

**Comparativo dos modelos de capex para mineração**

**Comparison of capex models for mining**

**Comparación de modelos de capex para minería**

Recebido: 08/12/2020 | Revisado: 13/12/2020 | Aceito: 18/12/2020 | Publicado: 21/12/2020

**Guilherme Garcia Oliveira Queiroz**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2655-5664>

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

E-mail: [guilhermequeiroz06@hotmail.com](mailto:guilhermequeiroz06@hotmail.com)

**Felipe Ribeiro Souza**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6804-9589>

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

E-mail: [felipe.souza@ufop.edu.br](mailto:felipe.souza@ufop.edu.br)

**Bárbara Isabela da Silva Campos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0209-6224>

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

E-mail: [barbarascampos96@gmail.com](mailto:barbarascampos96@gmail.com)

**Resumo**

Estimar corretamente os custos de empreendimentos mineiros nas fases iniciais é importante para determinar a possibilidade de continuidade de pesquisa do depósito mineral. Diante da escassez e de uma padronização dos métodos de estimativa de custos das operações desses empreendimentos são utilizadas equações baseadas em regressão para a previsão dos custos e, com isso, surgem diferenças entre os resultados. O presente estudo, portanto, compreende uma análise de diferentes modelos de estimativa com foco nos custos de capital, ou seja, aqueles associados à infraestrutura necessária para a abertura de uma mina a céu aberto – lavra e beneficiamento. Foram avaliadas duas metodologias objetivando determinar qual é mais assertivo. Para verificar a compatibilidade entre os métodos foi realizada simulações de Monte Carlo com base nos limites dos modelos analisados. O estudo foi capaz de determinar qual modelo subestima os custos, com risco de apontar a viabilidade econômica de projetos inviáveis a luz do custo real.

**Palavras-chave:** CAPEX; Operação de mina; Estimativa de custo.

## **Abstract**

In order to estimate the costs of mining enterprises correctly before the construction of the mining it is important to determine the viability of the mineral deposit. There is no standardization of the methods of estimating operating costs of these projects. Regression-based equations are used to forecast costs and, as a result, differences arise between the results. This study analyses different estimation models with a focus on capital costs, that is, those associated with the necessary infrastructure for opening an open pit mine - mining and processing. Two methodologies were evaluated in order to determine which is more assertive. Monte Carlo simulations were performed to check the compatibility between the methods based on the limits of the analysed models. The study was able to determine which model underestimates costs, with the risk of pointing out the economic viability of projects that are not viable in light of the real cost.

**Keywords:** CAPEX; Mine operation; Cost estimation.

## **Resumen**

Para estimar correctamente los costos de las empresas mineras antes de la construcción de la mina es importante determinar la viabilidad del yacimiento mineral. No existe una estandarización de los métodos para estimar los costos operativos de estos proyectos. Las ecuaciones basadas en regresiones se utilizan para pronosticar costos y, como resultado, surgen diferencias entre los resultados. Este estudio analiza diferentes modelos de estimación con enfoque en los costos de capital, es decir, aquellos asociados a la infraestructura necesaria para la apertura de una mina a cielo abierto - minería y procesamiento. Se evaluaron dos metodologías para determinar cuál es más asertiva. Se realizaron simulaciones de Monte Carlo para comprobar la compatibilidad entre los métodos en función de los límites de los modelos analizados. El estudio logró determinar qué modelo subestima los costos, con el riesgo de señalar la viabilidad económica de proyectos que no son viables a la luz del costo real.

**Palabras clave:** CAPEX; Operación de mina; Estimación de costos.

## **1. Introdução**

O estudo de avaliação econômica para implantação de empreendimentos mineiros é essencial, segundo Júnior (2011), principalmente devido ao consumo cada vez maior de commodities minerais vs recursos escassos e diante das características singulares da indústria de mineração. Tais empreendimentos são projetos com grande variedade de riscos e incertezas

que refletem a variabilidade do retorno esperado do mesmo. De acordo com uma pesquisa realizada no Canadá e abordada por D'Arrigo (2012) em seu estudo de modelo de estimativa de custos de uma mina, nos últimos 25 anos 2118 mineralizações ou ocorrências julgadas interessantes foram encontradas e levadas à primeira análise. Destas, 40 geraram estudos de viabilidade econômica positivos sendo que somente 7 se tornaram mineração ou empreendimento lucrativo.

Dessa maneira, surgem diversas técnicas apropriadas que são utilizadas para estimar o valor de um ativo mineral assim como a eficiência do uso do capital. Atualmente, não existe uma abordagem padronizada, portanto os avaliadores fazem o uso das ferramentas que tem à disposição, justificando assim, o surgimento de diferenças entre as formas utilizadas (Smith 2002).

