

O VALOR DO PROJETO DE UMA MINA DE OURO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA PELOS MODELOS DE FLUXO DE CAIXA DESCONTADO E DE OPÇÕES REAIS

THE VALUE OF THE PROJECT OF A GOLD MINE: A COMPARATIVE ANALYSIS BY MODELS DISCOUNTED CASH FLOW AND REAL OPTIONS

Alexandre de Cássio Rodrigues

Tiago Silveira Gontijo

Georgenes Cláudio Dias de Almeida

Resumo

A decisão de investir em projetos de mineração é estratégica. Em geral, modelos de avaliação econômica, tais como o Fluxo de Caixa Descontado (FCD), são usados para analisar a viabilidade desses projetos. Segundo o FCD, as entradas e saídas de recursos financeiros são conhecidas e a estratégia empresarial concebida no início do projeto será mantida até o término dele. Porém, na prática, as decisões são tomadas sob incerteza e os gestores dispõem de certas flexibilidades. Nessas condições, a literatura sugere que os projetos sejam avaliados por Opções Reais. Assim, esse estudo analisa, comparativamente, os valores de um projeto de mineração de ouro quando avaliado por esses dois modelos. As incertezas do preço do produto, do custo de extração e do teor recuperável são implementadas por simulação de Monte Carlo. A opção de abandonar o projeto após o primeiro ano de operação, quando este poderia ser vendido por valor predeterminado, é admitida como flexibilidade gerencial. Os resultados revelam que a incorporação da incerteza e da flexibilidade gerencial na análise econômica agrega valor ao projeto. Com isso, o projeto até então rejeitado pelo FCD tornou-se viável pela análise por Opções Reais. Constatou-se ainda que com a proximidade do fim da vida operacional da mina, em virtude da redução da estimativa dos fluxos de caixa futuros, aumenta a probabilidade de abandono do projeto.

Palavras-chave: Avaliação econômica de projetos de mineração; Fluxo de Caixa Descontado; Opções Reais.

Abstract

The decision to invest in mining projects is strategic. In general, economic evaluation models, such as the Discounted Cash Flow (DCF), is used to analyze the viability of these projects. According to the FCD, the inputs and outputs are known financial resources and business strategy designed early in the project will be held until the end of it. However, in practice, decisions are made under uncertainty, and managers have certain flexibilities. Under these conditions, the literature suggests that projects are evaluated by Real Options. Thus, this study examines comparatively the values of a gold mining project when evaluated by these two models. The uncertainties of the product price, the cost of extraction and content recoverable are implemented by Monte Carlo simulation. The option to abandon the project after the first year of operation, when it could be sold for predetermined value, is admitted as managerial flexibility. The results reveal that the incorporation of uncertainty and managerial flexibility in economic analysis adds value to the project. With this, the project so far rejected by FCD became feasible by Real Options analysis. It was also found that with the approaching end of the operational life of the mine, due to the reduction of the estimated future cash flows, increases the likelihood of abandonment of the project.

Keywords: Economic valuation of mining projects; Discounted Cash Flow; Real Options.

1. Introdução

O setor mineral é de relevância para o Brasil. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2015), em 2014, a produção mineral brasileira atingiu US\$ 40 bilhões, correspondentes a 5,0% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. No Brasil, é grande o interessante em investir projeto de mineração, pois de acordo com o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), em 2017, foram concedidas 1463 autorizações de pesquisa e publicadas 15.850 portarias de (DNPM, 2018). Nesse contexto, o ouro tem especial destaque, já que, em 2014, a produção brasileira desse bem mineral, que no setor joalheiro é usado como matéria-prima e no setor financeiro

como ativo para proteção às crises internacionais, alcançou 81 toneladas, posicionando o Brasil como o 11º maior produtor mundial (DNPM, 2016).

A decisão sobre investir em projetos de mineração é complexa, requerendo, por isso, a adoção de modelos cuja aplicação a certos parâmetros permita avaliar a viabilidade econômica dos projetos (Yu *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2017). O Fluxo de Caixa Descontado (FCD) é um desses modelos. Segundo essa abordagem, as entradas e saídas de recursos financeiros são bem conhecidas e a estratégia empresarial concebida no início do projeto será mantida inalterada até o término dele (Gitman, 2002). Contudo, o comportamento do mercado é incerto e os gestores dispõem de certas flexibilidades gerenciais. Assim, um projeto pode ser adiado até que novas informações surjam, ou seja, a decisão de investir não precisa ser do tipo agora ou nunca. Além disso, dependendo das condições econômicas, a escala de produção pode ser aumentada ou um projeto pode ser contraído ou até mesmo abandonado, momento em que seus ativos poderão ser vendidos (Santos *et al.*, 2014; Zhang, Zhou e Zhou, 2016).

