

## ANÁLISE DO TRANSPORTE DE MINÉRIO: UMA ABORDAGEM FINANCEIRA UTILIZANDO O MÉTODO DE BLACK & SCHOLES EM OPÇÕES REAIS

Rodrigo Rodrigues de Freitas<sup>1,2</sup>  
Diego Manoel Enedino Gonçalves<sup>2</sup>  
Thiago de S.C.P. Mayrink<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro – PET/COPPE/UFRJ

<sup>2</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro – CEFET-RJ

### RESUMO

O custo em transporte possui um peso grande na tomada de decisão dos agentes de negócios. A escolha correta poderá proporcionar retornos maiores em médio e longo prazo, uma vez que, a maior parte do aporte se concentra em bens físicos. Na pesquisa procura-se abordar o modelo de Black & Scholes com procedimento *twin security* (comparação de dois modelos com métodos semelhantes). Esse método de precificação de ativos financeiros é mais utilizado no momento, pois absorve as oscilações de mercados em *ex-nunc*, ou seja, daqui para frente. Foram utilizadas três empresas: MRS – Logística S.A. e Companhia Siderúrgica Nacional – CSN para ferrovia, em relação ao mineroduto a empresa foi Anglo Ferrous Brazil subsidiária da Anglo American. Sobre quaisquer hipóteses, o transporte por ferrovia foi o melhor no período analisado (2008 e 2016).

Palavra-Chave: Opções reais, Análise de investimento, Transporte de minério

### ABSTRACT

The cost of transportation has a great weight in the decision-making of business agents. The correct choice may provide greater returns in the medium and long term, since most of the contribution is concentrated in physical assets. In the research we tried to approach the Black & Scholes model with twin security procedure (comparison of two models with similar methods). This method of pricing financial assets is more used at the moment, since it absorb the market oscillations in *ex-nunc*, that is, going forward. Three companies were used: MRS - Logistics S.A. and National Steel Company - CSN for railroad, in relation to the pipeline the company was Anglo Ferrous Brazil subsidiary of Anglo American. On any hypothesis, rail transport was the best in the period analyzed (2008 and 2016).

Keyword: Real options, Investment analysis, Ore transport

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte de carga é um dos parâmetros que compõe o custo logístico, em um terminal de distribuição. Técnicas e ferramentas de gestão orientam o gestor na tomada de decisão, a fim de mitigar o risco inerente ao mercado de transporte. Um sistema de transporte eficiente proporciona uma sociedade mais consciente a preservação do meio ambiente, a integração das pessoas e uma distribuição de mercadorias com preços acessíveis aos cidadãos e as empresas. Segundo D`agosto (2015) o sistema de transporte é a integração de recursos materiais, humanos, financeiros e intelectual necessários para o deslocamento, como de pessoas e de cargas.

Empresas presentes no mercado de transporte de carga têm suas receitas afetadas por diversas variáveis, os principais fatores capazes de influenciar o custo de transporte são o volume de carga, periodicidade de transporte e os custos de manutenção e operação. Os custos são muito sensíveis a choques externos e volatilidade de mercado, alguns exemplos são: variações no preço dos insumos, valor da mercadoria, demanda, inflação, impacto ambiental entre outros. Shafiee, Topal e Nehring (2009) descreve o método de avaliação de opções reais – ROV como forma de maximizar a produção de minas e enfatiza que a variável mais importante é o preço e tamanho da reserva. Fatores que exige do gestor habilidades constantes na tomada de decisões referentes a projetos que possam agregar valor, reduzir os riscos e lidar com a

volatilidade e incerteza presentes tanto em projetos de investimento, quanto no mercado de atuação. Venables, Laird e Overman (2014) enfatiza que os impactos do sistema de transporte são amplos, se tratando de três dimensões: benefícios ao usuário, aumento de produtividade e efeitos em investimento e emprego.

Os dados da pesquisa foram compilados em dois períodos após o investimento inicial, entre os anos de 2014 até 2016, projetado a taxa livre de risco de 6,13% ao ano. O investimento na estrada de ferro corresponde dois trechos distintos, o primeiro pertence a Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, e o segundo a MRS - Logística S/A. O trecho que compreende 428 km entre as cidades de Brumadinho e Itaguaí no Rio de Janeiro, mais 98km que compreende a Casa da Pedra até Congonhas de responsabilidade de Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, ambas no estado de Minas Gerais, totalizando 526 km de distância. As obras do duto são referentes ao maior mineroduto do mundo da empresa Anglo Ferrous Brazil (pertencente à Anglo American) onde os investimentos estavam estimados em 3,6 bilhões de dólares com prazo de execução de três anos. As obras iniciaram em 2008 e foram finalizados em 6 anos depois por 15 bilhões de dólares. A pesquisa compreende valores aproximados do real planejado, uma vez que, os dados não foram solicitados as empresas citadas, e sim pesquisadas em balanço social divulgada à imprensa e agências reguladoras.