Carriconde (2010) cita os gráficos e fórmulas conhecidos como Modelo O'Hara, muito disseminado e frequentemente utilizado em guias e manuais. Além disso, cita diversos softwares desenvolvidos com a finalidade de auxiliar nas tarefas de dimensionamento e instalações, estimativa de custos e análise financeira como SHERPA, APEX E MAFMO. Vale ressaltar que cabe ao técnico adequar tais modelos às particularidades de cada mineração e complementá-los com avaliações individualizadas. Desse modo, neste estudo pretende-se analisar alguns modelos de estimativas de custos de capital e sua aderência à realidade a partir de comparações e simulações. Assim, diversas análises e discussões foram feitas a fim de entender a abordagem de cada modelo. Além disso, para uma avaliação econômica mais ampla, foi feita a correção dos custos para valores atuais através da Inflação e o Fator Findex (Franco-Sepulveda, Campuzano, and Pineda 2017).

## **2. Metodologia**

A metodologia inicial do trabalho está relacionada a transformação do conhecimento empírico de estimativa de custo para conversão em conhecimento científico estruturado. Para construção foram utilizados métodos dedutivos na construção das equações com objetivo de preparar para aplicação de metodologias quantitativas comparativas entre os modelos deduzidos(Pereira et al. 2018).

O presente estudo inicia-se com a pesquisa de modelos de estimativas de custos de operações mineiras. Sendo assim, dois modelos foram escolhidos para dar início ao trabalho, ambos publicados pelo antigo Bureau of Mines dos Estados Unidos. Dessa maneira, foram implementados basicamente dois cenários ambos baseados nas equações de 2 até 22

apresentadas anteriormente. Tais cenários podem ser separados de acordo com o tipo de variação dos dados de entrada segundo a divisão abaixo:

- Cenário Base: Modelo determinístico adotando-se os parâmetros presentes no Anexo as Tabelas 1, 2 e 3. Configuração que permite avaliar os limites de aplicação dos modelos utilizando a variação da taxa de produção.

- Cenário Simulado: Modelo baseado em probabilidade adotando-se os parâmetros presentes na Tabela 4. Configuração que permite avaliar a variação de parâmetros de entrada e taxa de produção simultaneamente.

A configuração do Cenário Base irá permitir determinar e avaliar a flutuação dos custos de operação por meio das equações 1 até 21, mantendo os demais parâmetros constantes. Vale ressaltar que, todo modelo de previsão de custos deve considerar a economia e deseconomia de escala para ser classificado como um modelo aderente à realidade. Sendo assim, será avaliado como ocorre à distribuição dos pesos nos dois modelos para diferentes taxas de produção com intuito de avaliar a variação do comportamento.

Para construção do Cenário Simulado foi utilizado o software @Risk para implementação da Simulação de Monte Carlo com base nos parâmetros da Tabela 4. Esse software trata-se de uma extensão adquirida no próprio ambiente de trabalho do Excel e, por meio dele, foi possível ter acesso a vários cenários e a probabilidade associada à ocorrência dos mesmos. De modo geral, o @Risk permite reduzir riscos e evitar decisões erradas sob valores que apresentam incertezas (Earl and Deem 2008).

Devido aos modelos terem sido elaborados no final da década de 70 e início de 80 foi necessário aplicar um fator que atualizasse os valores. Portanto, a fim de avaliar qual se adequa de maneira mais eficaz, foram utilizados dois fatores de correção dos custos: a Inflação e o Fator de Indexação. Tais sistemas de correção estão baseados nas equações 23 e 24, respectivamente.

### **3. Revisão Bibliográfica**

#### **3.1 Modelo Raheb**

Neste modelo, são estimados os custos de investimento apenas para as operações de carregamento e transporte. Para isso, estes custos são calculados, com o auxílio das equações a seguir, com base no tamanho e número de equipamentos de carregamento e transporte, na qual  $T$  é a taxa de produção de minério em toneladas por dia (Bagherpour 2007). Além disso, nessas

equações temos: capacidade da carregadeira (CC), número de carregadeiras (NC), tamanho do caminhão (TC), número de caminhões (NCA), custo equipamentos carregamento (CEC), custo equipamentos transporte (CET).

$$CC (yd^3)=0.13*T^{0.4} \quad (1)$$

$$NC=0.007*(T^{0.8}/CC) \quad (2)$$

$$TC (t)=8*(CC)^{1.1} \quad (3)$$

$$NCA=0.2*T^{0.8}/TC \quad (4)$$

$$CEC (\$)=(NC)*499813 * [(CC)] ^{0.73} \quad (5)$$

$$CET (\$)=(NCA)*19558 * [(TC)] ^{0.85} \quad (6)$$

Tais equações partem do pressuposto de uma mina a céu aberto, com capacidade de produção diária de 43.000 toneladas, formato oval, poço periférico com profundidade de 120-150 m, largura de 670 m, comprimento de 1430 m, altura de bancos de 12 m, inclinação geral do poço (57 graus em rocha competente e 43 graus em rochas oxidadas ou alteradas), o gradiente de estradas dentro da cava é, em média, 9% e os custos estão completamente de acordo com os valores de 1988 (Nourali and Osanloo 2019).