Diante das incertezas, a presença dessas opções torna um projeto de investimento flexível, e, portanto, mais valioso que outros que não disponham dessas possibilidades (Copeland, Koller e Murrin, 2002). Esse é o caso dos projetos de mineração (Alves *et al.*, 2008). Nessa situação, a literatura tem sugerido que o valor do projeto seja avaliado pelo modelo de Opções Reais (Trigeorgis, 1996).

Nesse contexto, essa pesquisa tem por objetivo comparar o valor de um projeto de mineração de ouro avaliado pelos modelos de Fluxo de Caixa Descontado e de Opções Reais, modelos estes amplamente utilizados pela literatura (De Almeida Costa e Samanez, 2014; Leiblein, Chen e Posen, 2017). Para tanto, as incertezas do preço do produto no mercado internacional, do custo de extração do minério e do teor recuperável do ouro contido no depósito mineral serão implementadas por simulação de Monte Carlo, (Kopacz, Kryzia e Kryzia, 2017), e a opção de abandonar o projeto após o primeiro ano de operação, quando este poderá ser vendido por um preço predeterminado, será considerada como flexibilidade gerencial.

A justificativa para realização dessa investigação reside na necessidade dos tomadores de decisão em avaliar o impacto das incertezas e flexibilidades gerenciais

sobre a viabilidade econômica do empreendimento. Com isso, poderão ser revistas as estratégias definidas na etapa de planejamento, adaptando-as ao surgimento de novas informações e às mudanças no cenário econômico.

2. Material e Métodos

Segundo Monteiro (2003), o modelo de FCD somente é adequado para avaliar projetos na ausência de flexibilidades gerenciais e de mudanças nas condições de mercado. Contudo, em situações reais, dependendo do cenário econômico, uma empresa poderá adiar o início de um projeto, expandi-lo, contrai-lo ou até mesmo abandoná-lo. A flexibilidade proporcionada pela presença dessas opções torna um projeto mais valioso que outro que não disponha delas (Copeland, Koller e Murrin, 2002). Nesse contexto, uma opção real é entendida como sendo “[...] um direito, mas não a obrigação, de empreender uma ação tais como diferir, expandir, contrair ou abandonar um projeto” (Copeland e Antikarov, 2001, p. 6). Em função das flexibilidades gerenciais que oferecem, as opções reais podem ser classificadas em:

QUADRO 1 - Tipos de opções x flexibilidades gerenciais

Opção real	Flexibilidade gerencial
Adiamento	Esperar para realizar um investimento até que as condições de mercado o justifiquem.
Abandono	Encerrar um projeto sob condições de mercado ruins ou vendê-lo por um preço fixo.
Expansão	Aumentar a escala de produção do projeto ao longo de sua vida útil caso as condições de mercado se tornem mais favoráveis do que o esperado.
Contração	Retrair o investimento se as condições de mercado se tornarem piores do que originalmente esperado,

	diminuindo, assim, as perdas ocasionadas por projetos que venham se tornar inviáveis.
Ampliação ou redução do escopo	Mudar o <i>mix</i> de produtos, criando flexibilidade no processo, diante de mudanças nos preços ou nas demandas dos produtos.

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Copeland, Koller e Murrin (2002)

Copeland, Koller e Murrin (2002) sugerem um método para valorar as flexibilidades gerenciais de um projeto: (i) Calcular o valor presente do projeto por meio do FCD (sem flexibilidade); (ii) Simular a incerteza inerente às variáveis críticas do projeto; (iii) Incorporar as flexibilidades gerenciais e (iv) Calcular o valor da opção real.

Com relação à simulação da incerteza, Copeland e Antikarov (2001) recomendam que seja utilizado o método de Monte Carlo, que é “[...] hoje uma das ferramentas mais populares como auxílio à tomada de decisão, dada a sua facilidade de implementação em planilhas eletrônicas”(Chwif e Medina, 2006).

