

# ANÁLISE ECONÔMICA DA ESCAVAÇÃO DE UMA PASSAGEM DE ESTÉRIL EM MINA SUBTERRÂNEA

1 Bruno Augusto Cordeiro Rocha, UFBA, bruno.rochaa@hotmail.com

2 Alisson Brasil, UFMG/CPGEM, alisson\_engh@yahoo.com.br

3 Larissa Regina Costa Silveira, UFBA, larissarcs@ufba.br

## RESUMO

O presente trabalho aborda um estudo sobre a viabilidade econômica de um projeto de uma passagem de estéril, utilizando explosivos, que por interligar subníveis que se cruzam, pode ser utilizado para depósito de grandes volumes de estéril, oriundos de etapas de desenvolvimento, no subnível inferior. O objetivo deste projeto é a diminuição da diluição do material que alimenta a usina, visto que, no empreendimento em questão, todo o material escavado, seja ele estéril ou minério, segue para a usina, provocando impactos de teor no ROM e de recuperação metalúrgica, o que, conseqüentemente, culmina em impactos negativos na ótica financeira. Foram simulados cenários financeiros comparativos a fim de justificar a realização da atividade através de análises técnicas de viabilidade, o que comprovou a lucratividade do projeto.

**Palavras Chave:** Viabilidade econômica; passagem de estéril; diluição.

## ABSTRACT

This article presents a study about economic feasibility of a waste pass by blasting. This excavation interconnects sublevels that intercepts and the lower sublevel can be used to deposit large volumes of waste from development stages. The purpose of this is to decrease the dilution of the material that feeds the plant, since, in the project in question, all the excavated material, waste or ore, feeding the plant, causing impacts in the grade of the ROM and in the metallurgical recovery, this situation, consequently, culminates in negative impacts on the financial perspective. Comparative scenarios were simulated in order to justify the performance of the activity through technical feasibility analyzes, which proved the project's profitability.

**Keywords:** Economic feasibility; waste pass; dilution.

## INTRODUÇÃO

De acordo com Curi (2017) [1], a lavra por câmaras e pilares é um método de lavra classificado como autossuportante e, a princípio, indicado quando se tem corpos de minério tabulares, horizontais ou levemente inclinados (em geral, mergulho inferior a 15°). São adotados em situações onde minério e rochas encaixantes sejam relativamente competentes, isto é, quando o maciço é resistente diante das tensões às quais está submetido.

A mina em questão tem como produto comercializado o cloreto de potássio (KCl), e adota o método de câmaras e pilares em sua lavra, com utilização de mineradores contínuos (*mariettas*). Após a escavação, o material é transportado dentro de cada painel, a partir de dois equipamentos de transporte elétrico (*shuttle-cars*) até os *feeder-breakers*, equipamentos responsáveis pela britagem primária do minério e regulação do fluxo de material. Após a fragmentação, o minério é descarregado diretamente nas correias transportadoras, que o transportam até o poço, onde o material é içado (Figura 1).

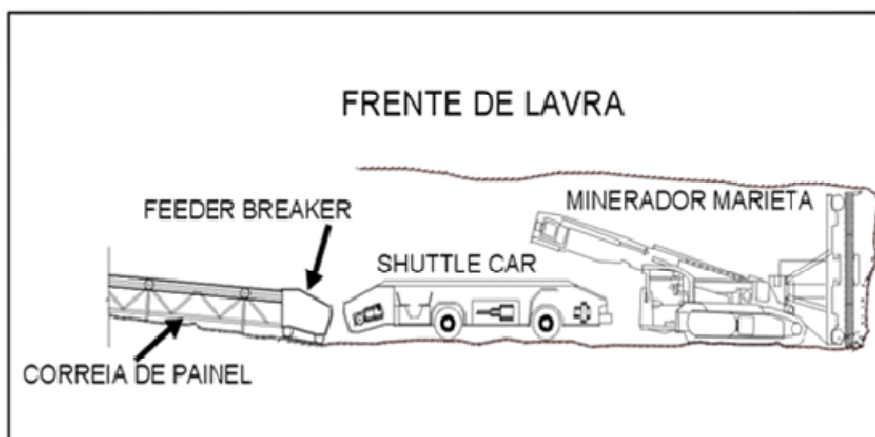


Figura 1 - Layout frente de lavra.

Fonte: Banco de dados interno da empresa, 2020.

O ciclo operacional por minerador contínuo e correias transportadoras, não permite que ocorra a separação do minério e estéril nas frentes de lavra, desta forma, todo o material lavrado (estéril e minério) tem como destino a planta de beneficiamento, sem nenhuma separação anterior na mina. O efeito dessa blendagem são toneladas de material beneficiadas sem necessidade e redução de fatores como teor do minério retirado da mina e da recuperação metalúrgica no processo de beneficiamento da usina. Essas perdas acarretam numa diminuição de produção e, obviamente, do lucro obtido.

