

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas,
Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M)

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE OPÇÕES REAIS NO PLANEJAMENTO DE
PILHAS DE ESTOQUE NA MINERAÇÃO**

CARLA DE CARLI

TESE PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE DOUTORA EM ENGENHARIA

Porto Alegre
2018

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas,
Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M)

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE OPÇÕES REAIS NO PLANEJAMENTO DE
PILHAS DE ESTOQUE NA MINERAÇÃO**

CARLA DE CARLI
ENGENHEIRA DE MINAS

Projeto de tese realizado no Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M), como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutora em Engenharia.

Área de Concentração: Metalurgia Extrativa e Tecnologia Mineral

Porto Alegre
2018

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do título de Doutora em Engenharia, área de concentração Tecnologia Mineral e aprovada em sua forma final, pelo orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador:

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Cezar Zingano
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Jorge Dariano Gavronski
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Júlio César de Souza
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann
Coordenador do PPGEM

Agradecimentos

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço aos professores da UFRGS, em especial ao meu orientador Prof. Jair Carlos Koppe, pelas colaborações e sabedoria transmitida.

Também a Vale pela oportunidade de realizar este trabalho e a todos participantes do projeto FRAGCOM.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

À Fundação Luiz Englert pelo suporte aos trabalhos.

Aos meus colegas do LPM, pelo companheirismo e troca de sabedoria diários, principalmente aos que colaboraram diretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos queridos, por fazerem a minha rotina muito mais leve e divertida.

À minha família por todo o apoio e amor incondicionais.

Sumário

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	xi
Resumo	xiii
Abstract	xiv
1. Capítulo 1	1
1.1. Introdução.....	1
1.1.1. Contextualização do Problema.....	3
1.1.2. Meta.....	4
1.1.3. Contribuição da Tese.....	5
1.1.4. Objetivos	6
1.1.5. Organização da Tese	6
2. Capítulo 2	8
2.1. Revisão Bibliográfica.....	8
2.1.1. Importância da Estocagem de Material na Mineração	8
2.1.2. Formas de Estocagem.....	10
2.1.3. Estocagem em Pilhas na Mineração.....	11
2.1.4. Dimensionamento de Pilhas de Estoque	12
2.1.5. Pilhas de Espera.....	13
2.1.6. Problemas Ocorrentes na Estocagem em Pilhas.....	14
2.1.7. Métodos de Avaliação de Projetos	16
2.1.7.1. Método do Fluxo de Caixa Descontado.....	16
2.1.7.1.1. Aplicações do Método do Fluxo de Caixa Descontado.....	19
2.1.7.2. Método de Opções Reais	22
2.1.7.2.1. Áreas de Aplicação do Método de Opções Reais.....	29

3.	Capítulo 3	36
3.1.	Etapas da Metodologia Proposta	36
3.1.1.	Determinação dos Parâmetros Econômicos	37
3.1.2.	Determinação do Teor de Corte	37
3.1.3.	Valorização Econômica dos Blocos do Modelo.....	39
3.1.4.	Otimização de Cava/ Otimização da Pilha	41
3.1.5.	Fatores de Flexibilidade do Projeto.....	42
3.1.5.1.	Variação do Preço do Minério	43
3.1.6.	Análise da Árvore de Decisões	44
3.1.7.	Redefinição do Teor de Corte para Pilha de Estoque.....	46
4.	Capítulo 4	48
4.1.	Descrição e Análise do Banco de Dados para o Estudo de Caso.....	48
4.1.1.	Contexto Geológico das Minas de Itabira	50
4.1.2.	Método de Lavra Aplicado na Mina.....	54
4.1.3.	Produção	55
4.1.4.	Usinas de Beneficiamento	56
4.1.5.	Pilha de Estoque	58
4.1.5.1.	Composição da Pilha	59
4.1.5.2.	Custos da Pilha de Estoque.....	59
4.1.5.2.1.	Custos para Formação e Manutenção da Pilha	61
4.1.5.2.2.	Custos para Retomada da Pilha	62
5.	Capítulo 5	63
5.1.	Aplicação dos Métodos ao Estudo de Caso	64
5.1.1.	VPL da Pilha de Estoque pelo Método Tradicional do DCF	64
5.1.2.	VPL da Pilha de Estoque pela Árvore de Decisões.....	69
5.1.2.1.	VPL da Pilha para o Perfil Equidistante	71
5.1.2.2.	VPL da Pilha para o Perfil Otimista	74

5.1.2.3.	VPL da Pilha para o Perfil Pessimista	77
5.1.1.	VPL da Pilha de Estoque pelo Método ROV	79
5.1.1.1.	ROV por Árvore Binomial de Cox <i>et al</i>	79
5.1.1.1.1.	Análise para Perfil Equidistante	83
5.1.1.1.2.	Análise para Perfil Otimista.....	84
5.1.1.1.3.	Análise para Perfil Pessimista	85
5.1.1.2.	ROV pela Análise de Cenários Simulados	86
5.1.1.2.1.	Análise de Cenários para o Perfil Equidistante	89
5.1.1.2.2.	Análise de Cenários para o Perfil Otimista.....	93
5.1.1.2.3.	Análise de Cenários para o Perfil Pessimista	97
6.	Capítulo 6	101
6.1.	Análise do Resultados	101
6.1.1.	Resultados obtidos pelo método Tradicional do DCF.....	101
6.1.2.	Resultados Obtidos pelo Método da Árvore de Decisões	102
6.1.3.	Resultados Obtidos Incorporando ROV	103
6.1.3.1.	Resultados Obtidos com Árvore Binomial de Cox <i>et al</i>	104
6.1.3.2.	Resultados Obtidos com Cenários Simulados	105
7.	Capítulo 7	121
7.1.	Conclusões e Recomendações Futuras.....	121
7.1.1.	Conclusões.....	121
7.1.2.	Recomendações Futuras	122
8.	Referências bibliográficas	124