Visando tomar decisões financeiras em projetos, o investidor utiliza diversas ferramentas de análise de investimentos com objetivo de obter uma visão mais clara e ampla do projeto, além de fornecer ao mesmo tempo, um olhar mais crítico, permitindo tomar decisões mais assertivas. A importância da utilização de diversas ferramentas, mediante ao fato que, nenhuma ferramenta é capaz de fornecer todas as respostas, porém, uma combinação pode complementar, e em muitos casos é suficiente para decidir entre diferentes projetos, analisando suas características, mensurando seu potencial para agregar maior valor as empresas, ao retorno do investimento, período de execução do projeto, entre outros.

A pesquisa comparou o transporte de carga ferroviário e dutoviário estabelecidos e operacionais, a fim de, verificar em quais modelos são mais eficientes, quais variáveis afetam mais as decisões de aporte em projetos, à luz de ferramentas de análise de investimento sob incerteza. Ambos os modos de transporte possuem o mesmo produto e finalidade. O transporte de minério de ferro em Minas, localizado no estado de Minas Gerais sendo transportando para o estado do Rio de Janeiro. Na impossibilidade de obter resultados de uma linha de mineroduto ao lado de uma linha férrea, utiliza-se na pesquisa o mesmo produto com quilometragem semelhante. A proposta da pesquisa é demonstrar a importância das ferramentas financeiras sob incerteza, afim de obter maior resultado e poder de decisão. Segundo Minardi (2004) a flexibilidade em um projeto financeiro é apenas uma possibilidade, e não uma obrigação, porém aumenta as possibilidades para a tomada de decisão. Aplica-se a teoria das opções reais – TOR como processo de comparação *twin security*. A escolha do método é mediante o incremento do movimento geométrico browniano, uma vez que, esse método deriva da Cadeia de Markov. Ainda Lee (2011) diz a respeito que a opção está vinculada a incerteza do projeto, pois ao contrário do fluxo de caixa descontado, onde o valor do investimento se deprecia com o aumento da volatilidade, o método TOR valoriza a flexibilidade gerencial como uma opção incorporada. Como a proposta é analisar possíveis empresas estabelecidas ou em implantação, o processo faz-se uma análise probabilística em *ex-nunc*, ou seja, daqui para frente.

A análise compreende dois projetos de transporte de minério, um através do investimento no mineroduto, e outro através do investimento em estrada de ferro, ambos entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro com aproximadamente 530 km de extensão. Após a introdução, a segunda sessão tem por objetivo justificar a motivação para a realização desta pesquisa, a terceira sessão apresenta os métodos e modelos utilizados, na quarta sessão deste artigo aplica-se os resultados obtidos através dos métodos e modelos matemáticos previamente introduzidos, e por fim, a quinta sessão contempla a conclusão e os resultados obtidos.

## **2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA**

A pesquisa tem por finalidade apresentar a melhor proposta de acordo com o método de teoria das opções reais - TOR, utilizando-se da comparação entre os modelos de transporte ferroviário e dutoviário, uma vez que, ambos possuem o menor custo por produto transportado em longo prazo, porém com alto custo de implementação. O mineroduto possui uma extensão de aproximadamente 530 Km entre as cidades de Alvorada de Minas no estado de Minas Gerais até a cidade de São João da Barra no norte do estado do Rio de Janeiro, passando por 32 cidades. Possui a capacidade de transportar em média 2.500 m<sup>3</sup>/h ou 15.000.000 de toneladas ao ano com um investimento de 15 bilhões de dólares em seis anos. A estrada de ferro compreende dois trechos, o primeiro entre as cidades de Congonhas até Brumadinho com a extensão de 98 km, e segundo trecho entre Brumadinho até Itaguaí com a extensão de 428 km, totalizando 526 km da extensão até o transbordo.

Os métodos tradicionais de análise de investimento como é o caso do Fluxo de Caixa Descontado – FCD, não satisfazem uma pesquisa de longo prazo, pois ao longo do tempo, a economia e os indicadores financeiros sofrem perturbações externas e oscilações temporais. Segundo Dixit e Pindyck (1994) o método do Valor Presente Líquido – VPL ou o Fluxo de Caixa Desconto – FCD não conseguem absorver o valor da flexibilidade, pois não consegue se antecipar ao risco previsto, ocorre principalmente por que utiliza de desconto uma taxa constante, logo esse método é utilizado para análise livre de risco, uma vez que, a taxa de desconto é constante e não mudará ao longo do tempo. Segundo Sharpe (1964), Lintner (1965), Black (1972), a taxa livre de risco é utilizada para reduzir risco para investimento em portfólio, por mais que foi muito criticada por Fama e French (1992) por não proporcionar correlação positiva entre o retorno e o beta de mercado. Para determinar a melhor estimativa dos dados Copeland, Koller e Murrin (1995) propuseram que a melhor taxa livre de risco seria o retorno de um portfólio com beta igual a zero, já proposto por Black (1972).