Levando em conta o método de lavra utilizado, câmaras e pilares, e sabendo que, em algumas situações, as câmaras de diferentes níveis ficam sobrepostas umas às outras, separadas por uma laje, foi observada a oportunidade da interligação de níveis através da abertura de uma passagem, a fim de direcionar o estéril para galerias inferiores já lavradas, onde não se enxerga necessidade de retorno das atividades de lavra ou desenvolvimento e que possuem capacidade para estocar um grande volume de material. Para interligar diferentes subníveis, foi proposta a realização da abertura para passagem de material (estéril), com a utilização de explosivos, sendo esse processo de desmonte de rochas pouco utilizado na mina, salvo considerações de geomecânica.

Quando se pensa na implementação de qualquer novo projeto, seja ele em grande escala ou pequena, além de atestar a viabilidade técnica é necessário comprovar também que haverá vantagens no âmbito econômico, que será lucrativo. Desta maneira, este trabalho surge com o objetivo de avaliar a viabilidade financeira de um projeto de realização de uma passagem de descarga para armazenamento de estéril oriundo de atividades de

desenvolvimento, mensurando seus ganhos financeiros com o não direcionamento desse material para a planta de beneficiamento, além dos impactos de teor e recuperação metalúrgica.

## METODOLOGIA

Após a identificação da oportunidade de melhoria proposta neste trabalho, foram realizados alguns debates multidisciplinares e levantados diversos dados junto às equipes de planejamento de lavra, operação, geomecânica e beneficiamento. Posteriormente, iniciou-se a etapa de tratamento de dados e análise de resultados.

Para a realização do estudo de viabilidade financeira, foram necessários o levantamento de custos totais relacionados à atividade proposta e a simulação de cenários futuros, para efeito comparativo entre a não implantação do projeto e a adoção da ideia.

### Levantamento de Custos

Os custos para a realização da atividade foram divididos em custos de perfuração, desmonte, transporte de material, implantação de raspador no sistema de correias e custo de parada, sendo esse último, o impacto financeiro relacionado ao tempo efetivo sem utilização das horas para a lavra.

Os insumos de perfuração e desmonte foram levantados a partir do plano de fogo proposto pela equipe de geomecânica, e os custos unitários destes foram baseados nos últimos orçamentos e compras realizadas pela empresa.

Para cálculo do custo do equipamento de transporte, utilizou-se a média de custo por hora. Esse valor já leva em conta insumos como combustível, lubrificação, manutenções preventivas e corretivas. Tal valor foi inferido a partir do histórico de custos relacionados presente no banco de dados interno. Ao multiplicar o custo por hora pelas horas utilizadas, obtém-se o custo de transporte.

Além dos custos com insumos, foram quantificados também os custos com mão de obra. As principais atividades deste projeto serão realizadas integralmente por colaboradores internos, porém, foram levantados tais custos, visto que os funcionários deverão dedicar-se integralmente, pelo tempo determinado, para a execução desta atividade. Os custos de mão de obra para as atividades de perfuração, desmonte e transporte, foram calculados a partir das equações 1 e 2, abaixo.

$$CUSTO_{M\tilde{A}O\ DE\ OBRA} = N^{\circ} COLABORADORES_{POR\ TURNO} * CUSTO_{POR\ TURNO} * N^{\circ} TURNOS \quad (1)$$

Onde,

$$CUSTO_{POR\ TURNO} = \frac{SAL\tilde{A}RIO\ (COM\ ENCARGOS)}{DIAS\ TRABALHADOS\ POR\ M\tilde{E}S} \quad (2)$$

Para quantificar as prováveis perdas de produção foram utilizadas as equações 3 e 4 abaixo.

$$PRODU\tilde{C}\tilde{A}O_{INTERROMPIDA} = MASSA_{DESMONTADA} * TEOR_{KCl} * RECUPERA\tilde{C}\tilde{A}O\ METAL\tilde{U}RGICA \quad (3)$$

Onde,

$$MASSA_{DESMONTADA} = N^{\circ} PAIN\tilde{E}IS * HORAS\ PARADAS * PRODUTIVIDADE\ M\tilde{E}DIA_{POR\ PAIN\tilde{E}L} \quad (4)$$

De posse da previsão de produção interrompida, foi calculado o custo de parada da atividade com o objetivo de mensurar os impactos financeiros que a empresa irá sofrer com a execução da atividade. Esse valor foi obtido a partir da multiplicação da estimativa de impacto na produção pelo valor por tonelada de KCl praticado no mercado, conforme a equação 5.

$$\text{CUSTO DE PARADA} = \text{PRODUÇÃO}_{\text{INTERROMPIDA}} * \text{VALOR}_{\text{POR TONELADA DE KCl}} \quad (5)$$

### Estimativas de Impactos na Produção e Receita Obtida

Inicialmente foram idealizados dois diferentes cenários, sendo o primeiro apenas o planejamento dos meses de setembro e outubro de 2020 sem considerar qualquer modificação proposta, e o segundo cenário idealizado após a implantação das modificações propostas.

