bem inferior aos valores reduzidos em nitrato, resultando em uma economia de R\$2.500,45 no desmante realizado.

5.6. Air-deck 3m: 7K (Testes finais)

Foram definidos dois desmontes finais para concluir os ensaios do projeto, a fim de comparar as duas técnicas, air-deck acima da carga de fundo e air-deck acima da carga de coluna, após o aperfeiçoamento dos procedimentos em campo, coletas de dados e análises através dos ciclos de PDCA.

Foi realizado um desmante com 3m de air-deck na denominada área 7K, a qual apresentava litologias friáveis como itabiritos brandos silicosos. A seguir serão apresentados os dados, cálculos e parâmetros do desmante.

Afastamento (m)	Espaçamento (m)	Diâmetro (mm)	Litologia
6,6	7,6	228,6	IBS

Código	Denominação	Custo Unitário – Orç.	Custo Unitário – Real	Unid.
8680322	REAGENTE NITRATO AMONIO FERTILIZ.	R\$ 2,10	R\$ 2,35	kg
8526086	BOLSA QUIMICA INFLAVEL DIAM 9.7/8"	R\$ 70,99	R\$ 0,00	CDA

Tabela 17: Relação de custos de insumos relevantes na referente data.

Observe nas figuras 10, 11 e 12 a seguir que visualmente o desmante foi satisfatório visualmente em termos de fragmentação, entretanto, observando pela captura de vídeo houve ejeções de tampão principalmente na região em que foi utilizada a técnica de air-decking.