O FCD é orientado para ambiente com baixa ou sem oscilação, partindo dessa premissa, optou-se pela aplicação da Teoria das Opções Reais - TOR, devido a sua capacidade de incorporar incertezas ao valor do projeto além de precificar o valor da opção, auxiliando no processo de tomada de decisão. Segundo Santos e Pamplona (2001) e Dixit e Pindyck (1994) o fluxo de caixa tradicional não absorve mudanças probabilísticas e são irreversíveis, contudo a utilização da TOR mitiga o risco do projeto, pois esse método possui características reversíveis antecipando movimentos de forma probabilística. O FCD possui características irreversíveis, assumindo uma posição de agora ou nunca com a taxa de desconta estacionária ao longo do tempo.

No processo gerencial deve-se observar como as informações afetam a tomada de decisão, os impactos e sua relação com o ambiente interno e externo da empresa. A assimetria de informação distorce a interface e a percepção que o gestor tem em relação aos dados

ambientais. Segundo Minardi (2000) e Trigeorges (1993), a assimetria resultante criada pela adaptabilidade requer uma regra para um VPL expandido que reflita os dois valores componentes: o VPL tradicional (estático ou passivo) e o valor da opção de operação e adaptabilidade estratégica. Dessa forma, têm-se:

$$VPL = - Investimento + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{FC}{i} \quad (1)$$

e;

$$VPL \text{ expandido} = VPL \text{ estático (passivo)} + \text{Valor da Opção (Flexibilidade administrativa)} \quad (2)$$

A flexibilidade administrativa está relacionada ao valor da opção, neste caso se utiliza opções europeias de compra e de venda ao longo da pesquisa. Segundo Santos e Pamplona (2005) a opção de compra é o valor da flexibilidade administrativa pelo fato do investidor ter o direito, mas não a obrigação de exercê-la. Entre os tipos de precificação se aplica o modelo de Black & Scholes (1973) para estabelecer uma aproximação da realidade de acordo com oscilação do mercado e de choques exógenos, pois o modelo possui variáveis que mensura os impactos do mercado no valor da empresa.

### 3. METODOLOGIA APLICADA

A utilização do procedimento metodológico proporciona uma visão mais esclarecedora do processo de pesquisa, uma vez que, utilização do processo *twin security* onde procura-se replicar um fluxo de caixa de um ativo similar. Para ambos os modelos de transporte, ferroviário ou dutoviário, faz-se uma comparação utilizando o modelo Black & Scholes para determinar qual ativo em situação de compra ou de venda é mais rentável.

#### *Modelo de Black & Scholes*

- *Opção de compra:*

$$C = S0N(d1) - E_c e^{-rt} N(d2) \quad (3)$$

Em que:

$C$  = Preço da Opção de Compra.

$S$  = Preço do ativo real no momento atual.

$E_c$  = Valor do investimento em produtividade.

$r$  = Taxa livre de risco.

$T$  = Tempo para o vencimento da opção, em anos.

$\sigma$  = Volatilidade do preço do ativo, expressa ao ano.

$N(..)$  = Função de distribuição normal acumulada.

- *Opção de venda*

$$P = E_v e^{-rt} N(-d2) - S0N(-d1) \quad (4)$$

Em que:

$P$  = Preço da Opção de Venda.

$S$  = Preço do ativo real no momento atual.

$E_v$  = Preço de venda do projeto E (valor de mercado).

$r$  = Taxa livre de risco.

$T$  = Tempo para o vencimento da opção, em anos.

Onde:

$$d1 = \frac{\ln(S/E) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (5)$$

e;

$$d2 = d1 - \sigma\sqrt{T} \quad (6)$$

#### 4. OBSERVAÇÃO DOS EFEITOS GERADOS EM LONGO PRAZO DO MODELO BROWNIANO EM RELAÇÃO A VOLATILIDADE

O modelo de Black & Scholes segue o movimento browniano geométrico (MGB) com *drift* e volatilidade constante de acordo com o Processo de Wiener, contudo, é orientado a utilização em ambientes com volatilidade até 30%, pois acima desse valor o modelo não apresenta confiabilidade de projeção adequada, em países com grandes oscilações de risco de seus ativos financeiros, o modelo de Black & Scholes não é recomendado. Testes realizados utilizando métodos de Monte Carlo demonstram que o aumento da volatilidade possui tendência a zero no longo prazo.