### 3.2 Modelo Clement

O Manual do Sistema de Estimativa de Custos de Capital e Operacionais, no qual contém o modelo de estimativa de custos que será estudada a seguir, foi preparado pela STRAAM Engineers, Inc., sob o Departamento do Interior dos Estados Unidos, para o Bureau of Land Management (B.L.M.) (Clement, Miller, and Geehan 1979). As curvas dos custos de perfuração e desmonte consideram uma taxa de produção (x) que varia de 10.000 a 200.000 toneladas por dia. Além disso, os custos de suprimentos incluem 10% para brocas rotativas e 90% para suprimentos de desmonte com explosivos, por exemplo (Thompson and Visser 2003). Os custos de operação do equipamento são distribuídos em 44% peças de reparo, 54% de combustível e lubrificação e 2% de pneus (Runge 1998). A curva de mão-de-obra inclui um encarregado da broca, perfuradores e auxiliares, trituradores e auxiliares, motoristas de caminhões de serviço e de perfuratrizes (Adrien Rimélé, Dimitrakopoulos, and Gamache 2018). Assim, as equações a seguir representam esses custos, sendo A um fator de correção dos índices dos custos em relação aos índices de 1979.

$$Yl=1.076*x^{(-0.355)}*A \quad (7)$$

$$Ys=0.135*x^{(-0.057)}*A \quad (8)$$

$$Ye=0.240*x^{(-0.313)}*A \quad (9)$$

Os custos relacionados a carregamento e transporte podem ser observados nas equações abaixo:

$$Yl=5.328*x^{(-0.321)}*A \quad (10)$$

$$Ys=0.025*x^0*A \quad (11)$$

$$Ye=0.859*x^{(-0.113)}*A \quad (12)$$

Existem dois fatores de correção que são levados em conta neste modelo, o fator de correção para os custos de mão de obra (Fl), equação 14, e custos de equipamentos (Fe), equação 15. Tais fatores devem ser multiplicados aos custos de mão de obra e equipamentos, respectivamente, caso haja diferença na profundidade da mina (R) e/ou distâncias de transporte (L).

$$Fl=0.0967*R^{0.03}*L^{0.263} \quad (13)$$

$$Fe=0.0422*R^{0.047}*L^{0.353} \quad (14)$$

Os custos de mão-de-obra são de aproximadamente 70% para a operação do equipamento e 30% para trabalhos de reparo e manutenção de equipamentos. Os custos relacionados ao consumo de energia elétrica para operação de escavadeira são considerados de suprimentos e o custo operacional do equipamento é distribuído por 24% de peças de reparo, 36% de combustível e lubrificação e 40% de pneus (Thompson 2013). Além dos custos citados anteriormente, leva-se em conta o custo para drenagem, que pode ser observado na equação 15, custos de comunicação na equação 16, custo de construção de edifícios na equação 17 e o de sistema elétrico na equação 18:

$$\text{Custo}=0.919*x^{0.831}*A \quad (15)$$

$$\text{Custo}=163*x^{0.516}*A \quad (16)$$

$$\text{Custo}=4649*x^{0.569} A \quad (17)$$

$$\text{Custo}=35.05*x^{0.846}*A \quad (18)$$

A equação abaixo representa os custos de aquisição dos equipamentos de escavação de minério, em toneladas:

$$\text{Custo}=1205*x^{0.878}*A \quad (19)$$

Vale ressaltar, que o fator de correção (A) é baseado em uma distância de transporte (L) e profundidade de mina (R) definidas, ambas em metros. Dessa maneira, ele pode ser encontrado pela equação abaixo.

$$\text{Fator}=0.0359*R^{0.047}*L^{0.353} \quad (20)$$

A equação 21 representa o cálculo necessário para a compra inicial do equipamento administrativo e baseia-se na tonelagem total movimentada (x):

$$\text{Custos}=6.548*x^{0.908}*A \quad (21)$$

### 3.3 Fatores de Correção

Para atualizar os valores obtidos pelas equações citadas anteriormente, estas foram multiplicadas, simultaneamente, por dois fatores distintos: Inflação e o Fator Findex, com o objetivo de obter valores os mais próximos possíveis da atualidade (Käki and Aula 2005). Sabe-se que a inflação se refere à desvalorização do dinheiro e, como os dados aqui apresentados baseiam-se na economia dos Estados Unidos, fez-se necessário levar em consideração a época em que foram levantados, final da década de 70 e início da década de 80, considerando as taxas de juros anuais. A equação 23 apresenta esta correção de inflação.

$$\text{Inflação}=\frac{(1+\text{Inflação média})}{100}*\text{Inflação do ano anterior} \quad (22)$$