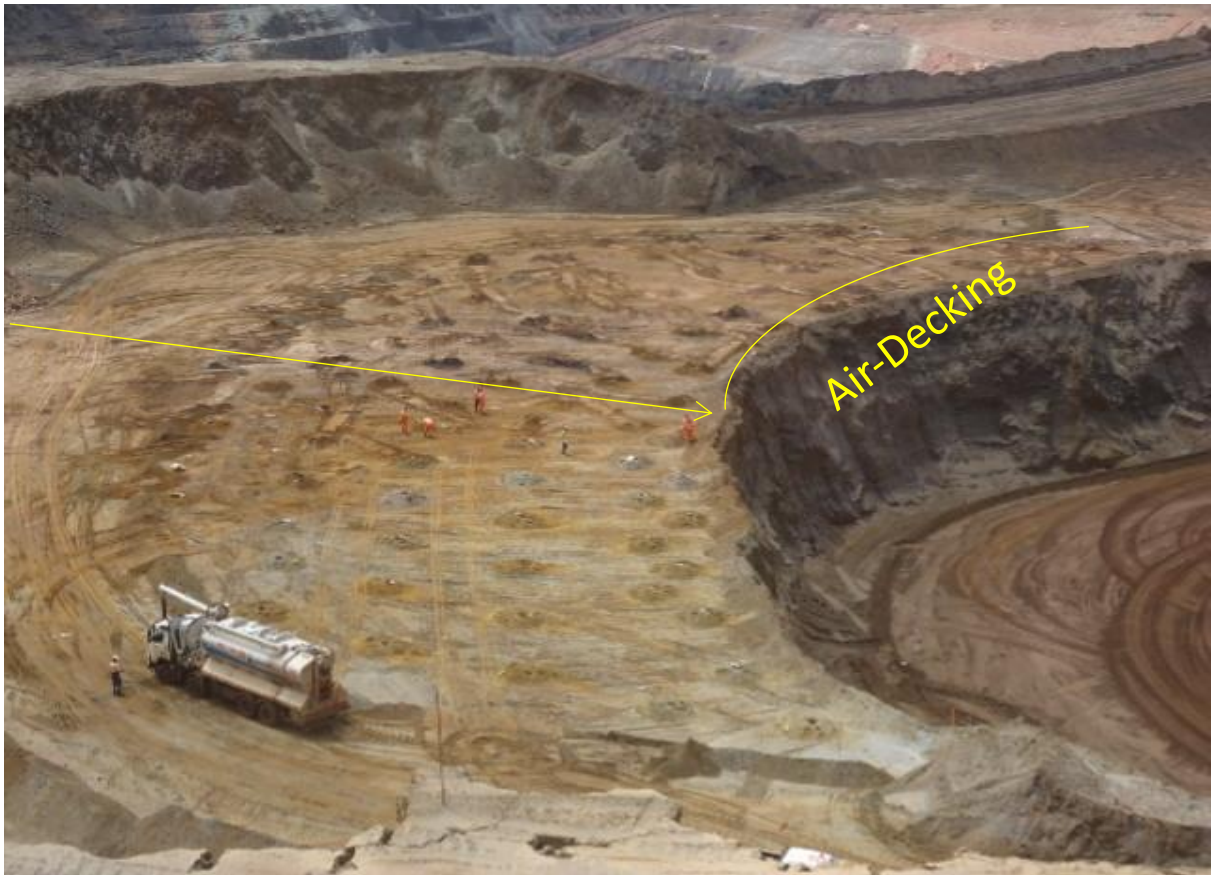


Figura 10: Praça de carregamento 7K.



Figura 11: Captura de vídeo do desmonte executado na 7K.



Figura 12: Registro fotográfico após o desmonte.

A seguir serão apresentadas as análises econômicas.

Mina	Prof. Realizada (m)	Tampão Realizado (m)	Emulsão Bombeada (kg)	Nitrato (ANFO Derramado) (kg)	Profundidade Calculada(m)	Decking Realizado (m)	Diâmetro Teórico (mm)	Razão Linear de Carga Calculada (kg/m)	Nitrato Calculado (kg)
1	14,80	7,10	140,00	100,00	12,93	1,87	228,60	34,89	165,10
3	15,40	5,70	140,00	185,00	13,97	1,43	228,60	34,89	234,87
4	15,60	6,00	140,00	185,00	14,27	1,33	228,60	34,89	231,38
5	12,80	4,00	140,00	80,00	9,26	3,54	228,60	34,89	203,47
6	15,20	5,00	140,00	100,00	10,83	4,37	228,60	34,89	252,31
7	14,80	6,00	140,00	185,00	14,27	0,53	228,60	34,89	203,47
9	15,20	5,90	140,00	185,00	14,17	1,03	228,60	34,89	220,92
10	14,80	5,80	140,00	185,00	14,07	0,73	228,60	34,89	210,45
11	15,80	6,40	140,00	150,00	13,67	2,13	228,60	34,89	224,41
12	15,70	7,00	140,00	185,00	15,27	0,43	228,60	34,89	199,98
13	15,70	6,20	140,00	185,00	14,47	1,23	228,60	34,89	227,89
14	14,60	5,50	140,00	185,00	13,77	0,83	228,60	34,89	213,94
15	15,40	6,00	140,00	185,00	14,27	1,13	228,60	34,89	224,41
16	15,00	6,00	140,00	185,00	14,27	0,73	228,60	34,89	210,45
17	15,60	6,00	140,00	185,00	14,27	1,33	228,60	34,89	231,38
18	15,40	6,00	140,00	185,00	14,27	1,13	228,60	34,89	224,41
19	15,40	6,00	140,00	120,00	12,41	2,99	228,60	34,89	224,41
26	15,70	6,00	140,00	185,00	14,27	1,43	228,60	34,89	234,87
32	15,70	6,20	140,00	155,00	13,61	2,09	228,60	34,89	227,89
33	14,70	6,00	140,00	155,00	13,41	1,29	228,60	34,89	199,98
34	15,80	6,20	140,00	155,00	13,61	2,19	228,60	34,89	231,38
35	15,30	6,20	140,00	150,00	13,47	1,83	228,60	34,89	213,94
36	15,30	6,00	140,00	180,00	14,13	1,17	228,60	34,89	220,92
37	15,20	6,00	140,00	155,00	13,41	1,79	228,60	34,89	217,43
38	15,40	5,50	140,00	185,00	13,77	1,63	228,60	34,89	241,85
40	15,80	5,00	140,00	150,00	12,27	3,53	228,60	34,89	273,25
41	15,60	6,00	140,00	155,00	13,41	2,19	228,60	34,89	231,38
48	14,10	5,50	130,00	185,00	13,56	0,54	228,60	34,89	203,89
49	15,60	5,50	130,00	155,00	12,70	2,90	228,60	34,89	256,22
50	15,60	3,50	130,00	155,00	10,70	4,90	228,60	34,89	325,99
51	15,60	6,00	130,00	155,00	13,20	2,40	228,60	34,89	238,78
53	15,50	6,00	130,00	180,00	13,91	1,59	228,60	34,89	235,29
54	15,40	6,00	130,00	180,00	13,91	1,49	228,60	34,89	231,80
55	16,00	6,50	130,00	180,00	14,41	1,59	228,60	34,89	235,29
56	15,00	6,40	130,00	180,00	14,31	0,69	228,60	34,89	203,89
63	13,90	5,30	140,00	180,00	13,43	0,47	228,60	34,89	196,50
64	15,00	6,00	140,00	150,00	13,27	1,73	228,60	34,89	210,45
65	14,40	5,50	140,00	180,00	13,63	0,77	228,60	34,89	206,96
66	15,00	6,00	140,00	100,00	11,83	3,17	228,60	34,89	210,45
67	15,00	6,00	140,00	180,00	14,13	0,87	228,60	34,89	210,45
68	15,70	6,00	140,00	150,00	13,27	2,43	228,60	34,89	234,87
69	15,30	6,00	140,00	150,00	13,27	2,03	228,60	34,89	220,92
70	16,10	5,00	140,00	150,00	12,27	3,83	228,60	34,89	283,71
77	15,10	6,20	140,00	150,00	13,47	1,63	228,60	34,89	206,96
78	15,70	6,40	140,00	180,00	14,53	1,17	228,60	34,89	220,92
80	16,00	6,60	140,00	180,00	14,73	1,27	228,60	34,89	224,41
81	15,00	6,50	140,00	180,00	14,63	0,37	228,60	34,89	193,01
82	11,70	4,50	0,00	180,00	9,66	2,04	228,60	34,89	251,19
Total	15	6	3.280	4.125	13	2	229	35	5.766