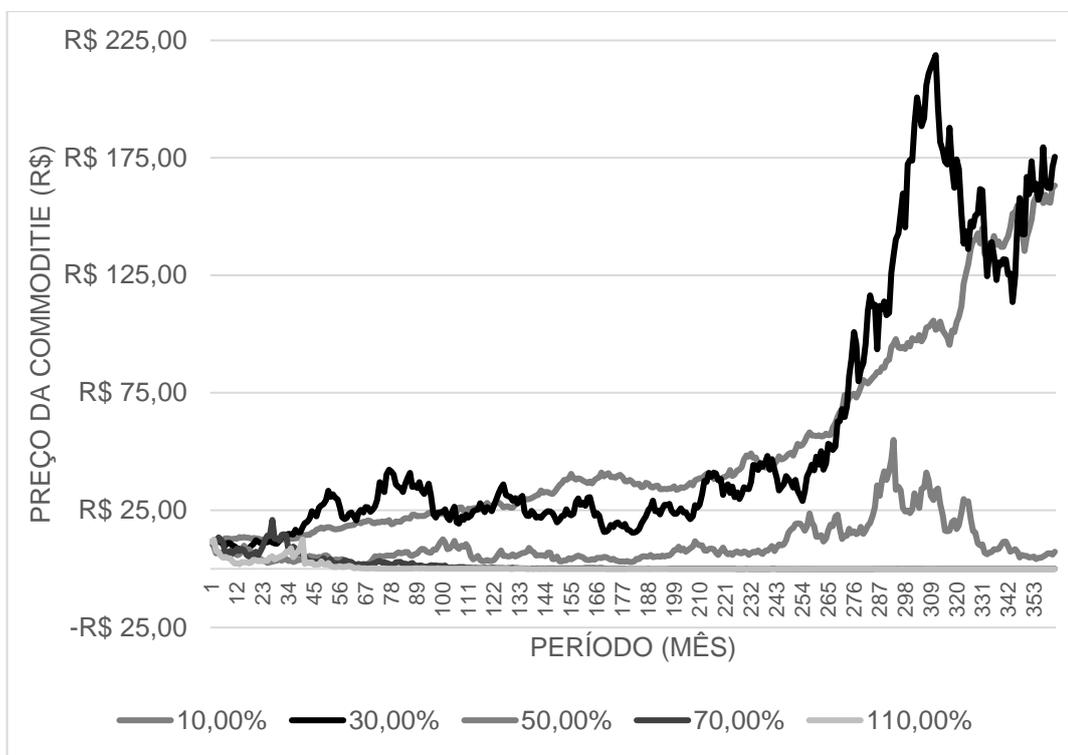
Alguns produtos, nesta pesquisa demonstrada em *commodities*, sofre interferência de variações exógenas, como o modelo possui variáveis estocásticas, quanto maior o prazo de utilização, maior será o choque externo em relação a tendência. Evatt *et al.* (2010) e Haque, Topal e Lilford (2014) a utilização da abordagem estocástica possui limitações em relação ao tempo, esse problema está associado ao sistema de Hamilton-Jacobi-Bellman de equações diferencial parcial, por isso, é usual a utilização de métodos numéricos. O MGB segue uma distribuição de probabilidade log-normal, não admitindo valores negativos.

Em simulações computacionais, o aumento da volatilidade apresentou uma sensibilidade para valores em até 30%, respeitando uma certa tendência em longo prazo com aumento de entropia. O aumento da volatilidade aumenta a entropia no modelo, pois a linha do gráfico passa a ter uma tendência a zero perdendo a sua eficácia. Como os investidores são esperançosos em obter maiores retornos para seus projetos, em ambientes de alta volatilidade, esses ficaram “sempre” na expectativa da taxa aumentar para obter um maior retorno, onde na primeira situação, assim como na segunda, os valores obtiveram um aumento muito acentuado.

Esse modelo é orientado para situações de médio prazo em ativos de *commodities*, pois a extensão de tempo de execução, assim como a oscilação da taxa de risco poderão induzir uma análise errada do projeto. Segundo Jovanovic (2014) os preços das *commodities* comumente são impactados pela oscilação e incerteza sobre o preço futuro, uma vez que, esses produtos são negociações de forma antecipada podendo impactar no preço de venda no futuro. Por isso, Kulatilaka e Marcus (1992), Laughton e Jacoby (1993), Pickles e Smith (1993), Kulatilaka e Trigeorgis (1994), Mauer e Ott (1995), Palm e Pearson (1986), Cavender (1992) passaram a utilizar nos métodos de análise a opção de abandono especificamente no mercado de Petróleo e Gás como forma de verificar outras oportunidades de negócios ou esgotamento do projeto, pelas constantes oscilações dos preços das *commodities*.

