

UTILIZAÇÃO DE ANÁLISES DE REGRESSÃO MÚLTIPLA COMO FERRAMENTA PARA AUMENTO DE RECUPERAÇÃO DE LAVRA

Pedro Lincoln de Oliveira, AngloGold Ashanti – ploliveira@anglogoldashanti.com.br

Guilherme Albano Viana Costa, AngloGold Ashanti – gacosta@anglogoldashanti.com.br

João Batista Corrêa Júnior, AngloGold Ashanti – jbjunior@anglogoldashanti.com.br

Felipe de Brito Pereira, AngloGold Ashanti – fbpereira@anglogoldashanti.com.br

RESUMO

A Mina Cuiabá é a maior mina de ouro subterrânea do Brasil, pertencente a AngloGold Ashanti. Em 2019, a recuperação de lavra da Mina Cuiabá foi de 79% (realizado), já em 2020 a meta de recuperação passou para 82%. De um ano para o outro, houve uma variação de 3% pontos percentuais de recuperação entre o realizado de um ano e a meta para o seguinte. Este trabalho teve como objetivo utilizar uma abordagem estatística, através de análise de regressão múltipla, na priorização de variáveis que mais influenciam a recuperação de lavra na Mina Cuiabá, de forma a se tornar possível elencar pontos focais para tomada de decisão no que tange a recuperação de lavra. Através de priorização de variáveis, definição de parâmetros ótimos e padronização da maneira de trabalhar, foi possível aumentar em 5% a recuperação de lavra da Mina Cuiabá, além de reduzir em 2% o desvio padrão.

Palavras-chave: Mina Cuiabá; Recuperação de Lavra; Sublevel Stopping; Regressão Múltipla

ABSTRACT

Cuiabá Mine is the largest underground gold mine in Brazil, belonging to AngloGold Ashanti. In 2019, Cuiabá Mine recovery was 79%, in 2020 the recovery target increased to 82%. From one year to the next, there was a variation of 3% of recovery between what was accomplished in one year and the goal for the next. This paper aimed to use a statistical approach, through multiple regression analysis, in prioritizing variables that most influence mining recovery at Cuiabá Mine, in order to direct effective actions related to the mining recovery. By prioritizing variables, defining optimal parameters and standardizing the mining process, it was possible to increase mining recovery at Cuiabá Mine by 5%, in addition to reducing the standard deviation by 2%.

Keywords: Cuiabá Mine; Mining Recovery; Sublevel Stoping; Multiple Regression

INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido na Mina Cuiabá, maior mina de ouro subterrânea do Brasil, que pertence a AngloGold Ashanti. A Mina Cuiabá está localizada na região do quadrilátero ferrífero, em Minas Gerais, a aproximadamente 30Km da capital do estado, Belo Horizonte, entre as cidades de Sabará e Caeté, ilustrado na Figura 1.

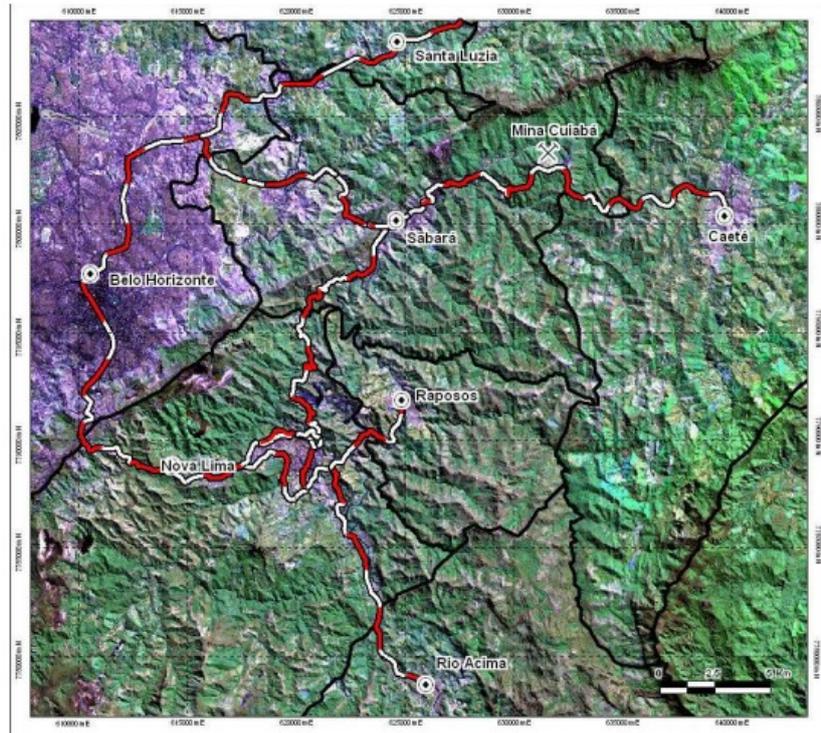


Figura 1: Localização da Mina Cuiabá [1]