Lista de Figuras

Figura 1. Modelo binomial de Cox <i>et al.</i> (Raphael, 2010).....	27
Figura 2. Árvore de opções de um projeto	29
Figura 3. Fluxograma das etapas do trabalho.....	36
Figura 4. Exemplo de árvore de decisões para um cenário pessimista	45
Figura 5. Mapa de localização dos depósitos de Itabira-MG	49
Figura 6. Mapa de localização das cavas, pilha e usinas do complexo	50
Figura 7. Geologia das minas de Itabira.....	52
Figura 8. Configuração geral do método de lavra em cava.....	54
Figura 9. Foto da mina de Conceição apresentando as bancadas geradas pelo método de lavra em cava	55
Figura 10. Configuração da alimentação das usinas de Itabira	57
Figura 11. Variação do preço do minério de Fe (62%) entre os anos de 2013 e 2018.	64
Figura 12. Árvore de decisões para os cenários de preço (R\$/t) do minério de ferro	70
Figura 13. Probabilidade de ocorrência de cada um dos preços do Fe na árvore de decisões para o perfil equidistante.....	72
Figura 14. Probabilidade de ocorrência de cada um dos preços do Fe na árvore de decisões para o perfil otimista	75
Figura 15. Probabilidade de ocorrência de cada um dos preços do Fe na árvore de decisões para o perfil pessimista	77
Figura 16. Modelo binomial para precificação de opção (para um período)	80
Figura 17. Preços (R\$) para o Fe e respectivos fluxos de caixa (R\$) gerados para o período de 6 anos.....	81
Figura 18. Representação dos nós utilizados no ano 2 para determinação do nó superior do ano 1	82

Figura 19. Caminhos na árvore de decisões para o cenário de perfil de probabilidades equidistante.....	91
Figura 20. Caminhos na árvore de decisões para o cenário de perfil de probabilidades otimista	95
Figura 21. Caminhos na árvore de decisões para o cenário de perfil de probabilidades pessimista	99
Figura 22. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 1-6 no Perfil Equidistante	106
Figura 23. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 2-7 no Perfil Equidistante	107
Figura 24. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 3-8 no Perfil Equidistante	107
Figura 25. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 4-9 no Perfil Equidistante	108
Figura 26. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 5-10 no Perfil Equidistante	108
Figura 27. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha somente em anos com VPL positivos no Perfil Equidistante	109
Figura 28. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 1-6 no Perfil Otimista	110
Figura 29. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 2-7 no Perfil Otimista	111
Figura 30. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 3-8 no Perfil Otimista	111
Figura 31. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 4-9 no Perfil Otimista	112
Figura 32. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 5-10 no Perfil Otimista	112
Figura 33. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha somente em anos com VPL positivos no Perfil Otimista.....	113

Figura 34. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 1-6 no Perfil Pessimista	114
Figura 35. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 2-7 no Perfil Pessimista	114
Figura 36. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 3-8 no Perfil Pessimista	115
Figura 37. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 4-9 no Perfil Pessimista	115
Figura 38. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 5-10 no Perfil Pessimista	116
Figura 39. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha somente em anos com VPL positivos no Perfil Pessimista.....	116
Figura 40. VPL resultante para cada método aplicado ao estudo	119
Figura 41. Valor da Opção incluído no projeto por cada método de ROV	120

Lista de Tabelas

Tabela 1. Adaptações da teoria de Opções Financeiras para Opções Reais (Fonte: Rigolon, 1999).....	24
Tabela 2. Composição da pilha de estoque	59
Tabela 3. Custos estimados para formação e manutenção da pilha de estoque	61
Tabela 4. Custos estimados para retomada da pilha de estoque.....	62
Tabela 5. Parâmetros econômicos para pilha de itabiritos	66
Tabela 6. Probabilidades de aumento e queda do preço de venda do minério de ferro para cada um dos perfis	71
Tabela 7. Intervalos que correspondem as probabilidades de ocorrência das variações do preço do ferro dentro de cada perfil.....	88
Tabela 8. 50 cenários de variação do preço do minério de Fe (R\$/t) para 10 anos (perfil de probabilidades equidistante)	89
Tabela 9. VPL total da recuperação da pilha de estoque para as 50 simulações de cada cenário no perfil equidistante	92
Tabela 10. 50 cenários de variação do preço do minério de Fe (R\$/t) para 10 anos (perfil de probabilidades otimista).....	93
Tabela 11. VPL total da recuperação da pilha de estoque para as 50 simulações de cada cenário no perfil otimista.....	96
Tabela 12. 50 cenários de variação do preço do minério de Fe (R\$/t) para 10 anos (perfil de probabilidades pessimista).....	97
Tabela 13. VPL total da recuperação da pilha de estoque para as 50 simulações de cada cenário no perfil pessimista	100
Tabela 14. Resultados do Método Tradicional de DCF	102
Tabela 15. Resultados do VPL da pilha por DCF na árvore de decisões.....	103
Tabela 16. Resultados do VPL da pilha por árvore binominal de Cox <i>et al</i>	104

Tabela 17. Probabilidade do projeto ser viável para cada das circunstâncias analisadas no perfil equidistante	110
Tabela 18. Probabilidade do projeto ser viável para cada das circunstâncias analisadas no perfil otimista.....	113
Tabela 19. Probabilidade do projeto ser viável para cada das circunstâncias analisadas no perfil pessimista.....	117
Tabela 20. VPL médio da pilha para as seis circunstâncias analisadas nos três perfis	117
Tabela 21. P50 dos resultados do VPL da pilha para as seis circunstâncias analisadas nos três perfis.....	118

Resumo

A avaliação econômica de projetos na mineração utiliza, tradicionalmente, metodologias baseadas nos conceitos de fluxo de caixa descontado (*Discounted Cash Flow – DCF*). Contudo, esse método apresenta algumas limitações, uma vez que não contempla o fato de que decisões gerenciais podem ser tomadas durante a vida útil do projeto, diante das variações apresentadas pelo mercado, e não somente na sua etapa inicial de planejamento. A inserção do conceito de opções pode mudar o curso das operações ou a estratégia, visando a busca de melhores resultados para a empresa.

A presente tese visa desenvolver uma metodologia, por meio da aplicação do método de Opções Reais associado aos conceitos de *Discounted Cash Flow*, para determinar o impacto econômico refletido no fluxo de caixa de um projeto, quando inseridos os conceitos de flexibilidade gerencial no planejamento.

O estudo tem por foco a abrangência de fatores como a flexibilidade gerencial na análise da retomada de uma pilha de estoque. Para tal, a avaliação do valor presente líquido (VPL), oriundo da venda do material, foi realizada adicionando-se ao método do DCF os conceitos do método de Opções Reais (*Real Options Valuation – ROV*), o qual considera a possibilidade de adiamento de tomadas de decisões, bem como abandono do projeto.