Tabela 18:Planilha de cálculos 7K.

Descrição	Teórico sem Decking	Executado com Decking de 3m
Quant. Furo(un)	48,00	48,00
Explosivo Gasto(kg)	9.045,85	7.405,00
Razão de Carga(g/t)	174,74	143,04
M. Desmontada Minério(t)	51.768,46	51.768,46
Explosivo Emulsão 5800m/S Granel(kg)	3.280,00	3.280,00
Nitrato de Amônio (ANFO Derramado) (kg)	5.765,85	4.125,00
Gastos com Nitrato de Amônio (R\$)	R\$12.454,23	R\$8.898,76
Bolsas Químicas	N/A	48,00
Economia (ANFO)	N/A	R\$3.555,46
Gastos Gás-Bag	N/A	R\$2.599,20
Por Furo	N/A	R\$19,92
Variação	N/A	R\$956,26

Tabela 19:Análise econômica 7K.

Podemos observar que apesar de não satisfatório em termos de ejeções, obtivemos um saldo positivo em termos de economia de explosivos no valor de R\$956,26.

5.7. Air-deck Tampão 4m: 11J (Testes finais)

Foi realizado o teste final na região denominada 11J, utilizando uma configuração de air-deck entre a cara de coluna e a região do tampão. A região apresentava litologias friáveis, como itabiritos brandos silicosos. A seguir serão apresentados os cálculos, dados e parâmetros do desmonte realizado.

Afastamento (m)	Espaçamento (m)	Diâmetro (mm)	Litologia
5,9	6,8	228,6	IBS

Código	Denominação	Custo Unitário – Orç.	Custo Unitário – Real	Unid.
8680322	REAGENTE NITRATO AMONIO FERTILIZ.	R\$ 2,10	R\$ 2,35	kg
8526086	BOLSA QUIMICA INFLAVEL DIAM 9.7/8"	R\$ 70,99	R\$ 0,00	CDA

Tabela 20:Relação de custos de insumos relevantes na referente data.



Figura 13: Praça de carregamento 11J.



Figura 14: Captura de vídeo do desmonte executado na 11J.