Em testes de Monte Carlo, a utilização de valores aleatórios, mensurando a sensibilidade do modelo em relação ao risco do ativo, o modelo perde a eficácia com volatilidade acima de 30%. A figura 1 exemplifica o modelo, pois as variações acima de 50%, a volatilidade tende a zero. Quando a volatilidade se aproxima de 30%, o aumento do prazo de avaliação tende a

augmentar a oscilação dos dados. O aumento da volatilidade provoca um estado de entropia de forma acentuada até 30%, porém ainda aceitável, e transpondo a faixa de 50% a volatilidade tende a zero perdendo a sua eficácia.



**Figura 1:** Volatilidade histórica simulada do preço do minério de ferro (março/86 – março/2016)

## 5. APLICAÇÃO COMPARATIVA UTILIZANDO O MODELO DE BLACK & SCHOLES EM TWIN SECURITY

A escolha do modelo comparativo entre os fluxos de caixa, por si só, não corresponde qual investimento poderá oferecer o maior retorno ao longo de tempo, pois simplesmente a escolha do maior volume monetário não é critério, uma vez que, os investimentos iniciais são distintos um dos outros e o retorno no tempo é diferente na sua aplicação. O modelo ferroviário possui uma estrutura mais linear, contudo o modelo dutoviário possui uma necessidade de investimento maior no começo, sendo amortizado ao longo dos anos. Utiliza-se como critério o espaço de dois períodos de análise, uma vez que, o modelo de Black & Scholes precifica as opções em médio prazo partindo de uma observação *ex-nunc* ou “daqui para frente”. Segundo Copeland e Antikarov (2003), “Uma opção é o direito, mas não a obrigação, de tomar uma ação (Ex. adiar, expandir, contratar ou abandonar) a um custo predeterminado chamado preço de exercício, durante um determinado período de tempo”. A pesquisa recolheu dados de empresas envolvidas no transporte de minério da extração até o porto para exportação, onde ambos os modelos de transporte são utilizados para exportação via navio.

**Tabela 1:** Expectativas dos valores do modo ferroviário 2014-2016

Modo ferroviário	(a.a)
Fluxo de caixa atual (2015)	\$536.427.939,88
Valor Presente (VP) (2015)	\$3.831.628.142,00
Valor Presente (VP) (2017)	\$4.315.783.822,96
Valor de mercado em longo prazo	\$21.543.193.662,16
Valor de mercado atual (2017)	\$3.016.047.112,70
Investimento inicial (2014)	\$2.592.010.543,39
Investimento inicial (2017)	\$2.919.531.008,11
Taxa Básica de juros em 10/2016	14%
Taxa livre de risco (a.a)	6,13%
Volatilidade do ativo	30,00%
Vencimento (anos)	2,00

Fonte: Produção própria \* valor de mercado atualizado a inflação de 7,87% a.a.

Substituindo os dados da Tabela 1 nos itens [5] e [6];

*Opções de Compra – Ferroviário*

$$d1 = [\ln(3.831.628.142,00 / 2.919.531.008,11) + (0,0613 + 0,3^2 * 0,5) * 2] / 0,3 * 2^{1/2} = 1,141899259 \quad (7)$$

$$N(d1) = 0,373252052 \quad (8)$$

$$d2 = 1,141899259 - 0,3 * 2^{1/2} = 0,71763519 \quad (9)$$

$$N(d2) = 0,263508873 \quad (10)$$

*Opções de Venda – Ferroviário*

$$d1 = [\ln(3.831.628.142,00 / 3.016.047.112,70) + (0,0613 + 0,3^2 * 0,5) * 2] / 0,3 * 2^{1/2} = 1,065239264 \quad (11)$$

$$N(d1) = 0,143383835 \quad (12)$$

$$d2 = 1,065239264 - 0,3 * 2^{1/2} = 0,640975195 \quad (13)$$

$$N(d2) = 0,260769399 \quad (14)$$

**Tabela 2:** Expectativas dos valores do modo dutoviário 2014-2016

Modo dutoviário	(a.a)
Fluxo de caixa atual (2015)	\$346.568.667,85
Valor Presente (VP) (2015)	\$2.475.490.484,66
Fluxo Presente (VP) (2017)	\$2.788.287.743,92
Valor de mercado em longo prazo	\$29.920.980.600,00
Valor de mercado atual (2017)	\$4.188.937.284,00
Investimento inicial (2014)	\$3.600.000.000,00
Investimento inicial (2017)	\$4.054.887.684,00
Taxa Básica de juros em 10/2016	14%
Taxa livre de risco (a.a)	6,13%
Volatilidade do ativo	30,00%
Vencimento (anos)	2,00

Fonte: Produção própria \* valor de mercado atualizado a inflação de 7,87% a.a.