A Mina Cuiabá é a mina de ouro mais profunda do Brasil e possui operações a profundidades que ultrapassam 1300m. São aplicados dois métodos de lavra, Sublevel Stoping e o Corte e Aterro. O primeiro método é responsável por praticamente toda massa de lavra gerada (ROM). O Sublevel Stoping é praticado com sequência bottom up (lavra dos subníveis inferiores em direção aos superiores) e preenchido com estéril (rockfill). São realizados painéis que variam de 30 a 60m, divididos em subníveis. São desenvolvidos, por mês, aproximadamente 1,200m de galerias.

O acesso a mina é feito por poço vertical e rampas. O transporte de minério para superfície é feito via poço, e anualmente é movimentado cerca de 1,500K toneladas de ROM.

Segundo Barbosa [2] a mineralização de Cuiabá está associada as BIF's (formações ferríferas bandadas), inseridos numa sequência máfica, tendo da base para o topo, rochas vulcânicas ultramáficas, máficas, intermediárias, félsicas e sedimentos detríticos com metamorfismo de baixo grau. Vitorino et al [3] ilustra na Figura 2 a estratigrafia da região da

Mina Cuiabá e as alterações nas zonas hidrotermais presentes nas BIF's enriquecidas com ouro.

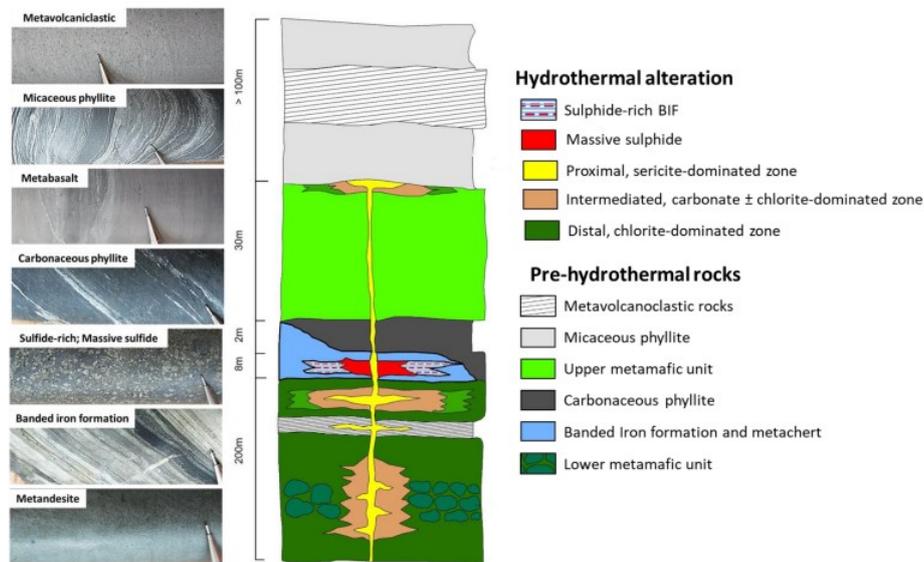


Figura 2: Coluna estratigráfica simplificada da Mina Cuiabá [3]

A região mineralizada é formada por rochas extremamente competentes, com comportamento elástico e resistência acima de 180Mpa. As encaixantes, sequências de xisto, possuem uma resistência em torno de 56Mpa, bem menos competentes, e apresentam comportamento plástico [2].

Avaliando os parâmetros de operação de lavra, temos que recuperação e diluição são alguns dos principais indicadores de qualidade, e que devem ser estudados com maior detalhe, estando estes entre os mais importantes. Em 2019, a recuperação de lavra da Mina Cuiabá foi de 79% (realizado), já em 2020 a meta de recuperação passou para 82%. De um ano para o outro, houve uma variação de 3% pontos percentuais de recuperação entre o realizado de um ano e a meta para o seguinte. Este trabalho teve como objetivo utilizar uma abordagem estatística na priorização de variáveis que mais influenciam a recuperação de lavra na Mina Cuiabá, de forma a se tornar possível elencar pontos focais para tomada de decisão no que tange a recuperação de lavra. Para isso, foram utilizadas técnicas de análise de regressão múltipla em variáveis potenciais influenciadoras da recuperação.

Fatores que influenciam na recuperação de lavra – Sublevel Stopping

Para se obter bons resultados de recuperação, deve-se trabalhar de maneira efetiva nas etapas de design dos stopes, avaliação do local de perfuração, perfuração e desmonte.

O design dos stopes depende muito da forma como o corpo de minério está distribuído, além, é claro, do posicionamento das galerias, de onde sairão os furos de perfuração.