O estudo levou em consideração um banco de dados de uma pilha de minério de ferro de uma mina brasileira de grande porte. A retomada do material contido na pilha foi examinada de diferentes formas e por diferentes metodologias, de maneira a demonstrar as mudanças observadas nos resultados de acordo com a informação estabelecida como referência. Foram simulados cenários distintos, aplicando-se variações para o preço de venda do minério de ferro, e, a partir dessas simulações, foram verificadas as opções disponíveis para a retomada do material e os seus respectivos resultados associados.

Os resultados demonstraram a possibilidade de amplificação do retorno financeiro para a empresa quando aplicado o método de opções reais como complemento ao DCF na avaliação de cenário para retomada da pilha. O VPL obtido com o método da árvore de decisões foi bastante superior em relação aquele encontrado quando considera-se o uso do método tradicional do DCF. Quando incorporada a metodologia de ROV, os resultados tornaram-se mais precisos, uma vez que as taxas aplicadas aos fluxos de caixa foram corrigidas.

Abstract

The economic evaluation of mining projects traditionally uses methodologies based on concepts of Discounted Cash Flow (DCF). However, this method presents some limitations, once it does not contemplate the fact that management decisions can be made during the life of the project, given the variations presented by the market, and not only in its initial planning stage. The insertion of the concept of options can change the course of operations or the strategy, looking for better results for the company.

That said, the thesis developed aims to include factors such as managerial flexibility in the analysis of a stockpile retrieve. For this purpose, the estimation of the net present value (NPV), resulting from the sale of the material, will be carried out by adding to the DCF method the concepts of Real Options Valuation (ROV), which considers the possibility of postponed decision-making, as well as abandonment of the project.

The study focuses on the comprehension of factors such as managerial flexibility in the analysis of a stockpile retrieve. For this purpose, the valuation of the net present value (NPV) from the sale of the material was calculated by adding to the DCF method the concepts of the Real Options Valuation (ROV), which considers the possibility of postponement decision-making, as well as abandonment of the project.

The study will be developed on the database of an iron ore stockpile. The resumption of material contained on the pile will be examined in different ways and by different methodologies, in order to demonstrate the changes observed in the results according to the information established as an input data. Different scenarios will be simulated by applying variations to the iron ore sales price, and, from these simulations, the options available for resumption of the material and their associated results will be verified.

The results demonstrated the possibility of financial return amplification to the company when the real options method was applied to evaluate scenarios for stockpile retrieve. The NPV obtained with the decision tree method was much higher than the one found when using the traditional DCF method. When the ROV methodology was incorporated, the results became more accurate, since the rates applied to the cash flows were adjusted.

Capítulo 1

1.1. Introdução

O campo da mineração, assim como qualquer outro segmento, está constantemente sujeito a variações de diferentes fatores de mercado que o influenciam. Dentre estes fatores, pode-se citar como exemplo a demanda e a oferta do minério, o preço associado a ele, custos de produção, etc. Pequenas alterações nesses elementos podem acarretar variações consideráveis no resultado econômico gerado para a empresa.

Devido ao grande nível de dificuldade de identificar-se antecipadamente a mudança de cenário em relação a uma *commodity*, muitas vezes ações são tomadas como forma de prevenção nas empresas. Estudos de avaliação de risco associados a escolhas são comumente realizados nos projetos de mineração. Sempre que uma escolha é tomada dentro de um projeto, há um risco envolvido a ela. Busca-se sempre, portanto, a minimização deste risco, para que haja um maior nível de segurança no empreendimento.

As pilhas de estocagem são um exemplo de ação preventiva na mineração. Por diferentes razões, é necessário haver reservas para a operação. Dentre essas razões, podem-se citar as paradas devido a períodos de grandes precipitações, oscilações na produção entre operações de *lead times* distintos, paradas previstas, tempo de espera para embarque do minério, e até mesmo a formação de pilhas para a homogeneização do material.

O armazenamento em pilhas, contudo, apresenta muitas consequências negativas para a qualidade do produto. Podem ocorrer segregação granulométrica, degradação granulométrica (por queda ou esmagamento), desprendimento de poeira ou perda de rastreabilidade do material. Apesar disso, Chaves e Ferreira (1996) afirmam que os estoques podem ser bastante úteis, além de apresentarem a vantagem de permitir a estocagem de grandes quantidades, por longos períodos de tempo e a custo relativamente baixo.

O minério deve atender algumas exigências do mercado consumidor em relação às características do seu produto final, gerando, ao mesmo tempo, um lucro interessante ao seu

produtor, de forma que possa torná-lo competitivo diante da concorrência. Não menos importante é o fato de observar-se uma utilização consciente de seus recursos, visto que são bens finitos presentes na natureza. Portanto, o planejamento da mineração deve sempre estar atento à priorização do seu melhor aproveitamento.

A determinação do método de avaliação econômico-financeira utilizado em um projeto é de fundamental importância para a obtenção de resultados adequados. A adoção de um método equivocado pode gerar consequências, tal qual a não maximização do valor da empresa. Para essa avaliação econômica existem diversos métodos que podem ser aplicados, com diferentes características.

A metodologia do Fluxo de Caixa Descontado (*Discounted Cash Flow* - DCF) é uma das mais conhecidas e mais aplicadas na avaliação econômica de projetos, não só na mineração, mas em outros setores produtivos. Apresenta relativa simplicidade e facilidade de compreensão, uma vez que utiliza dados quantitativos com base nas entradas e saídas de caixa. Contudo, essa metodologia tem mostrado uma série de limitações, visto que desconsidera o fato de que decisões gerenciais podem ocorrer durante um projeto, e não somente na sua fase inicial, mudando o curso das operações ou a estratégia em busca de melhores resultados diante das variações apresentadas pelo mercado.

Buscando-se a abrangência de fatores como flexibilidade gerencial, grau de incerteza e irreversibilidade de investimentos nos projetos mineiros, sugeriu-se o uso da metodologia denominada Opções Reais (*Real Options Valuation* - ROV) (Brennan e Schwartz, 1985), a qual tem sua origem atrelada ao desenvolvimento dos conceitos da teoria de Opções Financeiras (Black e Scholes, 1973), como complemento ao método do DCF. Esta metodologia considera a possibilidade de adiamento de tomadas de decisões, bem como abandono do projeto em um momento futuro, não sendo necessária a execução de ações somente no início do planejamento, uma vez que novas opções são geradas de acordo com a variação de cenário do mercado.