Mina	Prof. Realizada (m)	Tampão Realizado (m)	Emulsão Bombeada(kg)	Nitrato (ANFO Derramado) (kg)	Profundidade Calculada(m)	Decking Realizado (m)	Diâmetro Teórico (mm)	Razão Linear de Carga Calculada(kg)	Nitrato Calculado (kg)
3	13,60	10,00	0,00	100,00	12,87	0,73	228,60	34,89	125,59
4	14,10	5,50	0,00	200,00	11,23	2,87	228,60	34,89	300,03
5	13,60	6,00	0,00	200,00	11,73	1,87	228,60	34,89	265,14
6	13,60	6,20	0,00	150,00	10,50	3,10	228,60	34,89	258,16
7	13,70	7,00	0,00	100,00	9,87	3,83	228,60	34,89	233,74
8	12,00	5,70	0,00	150,00	10,00	2,00	228,60	34,89	219,79
9	13,00	10,00	0,00	100,00	12,87	0,13	228,60	34,89	104,66
10	13,70	8,40	0,00	100,00	11,27	2,43	228,60	34,89	184,90
11	12,30	6,30	0,00	150,00	10,60	1,70	228,60	34,89	209,32
12	12,50	8,30	0,00	150,00	12,60	-0,10	231,30	35,71	150,00
13	12,40	8,00	0,00	100,00	10,87	1,53	228,60	34,89	153,50
14	13,10	6,00	0,00	150,00	10,30	2,80	228,60	34,89	247,70
15	12,40	9,40	0,00	100,00	12,27	0,13	228,60	34,89	104,66
16	12,70	8,00	0,00	90,00	10,58	2,12	228,60	34,89	163,97
17	12,10	6,50	0,00	90,00	9,08	3,02	228,60	34,89	195,37
18	12,70	7,35	0,00	100,00	10,22	2,48	228,60	34,89	186,64
19	7,10	4,00	0,00	60,00	5,72	1,38	228,60	34,89	108,15
20	7,80	4,00	0,00	60,00	5,72	2,08	228,60	34,89	132,57
21	8,30	5,00	0,00	60,00	6,72	1,58	228,60	34,89	115,13
22	12,00	6,00	0,00	90,00	8,58	3,42	228,60	34,89	209,32
23	11,90	6,00	0,00	100,00	8,87	3,03	228,60	34,89	205,83
24	13,50	8,00	0,00	100,00	10,87	2,63	228,60	34,89	191,88
25	11,40	8,40	0,00	100,00	11,27	0,13	228,60	34,89	104,66
26	12,50	7,00	0,00	90,00	9,58	2,92	228,60	34,89	191,88
27	12,30	5,30	0,00	90,00	7,88	4,42	228,60	34,89	244,21
28	12,40	8,40	0,00	100,00	11,27	1,13	228,60	34,89	139,55
29	11,60	6,80	0,00	100,00	9,67	1,93	228,60	34,89	167,46
30	11,20	6,50	0,00	90,00	9,08	2,12	228,60	34,89	163,97
31	12,00	9,00	0,00	100,00	11,87	0,13	228,60	34,89	104,66
32	11,40	8,40	0,00	100,00	11,27	0,13	228,60	34,89	104,66
Total	12	7	0	3.270	10	2	229	35	5.287

Tabela 21:Análise econômica 11J.

Descrição	Teórico sem Decking	Executado com Decking de 4m
Quant. Furo (un)	30,00	30,00
Explosivo Gasto (kg)	5.287,08	3.270,00
Razão de Carga (g/t)	134,62	83,26
M. Desmontada Minério (t)	39.274,60	39.274,60
Explosivo Emulsão 5800m/S Granel (kg)	0,00	0,00
Nitrato de Amônio (ANFO Derramado) (kg)	5.287,08	3.270,00
Gastos com Nitrato de Amônio (R\$)	R\$12.431,28	R\$7.688,60
Bolsas Químicas (un)	N/A	30,00
Economia (ANFO)	N/A	R\$4.742,67
Gastos Gás-Bag	N/A	R\$2.129,70
Por Furo	N/A	R\$87,10
Variação	N/A	R\$2.612,97

Tabela 22:Análise econômica 11J.

Podemos observar pelas figuras 13 e 14 que, obtivemos melhoras em termos de ejeções em relação aos furos em que foi aplicado a técnica, além de uma economia em gastos com ANFO de R\$2.612,97.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 23 podemos observar os resultados obtidos com o projeto

Área/Data	Convencional	Air Deck	Acessórios	Variação/Furo	Variação
6L (21/05)	R\$ 16.883,64	R\$ 13.183,70	R\$ 5.963,16	-R\$ 26,94	-R\$ 2.263,21
8L (28/06)	R\$ 17.289,64	R\$ 14.718,85	R\$ 2.839,60	-R\$ 6,72	-R\$ 268,81
11J (04/07)	R\$ 5.118,53	R\$ 1.881,00	R\$ 780,89	R\$ 223,33	R\$ 2.456,64
6L (09/07)	R\$ 22.749,78	R\$ 16.176,63	R\$ 2.839,60	R\$ 93,34	R\$ 3.733,55
11J (10/07)	R\$ 6.972,36	R\$ 3.762,01	R\$ 709,90	R\$ 250,05	R\$ 2.500,45
7K (08/10)	R\$ 12.454,23	R\$ 8.898,76	R\$ 2.599,20	R\$ 19,92	R\$ 956,26
11J (22/10)	R\$ 12.431,28	R\$ 7.688,60	R\$ 2.129,70	R\$ 87,10	R\$ 2.612,97
TOTAL	R\$ 93.899,45	R\$ 66.309,55	R\$ 17.862,05	R\$91,44 (Média)	R\$ 9.727,85

Tabela 23:Análise cronológica de viabilidade do projeto.