O Fator Findex, proposto D'Arrigo (2012), surgiu tendo em vista a necessidade de contabilizar a estrutura econômica de cada país e foi adicionado às equações paralelamente ao Fator Inflação. Este fator é composto por duas grandezas, como mostra a equação, a seguir:

$$\text{Findex}=F\alpha \times F\beta \quad (23)$$

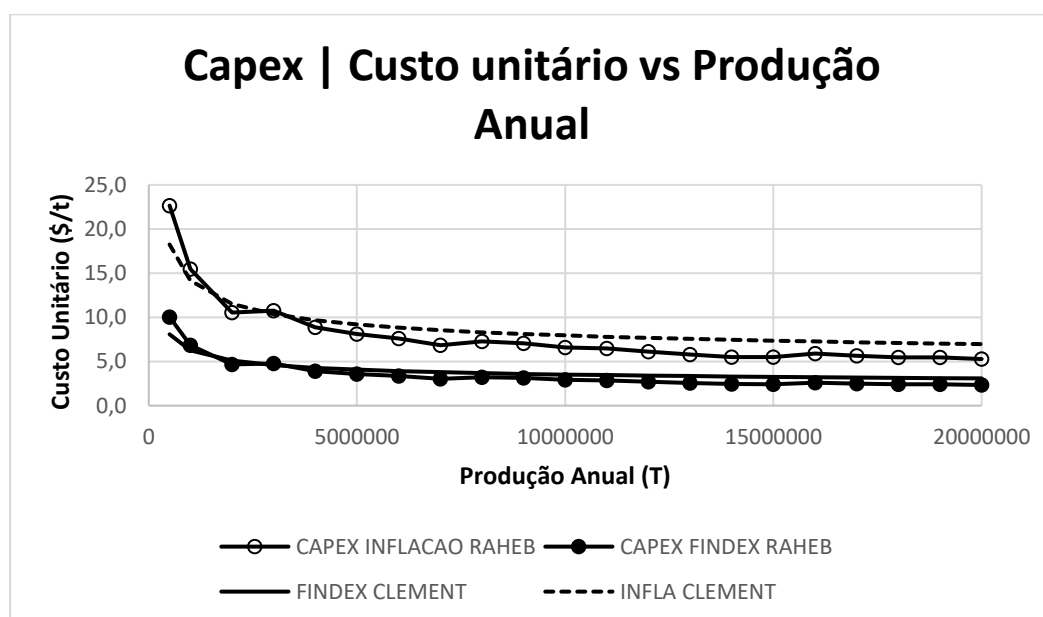
A primeira grandeza refere-se ao PPI (Producer Price Index), ou seja, o Preço de Produtor das commodities americanas que visa trazer a atualidade o valor do dólar, no caso de 1986. Já a segunda grandeza,  $F\beta$ , chamada Big Max Index visa estabelecer relação de paridade econômica entre países diferentes. Este índice é baseado no conceito PPA (Paridade do Poder Aquisitivo) no qual mede quanto que cada determinada moeda pode comprar em termos internacionais, normalmente o dólar (Clements and Si 2017).

#### 4. Resultados e Discussão

Inicialmente é importante verificar se os modelos propostos atingem a economia de escala para validar a aderência à realidade. Deve-se ressaltar que os custos propostos pelos modelos foram corrigidos devido ao efeito natural da inflação por meio dos dois métodos: a Inflação e o Fator de Indexação. A Figura 1 apresenta o comportamento do custo unitário de capital para todos os modelos. Sendo assim, é possível observar que ocorrem maiores custos em baixa escala de produção e verifica-se que o Fator Inflação eleva a curva para custos mais altos se comparados ao Fator Findex, tornando esse último o mais penalizado para correção.

Além disso, a análise do Modelo Raheb indica que a aplicação da economia de escala não ocorre de modo constante, já que é possível observar algumas regiões de flutuação anômala dos valores de escala. Tal fato ocorre devido ao aumento de custo suave que ocorre em algumas faixas de aumento de produção.