Substituindo os dados da Tabela 2 nos itens [5] e [6];

*Opções de Compra - Dutoviário*

$$d1 = [\ln(2.475.490.484,66 / 4.054.887.684,00) + (0,0613 + 0,3^2 * 0,5) * 2] / 0,3 * 2^{1/2} = -0,662050967 \quad (15)$$

$$N(d1) = -0,246030721 \quad (16)$$

$$d2 = 0,662050967 - 0,3 * 2^{1/2} = -1,086315036 \quad (17)$$

$$N(d2) = -0,361330181 \quad (18)$$

*Opções de Venda - Dutoviário*

$$d1 = [\ln(2.475.490.484,66 / 4.188.937.284,00) + (0,0613 + 0,3^2 * 0,5) * 2] / 0,3 * 2^{1/2} = -0,738710962 \quad (19)$$

$$N(d1) = 0,769958736 \quad (20)$$

$$d2 = 0,738710962 - 0,3 * 2^{1/2} = -1,162975031 \quad (21)$$

$$N(d2) = 0,877580183 \quad (22)$$

Desta forma, pode-se obter os dados das opções de compra e de venda para os modais ferroviário e dutoviário, substituindo nos itens [3] e [4];

*Modo Ferroviário – Opção de compra*

$$C = 3.831.628.142,00 * 0,373252052 - 2.919.531.008,11 e^{-0,0613 * 2} 0,263508873 = \$ 749.607.119,57 \quad (23)$$

*Modo Ferroviário – Opção de Venda*

$$P = 3.016.047.112,70 e^{-0,0613 * 2} * 0,260769399 - 3.831.628.142,00 * 0,143383835 = \$ 146.351.704,61 \quad (24)$$

*Modo Dutoviário – Opção de compra*

$$C = 2.475.490.484,66 * -0,246030721 - 4.054.887.684,00 e^{-0,0613 * 2} -0,361330181 = \$ 687.053.453,83 \quad (25)$$

*Modo Dutoviário – Opção de venda*

$$P = 4.188.937.284,00 e^{-0,0613 * 2} * 0,877580183 - 2.475.490.484,66 * 0,769958736 = \$ 1.345.941.720,74 \quad (26)$$

De acordo com Minardi (2000) e Trigeorges (1993) deve-se calcular o VPL expandido para ter o valor do projeto com a flexibilidade administrativa. Utilizando os dados dos itens [1] em perpetuidade, [2] e [3] para opção de compra e venda sucessivamente;

Substituindo os dados da Tabela 1 no item [2];

*Opções para Ferroviário*

$$\begin{aligned} \text{VPL}_{\text{TOR}} - \text{compra} &= 1.239.617.598,61 + 749.607.119,57 = \$ 1.989.224.718,18 \\ \text{VPL}_{\text{TOR}} - \text{venda} &= 424.036.569,31 + \$ 146.351.704,61 = \$ 570.388.273,93 \end{aligned} \quad (28)$$

Substituindo os dados da Tabela 2 no item [3];

*Opções para dutoviário*

$$\text{VPL}_{\text{TOR}} - \text{compra} = -1.124.509.515,34 + 687.053.453,83 = \$ - 437.456.061,51 \quad (29)$$

$$VPL_{TOR} - \text{venda} = 588.937.284,00 + 1.345.941.720,74 = \$ 1.934.879.004,74 \quad (30)$$

**Tabela 3: Resultados da Pesquisa**

Método	Resultado
VPL <sub>(TOR)</sub> ferroviário compra	\$ 1.989.224.718,18
VPL <sub>(TOR)</sub> ferroviário venda	\$ 570.388.273,93
VPL <sub>(TOR)</sub> dutoviário compra	\$ -437.456.061,51
VPL <sub>(TOR)</sub> dutoviário venda	\$ 1.934.879.004,74

Fonte: Produção Própria

Os dados da pesquisa apontam que o cenário econômico de 2016, a melhor opção para investimento em transporte de minério é Ferroviário, pois o investimento inicial de 3,6 bilhões de dólares no modo dutoviário não se mostrou favorável em relação ao fluxo de caixa anual de \$ 346.568.667,85. O valor presente em perpetuidade de \$ 2.475.490.484,66, não cobre o investimento inicial em 2016. Logo, não deverá ocorrer nenhum investimento no modelo dutoviário neste cenário. A tabela 3 demonstra que a opção de compra para o modelo ferroviário é o melhor valor de venda, caso a empresa decida vender os ativos.