Durante a etapa de design é importante, desde o processo de definição dos limites do stoppe, planejar possíveis locais para alocar a face livre (slot) e a direção da lavra.

Durante o design, é importante também avaliar a geometria da escavação. Historicamente, na Mina Cuiabá, obtêm-se melhores resultados de recuperação quando os stoppes são mais uniformes, isto é, da base para o topo se mantêm a espessura, sem alterar muito sua geometria. Avaliando a etapa de perfuração, faz sentido que stoppes mais uniformes tenham uma tendência a recuperação mais elevada, uma vez que se torna mais fácil projetar furos paralelos e espelhados de um leque para outro. Essa prática, de perfuração paralela, auxilia na geração de face livre e desmonte, além de ser melhor para etapa de perfuração. De acordo com Orica [4] os melhores resultados do desmonte são alcançados quando as cargas de explosivos são paralelas a face livre, estando a uma distância adequada. Essa configuração permite que a energia do explosivo seja usada de maneira mais efetiva e com máximo rendimento, tornando os desmontes mais eficientes.

Em métodos que utilizam perfuração longa, como é o caso da Mina Cuiabá, para lavras de Sublevel Stopping, o tipo de máquina de perfuração, a ferramenta de perfuração, expertise do operador, dimensão da galeria e características do maciço rochoso são elementos cruciais na determinação do desvio de furo. Quanto maior o desvio, maiores as chances de se ter uma recuperação baixa e diluição alta. Ojeda [5] exemplifica o percentual teórico de desvio esperado por máquina e ferramenta. A Mina Cuiabá, hoje, opera com máquinas tipo top hammer, utilizando hastes t38 e t45, com comprimento de perfuração chegando até 25m, e diâmetro de perfuração variando entre 3" e 8". A Figura 3 faz um referencial do desvio por tipo de máquina de acordo com Ojeda [5] e correlaciona com o desvio de perfuração praticado na Mina Cuiabá.

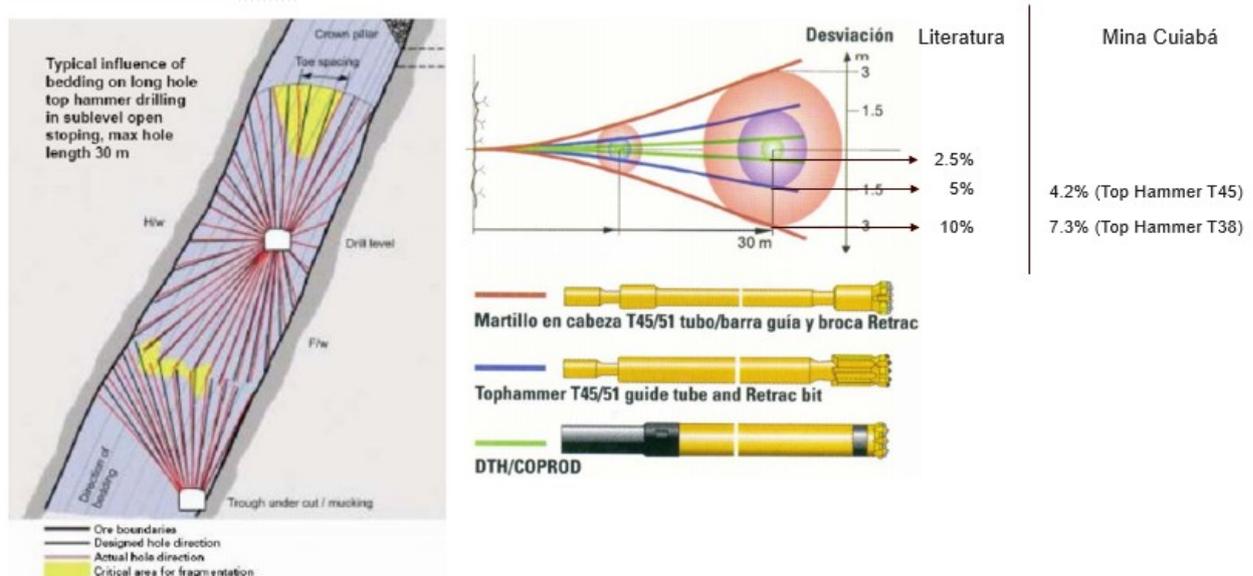


Figura 3: Desvio de perfuração de acordo com ferramental (Simposioun de taladros largos; Atlas Copco 2005, apud [5])

Para Jimeno [6], alguns dos fatores que mais influenciam o desmonte, e conseqüentemente na recuperação de lavra, são classificados em:

1. geométricos: destacando o diâmetro de perfuração, tamanho do furo, malha de perfuração, desvio;
2. físico química dos explosivos: destacando o tipo de explosivo, densidade, VoD e pressão de detonação;
3. tempo: destacando o sequenciamento, retardos e iniciação