**Figura 1:** Capex: Custo unitário vs Produção anual.



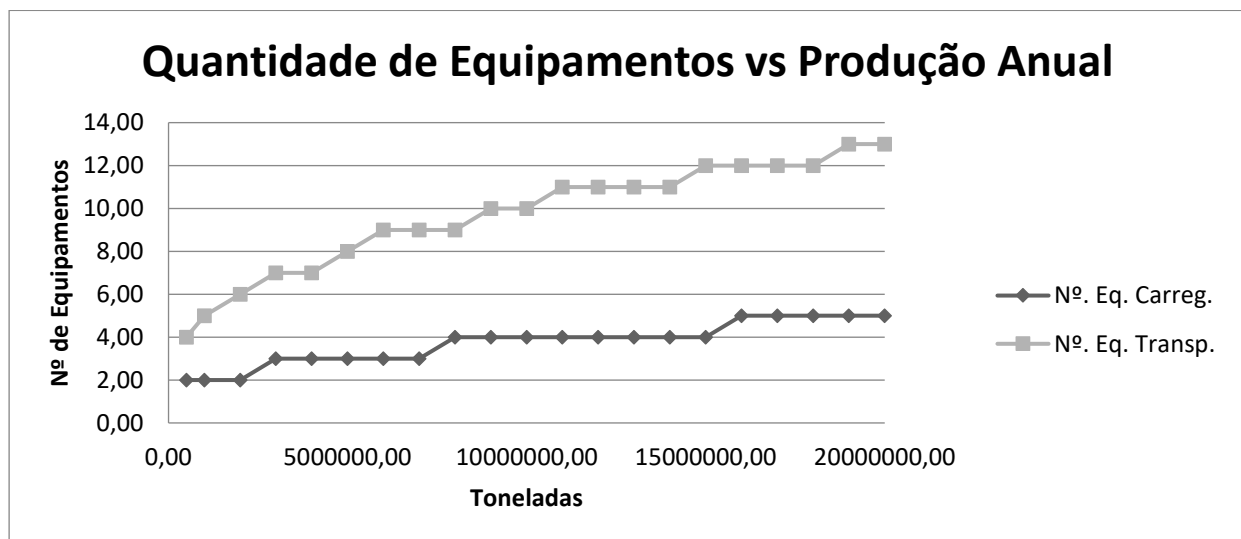
Fonte: Autores.



Para melhor entender a flutuação anômala das curvas deste modelo é necessário compreender a quantidade prevista de equipamentos requerida para carregamento e transporte.

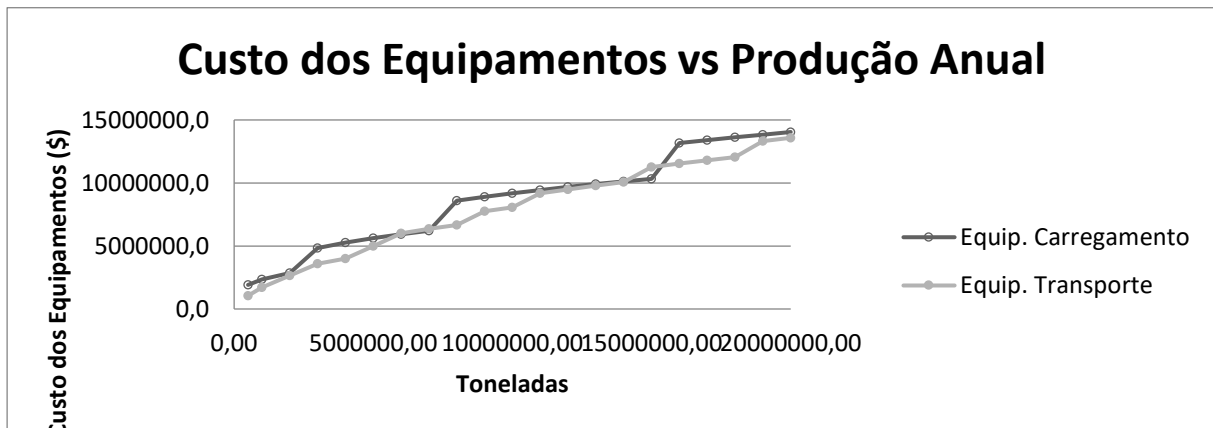
A partir da análise da Figura 2 e 3, nota-se que sempre que o número de unidades de carregamento aumenta, há um impacto no custo de aquisição do equipamento de carregamento. Por outro lado, pode-se perceber que o mesmo não ocorre quando o aumento se encontra nos equipamentos de transporte. Dessa maneira, ocorre um aumento significativo de custo nas regiões de 3MT, 8MT, 16MT, nas quais se faz necessário a compra de uma nova escavadeira mesmo sem haver aumento significativo de produção. Tal fato se justifica, uma vez que a quantidade de caminhões aumentada não consegue fazer a escavadeira operar 100% do tempo. Verifica-se essa afirmativa ao constatar que a quantidade de caminhões aumenta mesmo com a quantidade de escavadeira permanecendo constante em alguns intervalos. Observa-se também, que um salto no custo com a carregadeira não é compensado pelo aumento de produtividade, fazendo com que não ocorra economia de escala.

**Figura 2:** Quantidade de Equipamentos vs Produção Anual.



Fonte: Autores.