Observe que os testes estão separados em suas respectivas datas e áreas onde foram executados. Podemos observar os gastos com explosivos (ANFO) em que teríamos se utilizássemos o carregamento convencional em cada desmonte.

Nos primeiros testes, os gastos com acessórios (gás-bag) foram maiores do que a economia obtida com explosivos, resultando em uma variação negativa. Entretanto, com a constante otimização nos planos de fogo, das operações em campo, nas análises e tratativas após os desmontes ocorridos, ao final de todos os testes obtivemos uma economia de R\$9.727,85.

Após os desmontes, não foram relatados casos de matacões, paradas nos britadores ou redução de produtividade dos equipamentos de lavra por parte das gerências de produção e britagem. Mesmo que não mensurado devido a indisponibilidade de instrumentos necessários, houve redução em termos de vibrações, devido a relação direta entre a redução de uso de explosivos nos furos e carga por espera.

Utilizando o último teste como parâmetro, obtivemos uma redução de custos com ANFO de 21,02% (incluindo-se os gastos com gás-bag) e com menos ejeções segundo as análises fotográficas. Baseando-se nessa redução em custos de explosivos, utilizando os dados de 2017 em que foram utilizados 1.899.642kg de ANFO com desmontes em litologias friáveis e com o seu respectivo valor de R\$2,35/kg, obtemos uma projeção de redução de custo anual de R\$938.337,54.

7. CONCLUSÃO

O desmonte de rocha com explosivos utilizando a técnica de air-deck deve ser analisado de forma prática e com base nos dados levantados em campo. Uma análise feita utilizando apenas a relação direta entre tamanho de deck, custo do explosivo e a massa pode gerar expectativas irreais, pois seria necessária uma operação extremamente eficiente para chegar a tais resultados esperados.

O foco principal desse estudo, foi demonstrar de forma prática a capacidade de gerar resultados positivos da técnica de air-deck em termos de economias com ANFO, sem provocar grandes impactos em termos de segurança e produtividade. Após a realização dos testes, não houve nenhum relato de insegurança e improdutividade por parte das outras gerências da mina.

Observamos que é necessário sintonia entre as equipes de perfuração, desmonte e carregamento com explosivos, e que suas operações influenciam diretamente nos resultados obtidos, o que justifica a necessidade de seguir uma metodologia como a PDCA durante todas as fases dos testes, a qual busque a melhoria contínua de todos os processos.

As análises após os desmontes, demonstraram a necessidade da investigação dos dados coletados em campo, os quais demonstram as variações ocorridas dentro dos furos de detonação, principalmente em termos de aumento de diâmetro, o que pode ter ocorrido por diferentes aspectos apresentados no trabalho. Para que fosse possível fazer essa análise em termos de aumento de diâmetro, foi desenvolvido um condicional e uma fórmula em função da razão linear de carga, massa de explosivos e dados coletados em termos de altura do furo e tampão, tornando viável a comparação entre os resultados obtidos com a técnica de air-deck e o carregamento convencional anteriormente praticado na mina.