Orica [4] cita que as propriedades da rocha, normalmente, são mais importantes que as características dos explosivos na determinação dos resultados do desmonte. Para ele, as propriedades da rocha que mais influenciam no desmonte são:

- Presença de descontinuidades, como falhas, juntas e quebras induzidas por aberturas próximas;
- Resistência a tensão de compressão e a tração de um ou mais tipos de rochas pertencentes ao maciço;
- Características elásticas da rocha
- Densidade, porosidade e presença de água

Análise de regressão múltipla

Análise de regressão é uma técnica de avaliação estatística que permite estudar a relação entre duas ou mais variáveis. Quando se avalia a relação de somente uma variável preditora com uma variável resposta, é chamada de regressão simples, e quando se tem mais de uma variável preditora para uma mesma variável resposta é denominada regressão múltipla.

Para Miranda [7] todos os fenômenos da natureza agem interconectados (efeito borboleta), por isso a ferramenta mais indicada para análise de regressão é a múltipla. Ele ainda cita como exemplo um processo simples, a altura de um bolo. Temos como variável resposta (Y) a altura do bolo, e preditoras (X's) quantidade de fermento e tempo de descanso da massa. Não é possível se chegar a uma resposta ótima (Y), considerando somente um fator (X).

Análise de regressão múltipla é utilizada quando a variável resposta é do tipo contínua, e as suas fontes de variação também são contínuas. A Figura 4 apresenta um quadro resumo com algumas técnicas estatísticas adotadas quando se deseja investigar a influência de uma determinada variável preditora na variável resposta do processo.



Figura 4: Ferramentas estatísticas por tipo de dado de entrada [7]

Para o estudo de uma análise de regressão múltipla, é necessário que se defina algumas variáveis utilizadas nesse processo. Como citado por Miranda [7], temos que:

r (coeficiente de Pearson) - Valor numérico que mede a intensidade da associação linear existente entre as duas variáveis, medida a partir de uma série de observações. Mede o quão próximas duas ou mais variáveis apresentam tendência conjunta convergindo em uma reta.

R^2 (coeficiente de determinação) - Mede a proporção da variabilidade presente nas observações da variável resposta Y que é explicada pelas variáveis preditoras X presentes na equação de regressão. Varia entre 0 e 1, onde 1 é a máxima correlação. Miranda [7] cita como boa prática os intervalos de 0 a 10% como correlação fraca, 10% a 50% correlação moderada e 50 a 100% correlação forte.

R^2 adj (coeficiente de determinação múltipla ajustado) - é a porcentagem da variação da variável de resposta Y explicada pela relação com uma ou mais variáveis preditoras X , ajustada para o número de preditores no modelo. É utilizado para determinar a qualidade do modelo.

Em um modelo de regressão múltipla nem sempre aquele que tem o maior valor de R^2 é o mais indicado. Em alguns casos, a simples adição de mais variáveis no modelo faz com que o valor de R^2 suba. Entretanto, essa nova equação, com mais variáveis, pode não ser a mais indicada. É nesse cenário que se utiliza o R^2 adj, pois ele leva em consideração o número de variáveis adotadas no modelo. Logo, para definição do melhor modelo, deve-se buscar por maiores valores de R^2 e R^2 adj, e que sejam mais próximos possíveis.

Cp de Mallows - Coeficiente que indica se existe ou não uma relação de multicolinearidade entre duas ou mais variáveis. Em análises de regressão múltipla, o ideal é que se remova todas as variáveis multicolineares. Quanto menor o Cp de Mallows em uma análise, menor a chance de multicolinearidade.

P value - segundo Arsham [8] é uma ferramenta de medida quantitativa com base em evidências contra a hipótese nula. Serve como uma medida quantitativa para inputs em processo de tomada de decisão como evidência. A tabela 1 apresenta medidas de P-value para tomadas de decisão.

Tabela 1: Interpretações de P-value segundo Arsham [8]

P-value	Interpretação
$p < 0.01$	Evidência muito forte contra H0
$0.01 \leq p < 0.05$	Evidência moderada contra H0
$0.05 \leq p < 0.10$	Evidência sugestiva contra H0
$0.10 \leq p$	Pouca ou nenhuma evidência real contra H0

METODOLOGIA

Para realização das análises de regressão múltipla foram avaliados os stopes lavrados entre o segundo semestre de 2019 e primeiro trimestre de 2020 na mina Cuiabá (todos utilizando o método de lavra Sublevel Stopping)

Foi montado uma base de dados com um total de 72 stopes, e avaliado 21 variáveis preditoras (X), sendo elas:

- Nível
 - Nível de operação da mina
- Corpo Contínuo
 - Corpo de minério onde foi feito a lavra, onde 0 – BAL / 1 – CGA / 2 – FGS / 3 – GAL / 4 – SER
- Asc/Desc contínuo
 - Se perfuração ascendente ou descendente, onde 0 – ASC / 1 – DES
- Ceg/Var contínuo
 - Se stope é varado no subnível superior ou cego, onde 0 – CEGO / 1 – VARADO
- Fandril contínuo
 - Tipo de máquina que perfurou o stope, onde 0 – MESA (t45) / 1 – BRAÇO (t38)

- Diâmetro do Bit
- Malha Slot
- Malha Leque
- Malha / Diâmetro Bit
 - Relação da malha de perfuração dividida pelo diâmetro do bit
- Alfa Slot
 - Dump angle aplicado na perfuração dos slots
- Alfa Leque
 - Dump angle aplicado na perfuração dos leques
- Diluição
- Rendimento Slot
- Perfuração específica leque
- Perfuração específica slot
- Comprimento strike CR
 - Onde CR são leques de contra-recuo
- Comprimento strike Slot e leque
 - Comprimento total do stope
- Comprimento Dip
 - Altura do stope
- Potência média stope
- Base Menor/Base Maior
 - relação entre dimensão da base inferior e da base superior do stope planejado. Quanto mais próximo de 1, mais uniforme é o stope, isto é, bases com dimensões iguais.
- Inclinação Stope

A variável desvio de perfuração não entrou na análise por não termos um valor de desvio para cada stope. Portanto, optou-se por não utilizá-la devido sua população amostral ser baixa e não correr o risco e enviesar alguma análise.

Como mostrado na Figura 4, somente variáveis contínuas são passíveis de entrar em uma análise de regressão múltipla. Dentre as 21 variáveis levantadas (X), pode-se observar que algumas, como por exemplo corpo de minério, são discretas. Com a finalidade de utilizá-las nas análises de regressão múltipla, estas foram convertidas, de maneira aleatória, em variáveis contínuas.

Adotando uma metodologia similar ao trabalho realizado por Costa [9] na definição de estratégias para prever e reduzir a diluição não planejada, foram definidos com output da análise de regressão múltipla para recuperação 6 saídas (Y), sendo elas: (onde Rec é recuperação de lavra):

- Rec
- $\text{Log}_{10}(\text{Rec})$
- 2^{Rec}
- Rec^2

- $\text{Rec}^{(1/2)}$
- $1/\text{Rec}$

Após definição dos 21 X's e os possíveis Y's, foram simuladas todas as combinações possíveis de equações que relacionassem os X's com cada Y, individualmente, utilizando o software Minitab. As etapas utilizadas até chegar na equação final foram:

1. Montar uma base com todas variáveis preditoras e contínuas;
2. Avaliar todas as equações possíveis para cada variável resposta e escolher a melhor, avaliando R^2 , R^2 adj, Cp Mallows;
3. Ajuste da equação escolhida com base no P-value;
4. Avaliação de resíduos;
5. Equação Final.

Após definição da equação e priorização das variáveis que mais influenciam o processo de recuperação de lavra na Mina Cuiabá, no período estudado, foi realizado um processo de Response Optimization. Esse processo define, com base em iterações múltiplas, qual o valor ideal de cada variável da equação final, de forma a se atingir a máxima recuperação. Define targets ótimos de cada variável.

Os Anexos 1, 2 e 3 apresentam todo o racional utilizado no software Minitab para definição da equação de regressão e o processo de Response Optimization.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Após realizados todos os testes e avaliações de análise de regressão múltipla obteve-se para cada variável resposta recuperação (Y), uma equação. Estas, foram resumidas na Tabela 2

Tabela 2: Resumo das equações multivariadas para as saídas de recuperação

Variável resposta (Y)	Número de variáveis preditoras (X)	R^2 (%)	R^2 adj (%)	Cp de Mallows
Y	8	31.9	23.3	-0.9
$\log(Y)$	8	29.7	20.8	-0.7
2^Y	9	33.7	24	0.5
Y^2	8	33.4	25	-0.6
$Y^{1/2}$	7	28.2	20.3	-0.7
$1/Y$	8	27.3	18.1	-0.2

A equação adotada, avaliando os critérios de R^2 , R^2 adj, Cp de Mallows e P-value foi aquela cuja resposta foi Y^2 . A equação detalhada é representada abaixo.

Equação 1: Regression Equation

$$\begin{aligned} Rec^2(Y) = & 0.8153 - 0.00331 (Corpo) - 0.00746 (Alfa Slot) + 0.00476 (Alfa Leque) \\ & - 0.02300 (Perfuração Específica Leque) \\ & + 0.00332 (Comprimento Strike CR) + 0.01872 (Potencia Média Stope) \\ & + 0.1990 \left(\frac{BaseMenor}{BaseMaior} \right) - 0.00469 (Inclinação Stope) \end{aligned}$$

A Equação 1 teve um R^2 de 33% e R^2 adj de 25%. Segundo Miranda [7], esses valores indicam uma correlação média. Por ser tratar de uma variável muito complexa (recuperação de lavra), e que depende de n fatores, alguns dos quais não avaliados nessa regressão (não estimados no banco de dados), adotamos essa equação como base para priorização das variáveis que mais influenciam a recuperação de lavra da Mina Cuiabá, dentro do intervalo avaliado.