**Figura 3:** Custos dos Equipamentos vs Produção Anual.

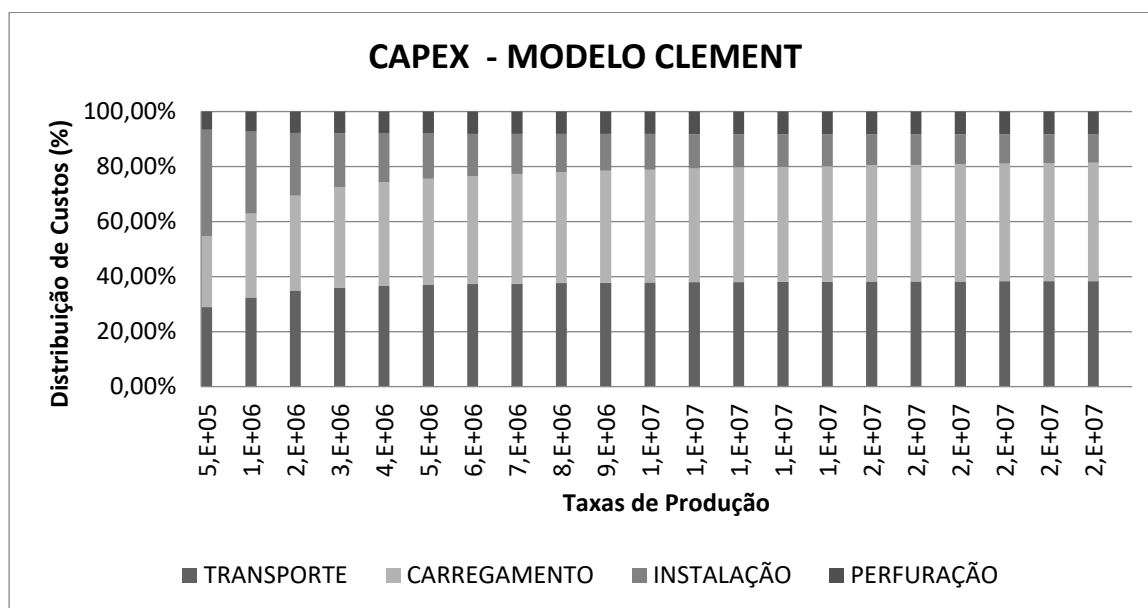


Fonte: Autores.

Para compreender a evolução do custo de capital foram elaborados dois gráficos de colunas empilhadas do peso das operações unitárias, destacando a distribuição de cada operação em cada um dos modelos. Por meio de uma análise das Figuras 4 e 5, pode-se perceber que o Modelo Clement considera mais operações ao estimar os custos de capital, enquanto o Modelo Raheb apenas considera Carregamento e Transporte.

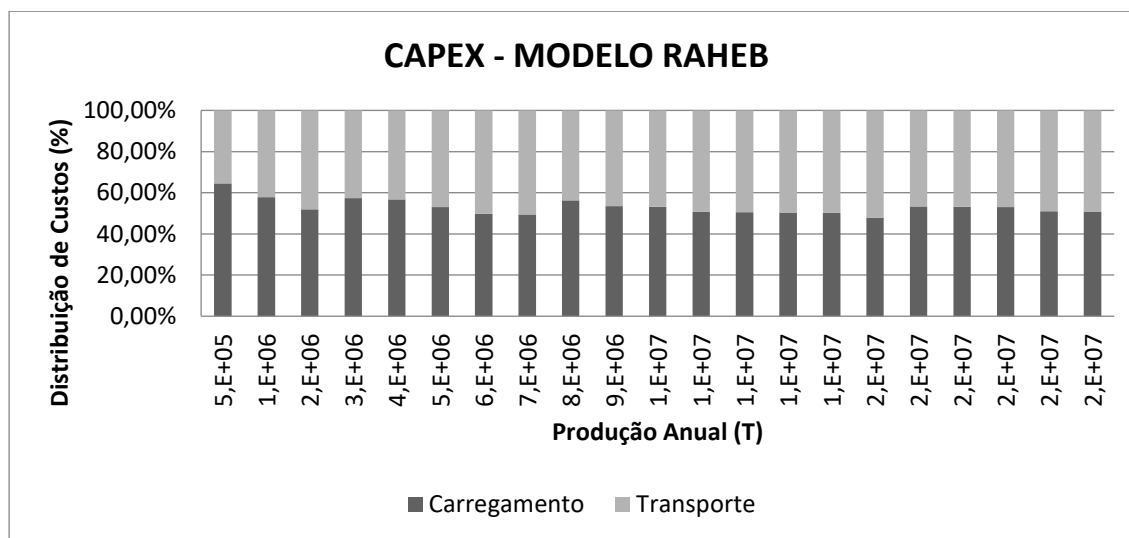
O Modelo Clement, Figura 4, apresenta o crescimento do custo das operações de carregamento e transporte com aumento da escala de produção. Percebe-se que os custos de instalação decrescem significativamente com o aumento da escala assim como esperado teoricamente. Outro ponto que deve ser ressaltado é o fato de o Modelo Raheb, Figura 5, apresentar uma tendência praticamente estável para os custos de carregamento, enquanto Modelo Clement apresenta um crescimento em seus custos à medida que se aumenta a produção anual.

**Figura 4:** Capex - Modelo Clement.



Fonte: Autores.

**Figura 5:** Capex - Modelo Raheb.



Fonte: Autores.