Entre estudos que podem ser feitos utilizando-se ROV, por exemplo, pode-se buscar determinar a maneira mais adequada para o aproveitamento de minério estocado em uma pilha, observando os aspectos mencionados. Pode-se avaliar a interferência do momento da retomada nos resultados do projeto, observando-se os benefícios de possíveis paradas ou abandono do material, de forma a otimizar o aproveitamento do minério e, conseqüentemente, o retorno financeiro da empresa.

Ressalta-se, no entanto, que na avaliação do impacto econômico gerado no fluxo de caixa do projeto pela recuperação do estoque podem ser aplicadas diferentes metodologias, algumas contemplando somente os conceitos de DCF e outros com base na teoria de Opções Reais. Serão simulados diferentes cenários, de acordo com a volatilidade do preço do Fe, e a partir dessas simulações serão verificadas as opções atreladas ao projeto e os resultados obtidos por meio de cada uma delas.

1.1.1.Contextualização do Problema

Assim como em qualquer área da indústria, as empresas de mineração devem trabalhar com certa quantidade de material estocado. Para isso, algum método de avaliação deve ser aplicado dentro da área de planejamento, de maneira a adequar o armazenamento de material como forma de estocagem. Esse estoque pode servir para alimentar a planta de beneficiamento, tanto em ocasiões de paradas previstas (como épocas em que ocorrem fortes precipitações) quanto nas paradas não previstas (como aquelas geradas por pane ou danos nos equipamentos). A estocagem permite, também, se desejado, que seja feito um redimensionamento na quantidade ou qualidade do material enviado para processamento, fazendo adaptações de acordo com a demanda de produção solicitada em diferentes períodos de tempo, ou de acordo com as características físicas exigidas pela planta.

Além disso, outro fator que deve ser considerado sempre dentro de um empreendimento mineiro é o fato de que os recursos minerais são bens finitos e absolutamente indispensáveis para a sociedade. Por isso, cada vez mais as empresas têm buscado um melhor aproveitamento das jazidas, usufruindo ao máximo do material extraído, operando o depósito de maneira sustentável. Dessa forma, metodologias que possam auxiliar na otimização do uso desses recursos estão sempre sendo buscadas.

A metodologia do Fluxo de Caixa Descontado (*Discounted Cash Flow* - DCF), tradicionalmente aplicada na análise de projetos, tem sido bastante criticada por não contemplar fatores de flexibilidade gerencial. Todo projeto pode ser adiado, por exemplo, se o mercado não apresentar um momento ideal para sua realização, ou ser abandonado se a sua continuidade mostrar amplitude de perdas para a empresa. Da mesma forma, variações no mercado, tais como o preço do bem mineral, a oferta, os custos de produção e transporte, etc, podem afetar

drasticamente a viabilidade de um empreendimento se não forem observadas e adaptações no projeto não forem realizadas. As decisões gerenciais, portanto, podem trazer valorização para a empresa e devem ser inseridas na metodologia de avaliação econômico-financeira aplicada no planejamento.

O método de Opções Reais surge como uma alternativa para a inserção de tais conceitos. Considerar opções durante o desenvolvimento de um projeto pode trazer valorização para a empresa. As decisões não precisam necessariamente ser tomadas no momento inicial do planejamento, podendo serem ajustadas durante o desenrolar das atividades, de acordo com as informações que vão sendo obtidas do mercado. Dessa forma, maximiza-se o retorno obtido com o projeto, possibilitando a ampliação dos ganhos para os investidores.

1.1.2. Meta

A presente tese visa desenvolver uma metodologia, por meio da aplicação do método de Opções Reais associado aos conceitos de *Discounted Cash Flow*, para determinar o impacto econômico refletido no fluxo de caixa de um projeto, quando inseridos os conceitos de flexibilidade gerencial no planejamento. A metodologia pretende auxiliar no planejamento de estoque de material de teores inferiores ao teor de corte, ou materiais com diferentes características físicas para um futuro beneficiamento.

Para isso, serão consideradas no estudo as possíveis alterações de preço do minério, geradas devido às mudanças no mercado, as quais afetam diretamente as variáveis envolvidas na avaliação de viabilidade de recuperação da pilha. Serão apresentadas as opções e os riscos relacionados à estocagem deste material, que pode vir ou não a se tornar rentável, conforme as flutuações ocorridas nos cenários simulados. Com os resultados obtidos, busca-se encontrar uma metodologia que auxilie na otimização do planejamento de estoque, de acordo com a análise de opções, agregando valores à empresa por meio da incorporação do conceito de flexibilidade gerencial.

1.1.3. Contribuição da Tese

A metodologia tradicionalmente aplicada ao planejamento de lavra e dimensionamento de estoque, o Fluxo de Caixa Descontado (*Discounted Cash Flow* - DCF), que pode utilizar tanto da equação do Valor Presente Líquido (VPL) quanto da Taxa Interna de Retorno (TIR) para avaliar projetos, tem sido criticada por apresentar diversas limitações, tais como desconsiderar as decisões gerenciais que permitem alterar a produção, o estoque ou a estratégia após o início das atividades de uma mina. A flexibilidade gerencial é um fator que pode agregar valor a um projeto, variando-se o planejamento inicial de acordo com o comportamento do mercado.

Este estudo utiliza o método de avaliação conhecido como Opções Reais (*Real Options Valuation* - ROV) como uma ferramenta para analisar retomada de estoques e gerenciar as estratégias a serem aplicadas. O método de ROV é utilizado como complemento ao método de DCF, inserindo os elementos de incertezas atrelados a um projeto devido às variações que ocorrem durante o seu avanço. Desta forma, são contempladas as diversas opções que se apresentam durante o desenvolvimento dos trabalhos e não somente no momento inicial. Trabalhando com esse tipo de flexibilidade gerencial, uma empresa pode ampliar seus ganhos, bem como otimizar a utilização dos recursos do depósito, tendo em vista que teores abaixo do teor de corte, ou material de diferentes características físicas, podem se tornar economicamente viáveis após alguns anos de operação.

Com a aplicação do método de Opções Reais no planejamento de pilhas de estoque na mineração, torna-se possível um maior aproveitamento de material, uma vez que sua deposição e armazenamento serão realizados de forma consciente.