Para a elaboração e entendimento dos dois cenários e posterior comparação entre eles, se faz necessário conhecer o significado do conceito e a equação de *Run of Mine* (ROM), que se refere ao minério bruto, obtido diretamente da mina, sem sofrer qualquer tipo de beneficiamento e que irá alimentar a usina. Sabendo que no caso tratado nesse estudo, parte do estéril segue junto com o minério como material de alimentação, o ROM será todo o material desmontado, de acordo com a equação 6.

$$\text{MASSA}_{\text{ROM}} = \text{MASSA}_{\text{MINÉRIO}} + \text{MASSA}_{\text{ESTÉRIL}} \quad (6)$$

O cálculo dos teores de minério, antes e após a implementação, foram realizados a partir da equação 7.

$$\text{TEOR}_{\text{MINÉRIO}} = \frac{\text{MASSA}_{\text{ROM}} * \text{TEOR}_{\text{ROM}}}{\text{MASSA}_{\text{MINÉRIO}}} \quad (7)$$

Onde:

$\text{TEOR}_{\text{ROM}}$ : teor de KCl contido no ROM.

$\text{TEOR}_{\text{MINÉRIO}}$ : teor de KCl contido no minério.

$\text{MASSA}_{\text{MINÉRIO}}$ : quantidade de minério contido no ROM.

O teor de minério calculado, após a implementação da mudança, virá a ser o próprio teor que alimenta a usina, visto que será considerada massa de estéril igual a zero e a massa de ROM será numericamente idêntica à massa de minério.

Na determinação do valor de recuperação metalúrgica, foi utilizada a equação 8, sendo esta, atualmente utilizada na usina do empreendimento estudado para prever esse índice, obtida a partir de uma curva de tendência linear, relacionando a recuperação metalúrgica com o teor da alimentação.

$$\text{RECUPERAÇÃO METALÚRGICA} = 0,72 * \text{TEOR}_{\text{ROM}} + 0,674 \quad (8)$$

A massa de KCl (produto final) pode ser inferido, conforme a seguinte equação 9.

$$\text{MASSA}_{\text{KCl}} = \text{MASSA}_{\text{ROM}} * \text{TEOR}_{\text{ROM}} * \text{RECUPERAÇÃO METALÚRGICA} \quad (9)$$

Com o objetivo de realizar esse estudo, foi calculada uma estimativa de receita, conforme a equação 10, considerando a massa de KCl produzido e o valor por tonelada de KCl praticado no mercado, em maio de 2020, segundo a Index Mundi [2], que é um grande banco de dados estatísticos baseado em várias fontes.

$$RECEITA = MASSA_{KCl} * VALOR_{POR TONELADA DE KCl} \quad (10)$$

### Resultados Financeiros

O estudo de viabilidade financeira é apresentado com o objetivo de fornecer informações para o empreendedor escolher se irá ou não aceitar os riscos e as possibilidades associadas à execução de um novo projeto. Neste estudo, é abordada, além do resultado financeiro (equação 11), a metodologia de retorno sobre investimentos (do inglês *return on investment* ou ROI) a fim de promover a análise de viabilidade da atividade a partir da projeção futura, das previsões de entradas e saídas.

De acordo com Leal (2002) apud Cerqueira (2013) [3], ROI é o benefício que se obtém por cada unidade investida durante certo período de tempo e costuma utilizar-se para analisar a viabilidade de um projeto. É um índice de fácil interpretação, considerado por muitos analistas como a melhor medida de eficiência operacional, pois faz uma relação entre o lucro operacional com o valor do investimento. Quanto maior o ROI maior o retorno obtido. O cálculo do ROI, em percentual, se dá conforme a equação 12.

$$RESULTADO FINANCEIRO = RECEITA - CUSTO \quad (11)$$

$$ROI = \frac{RECEITA - CUS}{CUSTO} * 100\% \quad (12)$$

### Ponto de Equilíbrio Financeiro

Quando um projeto se inicia, diversos são os gastos para a implantação do mesmo. De maneira geral, somente após a comercialização das mercadorias obtém-se receita, logo, neste primeiro momento, os gastos serão maiores que as receitas e, conseqüentemente, identifica-se um prejuízo. À medida que as receitas se acumulam, aproxima-se de um ponto neutro, que é o ponto onde o prejuízo deixa de existir e o ganho começa a surgir. Esse ponto neutro é o ponto de equilíbrio. Segundo VanDerbeck e Nagy (2001) [4], o ponto de equilíbrio pode ser definido como o ponto no qual a receita de vendas é adequada para cobrir todos os custos de manufatura e vender o produto, mas sem obter lucro.

Nesse estudo de caso, foi realizada uma adaptação para atender às necessidades deste projeto. Foi calculada a massa de estéril mínima que deverá ser estocada, para que o projeto comece a ser considerado economicamente viável, ou seja, quando a variação da receita, proveniente da mudança se igualar aos custos relacionados à mesma. Essa adaptação foi feita levando em consideração que esse projeto só foi pensado devido à necessidade de estocar o estéril para separá-lo do minério que segue para a usina; logo, deve-se conhecer a massa mínima a ser estocada para que valha a pena a implementação. Ou seja, os custos do projeto se justificam se a massa a ser estocada for superior a essa massa mínima.