Os ganhos em termos de economia de custos com ANFO foram positivos, representando uma redução de 21,02%, incluindo os custos com o acessório utilizado, segundo o último teste realizado. Tal redução representaria uma economia em uma projeção anual de R\$938.337,54 nos desmontes em litologias friáveis, superando a meta definida no objetivo do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, J. B.; GÓMEZ, J. C.; HERBERT, J. H. H. **Peforación y Voladura de Rocan en Minería**. Madri: Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- CAVADAS, P. M. M. **Optimização do Desmonte numa mina a céu aberto com aplicação de Air Decks**. Universidade do Porto. Porto, p. 204. 2012.
- CHIAPPETTA, R. F. Nueva Técnica de Voladura. **Journal of Explosives Engineering**, p. 20, 2004.
- CHIAPPETTA, R. F. M. M. E.. **Analystical high speed photography to evaluate air decks**. First High Tech Seminar State of the Art Blasting Tehnology Instrumentation and Explosives Applications. Orlando: [s.n.]. 1989.
- DAVIDS, T. A. B. . B. J. J. **The application of mid-column airdecks in full scale production blasts**. The application of mid-column airdecks in full scale production blasts, Fith High Tech Seminar State of the Art Blasting Technology Instrumentation and Explosives Applications. New Orleans: [s.n.]. 1994.
- FLOYD, J. Power Deck Optimization - President, Blast Dynamics Inc, Barrick Paper, Maio 2004.
- GAMMA, C. D. & J. C. I.. **Rock Fragmentation by Blasting**. Balkema : Rossmanith (ED.), 1993. pp. 273 p. Disponível em: <Gamma, C.D & Jimeno, C.I., 1993. Rock fragmentation control for blasting cost miniimization and environment impact abatement. Rock Fragmentation by Blasting. Rossmanith (ED.) Balkema pp. 273.>.
- INC, B. D. **Efficient Blasting Techniques**. Órica. [S.I.], p. 16. 2014.
- LIU, I. . & K. P. D. **Rock Fragmentation by Blasting**. Balkema: Mohanty (Ed), 1996. pp. 319-320. p. Disponível em: <Liu, I., & Katsabanis, P.D., 1996, Numerical modeling of the effects of air decking/decoupling in production and controlled blasting. Rock Fragmentation by Blasting, Mohanty (Ed). Balkema. pp. 319-320.>.
- LLERA, J. M. P. et al. **Manual de Perforacion y Voladura de Rocas**. Madri: ETIMSA, 2013.
- MOXON, N. T. . M. D. . D. . R. E. . R. S. B. **The use of airdecks in production blasting**. Proccedings of the Nineteenth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. San Diego: [s.n.]. 1993.
- POWERDECK, C. The Power Deck Blasting System. **www.powerdeckcompany.com**, 2018. Disponível em: <<https://www.powerdeckcompany.com/power-deck-products/4a-power-deck-blasting-system/>>. Acesso em: 26 Maio 2019.
- SILVA, V. C. E. **Apostila do Curso de Desmonte de rochas**. Escola de Minas. Ouro Preto, p. 172. 2014.
- YURI SÁENZ, Á. C. A. C. **Nuevas técnicas para el confinamiento del explosivo en minas a tajo abierto**. PERUMIN 32 - CONVENCION MINERA. San Agustin: [s.n.]. 2017. p. 32.