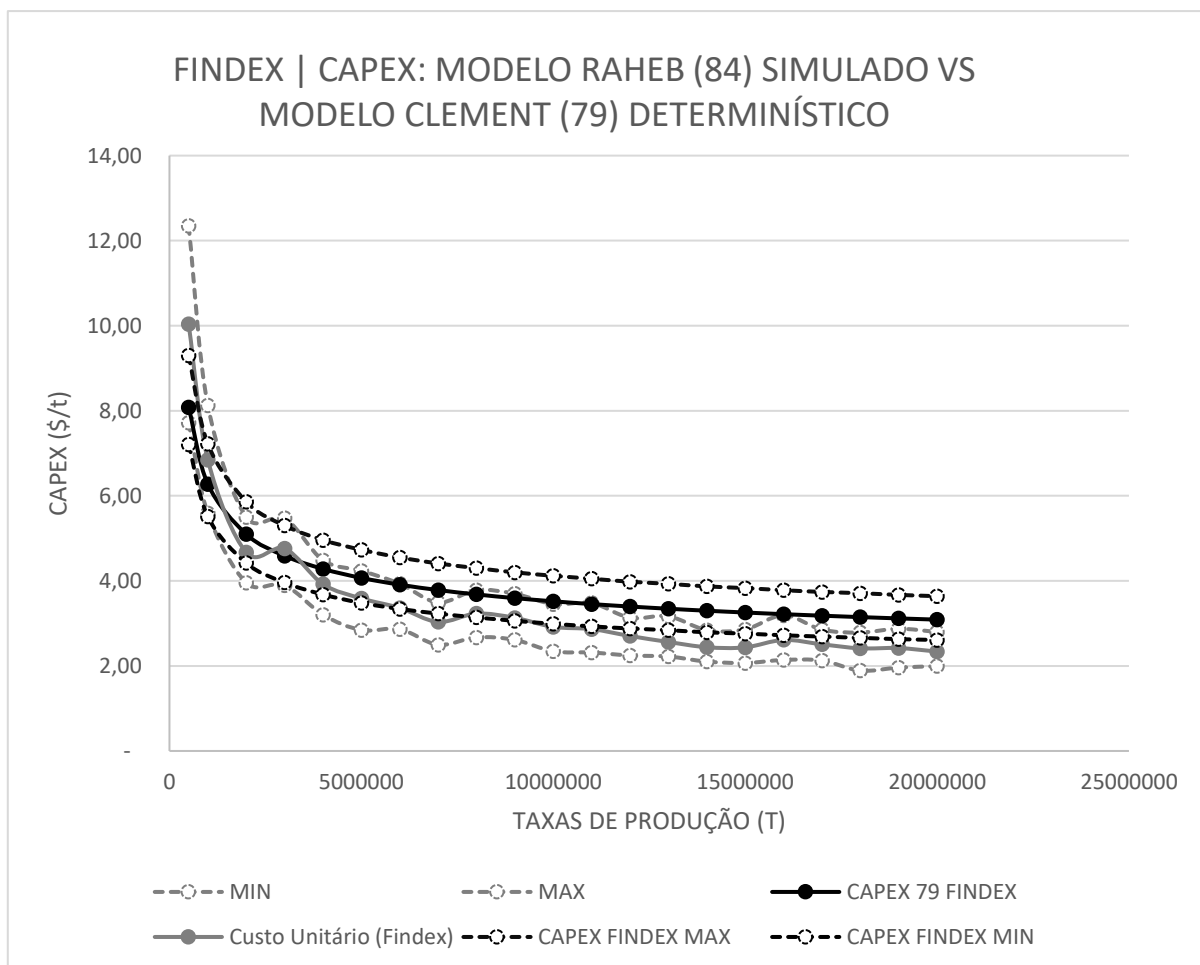
Para verificar a aderência entre os modelos analisados, a Simulação de Monte Carlo foi utilizada considerando que os parâmetros de entrada no modelo obedeciam a uma distribuição normal com intervalo de confiança de 90%.

Foi considerada a variação para custos como combustíveis, reparos de equipamentos, pneus e mão de obra. Além disso, foram considerados alguns parâmetros importantes para a estimativa dos custos como profundidade da mina e distância de transporte. Em relação ao

output, definiu-se como sendo os custos unitários apresentando valores mínimos e máximos para estes.

Observa-se que as taxas de produção mais baixas possuem maior aderência entre os modelos. Contudo, ao adicionar a economia de escala ao modelo apenas os limites superiores e inferiores demonstram aderência. A Figura abaixo fornece uma representação visual das análises descritas anteriormente.

**Figura 6:** Finindex | Capex: Modelo Raheb (84) simulado VS Modelo Clement (79) determinístico.



Fonte: Autores.

## 5. Conclusão

Ambos os modelos abordam diferentes formas de estimar os custos de capital de operações mineiras seguindo a metodologia paramétrica. O custo foi definido a partir de equações em função de uma variável específica que, neste caso, trata-se da taxa de produção.

Dessa maneira, de modo geral, ambos se mostram como ferramentas capazes de estimar o custo operacional para projetos em nível *green field*.