Após análise dos prováveis custos levantados, percebe-se a presença de custos fixos (perfuração, desmonte, implantação de raspador no sistema de correias e custo de parada) e de um custo variável, no caso, o custo de transporte, o qual é diretamente proporcional à massa de estéril a ser estocado.

Assim como o custo de transporte, a variação da receita, também varia de acordo com a massa de estéril a ser estocada. Destarte, foi necessária a elaboração das equações de custo total e de variação da receita obtida, ambas contendo a mesma variável (massa de estéril estocada). De forma a identificar a massa mínima de estéril a ser estocada, onde se

espera valores numericamente iguais de custo da modificação e variação de receita, as equações foram igualadas, sendo solucionadas através da ferramenta solver do excel.

## ESTUDO DE CASO

Conforme descrito na introdução, este projeto consiste na realização de uma única abertura (*chute* de descarga) no cruzamento de duas galerias sobrepostas e separadas por uma laje de 5,61 metros, com finalidade de interligação destas para descarga de estéril, evitando que o mesmo siga para a usina de beneficiamento junto com o minério. Essa passagem será escavada nessa laje com uso de explosivo, portanto, com profundidade média de 5,61 metros. As dimensões da escavação serão de 3 metros de comprimento por 2,5 metros de largura. Os detalhes do projeto podem ser vistos, em perfil, na figura 2.

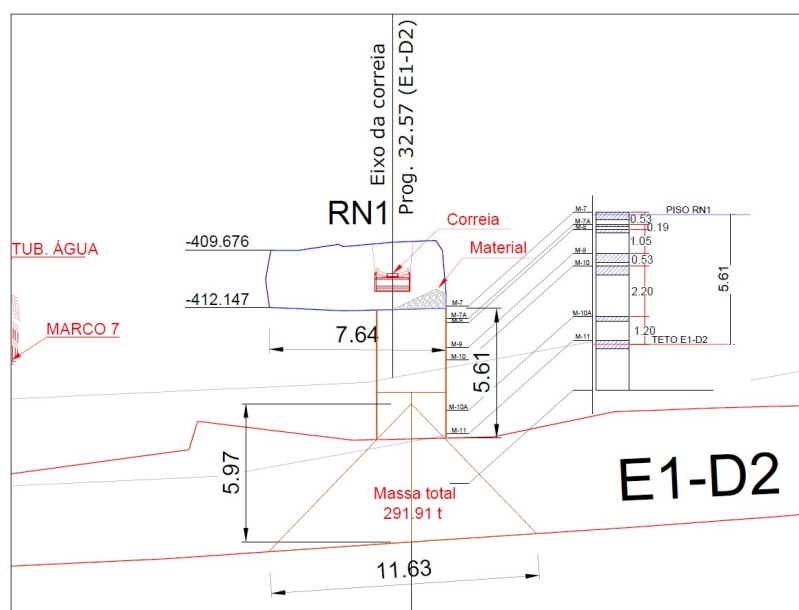


Figura 2 - Detalhe do projeto de chute de descarga E1-D2.  
Fonte: Banco de dados interno da empresa, 2020.

Tendo o objetivo de que o estéril seja descarregado para estoque nos painéis mais inferiores, necessita-se também que, ao invés de direcionados para a subida pelo shaft, o fluxo do sistema de correias seja desviado para esta abertura, quando as correias estiverem transportando estéril. Para esse diferente direcionamento de material, será necessária a fabricação de uma espécie de raspador de correias diagonal, os quais geralmente são utilizados para a limpeza, porém, nessa situação, será elaborado com maior porte e terá a função de mudança de direcionamento do material, forçando a descarga na abertura. A figura 3 apresenta um modelo de referência para este acessório.

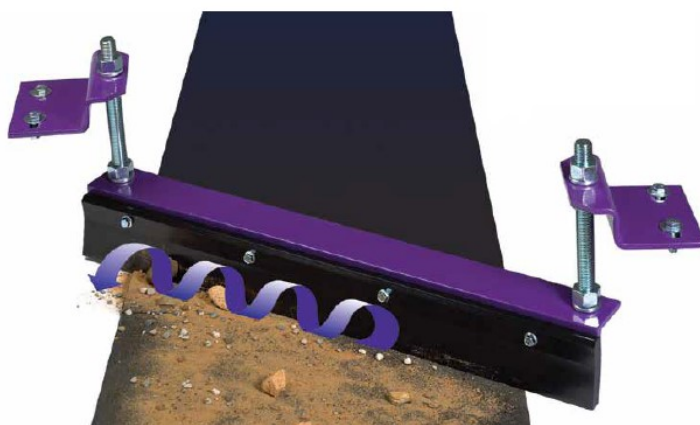


Figura 3 - Modelo de raspador para fabricação do acessório [5].