Segundo Hull (2002), a simulação de Monte Carlo tende a ser mais eficiente que outros procedimentos de simulação, sobretudo quando existem três ou mais variáveis estocásticas. Saraiva Junior *et al.* (2011, p. 152) esclarecem que “a Simulação de Monte Carlo envolve o uso de números aleatórios e probabilidades para analisar e resolver problemas”, sendo um método que consiste em: (i) Definir as variáveis de análise a partir de dados históricos; (ii) Construir as distribuições de frequência e intervalos de classe dessas variáveis; (iii) Gerar números aleatórios e incidi-los nos intervalos de classe de cada variável e (iv) Replicar a simulação do experimento o maior número de vezes possível a fim de aumentar a precisão da estimativa da variável de interesse.

Diante do exposto, o objeto de análise dessa pesquisa foi um Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) apresentado por uma mineradora do estado de Minas Gerais ao Departamento Nacional da Produção Mineral, que é a entidade pública federal responsável por analisar a viabilidade econômica de projetos de extração,

beneficiamento e comercialização de reservas minerais. Conforme o Art. 38, VII do Código de Minas – Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, é obrigatória a apresentação do PAE para requerer a lavra de qualquer substância mineral. A fim de preservar a identidade da empresa, alguns dados foram alterados. Todavia, isso não compromete a eficácia da metodologia empregada.

A avaliação econômica do projeto pelo modelo do Fluxo de Caixa Descontado foi obtida por meio da utilização de funções financeiras do Microsoft Excel enquanto que o *software @risk*, que funciona de modo integrado com as planilhas daquele aplicativo, foi usado para realizar a avaliação pelo modelo de Opções Reais. Com relação à avaliação por Opções Reais, realizou-se uma simulação com 10.000 iterações, na qual o preço de venda da onça *troy* de ouro (uma onça *troy* equivale a 31,10g), o custo de extração do minério e o teor recuperável de ouro contido no depósito mineral foram consideradas as que mais impactam no resultado financeiro do projeto.

A distribuição de probabilidade do preço de venda do ouro foi obtida por meio da ferramenta de ajuste de distribuição do *@risk*. Já o custo de extração do minério e o teor recuperável de ouro contido no depósito mineral foram modelados por uma distribuição de probabilidade triangular, haja vista que para defini-la são necessários apenas os valores mínimo, máximo e mais provável daquelas variáveis, que podem ser estimados com razoável grau de certeza.

A possibilidade de abandonar o projeto após o primeiro ano de operação e vendê-lo por um preço fixo foi considerada como a flexibilidade gerencial presente na análise. Assim, no início de cada ano a partir do segundo, o gestor, ao comparar o VPL estimado dos fluxos de caixa futuros e o valor de venda do projeto, deverá decidir se dá continuidade ou não às atividades de lavra do minério de ouro.

3. Discussão dos resultados

3.1 Parâmetros do modelo

A metodologia apresentada na seção anterior foi empregada na avaliação econômica de um projeto de mineração de ouro, para o qual está prevista a utilização de lavra em subsolo. As características técnicas e econômicas do projeto são destacadas a seguir:

Tabela 1 - Parâmetros do modelo

Item	Parâmetro
Investimento	US\$ 1.000.000,00
Custo de capital (Taxa Mínima de Atratividade – TMA)	12% a.a.
Reserva lavrável de minério de ouro	30.000 t
Vida operacional da mina	5 anos
Taxa de extração de minério	6.000 t/ano
Preço de venda do ouro	Lognormal (1250; 200) US\$/ onça <i>troy</i>
Custo de extração do minério	Triangular (60; 75; 90) US\$/t
Teor recuperável de ouro	Triangular (2,5; 3; 4) g/t
Valor da venda do projeto em caso de abandono	US\$ 400.000,00