ANEXO

Planilha de cálculos da frente de lavra 6L

Mina	Prof. Realizada (m)	Tampão Realizado (m)	Emulsão Bombeada (kg)	Nitrato (ANFO Derramado) (kg)	Profundidade Calculada (m)	Decking Realizado (m)	Diâmetro Teórico (mm)	Razão Linear de Carga Calculada (kg/m)	Nitrato Calculado (kg)
1	14,40	5,80	120,00	200,00	14,08	0,32	228,60	34,89	211,29
2	14,40	5,80	120,00	210,00	14,36	0,04	228,60	34,89	211,29
3	14,20	5,80	120,00	220,00	14,65	-0,45	234,62	36,75	219,96
4	14,70	5,60	120,00	220,00	14,45	0,25	228,60	34,89	228,73
5	13,70	5,20	120,00	220,00	14,05	-0,35	233,24	36,32	219,96
6	14,70	5,40	120,00	240,00	14,82	-0,12	230,09	35,34	239,96
7	15,00	6,00	120,00	220,00	14,85	0,15	228,60	34,89	225,24
8	14,40	5,80	120,00	220,00	14,65	-0,25	231,88	35,89	219,96
9	13,50	5,20	120,00	220,00	14,05	-0,55	236,03	37,19	219,96
10	14,30	5,60	120,00	220,00	14,45	-0,15	230,54	35,48	219,96
11	14,80	5,40	120,00	220,00	14,25	0,55	228,60	34,89	239,20
12	13,00	5,40	120,00	200,00	13,68	-0,68	238,54	37,99	199,96
13	14,30	5,50	120,00	220,00	14,35	-0,05	229,23	35,08	219,96
14	14,50	5,40	120,00	240,00	14,82	-0,32	232,61	36,12	239,96
15	13,80	5,60	120,00	240,00	15,02	-1,22	245,04	40,08	239,96
16	12,80	5,20	120,00	200,00	13,48	-0,68	238,54	37,99	199,96
17	14,00	5,50	120,00	210,00	14,06	-0,06	229,43	35,14	209,96
18	14,00	5,50	120,00	210,00	14,06	-0,06	229,43	35,14	209,96
19	12,30	4,40	120,00	220,00	13,25	-0,95	241,93	39,08	219,96
20	14,30	5,60	120,00	220,00	14,45	-0,15	230,54	35,48	219,96
21	14,00	5,60	120,00	200,00	13,88	0,12	228,60	34,89	204,31
22	11,30	4,30	120,00	200,00	12,58	-1,28	248,55	41,24	199,96
23	14,50	5,80	120,00	210,00	14,36	0,14	228,60	34,89	214,77
24	15,00	6,00	120,00	200,00	14,28	0,72	228,60	34,89	225,24
25	14,50	5,70	120,00	170,00	13,12	1,38	228,60	34,89	218,26
26	15,00	6,00	120,00	220,00	14,85	0,15	228,60	34,89	225,24
27	12,50	4,30	120,00	200,00	12,58	-0,08	229,65	35,21	199,96
28	14,00	5,60	120,00	240,00	15,02	-1,02	242,10	39,13	239,96
29	14,60	5,60	120,00	220,00	14,45	0,15	228,60	34,89	225,24
30	12,60	4,60	120,00	200,00	12,88	-0,28	232,50	36,09	199,96
31	15,00	12,00	0,00	120,00	15,44	-0,44	244,78	40,00	120,00
32	14,00	5,50	120,00	210,00	14,06	-0,06	229,43	35,14	209,96
33	13,30	10,30	120,00	0,00	12,84	0,46	228,60	34,89	15,92
34	14,50	5,80	120,00	180,00	13,50	1,00	228,60	34,89	214,77
35	15,00	6,00	120,00	160,00	13,13	1,87	228,60	34,89	225,24
36	12,40	3,90	120,00	90,00	9,02	3,38	228,60	34,89	207,80
37	13,00	5,20	120,00	200,00	13,48	-0,48	235,46	37,01	199,96
38	14,70	5,50	100,00	220,00	13,92	0,78	228,60	34,89	247,01
39	15,70	8,80	100,00	180,00	16,08	-0,38	234,78	36,80	179,96
40	14,30	11,30	0,00	100,00	14,17	0,13	228,60	34,89	104,66
41	13,80	10,60	100,00	0,00	12,72	1,08	228,60	34,89	37,69