### Viabilidade Técnica

A viabilidade técnica do projeto, relacionada ao impacto nos pilares, foi garantida por estudos anteriores, inclusive, submetidos à consultorias externas reconhecidas mundialmente pelo seu alto grau de confiabilidade. Foram realizadas algumas estimativas de danos em pilares e de possíveis deformações em áreas ao entorno de desmontes. De posse destes relatórios e simulações de impacto nos pilares, foi elaborado o plano de fogo pela equipe de geomecânica, observando a estratificação horizontal natural do maciço, bem como qualquer outro fator que poderia impactar na estabilidade das escavações e dos pilares. O plano de fogo deve ser executado conforme os seguintes parâmetros, descritos na Tabela 1 e pode ser visualizado na Figura 4.

Tabela 1 - Dados gerais do desmonte com explosivo.

Dados do desmonte		
Número de furos	Carregados	20unid.
	Não carregados	5unid.
Profundidade média dos furos		5,60m
Diâmetro dos furos	Com carregamento	32mm
	Sem carregamento	44mm
Tampão médio		1,0m
Formato da malha		Quadrada
Afastamento		0,70m
Espaçamento		0,70m
Estimativa de tonelada desmontada	Por furo	6,0ton
	Total	119ton
Tipo de explosivo		Encartuchado Powergel
Razão linear de carregamento		0,740kg/t
Carga	Por furo	4,4kg
	Total	88kg

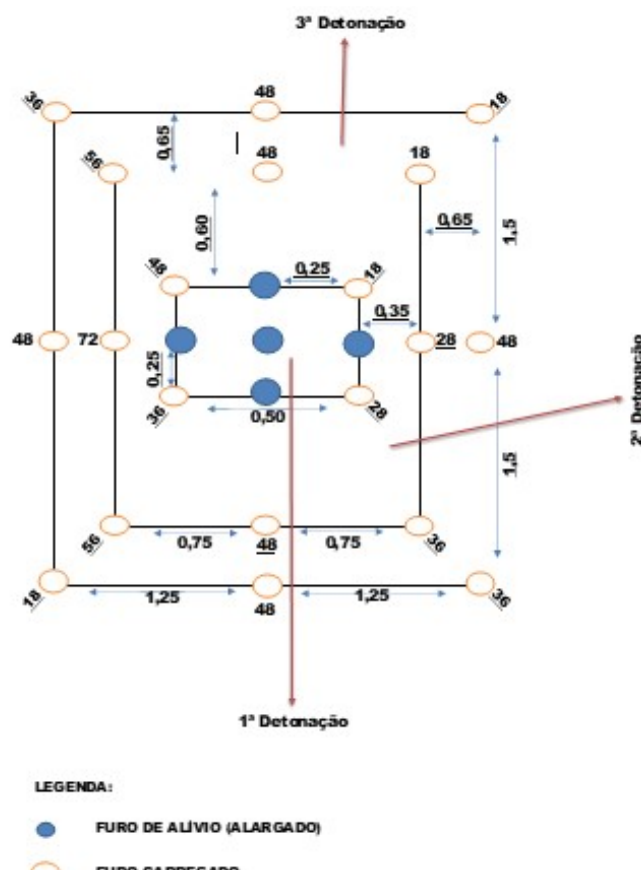


Figura 4 - Configuração de saída dos tempos de retardo.

Fonte: Banco de dados interno da empresa, 2020.

O tipo de ligação é com abertura de face livre/pilão, sentido central e disparo oeste/leste. A configuração da ligação para este sentido foi pensada em virtude da redução da energia resultante da onda de choque próximo aos locais em que não se pode ocorrer sobreescavação. Os explosivos e acessórios utilizados estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais insumos para o desmonte.

Explosivos	Unidade	Quantidade
Emulsão encartuchada 1 ¼"	kg	88
Acessórios		
Linha silenciosa 4,8 m 18 ms	Pç.	5
Linha silenciosa 4,8 m 36 ms	Pç.	5
Linha silenciosa 4,8 m 56 ms	Pç.	5
Espoletim 1,2 m	Pç.	2
Cordel detonante NP 05	M	200

## DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Com o intuito de calcular a viabilidade econômica do projeto, foi avaliada a execução da passagem de estéril, apenas nos meses de setembro e outubro de 2020, visto que, têm-se grandes volumes de estéril previstos, devido aos avanços e desenvolvimentos projetados pelo planejamento de mina, com apoio da sondagem. Entretanto, a idealização do projeto leva em conta a possibilidade de utilização desta mesma abertura para estéril oriundo de outras galerias, necessitando assim, de atividades de limpeza e transporte no subnível mais inferior, de forma a direcioná-lo para outras travessas ou eixos, permitindo assim novas



descargas.

Para a realização do estudo, foram necessários dados como custos operacionais da atividade, informações e índices do planejamento de curto prazo e da usina de beneficiamento, como teor e recuperação metalúrgica esperada, além de estimativas de receitas e valor por tonelada de potássio praticado no mercado.

Para a simplificação do estudo, os custos operacionais foram reduzidos aos custos com a realização da atividade e o retorno financeiro se dará pela variação da produção de KCl e consequente variação da receita obtida, previstos após a iniciativa.