O processo de Response Optimization, aplicado na Equação 1, resultou na otimização das 8 variáveis predictoras. Os valores otimizados podem ser observados na Figura 5. Durante a otimização foi simulado cenário com recuperação ideal, igual a 100%.

Variável	Configuração
CORPO CONTÍNUO	0
ALFA SLOT CONTINUO	0
Alfa Lq(°) CONTINUO	15
Perf. Escp. LQ	2,60043
Comprimento strike CR	10
Potencia média Stope	11,0568
(Base Men./Base Mai.)	1,05
Inclinação Stope	40

	EP do		
Resposta	Ajuste	Ajustado	IC de 90%
Rec2	1,0882	0,0953	(0,9291; 1,2473)
			IP de 90%
			(0,8206; 1,3558)



Figura 5: Response Optimization da Equação 1 considerando uma recuperação igual a 100%.

No total, a equação final de recuperação teve 8 variáveis. Avaliando cada uma de maneira individual, e correlacionando com o resultado da otimização e as condições operacionais da Mina Cuiabá, temos que:

- Corpo – Há uma tendência a recuperações maiores na região do corpo de minério denominado Balancão (BAL);
- Alfa Slot – Recuperações maiores ocorrem com stopes que não utilizam alfa na perfuração dos slots, dump angle igual a 0°;
- Alfa Leque – Recuperações maiores ocorrem quanto maior o alfa dos leques aplicados, no caso da Mina Cuiabá, valor foi de 15°;
- Perfuração Específica Leque – Valores próximos de 2,60 atingiram maiores recuperações;
- Comprimento Strike CR – Stopes com mais de 10m de extensão de leques de contra recuo possuem uma tendência a recuperações menores;
- Potência média do stope – quanto maior a potência maior a recuperação;
- Base menor/Base maior – quanto mais próximo de 1, maior recuperação. Isto é, realces mais uniformes, com poucas variações de design entre base e topo, apresentam recuperações maiores;
- Inclinação Stope – Na análise feita, inclinações médias apresentaram maiores recuperações (prox. de 45°). Quase todos os stopes estudados tinham uma inclinação baixa a média, isso, em partes explica a interpretação do valor de inclinação para essa variável. Em uma análise mais operacional, stopes mais inclinados (próximos de 90°) tem uma tendência a recuperam mais, uma vez que são melhores para posicionamento de perfuração e escoamento de minério, além de permitirem uma perfuração mais paralela.

Uma vez definido a equação para a recuperação de lavra da Mina Cuiabá e otimizado valores para variáveis preditoras, foram revisados procedimentos de design de stope e projetos de perfuração e desmonte, compilados em um “Guia de Boas Práticas”, que já existia na mina. Os passos seguintes foram padronizar alterações e garantir que fossem executadas em campo.

Foram monitorados os stopes de lavra durante o ano de 2020, todos seguindo as novas recomendações e com controle mais rígido sobre as variáveis sinalizadas na análise de regressão. A Figura 6 mostra o resultado das alterações e trabalhos realizados com foco na recuperação de lavra da Mina Cuiabá. O processo passou, de 2019, com uma recuperação média de 79.3% para 83.5% em 2020, uma aumento de 5.3% em relação ao ano anterior.