42	15,80	6,70	100,00	160,00	13,40	2,40	228,60	34,89	243,52
43	14,50	5,80	100,00	220,00	14,22	0,28	228,60	34,89	229,56
44	15,10	6,00	100,00	190,00	13,56	1,54	228,60	34,89	243,52
45	12,70	5,20	100,00	70,00	9,33	3,37	228,60	34,89	187,70
46	14,80	6,00	100,00	220,00	14,42	0,38	228,60	34,89	233,05
47	12,60	4,60	100,00	200,00	12,45	0,15	228,60	34,89	205,14
48	14,00	11,00	0,00	100,00	13,87	0,13	228,60	34,89	104,66
49	13,80	5,70	100,00	200,00	13,55	0,25	228,60	34,89	208,63
50	13,30	5,00	0,00	100,00	7,87	5,43	228,60	34,89	289,56
51	15,50	5,80	100,00	180,00	13,08	2,42	228,60	34,89	264,45
52	14,50	5,00	100,00	100,00	9,99	4,51	228,60	34,89	257,47
53	14,80	5,90	100,00	170,00	12,89	1,91	228,60	34,89	236,54
54	14,30	5,60	100,00	200,00	13,45	0,85	228,60	34,89	229,56
55	15,70	6,10	100,00	200,00	13,95	1,75	228,60	34,89	260,96
56	15,20	6,00	100,00	200,00	13,85	1,35	228,60	34,89	247,01
57	16,30	7,00	100,00	150,00	13,42	2,88	228,60	34,89	250,50
58	13,60	5,40	100,00	200,00	13,25	0,35	228,60	34,89	212,12
59	13,30	5,10	100,00	170,00	12,09	1,21	228,60	34,89	212,12
60	14,80	6,00	100,00	180,00	13,28	1,52	228,60	34,89	233,05
61	15,40	6,00	100,00	160,00	12,70	2,70	228,60	34,89	253,99
62	15,20	12,00	0,00	100,00	14,87	0,33	228,60	34,89	111,64
63	14,50	5,80	100,00	200,00	13,65	0,85	228,60	34,89	229,56
64	15,00	6,00	100,00	200,00	13,85	1,15	228,60	34,89	240,03
65	14,70	5,80	100,00	160,00	12,50	2,20	228,60	34,89	236,54
66	15,00	6,00	100,00	150,00	12,42	2,58	228,60	34,89	240,03
67	14,00	5,50	100,00	170,00	12,49	1,51	228,60	34,89	222,59
68	15,00	6,00	100,00	180,00	13,28	1,72	228,60	34,89	240,03
69	11,20	4,00	100,00	150,00	10,42	0,78	228,60	34,89	177,23
70	15,40	12,40	0,00	100,00	15,27	0,13	228,60	34,89	104,66
71	13,00	5,20	100,00	200,00	13,05	-0,05	229,35	35,12	199,96
72	14,50	5,50	100,00	200,00	13,35	1,15	228,60	34,89	240,03
73	15,00	6,00	100,00	200,00	13,85	1,15	228,60	34,89	240,03
74	14,70	0,70	100,00	180,00	7,98	6,72	228,60	34,89	414,46
75	14,50	5,80	100,00	120,00	11,36	3,14	228,60	34,89	229,56
76	15,00	4,00	100,00	70,00	8,13	6,87	228,60	34,89	309,80
77	14,60	5,80	100,00	180,00	13,08	1,52	228,60	34,89	233,05
78	11,50	8,50	0,00	100,00	11,37	0,13	228,60	34,89	104,66
79	14,00	5,70	100,00	200,00	13,55	0,45	228,60	34,89	215,61
80	14,50	5,80	100,00	200,00	13,65	0,85	228,60	34,89	229,56
81	14,50	5,80	100,00	200,00	13,65	0,85	228,60	34,89	229,56
82	14,60	5,80	100,00	220,00	14,22	0,38	228,60	34,89	233,05
83	14,20	5,80	100,00	160,00	12,50	1,70	228,60	34,89	219,10
84	15,00	6,00	100,00	210,00	14,14	0,86	228,60	34,89	240,03
85	13,80	10,50	0,00	100,00	13,37	0,43	228,60	34,89	115,13
86	15,50	10,50	0,00	100,00	13,37	2,13	228,60	34,89	174,43
87	13,50	5,20	100,00	200,00	13,05	0,45	228,60	34,89	215,61
88	13,50	5,70	100,00	200,00	13,55	-0,05	229,35	35,12	199,96
89	14,80	12,00	0,00	0,00	12,00	2,80	228,60	34,89	97,68

90	14,50	5,80	100,00	210,00	13,94	0,56	228,60	34,89	229,56
91	14,00	5,50	100,00	200,00	13,35	0,65	228,60	34,89	222,59
92	14,50	11,00	0,00	100,00	13,87	0,63	228,60	34,89	122,10
93	13,00	10,50	0,00	100,00	13,37	-0,37	244,78	40,00	100,00
94	14,00	5,60	100,00	200,00	13,45	0,55	228,60	34,89	219,10
95	14,10	5,60	100,00	200,00	13,45	0,65	228,60	34,89	222,59
96	15,50	6,00	100,00	210,00	14,14	1,36	228,60	34,89	257,47
97	14,60	12,80	0,00	100,00	15,67	-1,07	288,48	55,56	100,00
98	14,10	11,20	0,00	100,00	14,07	0,03	228,60	34,89	101,17
99	14,50	5,80	100,00	190,00	13,36	1,14	228,60	34,89	229,56
100	15,20	6,00	100,00	180,00	13,28	1,92	228,60	34,89	247,01
101	15,40	11,80	100,00	100,00	16,79	-1,39	269,01	48,31	99,96
102	13,50	10,20	0,00	100,00	13,07	0,43	228,60	34,89	115,13
103	15,00	10,70	0,00	100,00	13,57	1,43	228,60	34,89	150,01
104	15,00	11,00	0,00	100,00	13,87	1,13	228,60	34,89	139,55
105	14,50	11,50	0,00	100,00	14,37	0,13	228,60	34,89	104,66
Total	14	7	2.700	6.080	13	1	232	36	7.786