A integração do método de ROV ao método do DCF possibilita a ampliação do retorno financeiro gerado por um projeto, tanto de recuperação de pilhas quanto de lavra, uma vez que diferentes opções são averiguadas ao longo das atividades, permitindo que as decisões sejam tomadas com base nos cenários previstos para cada uma delas. Além disso, a inserção dos conceitos de ROV podem evitar perdas para a empresa, quando observado que em certas circunstâncias a interrupção do projeto é a melhor escolha.

Para a demonstração da aplicabilidade da metodologia sugerida nesta tese e a verificação de sua validade, foi realizado um estudo em uma mineradora de ferro brasileira localizada no Quadrilátero Ferrífero, estado de Minas Gerais.

1.1.4. Objetivos

Para atender à meta proposta neste trabalho, alguns objetivos foram estabelecidos de forma gradativa, buscando-se resultados parciais os quais podem proporcionar a partir de suas associações resultados conclusivos sobre o estudo:

- i. Estudar os custos envolvidos no armazenamento de material em pilhas e os principais aspectos que devem ser observados quando o estoque é formado;
- ii. Apresentar metodologias para avaliar a retomada do material armazenado;
- iii. Aplicar os métodos (tradicional e ROV) ao estudo de caso de uma pilha de itabiritos compactos;
- iv. Realizar a análise comparativa dos resultados obtidos com a aplicação dos métodos na avaliação da recuperação da pilha;
- v. Avaliar os benefícios da incorporação do método ROV na análise dos cenários possíveis para retomada do material;
- vi. Apresentar as alternativas viáveis resultantes do estudo ao modelo avaliado, de forma a otimizar o fluxo de caixa do projeto, tal como o aproveitamento dos recursos.

1.1.5. Organização da Tese

A tese foi organizada e distribuída em capítulos, de forma a seguir uma linha de exposição clara referente ao tema sugerido.

O capítulo 1 apresenta, de forma sucinta, uma introdução sobre o assunto principal e quais as aspirações pretendidas no decorrer do estudo.

O capítulo 2 expõe uma revisão bibliográfica dos tópicos fundamentais relacionados à linha de pesquisa do trabalho, assim como suas principais características e definições. Foram revisados e apresentados os métodos mais utilizados pelas mineradoras para o planejamento das pilhas de estoque. Também, foram introduzidos os conceitos e aplicações do método de Opções Reais (ROV), sugerido como nova alternativa para avaliação da retomada do material armazenado.

O capítulo 3 apresenta o desenvolvimento da metodologia proposta. Foi demonstrada, passo a passo, a forma de aplicação do método de Opções Reais, assim como as informações que são necessárias a respeito do depósito em análise para a sua possível aplicabilidade. A demonstração foi realizada a partir de dados fictícios para um depósito ferrífero.

No capítulo 4 foi descrito e analisado um banco de dados, o qual faz referência a uma mina de ferro localizada no Quadrilátero Ferrífero, estado de Minas Gerais. Foram expostas as características gerais do depósito, bem como o método de lavra e a linha de produção e beneficiamento utilizada pela empresa. A pilha de estoque presente na mina foi estudada em particular, apresentando-se todos os dados relevantes referentes à sua composição, deposição e retomada.

No capítulo 5, foram aplicados, os métodos do DCF (tradicionalmente utilizados) e de ROV (metodologia sugerida para inovação) no planejamento da retomada da pilha de estoque do estudo de caso. Foram introduzidos e esclarecidos os conceitos e as variáveis de cada método durante o desenvolvimento das fórmulas atreladas a eles.

No capítulo 6 analisou-se os resultados obtidos a partir da aplicação das metodologias ao estudo de caso apresentado. Foram verificadas as diferenças no valor do VPL resultante do projeto de acordo com o método de avaliação utilizado e, também, os cenários mais promissores para retomada da pilha.

No capítulo 7 foram descritas as conclusões referentes as observações provenientes da pesquisa realizada no decorrer da tese, as quais seguiram os objetivos propostos inicialmente. Além disso, foram recomendados futuros estudos adicionais, que possam servir como complementação e continuidade do trabalho realizado

Capítulo 2

2.1. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo do estudo foram revisadas algumas das principais bibliografias referentes ao armazenamento de minério em pilhas. Foram, também, apresentados os fundamentos e características do método sugerido na tese, denominado Opções Reais, bem como um resumo de suas aplicações dentro da área da mineração, de forma a introduzir ao leitor os conceitos principais aos quais se deve ter conhecimento para a compreensão do estudo desenvolvido ao longo deste trabalho.

2.1.1.Importância da Estocagem de Material na Mineração

Todos os segmentos de indústria apresentam necessidade de controlar o seu estoque, tanto de matérias-primas como de produtos acabados, ou mesmo de produtos em fase de processamento.

Segundo Correa (2000), uma das razões da existência dos estoques nas empresas é a impossibilidade ou inviabilidade de coordenar suprimento e demanda, que pode ocorrer por diferentes motivos, como incapacidade, pelo alto custo de obtenção ou por restrições tecnológicas, com fins especulativos, pela escassez ou pela oportunidade, com a finalidade de gerenciar incertezas de previsões de suprimento e/ou demanda, na formação de estoque de segurança, etc.

Conforme descrevem Martins e Laugeni (2005), a estocagem de materiais é uma atividade especializada e consiste em armazenar adequadamente os materiais para que seja possível sua rápida recuperação e manutenção dos níveis de qualidade e para que a entrega seja facilitada. Os autores, também, sugerem que o armazenamento de materiais é necessário para reduzir os custos de produção e fretes e para garantir um melhor atendimento aos clientes. O

armazenamento bem executado, também, ajuda a otimizar o espaço alocado para estocagem dos materiais e conseqüentemente os seus custos. Além disso um armazenamento adequado permite uma maior facilidade na rastreabilidade do produto estocado.

Conforme Ballou (2006), se a demanda de produtos de cada empresa fosse conhecida com exatidão e os produtos pudessem ser fornecidos instantaneamente para suprir essa demanda, o que não é prático e nem viável, teoricamente não haveria necessidade de estocagem.

De acordo com Guarany *et al.* (2013), mesmo para chegar perto da coordenação perfeita entre oferta versus demanda, a produção teria de ser instantaneamente reativa e o transporte inteiramente confiável, com tempo zero de entrega. Nada disso, porém, está à disposição das empresas a custo razoável. Assim, as empresas fazem uso de estoques para melhorar a coordenação entre oferta e procura e, também, com objetivo de reduzir seus custos totais. Disso se infere que a manutenção de estoques produz a necessidade da estocagem, bem como a necessidade do manuseio dos materiais. Devido aos erros de planejamento e programação, a estocagem torna-se mais do que essencial, se tornando uma conveniência econômica.