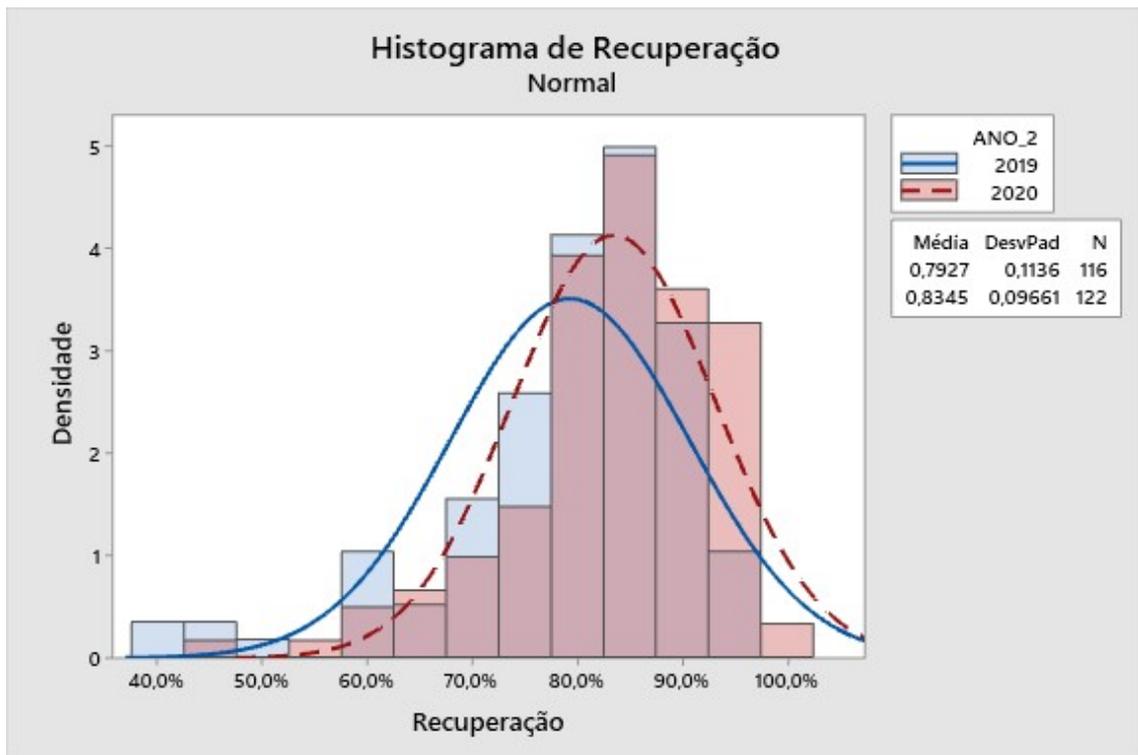


Figura 6: Curvas de recuperação de lavra 2019 e 2020 da Mina Cuiabá.

Uma outra avaliação interessante a se fazer é que além de deslocar a média do processo para um valor 5% maior que do ano anterior, o desvio padrão também reduziu, ou seja, o processo se tornou mais estável e com uma média maior. O desvio padrão, que antes era de 11.4% passou para 9.7%.

CONCLUSÃO

Com esse trabalho foi possível estabelecer uma metodologia de priorização de variáveis que interferem na recuperação de lavra para um método do tipo Sublevel Stopping.

Mais especificamente, para a Mina Cuiabá, as variáveis que mais interferiam no processo de recuperação, dado a condição e escala de tempo do espaço amostral, foram: Corpo, Alfa Slot, Alfa Leque, Perfuração Específica Leque, Comprimento Strike CR, Potência média do Stope, Base menor/Base maior, Inclinação Stope. Com o Response Optimization foram definidos ranges ótimos para todas as variáveis da equação de regressão.

Após priorização de variáveis e definição de intervalos ótimos, foi padronizado a metodologia de design, perfuração e desmonte de stopes. Essa alteração resultou numa mudança do processo de lavra, que em 2019 apresentou uma média de 79.3% e desvio padrão de 11,4%, para, em 2020, uma média de 83.5% e desvio padrão de 9.7%.

Como recomendação para próximos trabalhos em relação a recuperação de lavra e oportunidades de ganho, ficam:

- Realizar uma nova rodada de regressão múltipla com stopes lavrados em 2020 (processo mais estável), e novo banco de dados, além de correlacionar com a diluição não planejada;
- Avaliar metodologias de lavra para realces sob condições de tensão elevada e furos obstruídos;
- Definir qual booster é o mais indicado para perfurações longas em áreas de profundidade na mina e quantas escorvas são necessárias, conforme litologia e comprimento de perfuração;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Pereira, F.B. (2016), Interpretação do Overbreak da Rampa Fonte Grande Sul (Mina Cuiabá) e sua interação com o sistema de suporte. Dissertação (mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 186p.

[2] Barbosa, K.J. (2011), Avaliação Geotécnica de Lavra Subterrânea do corpo Serrotinho da Mina Cuiabá através de modelagem numérica tridimensional. Dissertação (mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 219p.

[3] Vitorino, A. L.; e Silva, R. C. F.; Lobato, L. M. (2020). Shear-zone-related gold mineralization in quartz-carbonate veins from metamafic rocks of the BIF-hosted world-class Cuiabá deposit, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: Vein classification and structural control. *Ore Geology Reviews*, 103789. 20p

[4] Orica (1999). *Safe and Efficient Blasting in Underground Metal Mines*. Copyright by Orica Australia Pty Ltd A.C.N. 004 117 828. 226p

[5] Ojeda, R. (2010). *Diseño de voladura en crater aplicando nuevo modelo matematico*. *Diseño de Voladura En Cráter - Peru*, 52p.

[6] Jimeno, C. L.; Jimeno, E. L, Carcedo, F. J. A.; Pernía Llera, J. P. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. 521p.