**Tabela 4: Simulação taxa livre de risco de 7,1% (a.a) e taxa básica de juros de 13%**

Método	Resultado
VPL <sub>(TOR)</sub> ferroviário compra	\$ 2.400.013.626,40
VPL <sub>(TOR)</sub> ferroviário venda	\$ 523.358.253,79
VPL <sub>(TOR)</sub> dutoviário compra	\$ -289.662.807,32
VPL <sub>(TOR)</sub> dutoviário venda	\$ 1.734.294.507,14

Fonte: Produção Própria

A tabela 4 simula os dados da pesquisa com a taxa livre de risco de 7,1% ao ano e taxa básica de juros de 13%, esse cenário ocorreu em agosto de 2008, quando a Anglo American compra os direitos para exploração e implantação do mineroduto. Observando o período proposto, ainda assim, não é vantajoso adquirir os direitos do mineroduto, pois a opção de compra está descoberta em relação ao investimento de 3,6 bilhões de dólares. Porém o fluxo de caixa anual de \$ 346.568.667,85, ou valor presente atual de \$ 2.788.287.743,92 não cobre o investimento inicial.

**Tabela 5: Simulação com investimento no mineroduto em \$ 15 bilhões (2014)**

Método	Resultado
VPL <sub>(TOR)</sub> ferroviário compra	\$ 1.989.224.718,18
VPL <sub>(TOR)</sub> ferroviário venda	\$ 570.388.273,93
VPL <sub>(TOR)</sub> dutoviário compra	\$ -6.289.281.215,99
VPL <sub>(TOR)</sub> dutoviário venda	\$ 15.418.448.262,51

Fonte: Produção Própria

A tabela 5 demonstra que mesmo com investimento de 15 bilhões de dólares, o modelo ferroviário ainda seria a melhor opção. Pois a opção de compra estaria em descoberto. O VPL<sub>(TOR)</sub> de ambas opções não cobre o investimento inicial no período atual. Orienta-se a

projeção de no máximo dois períodos, pois o aumento da periodicidade no modelo com dados do presente, reduz-se o lucro de longo prazo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado final confere o valor da opção ou da flexibilidade administrativa para tomada de decisão, pois a utilização do modelo de Black & Scholes absorve as oscilações de mercado, reduzindo os impactos em relação as diferenças do retorno financeiro e auxilia na tomada de decisões gerenciais.

A comparação da opção de compra deve ser feita em relação ao investimento, assim como a opção de venda em Black & Scholes, logo a opção de compra ferroviária  $C_{\text{ferroviário}} < I_{\text{ferroviário}}$ , o projeto está descoberto ou não está comprado, os investidores não poderão optar pelo investimento em produtividade. A opção de venda ferroviária  $P_{\text{ferroviário}} < I_{\text{ferroviário}}$ , a operação está descoberta, ou não está vendido. Neste caso, a única opção seria investir para produzir, pois independente da opção de compra não cobrir o investimento inicial, ainda é maior que a opção de venda, logo deve exercer o direito de vender (opção de abandono). Em relação ao investimento em duto, a opção de compra  $C_{\text{dutoviário}} < I_{\text{dutoviário}}$ , a operação está descoberto ou não está comprada, os investidores não poderão optar por investir para produzir. A opção de venda  $P_{\text{dutoviário}} < I_{\text{dutoviário}}$ , a opção está descoberta ou não está vendida, não existe melhor opção, exercer o direito de vender (opção de abandono) ou de compra, não é uma opção. O investimento em transporte por duto não deverá ser exercido de acordo com o cenário de 2016 com taxa livre de risco em 6,13% a.a. e taxa básica de juros em 14% a.a.

As principais contribuições da pesquisa foram: a simulação da volatilidade do modelo geométrico browniano - MGB, onde confirma somente a utilização de no máximo 30%, acima desse valor, o modelo possui uma tendência em ficar constante. A importância do modelo de Black & Scholes para ambientes de alta volatilidade e intensidade de variáveis externas torna-se uma opção interessante na apuração de um valor presente líquido – VPL, sendo mais apropriado ao ambiente de negócios volátil justamente para apresentar um valor próximo da realidade. Uma vez que, esse modelo absorve as oscilações de mercado. Orienta-se novas simulações em relação a taxa livre de risco, pois em países que sofrem choque cambial, a inflação e a taxa básica de juros podem ter grandes interferências.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao PBEXT - Programa de Bolsas de Extensão do Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro – CEFET-RJ pela confiança e colaboração nas bolsas concedidas à Diego Manoel Enedino e Thiago de S.C.P. Mayrink