Na mineração, assim como nos outros segmentos de indústria, utiliza-se o armazenamento de material, no caso o minério ou minério de baixo teor ou minério com características tecnológicas diferentes do minério principal. Algumas das principais razões para que uma quantidade pré-definida desse material seja mantida como forma de estoque na mina podem ser:

1. Formar reservas para suprir a operação em períodos de grandes precipitações, tanto para os casos de paradas previstas quanto para os casos de emergência da mina.
2. Formar pilha pulmão entre operações de períodos ou vazões diferentes (por exemplo, pilha entre a usina de concentração, operando três turnos diários, e a lavra e britagem primária, operando apenas um).
3. Aguardar a chegada do meio de transporte do minério (trem ou navio, por exemplo) para poder embarcar.
4. Homogeneizar o material que alimentará determinadas unidades da planta de beneficiamento, de forma a evitar que ocorram grandes variações das características da alimentação e, conseqüentemente, perdas de controle do processo.

5. Armazenar o material que apresenta teor marginal ou características físico-químicas que não permitem seu beneficiamento imediato, tendo em vista seu possível aproveitamento futuro caso o cenário da economia mundial proporcione o aumento do valor de venda do minério (o que reduziria o teor de corte na lavra, ou seja, o teor mínimo exigido para que o material possa ser considerado minério e conseqüentemente seja enviado para a planta de beneficiamento) ou que novas tecnologias de beneficiamento sejam adotadas permitindo seu aproveitamento.

2.1.2. Formas de Estocagem

Existem diferentes maneiras de armazenar material proveniente da mina. Dentre as principais formas de estocagem, destacam-se a estocagem em silos, estocagem em vagões ferroviários e a estocagem em pilhas. A estocagem ainda pode ser dividida em estocagem a céu aberto ou estocagem em galpões fechados.

A estocagem feita em silos se destina ao armazenamento de quantidades médias de produto, em geral de material de processamento durante a etapa de beneficiamento, ao qual deve permanecer nos silos por um curto período de tempo.

A estocagem em vagões ferroviários é comumente utilizada nos Estados Unidos para armazenamento de carvão para uso térmico, não tendo muita aplicação nas indústrias brasileiras. Essa técnica é utilizada principalmente para evitar a movimentação do carvão do vagão para uma pilha e da pilha para outro vagão, o que implicaria na geração de maiores custos por perdas de material e, também, na geração de poeiras suspensas. Contudo, a imobilização de capital é bastante significativa, uma vez que além do material estocado existe, também, o fator de paralisação dos vagões. O custo operacional, por outro lado, é praticamente nulo, bem como os efeitos do manuseio (degradação, segregação e perdas) sobre o minério estocado, de modo que deveria merecer maior atenção, especialmente no caso de matérias-primas minerais que não demandam homogeneização.

Na indústria da mineração a estocagem em pilhas a céu aberto é a que tem maior aplicação, por permitir o armazenamento de grandes quantidades de material, com custos

reduzidos e podendo manter o estoque por períodos estendidos. Essa forma de estocagem, a qual é objeto de estudo deste trabalho, será apresentada com maior nível de aprofundamento na seção seguinte. Deve-se ressaltar, no entanto, que pilhas de minério estocadas por um longo período podem apresentar diversos problemas, tais como, perder-se o controle sobre a distribuição dos teores nas pilhas, segregação de minério, aumento dos custos de manutenção e reutilização das pilhas.

2.1.3. Estocagem em Pilhas na Mineração

Durante a vida útil de uma mina o teor de corte mínimo utilizado na lavra do minério pode variar por diferentes motivos. Em geral, busca-se a recuperação do investimento de capital aplicado no projeto dentro do menor tempo possível. Para tal, utiliza-se um teor de corte mais elevado nos primeiros anos da operação (aumentando as receitas), para que o *payback* seja minimizado. Após esse período, o *cutoff grade* praticado tende a diminuir, uma vez que já ocorreu o retorno do investimento realizado. Uma grande quantidade de material que foi lavrado nos primeiros anos de operação e apresentava baixo teor, contudo, passa agora a ser considerado minério. Nessa situação, por exemplo, pilhas de estoque podem ser consideradas, a fim de armazenar o material para processamento posterior (Hustrulid e Kutcha, 1995).

Chaves e Ferreira (1996) dizem que dentro de um complexo de mineração, o minério se defronta com diversos equipamentos de manuseio aptos a inserir alterações na qualidade do produto até atingir o ponto de destino. A qualidade de um lote de concentrado é definida por diferentes parâmetros, variáveis de minério para minério. São eles:

- a. Parâmetros físicos: distribuição granulométrica, área de superfície, cor, resistência mecânica, alvura, untuosidade;
- b. Parâmetros químicos: teor mínimo aceitável para o elemento útil ou mineral de minério, teor máximo admissível para os contaminantes, etc.;
- c. Parâmetros metalúrgicos como redutibilidade, friabilidade, tendência à crepitação, resultados de ensaios de tamboreamento e de queda, etc.

De acordo com Schellman (1989), existem diversas desvantagens na utilização de pilhas de estoque, podendo citar-se:

1. Necessidade de remanejamento do material, envolvendo custos muito significativos;
2. Necessidade de espaço físico disponível para o acomodamento das pilhas próximo da operação de lavra, o que é bastante escasso na maioria dos depósitos;
3. Com o passar do tempo alguns materiais tornam-se mais difíceis de serem tratados;
4. Despesas adicionais com o rastreamento da qualidade do material presente na pilha (controle de produção, amostragem).

Por outro lado, existe um conjunto de razões as quais justificam o uso das pilhas, dentre elas:

1. Pilhas podem ser usadas para a blendagem do material proveniente da lavra, garantindo o teor mais adequado para a alimentação do moinho. Normalmente, a recuperação é maior quanto menor for a flutuação do teor da alimentação;
2. Pilhas podem ser usadas como estoque em situações de redução da produção, associadas a diferentes razões, complementando a carga necessária para alimentar a planta;
3. A recuperação do metal é geralmente muito maior no moinho do que na pilha de lixiviação, portanto, manter-se uma pilha de estoque para alimentar o moinho é mais interessante do que enviar esse material para o processo de lixiviação;
4. A presença de uma pilha de estoque torna mais flexível as operações de lavra, pois fornece maior segurança à produção.