De posse das informações necessárias, utilizando as equações citadas anteriormente (Metodologia), foi possível encontrar o custo total do projeto proposto, orçado em R\$ 825.069,21, considerando o estoque de 22.000 toneladas de estéril, conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativa de custo total do projeto.

Atividade	Valor
Perfuração	R\$24.793,33
Desmonte	R\$2.539,61
Transporte	R\$332.489,17
Alteração correia	R\$0,00
Custo de Parada	R\$465.247,10
<b>Total</b>	<b>R\$825.069,21</b>

Foram idealizados e avaliados dois cenários, sendo o primeiro apenas o planejamento dos meses de setembro e outubro de 2020 sem considerar qualquer modificação proposta, e o segundo o cenário idealizado após a implantação das modificações propostas.

Foram considerados os valores de alimentação na usina de 205.000 toneladas e 195.000 toneladas para os meses de setembro e outubro, respectivamente. Tem-se, teor médio de alimentação estipulado em 25%, sem considerar a mudança, e são previstos massas de puro estéril em etapas de desenvolvimento de 12.000 toneladas em setembro e 10.000 toneladas em outubro, os quais, após a iniciativa, seriam destinados para estoque na mina e não seguiriam o fluxo convencional até a planta de beneficiamento.

A simulação do cenário 1 está representada na Tabela 4. Nela são indicados o ROM, com as massas discriminadas de minério e estéril (desenvolvimento), além dos seus teores. Por fim, é indicado também, a recuperação metalúrgica esperada pela usina. Os cálculos foram feitos através das equações 6, 7 e 8.

Tabela 4 - Principais métricas técnicas para o cenário 1.

	Sem implementação da iniciativa	
	set/20	out/20
Alimentação usina (ROM)	205.000 t	195.000 t
Teor alimentação usina	25,0%	25,0%
Estéril (desenvolvimento)	12.000 t	10.000 t
Teor estéril	0,0%	0,0%
Minério	193.000 t	185.000 t
Teor minério	26,6%	26,4%
Recuperação Metalúrgica	85,4%	85,4%

Conhecendo os valores de alimentação da usina, seu teor e recuperação metalúrgica, foi possível quantificar a produção em massa de KCl, utilizando a equação 9. De posse das métricas técnicas, foi possível inferir algumas métricas financeiras. Para isso, se fez necessária a utilização do valor por tonelada de potássio praticado no mercado, segundo a Index Mundi. Assim, utilizando a equação 10, foi possível chegar a uma receita para os meses estudados, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Principais métricas financeiras para o cenário 1.

	Sem implementação da iniciativa	
	set/20	out/20
Produção de KCl	43.768 t	41.633 t
Valor por tonelada	R\$1.304,62	R\$1.304,62
Receita	R\$57.099.955,85	R\$54.314.592,15

Já na simulação do cenário 2, os valores de estéril oriundos de etapas de desenvolvimento não são incluídos na alimentação da usina, causando impacto nos teores de alimentação e valores de recuperação metalúrgica e, conseqüentemente, modificando a massa de KCl e receita esperada. Os dados métricos e financeiros, obtidos a partir das equações 6,7,8,9 e 10, estão representados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6 - Principais métricas técnicas para o cenário 2.

	Com implementação da iniciativa	
	set/20	out/20
Alimentação usina (ROM)	193.000 t	185.000 t
Teor alimentação usina	26,6%	26,4%
Estéril (desenvolvimento)	0 t	0 t
Teor estéril	0,0%	0,0%
Minério	193.000 t	185.000 t
Teor minério	26,6%	26,4%
Recuperação metalúrgica	86,5%	86,4%

Tabela 7 - Principais métricas financeiras para o cenário 2.

	Com implementação da iniciativa	
	set/20	out/20
Produção de KCl	44.341 t	42.107 t
Valor por tonelada	R\$1.304,62	R\$1.304,62
Receita	R\$57.848.253,44	R\$54.933.405,15

Após a definição e simulação destes dois cenários, foi realizado um estudo comparativo entres eles, possibilitando a observação de variações ( $\Delta$ ) na produção de KCl e na receita obtida. Esses dados são apresentados abaixo, nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Estimativa de variação da produção de KCl produzido.

$\Delta$ Produção de KCl	
set/20	573,58 t
out/20	474,32 t
<b>Total</b>	<b>1.047,90 t</b>

Tabela 9 - Estimativa de variação da receita obtida.

<b>Δ Receita</b>	
set/20	R\$ 748.297,59
out/20	R\$ 618.813,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 1.367.110,59</b>

Após observação de uma variação positiva na receita, objetivando a confirmação da viabilidade financeira do projeto, foram feitos então, os estudos de viabilidade.

Para a aprovação do projeto se faz necessária uma previsão de saldo positivo, após a realização da atividade e avaliação dos ganhos adquiridos após a mesma. Após análise dos dados de variação da receita, de custos da atividade e aplicação da equação 11, facilmente pode ser percebida e quantificada a superioridade dos ganhos em relação aos custos referentes à mesma, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Estimativa de resultado associado à implementação do projeto.