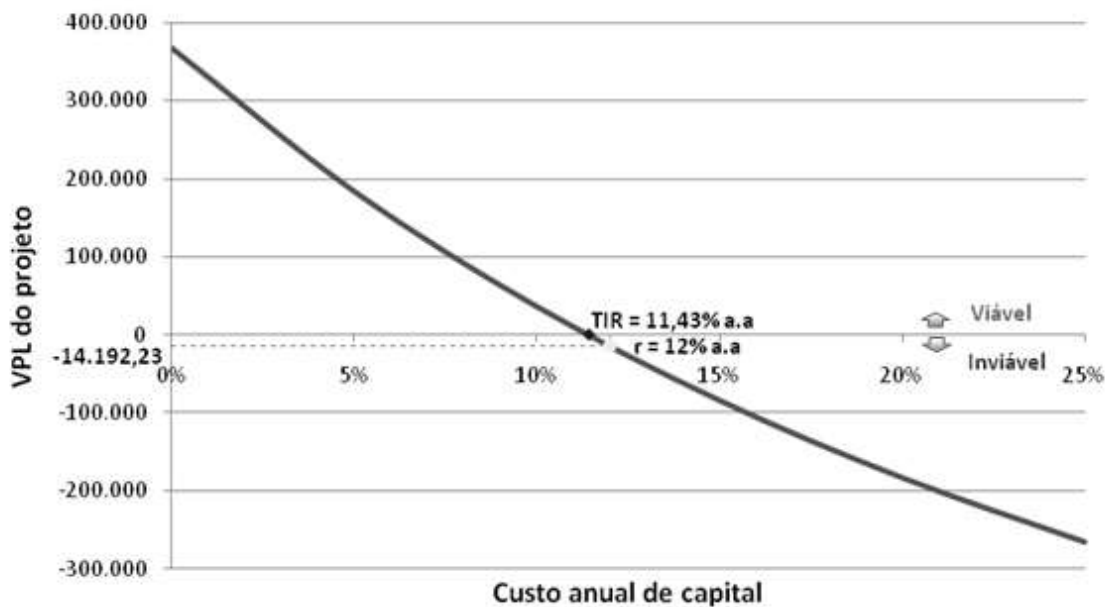
Fonte: Elaborado pelos autores a partir da alteração dos dados do PAE do projeto e do ajuste da distribuição de probabilidade do preço de venda do ouro

3. 2 Valor da mina de ouro pelo modelo de Fluxo de Caixa Descontado

Na avaliação econômica do projeto pelo método do Fluxo de Caixa Descontado, os parâmetros relativos ao preço de venda do ouro, ao custo de extração do minério e ao teor recuperável de ouro foram admitidos como sendo, respectivamente, a média e os valores mais prováveis das distribuições de probabilidade. Assim, conforme mostrado

na Figura 1, o VPL do projeto (- R\$ 14.192,23) é menor que zero, o que implica na decisão de rejeitá-lo. Corroborando com isso, tem-se ainda que a TIR do projeto é menor que o custo de capital.

FIGURA 1: Impacto do custo anual de capital sobre o VPL do projeto



Fonte: Elaborada pelos autores

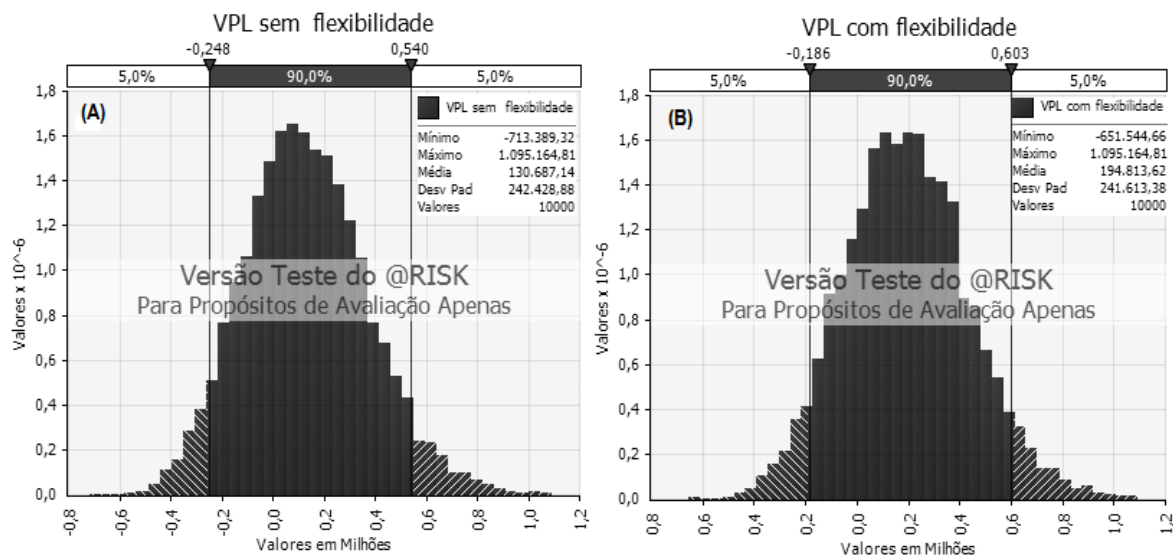
Por fim, mas não menos importante, destaca-se que, ao admitir-se o valor do dinheiro no tempo, o capital investido no projeto não é recuperado até o término da vida operacional da mina. Por outro lado, se isso não for feito, o capital investido no projeto é recuperado em 3,66 anos.