[7] Miranda, M. de P. (2017) *Formação de Green Belts Industriais Lean Six Sigma*. In *Sigma Treinamentos*.

[8] Arsham, H. (1988) Kuiper's P-value as a measuring tool and decision procedure for the goodness-of-fit test. *Journal of Applied Statistics*, v. 15, n. 2, p. 131-135.

[9] Costa, L.C.B. (2017), Metodologia para prever e reduzir o risco de diluição não planejada em lavras pelo método Sublevel Stopping. Estudo de caso: Mina Córrego do Sítio, Santa Bárbara/MG. Dissertação (mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 152p.

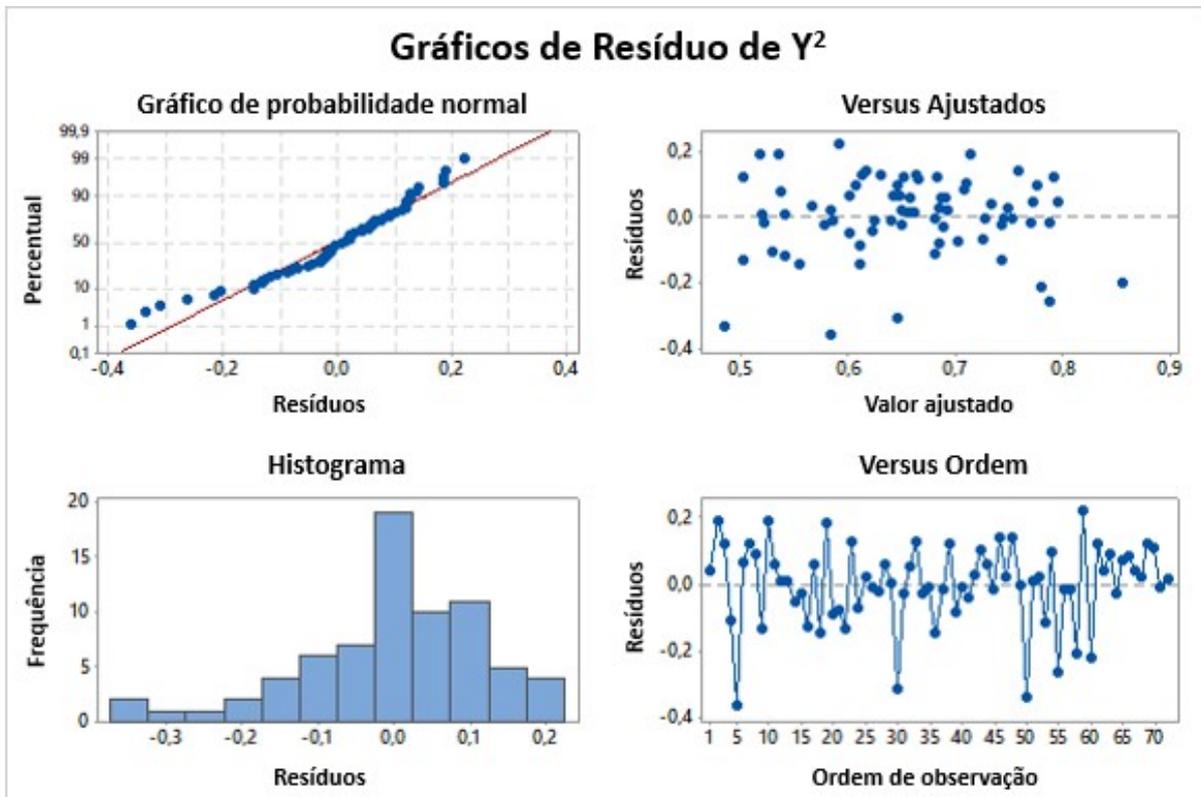


Figura 7: Análise de resíduos da regressão para rec^2 com 8 variáveis

Anexo 3 – Response Optimization para (Recuperação)²

Response Optimization: Rec2

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Rec2	Maximum	0.148265	0.914006		1	1

Solution

	CORPO	ALFA SLOT	Alfa Lq(°)	Perf.	Comprimento	Potencia	(Base
Men./Base							
Solution	CONTÍNUO	CONTINUO	CONTINUO	Escp. LQ	strike CR	média Stope	
Mai.)							
1	0	0	15	2.60043	44	11.0568	1.05
	Inclinação	Rec2	Composite				
Solution	Stope	Fit	Desirability				
1	15.3	1.31703	1				

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
CORPO CONTÍNUO	0
ALFA SLOT CONTINUO	0
Alfa Lq(°) CONTINUO	15
Perf. Escp. LQ	2.60043
Comprimento strike CR	44
Potencia média Stope	11.0568
(Base Men./Base Mai.)	1.05
Inclinação Stope	15.3

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Rec2	1.317	0.133	(1.052, 1.582)	(0.947, 1.687)