<b>Resultado financeiro associado</b>	
Δ Receita	R\$1.367.110,59
Δ Custo	R\$825.069,21
<b>Resultado financeiro</b>	<b>R\$542.041,38</b>

Com a implantação do projeto, em dois meses, poderá ser obtido um retorno financeiro estimado de R\$ 542.041,38.

Objetivando reforçar e quantificar a estimativa de retorno financeiro com a implantação da mudança proposta, calcula-se o retorno sobre investimento (em inglês, *return on investment* ou *ROI*), utilizando os dados de receita e custos, obtidos durante a execução deste trabalho. O cálculo foi feito utilizando a equação 12.

$$ROI = \frac{R\$ 1.367.110,59 - R\$825.069,21}{R\$825.069,21} * 100\%$$

$$ROI = 66\%$$

Tem-se então, retorno sobre investimento de 66%, o que significa que os retornos superaram os custos e o investimento é considerado lucrativo, representando o equivalente à 66% do investimento.

Outra metodologia de análise de viabilidade financeira utilizada foi o Ponto de Equilíbrio Financeiro. De posse dos conhecimentos sobre essa, foi possível concluir que, o ponto de equilíbrio dessa atividade ocorre quando a massa de estocagem de estéril é de 10.891,18 toneladas, que acarreta numa variação 503,82 toneladas de KCl produzido e um aumento de R\$ 657.295,22 na receita obtida. Neste ponto, o somatório dos custos totais se igualam ao valor variado na receita obtida, portanto, não se tem ganho ou prejuízo. A partir desse ponto, a descarga de massa superior irá resultar em ganhos e inferior resultar prejuízos. Como em dois meses já se espera estocar cerca de 22.000 toneladas, o projeto se mostra lucrativo também sob a ótica do ponto de equilíbrio.

É importante salientar que após a implementação do projeto, inúmeros cenários poderão ocorrer, desde os mais pessimistas, onde o ponto de equilíbrio não é alcançado, até aqueles com massas estocadas muito superiores, o que irá gerar ganhos ainda maiores. É sabido que, apesar de ser um projeto avaliado para apenas 2 meses, as galerias onde o minério

será estocado possuem capacidade muito superior às 22.000 toneladas propostas nesse trabalho e poderão ser utilizadas, futuramente, em outras etapas de desenvolvimento, entretanto, para efeito de cálculo, foi estipulado um limite de 40.000 toneladas, de forma a não exigir uma distância média de transporte muito alta.

Desta forma, foram simulados vários outros cenários, considerando diferentes massas de estéril estocadas. Prevendo, para cada um deles, o resultado financeiro esperado. Os mesmos estão expostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Simulações de cenários com diferentes massas de estéril.

Massa estocada (ton)	Receita associada	Custo fixo	Custo variável	Custo total	Resultado financeiro
0	R\$0,00	R\$492.580,04	R\$0,00	R\$492.580,04	- R\$492.580,04
4.000	R\$237.203,64	R\$492.580,04	R\$60.703,40	R\$553.283,44	- R\$316.079,81
8.000	R\$479.248,16	R\$492.580,04	R\$121.406,80	R\$613.986,84	- R\$134.738,68
12.000	R\$726.283,30	R\$492.580,04	R\$181.630,20	R\$674.210,24	R\$52.073,06
16.000	R\$978.465,00	R\$492.580,04	R\$242.333,60	R\$734.913,64	R\$243.551,36
20.000	R\$1.235.955,79	R\$492.580,04	R\$302.377,83	R\$794.957,87	R\$440.997,92
24.000	R\$1.498.925,11	R\$492.580,04	R\$363.081,23	R\$855.661,27	R\$643.263,83
28.000	R\$1.767.549,68	R\$492.580,04	R\$423.304,63	R\$915.884,67	R\$851.665,00
32.000	R\$2.042.013,91	R\$492.580,04	R\$484.008,03	R\$976.588,07	R\$1.065.425,84
36.000	R\$2.322.510,33	R\$492.580,04	R\$544.052,26	R\$1.036.632,30	R\$1.285.878,03
40.000	R\$2.609.240,00	R\$492.580,04	R\$604.755,66	R\$1.097.335,70	R\$1.511.904,30

Tais dados também estão representados graficamente, juntamente com o ponto de equilíbrio financeiro, no Gráfico 1.