3. Valor da mina de ouro pelo modelo de Opções Reais

Considerando-se a incerteza do preço de venda do ouro, do custo de extração do minério e do teor recuperável de ouro, o VPL esperado do projeto passa a ser de US\$ 130.687,14 (FIGURA 2 - A). Logo, nesse caso, o tomador de decisão deverá aceitá-lo.

Os resultados ainda revelaram que a probabilidade do VPL ser maior que zero é de 68,5%.

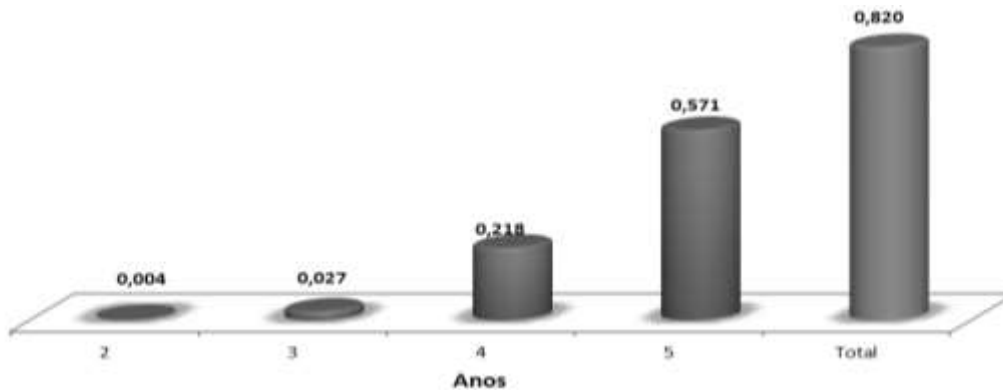
FIGURA 2: Histograma do VPL sob incerteza sem opção de abandono (A) e com opção de abandono – (B)



Fonte: Elaborada pelos autores

Admitindo-se as incertezas e a flexibilidade de abandono, o VPL esperado do projeto sobe para US\$ 194.813,62 (FIGURA 2 - B). Nessa situação, a probabilidade de que o VPL seja positivo aumenta para 79,1%. Esses resultados, assim como aqueles apresentados anteriormente, vão de encontro à literatura, que aponta que a incerteza e a flexibilidade gerencial promovem aumentos no VPL de um projeto (Dixit e Pindyck, 1994).

FIGURA 3: Probabilidade de abandonar o projeto durante a vida operacional da mina.



Fonte: Elaborada pelos autores

De acordo com a FIGURA 3 acima, a soma da probabilidade de abandonar o projeto durante toda sua vida operacional é de 82%. Essa probabilidade aumenta a cada ano, sendo pouco significativa no início do segundo e terceiro anos de operação. Entretanto, no início do quinto ano de operação, a probabilidade de que o projeto seja vendido é de 57,1%. Isso se deve ao fato de que ao se aproximar do fim da vida operacional da mina a estimativa do VPL dos fluxos de caixa futuros decresce.

4. Análise comparativa dos resultados

Tem-se que a incerteza do preço de venda do ouro, do custo de extração do minério e do teor recuperável de ouro somada à flexibilidade gerencial de abandonar o projeto após o primeiro ano de operação e vendê-lo por um preço fixo agregam quase US\$ 210.000,00 ao VPL do projeto avaliado pelo modelo de FCD. Isso tem efeito direto na decisão de investir, já que pelo modelo de FCD o projeto deve ser rejeitado enquanto que pelo modelo Opções Reais o projeto deve ser aceito.

5. Considerações finais

Nesse contexto, esse estudo teve por objetivo analisar, comparativamente, os valores de um projeto de mineração de ouro avaliado pelos modelos de FCD e de Opções Reais. As incertezas do preço do produto, do custo de extração do minério e do teor

recuperável do ouro contido no depósito mineral foram implementadas por simulação de Monte Carlo. Além disso, admitiu-se como flexibilidade gerencial a opção de abandonar o projeto após o primeiro ano de operação, quando este poderia ser vendido por um preço predeterminado.