A partir desse estudo, verificou-se que o fator Findex apresentou maior penalização quando comparado à Inflação, fato que pode ser explicado devido ao maior refino da metodologia. Tal fator leva em consideração conceitos importantes como o de Paridade do Poder Aquisitivo juntamente com índices que fazem uma boa relação do dólar atual com o de outros anos, diferentemente do caso no qual apenas a inflação é utilizada, uma vez que pode conduzir a erros de estimativa para modelos desenvolvidos em outro período e base econômica. Esses erros acarretam prejuízos levando a super ou subestimativa das reservas.

Em relação à análise dos modelos, o Modelo Clement apresenta transição suave entre as taxas de produção mesmo utilizando um modelo mais robusto quanto à composição dos pesos. Além disso, este modelo retrata a realidade das operações mineiras em que os custos de instalação e perfuração são menores com o aumento da escala.

Percebe-se que o Modelo Raheb apresenta aderência somente a baixas taxas de produção, Figura 6. Assim como no Modelo Clement que, também, foi verificado que para taxas mais elevadas, acontece uma superestimção dos valores. Em outras palavras, o cenário de simulação apresenta maior aderência entre os modelos a baixas taxas de produção permitindo concluir que para menores taxas de produção a confiabilidade é maior.

Para obtenção de um modelo válido aos equipamentos e operações presentes no Brasil no futuro será necessário construir um modelo próprio baseado em estatística multivariada. Pois será possível identificar custos mais adequados a produtividade e custos operacionais brasileiros.

## Referências

Adrien Rimélé, M., Roussos Dimitrakopoulos., and Michel Gamache. (2018). “A Stochastic Optimization Method with In-Pit Waste and Tailings Disposal for Open Pit Life-of-Mine Production Planning.” *Resources Policy* 57(February): 112–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.006>.

Bagherpour, R. 2007. “Technical and Economical Optimization of Surface Mining Processes – Development of a Data Base and a Program Structure for the Computer-Based Selection and Dimensioning of Equipment in Surface Mining Operations.” *Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Clausthal*.

Carriconde, M. C. 2010. “Verificação Da Aplicabilidade Do Programa Mafmo Com Ferramenta Auxiliar Na Estimativa de Custos Em Projetos Conceituais.” : 136.

Clement, G. K. R., Miller, & Patrick H., Geehan. (1979). *Capital And Operating Cost Estimating System Handbook, Mining, Retorting And Upgrading Of Oil Shale In Colorado, Utah And Wyoming*. California.

Clements, Kenneth W., & Jiawei, S. (2017). “Simplifying The Big Mac Index.” *Journal of International Financial Management & Accounting* 28(1): 86–99. <http://doi.wiley.com/10.1111/jifm.12058>.

D’Arrigo, R. F. (2012). “Modelo de Estimativa de Custos Operacionais e de Capital Em Projetos de Mineração Em Fase Conceitual Baseado No Modelo de O’Hara.” Recuperado de: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsndl&AN=edsndl.oai.union.ndltd.org.IBICT.oai.agregador.ibict.br.BDTD.oai.btdt.ibict.br.UFRGS.oai.www.lume.ufrgs.br.10183.96382&lang=pt-br&site=eds-live>.

Earl, D. J., & Michael W. D. (2008). “Monte Carlo Simulations.” In, 25–36. [http://link.springer.com/10.1007/978-1-59745-177-2\\_2](http://link.springer.com/10.1007/978-1-59745-177-2_2).

Franco-Sepulveda, G., Carlos C., & Pineda, C. (2017). “NPV Risk Simulation of an Open Pit Gold Mine Project under the O’Hara Cost Model by Using GAs.” *International Journal of Mining Science and Technology* 27(3): 557–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.03.004>.

Júnior, I. S. M. 2011. “Diretrizes Fundamentais Para Um Estudo de Avaliação Econômica de Empreendimentos de Mineração: Um Estudo Bibliográfico.” Universidade Federal de Ouro Preto.

Käki, M., & Aula, P. (2005). “Findex: Improving Search Result Use through Automatic Filtering Categories.” *Interacting with Computers* 17(2): 187–206. <https://academic.oup.com/iwc/article-lookup/doi/10.1016/j.intcom.2005.01.001>.

Nourali, H., & Morteza, O. 2019. “Mining Capital Cost Estimation Using Support Vector

Regression (SVR).” *Resources Policy* 62: 527–40.

Pereira, A. S., et al (2018). Metodologia da Pesquisa Científica *Método Qualitativo, Quantitativo Ou Quali-Quanti*. [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Runge, I. C. (1998). *Mining Economics and Strategy*. SME.

Thompson, R. J. (2013). “Principles of Mine Haul Road Design and Construction.”

Thompson, R. J., & Visser, A. T. (2003). “Mine Haul Road Fugitive Dust Emission and Exposure Characterisation.” *Sustainable World* 8(January): 103–12.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Guilherme Garcia Oliveira Queiroz – 60%

Felipe Ribeiro Souza – 20%

Bárbara Isabela da Silva Campos – 20%