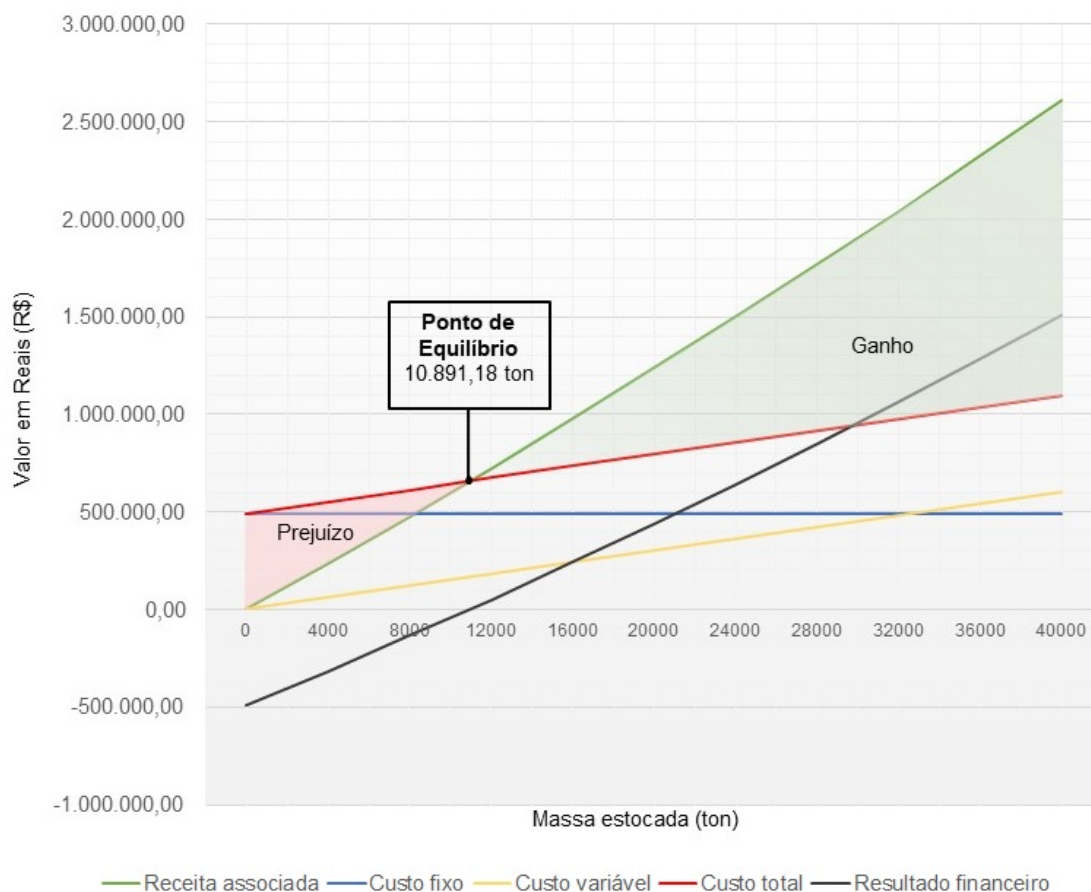


Gráfico 1 - Ponto de equilíbrio financeiro.

## CONCLUSÃO

A partir das análises e tratamento dos dados coletados no desenvolvimento desse trabalho, é possível validar a viabilidade financeira do projeto proposto, visto que, o investimento financeiro necessário para a implementação de mudança do processo é rapidamente compensado pelos ganhos obtidos motivados pela alteração. A estimativa de um ponto de equilíbrio equivalente à cerca de 50% da massa programada para estoque, em dois meses, proporciona segurança financeira ao projeto, ou seja, minimiza os riscos do investimento.

Com esse estudo, puderam ser observados ganhos nos índices de teor da mina e recuperação metalúrgica obtida na usina. Apesar destes não serem tão expressivos numericamente, são muito representativos quando associados às métricas financeiras.

Após as análises, foi previsto um ganho, relacionado à atividade, de R\$542.041,38 e um retorno de 66% sobre o investimento, considerando previsões de apenas dois meses. Portanto, conforme explanado anteriormente, os benefícios poderão ser muito maiores, visto que, a abertura realizada, poderá ser utilizada em outras etapas de desenvolvimento de mina.

A proposta trata-se de uma alternativa viável e até mesmo inovadora, quando se observa as características operacionais da mina em questão, que, pelas suas particularidades, pouco permite a separação e estocagem de estéril. É importante observar também, a existência de ganhos que não puderam ser quantificados, como exemplo da economia com o beneficiamento do minério, visto que, no período estudado, cerca de 22.000 toneladas de material deixarão de ser processadas na usina, diminuindo custos com insumos e energia; ou até da diminuição dos possíveis impactos ambientais provocados pela mineração.

## REFERÊNCIAS

- [1] Curi, A. (2017). Lavra de Minas. Oficina de Textos, v.1, p. 285-295.
- [2] Index mundi. (2019). Cloreto de potássio Preço Mensal - E.U. dólares por tonelada métrica. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/pt/pre%C3%A7os-de-mercado/?mercadoria=cloreto-de-pot%C3%A1ssio&meses=12>>. Acesso em: 27 de junho, 2020.
- [3] Cerqueira, D. V. (2013). Aplicação de metodologia de análise de retorno sobre investimento no contexto do Centro de Qualidade e Testes de Software. Monografia de conclusão de curso, p. 21.
- [4] Vanderbeck, E. J.; Nagy, C. F. (2001). Contabilidade de Custos. Cengage Learning, p. 415.
- [5] Alplan correias. Limpadores de retorno em “V” e diagonal flexco. Disponível em: <<http://www.alplan.com.br/site/conteudo/3483/flexco-acessorios.html>>. Acesso em: 24 de junho, 2020.