### REFERÊNCIAS

- Black, F.; Jensen, M.; Scholes, M. (1972). The Capital Asset Pricing Model: Some Empirical Tests. Studies in the Theory of Capital Markets.
- Black, F.; Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. Journal of Political Economy, v.81, n.3, p.637-654.
- Cavender, B. (1992). Determination of the optimum lifetime of a mining project using discounted cash flow and option pricing techniques, Mining Engineering, pp 1262-1268.
- Copeland, T.; Koller, T.; Murrin, J. (1995). Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies. McKinsey & Company Inc.
- Copeland, T.; Antikarov. (2003). A. Real Options: A Practitioner's Guide; Texere, New York.

- D'agosto, M. A. (2015). Transporte, uso de energia e impactos ambientais – Uma abordagem introdutória – 1. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier.
- Dixit, A. K.; Pindyck, R.S. (1994). Investment under uncertainty. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Evatt, G; Johnson, P, Duck, P.; Howell S. (2010). The measurement and inclusion of a stochastic ore-grade uncertainty in mine valuations using pdes. IAENG International Journal of Applied Mathematics, 40 (4):1–7.
- Fama, E. F.; French, K. R. (1992). The Cross-Section of Expected Stock Returns. The Journal of Finance. v.67, n. 2.
- Haque, M.; Topal, E.; Lilford, E. (2014). A numerical study for a mining project using real options valuation under commodity price uncertainty. Resources Policy, 39(1):115–123.
- Jovanovic, S.; (2014). Hedging Commodities: A practical guide to hedging strategies with futures and options. Harriman House, Belgrade.
- Kulatilaka, N.; Marcus, A J. (1992). Project valuation under uncertainty: When does DCF fail? Journal of Applied Corporate Finance, 5:92-100.
- Kulatilaka, N.; Trigeorgis, L. (1994). The general flexibility to switch: Real option revisited, The International Journal of Finance, 6:778-798.
- Laughton, D. G.; Jacoby, H. D. (1993). Reversion, timing options, and long-term decision-making, Financial Management, 22:225-240.
- Lee, H. (2011). A Real Option Approach to Valuating Infrastructure Investments. MSc Thesis, KDI School of Public Policy and Management. Retrieved.
- Lintner, John. (1965). The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets, Review of Economics and Statistics, 47 (1), 13-37.
- Mauer, D C.; Ott, S H. (1995). Investment under uncertainty the case of replacement investment decisions, The Journal of Financial and Quantitative Analysis, 30:581-605.
- Minardi, A.M.A.F. (2000) Teoria de opções reais aplicada a projetos de investimentos. Revista de Administração de Empresas (RAE-FGV), São Paulo, v.40, n.2, p.74-79.
- Minardi, A. M. A. F. (2004) Teoria das Opções aplicada a projetos de investimento. São Paulo: Atlas.
- Palm, S K.; Pearson, N D. (1986). Option pricing: A new approach to mine valuation, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Bulletin, May, pp 61-79.
- Pickles, E.; Smith, J L. (1993). Petroleum property valuation: A binomial lattice implementation of option pricing theory, The Energy Journal, 14:1-26.
- Sharpe, W. F. (1964). Capital Asset Market Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk. The Journal of Finance, v. 19, n. 3.
- Santos, E. M.; Pamplona, E. O. (2005). Teoria das Opções Reais: uma atraente opção no processo de análise de investimentos. Revista de Administração da USP – RAUSP, v.40, n.3.
- Shafiee, S.; Topal, E.; Nehring, M. (2009). Adjusted Real Option Valuation to Maximise Mining Project Value – A Case Study Using Century Mine. Project Evaluation Conference, Melbourne, Vic, 21.
- Trigeorgis, L. (1993). The nature of options interactions and the valuation of investments with multiple real options. Journal of Financial and Quantitative Analysis, v.28, n.1, p.1-21.
- Venables, A.; Laird, J.J.; Overman, HG (2014) Transport investment and economic performance: Implications for project appraisal. Research Report. Department for Transport.

---

Rodrigo Rodrigues de Freitas (rodrigo.freitas@cefet-rj.br; rodrigo.freitas@pet.coppe.ufrj.br)  
Diego Manoel Enedino Gonçalves2 (diegomanoelgoncalves@gmail.com)  
Thiago de S.C.P. Mayrink (thiagoscpaiva@gmail.com)  
Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica CEFET-RJ / unidade Itaguaí  
Rod. Gov. Mário Covas, s/n - Santana, Itaguaí - RJ, 23812-101