2.1.4. Dimensionamento de Pilhas de Estoque

As pilhas podem apresentar diferentes formas (prismáticas, prismas de seção trapezoidal, prismas com eixo circular ou eixo semicircular, cônicas, entre outras), sendo elas definidas essencialmente pelo espaço físico disponível e as características do material. A altura da pilha será determinada de acordo com a degradação mecânica do material sob o peso das

camadas sobrepostas, bem como das características do solo onde esta será depositada e dos equipamentos utilizados para disposição do material.

Cada tipo de material a ser estocado nas pilhas deve ser avaliado de acordo com suas características, respeitando sempre regras e critérios. O empilhamento de fertilizantes solúveis, por exemplo, deve ser feito dentro de ambientes cobertos, evitando o contato com a chuva. Esses cuidados são essenciais para evitar perdas pela ação do calor, do vento e da chuva, além da contaminação por outros materiais.

2.1.5. Pilhas de Espera

O minério extraído na lavra, também, pode ser armazenado por outros motivos que não permitem que o mesmo seja enviado para a planta de beneficiamento no momento de sua extração. Dentre os motivos que podem levar a deposição deste material em pilhas provisórias podem-se citar: (i) a falta de capacidade de alimentação da planta; (ii) e/ou a incapacidade da planta de processar o material armazenado devido às suas propriedades físicas ou químicas.

No estudo de caso que será analisado após a apresentação da metodologia em estudo conceitual, as pilhas de estoque foram formadas devido às diferentes características apresentadas pelo material extraído da lavra. O estudo refere-se a um depósito de ferro, onde o minério pode ocorrer em três diferentes tipos de rocha: itabirito friável e compacto (menor teor), hematita friável e compacta (médio teor), e *blue dust* (hematita mais fina e mais rica em teor). O Itabirito compacto é um material bastante diferenciado dos outros devido às suas características físicas, o que impedia que a planta existente no local pudesse processá-lo. Desta forma, pilhas de espera deste material foram criadas por meio de deposições sobrepostas realizadas por caminhões, visando o armazenamento provisório do minério para posterior processamento em nova planta a ser construída após a exaustão do material friável.

2.1.6. Problemas Ocorrentes na Estocagem em Pilhas

Leal Filho (1994) apresenta uma série de problemas ocorrentes na estocagem de pilhas em pátios a céu aberto, os quais devem ser tratados para o bom funcionamento da operação, e as formas mais adequadas de solucionar tais dificuldades. São eles:

- **Desprendimento de poeira:** A poeira gerada na operação das pilhas é um dos mais graves problemas encontrados. Além de causar desconforto para os trabalhadores e prejudicar o bom funcionamento dos equipamentos, as poeiras arrastadas podem alterar as características do material estocado, uma vez que essas frações mais finas podem conter diferentes teores em relação às partes mais grossas do minério. Como forma de minimizar os danos utiliza-se água nos pontos de transbordo, barreiras contra o vento e verifica-se a direção habitual dos ventos para o alinhamento das pilhas;
- **Segregação granulométrica:** Conforme Schofield (1980), durante o transporte nas correias e especialmente no derramamento do material sobre as pilhas, as partículas de maior dimensão tendem a rolar sobre a superfície de deposição concentrando-se junto à saia, enquanto os finos tendem a se concentrar no centro da pilha, uma vez que se movem por escorregamento. Assim, caso se retome somente a base, o centro ou os lados de uma pilha, o produto retomado possivelmente terá características diferentes da média do material estocado. Portanto, é fundamental estudar a melhor maneira de retomar o minério, de forma a garantir a composição adequada;
- **Compactação:** De acordo com Schofield (1980), quando alguns materiais coesivos ficam por muito tempo submetidos à pressão, eles acabam por aglomerar-se formando briquetes, tornando quase impossível a sua remoção. Essa ocorrência é bastante comum em carvões betuminosos e minério de ferro fino e úmido. Para evitar esse problema é importante a avaliação do tempo de estocagem de certos materiais no pátio;

- Umidade: De acordo com Journal (1974), a umidade no material estocado pode acarretar problemas no empilhamento ou na retomada. O fato da pilha estar exposta ao ar livre faz com que ela esteja sujeita às variações do tempo, como sol e chuva, o que afeta diretamente a sua taxa de umidade. Isso pode também implicar problemas de entupimento dos equipamentos. Dependendo do material a ser estocado essa variação pode ser muito importante, como, por exemplo, minérios destinados à exportação, os quais devem atender um nível de especificações muito rígidas e umidade cada vez mais baixa. Esse fator também pode causar interferência na taxa de carregamento de navios. Para impedir a ocorrência desses problemas é importante considerá-los na construção do modelo de simulação;
- Morto: Segundo Chaves (2006), o morto é todo o material da pilha que necessita da ajuda de equipamentos como tratores para sua retomada. Representa uma parcela considerável da pilha de estoque e deve ser estudado, pois toda a movimentação de material no pátio implica custos e pode interferir na qualidade do mesmo e na capacidade dos pátios e carregamento dos navios. Além dos problemas citados, os granéis sólidos apresentam grande variação de fator de estiva (quantidade de mercadoria que pode ser colocada em um metro cúbico) e ângulo de repouso (ângulo de inclinação formado pelo deslizamento da primeira camada de partículas). Alguns materiais podem ainda apresentar peculiaridades na estocagem, como por exemplo, as pelotas de minério de ferro. A estabilidade da pilha é dificultada pela facilidade com que esse material rola, impossibilitando a retomada do minério pela base. A retomada nesse caso se dá em bancadas ou blocos (Gerstel, 1977);
- Pilhas de minério formadas sem controle de distribuição de teores e de características texturais/estruturais: a formação desse tipo de pilhas dificulta a retomada do minério, criando uma heterogeneidade difícil de ser prevista. Nesses casos, muitas vezes é necessária uma nova campanha de amostragem para abastecer a planta em melhores condições para o processamento.