Os resultados encontrados revelaram que a incorporação da incerteza das variáveis críticas e da flexibilidade gerencial na análise econômica agrega valor ao VPL do projeto. Com isso, o projeto até então rejeitado segundo o modelo do FCD tornou-se viável a partir da análise por Opções Reais. Além disso, constatou-se que com a proximidade do fim da vida operacional da mina, em consequência da redução da estimativa do VPL dos fluxos de caixa futuros, a probabilidade de abandonar o projeto aumenta. Enquanto os métodos de avaliação econômica fundamentados no FCD admitem que as entradas e saídas de recursos financeiros são bem conhecidas e que a estratégia empresarial concebida no início do projeto será mantida inalterada até o término dele, o modelo de Opções Reais incorpora as incertezas e as flexibilidades gerenciais do projeto.

A incorporação da incerteza de novas variáveis, tais como taxa de câmbio ou mudanças no Código de Minas, bem como a consideração de outras flexibilidades gerenciais (adiamento, expansão, contração etc.) são alternativas interessantes para dar continuidade a essa pesquisa.

Referências

Alves A, Cunha V, Figueredo C, Motta R. (2008). Análise de risco do investimento do capital (capex) para expansão de uma empresa de mineração. *XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Rio de Janeiro.

Appolinário F. (2004). *Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico*. São Paulo: Atlas.

Chwif L, Medina AC. (2006). *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. São Paulo: Ed. dos autores.

Copeland T, Koller T, Murrin J. (2002). *Avaliação de empresas – Valuation: calculando e gerenciando o valor das empresas*. 3. ed. São Paulo: Makron Books.

Copeland T, Antikarov V. (2001). *Opções reais: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos*. Tradução: Maria José Cyhlar. Rio de Janeiro: Campus.

De Almeida Costa L, Samanez CP (2014). Análise de projetos de investimento no setor petroquímico através da teoria de opções reais. *Interciencia*, 39(2).

Dixit AK, Pindyck RS. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton University Press, New Jersey.

DNPM. Estatísticas. Disponível em: < <http://www.anm.gov.br/aceso-a-informacao/estatisticas>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

DNPM. *Sumário mineral brasileiro 2016*. Disponível em: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7402.> Acesso em: 07 mar. 2018.

Gitman L. (2002). *Princípios de administração financeira*. 7ª. ed. São Paulo: Harbra.

Hull JC. (2002). *Options, future and other derivatives*. 5ª ed., Prentice Hall.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. Informações sobre a economia mineral brasileira. Disponível em: < <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>>. Acesso em> 07 mar. 2018.

Kopacz M, Kryzia D, Kryzia K. (2017). Assessment of sustainable development of hard coal mining industry in Poland with use of bootstrap sampling and copula-based Monte Carlo simulation. *Journal of Cleaner Production*, 159, 359-373.

Kumar A, Sah B, Singh AR, Deng Y, He X, Kumar P, Bansal, RC. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609.

Lee HHM. (2004). *Práticas de custo de capital e avaliação de investimentos no Brasil*. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio. Rio de Janeiro.

Leiblein MJ, Chen JS, Posen HE. (2017). Resource allocation in strategic factor markets: A realistic real options approach to generating competitive advantage. *Journal of Management*, 43(8), 2588-2608.

Monteiro RC. (2003). *Contribuições da abordagem de avaliação de opções reais em ambientes econômicos de grande volatilidade: uma ênfase no cenário latino americano*. 2003. 200f. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade / Universidade de São Paulo - USP), São Paulo.

Santos L, Soares I, Mendes C, Ferreira P. (2014). Real options versus traditional methods to assess renewable energy projects. *Renewable Energy*, 68, 588-594.

Saraiva Júnior AF et al. (2008). Determinação da margem de contribuição de produtos com variabilidade de preços e custos diretos unitários. In: *Congresso Brasileiro de Custos*, 15, Curitiba. Anais... Curitiba: Associação Brasileira de Custos, 2008.

Trigeorgis L. (1996). *Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation*. Cambridge, MA: MIT Press.

Yu S, Gao S. (2016). A dynamic programming model for environmental investment decision-making in coal mining. *Applied energy*, 166, 273-281.

Zhang MM, Zhou P, Zhou DQ. (2016). A real options model for renewable energy investment with application to solar photovoltaic power generation in China. *Energy Economics*, 59, 213-226.