2.1.7. Métodos de Avaliação de Projetos

Na área da mineração, diferentemente da maioria dos outros setores, a matéria-prima, ou seja, o minério, apresenta variações em suas propriedades dependentes da sua formação geológica. Suas composições química e física devem ser estimadas a partir de amostragem, análise laboratorial e pareceres de peritos (Maybee *et al.*, 2010). Além dessas incertezas, as mudanças no mercado, tais como o preço de venda do minério, também, impactam diretamente nas empresas de mineração, uma vez que as quantidades de material de valor existente em um depósito são determinadas de acordo com a viabilidade de sua extração, podendo haver grandes reduções da quantidade em caso de queda no valor de venda. Este fato explica porque a jazida é uma das principais fontes de risco em um negócio de mineração (Sayadi *et al.*, 2010; Rozman, 1998).

Para realizar a avaliação de viabilidade de um projeto, diferentes métodos podem ser utilizados. A aplicabilidade de cada método está diretamente relacionada às suas limitações, as quais devem ser observadas no momento em que se determina qual abordagem será dada ao trabalho, de forma a optar-se por aquele que melhor realizará a análise desejada. Uma escolha inapropriada da metodologia a ser aplicada pode acarretar perdas irreparáveis para o projeto e, conseqüentemente, para a empresa.

Neste estudo, serão apresentados dois métodos, o método de Fluxo de Caixa Descontado, o qual tem predominância nos empreendimentos de mineração, e o método de Opções Reais, o qual embora venha sendo timidamente aplicado nesta área, apresenta grandes evoluções na forma de avaliar um projeto e, por isso, é sugerido como alternativa na metodologia desenvolvida para definição do material que deve compor as pilhas de estoque, proposta por este trabalho.

2.1.7.1. Método do Fluxo de Caixa Descontado

Define-se o fluxo de caixa descontado (DCF- *Discounted Cash Flow*) como uma previsão do valor do fluxo de caixa futuro (podendo ser ano a ano, por exemplo) de um projeto,

considerando o desconto de uma taxa que represente o risco assumido, no tempo presente. Também, pode ser utilizado para calcular o tempo de retorno do investimento.

Para estimar o fluxo de caixa de um projeto ao longo de sua vida útil é necessário conhecer alguns parâmetros, tais como: produção, preço do bem mineral, taxas, recuperação, custos operacionais e capitais (lavra, beneficiamento, transporte, equipamentos, gerais, etc.), entre outros. Calcula-se então o valor do fluxo de caixa descontado subtraindo-se das receitas estimadas as devidas deduções e custos, considerando a taxa de desconto aplicável para o projeto. Além dos custos de operação, devem ser descontados no cálculo os impostos incidentes em operações de mineração e a depreciação dos equipamentos ao longo da vida útil da mina.

De posse dos montantes gerados a cada período no projeto através do DCF, utiliza-se a equação do Valor Presente Líquido (VPL ou *Net Present Value* - NPV) para fazer a soma desses valores e determinar a viabilidade econômica do empreendimento. O VPL é uma fórmula matemática-financeira utilizada para calcular o valor presente de uma série de pagamentos futuros descontando uma taxa de atualização, pois o dinheiro a ser recebido no futuro não vale a mesma coisa que o dinheiro no tempo presente. Isso acontece pela incerteza do amanhã. Portanto, esse cálculo faz exatamente esse ajuste, descontando as devidas taxas do fluxo de caixa futuro, de acordo com a fórmula (1):

$$VPL = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I \quad (1)$$

Onde:

FC_t = Fluxo de caixa no período t

i = Taxa de desconto

t = Número de períodos

I = Investimento inicial

O método de Fluxo de Caixa Descontado, embora muito utilizado para a análise de projetos, não considera o caráter dinâmico do processo ao longo da vida útil da mina, pois traça as estimativas futuras sem incorporar o comportamento de volatilidade das variáveis presentes. Dentro do método do Fluxo de Caixa Descontado, além das regras do Valor Presente Líquido

utilizadas para estimar a viabilidade do projeto, as empresas, também, costumam trabalhar com o conceito de Taxa Interna de Retorno (TIR). A TIR, como a taxa de atualização, é análoga a uma taxa de juros e significa a taxa máxima a qual se pode tomar empréstimo sem que o projeto se torne deficitário. Se os empréstimos são tomados a uma taxa inferior à TIR, o VPL continuará necessariamente positivo. Basicamente, o princípio desses métodos indica que projetos com VPL positivo ou com TIR acima da taxa de desconto seriam favoráveis ao financiamento.

O VPL conta com uma série de vantagens em relação a outros métodos de avaliação, portanto, tem sido o mais utilizado pelas empresas como indicador financeiro para análise econômica de projetos. Sua simplicidade e facilidade de compreensão, uma vez que utiliza-se apenas das entradas e saídas de caixa, conquistam a preferência nas práticas empresariais e acadêmicas, de acordo com Copeland et al. (2005). Contudo, a eficiência desse método vem sendo questionada ao longo dos últimos anos, visto que, devido à incerteza e à variabilidade apresentadas com o tempo, as decisões de investimento de capital neste tipo de empreendimento não podem depender de parâmetros de avaliação estáticos.

O DCF ignora que um projeto pode ter sua operação alterada durante a sua execução, de acordo com decisões gerenciais que podem ser tomadas tendo em vista as variações que ocorrem no mercado buscando melhores resultados (Brandão, 2002). Este método, portanto, utiliza apenas as informações disponíveis no momento inicial do empreendimento, desconsiderando a flexibilidade gerencial que pode ser empregada de forma a otimizar o negócio, por exemplo, o adiamento da execução do projeto ou a possibilidade de abandono, se assim sugerir as mudanças no mercado (Dixit e Pindyck, 1995).

Outro fator crítico na metodologia do Fluxo de Caixa Descontado é o uso de uma taxa de desconto fixa ao longo dos anos. Segundo Smith e McCardle (1999), as taxas ajustadas ao risco têm impacto sensível, especialmente para projetos de longo prazo, podendo subestimar a valoração do projeto.

Por conta das deficiências do método DCF apresentadas acima, as quais podem prejudicar a avaliação econômica de um depósito, sugere-se neste estudo o uso do método de Opções Reais, que abrange tais aspectos num ambiente de flexibilidade e incertezas.

2.1.7.1.1. Aplicações do Método do Fluxo de Caixa Descontado

O método do Fluxo de Caixa Descontado é o mais aceito por administradores de empresas e por pessoas que trabalham com análise de investimentos. Esse método permite avaliar a situação que a companhia se encontra no período atual, fornecendo a base para estimativa do fluxo de caixa e posterior análise financeira da empresa. Por tais motivos, essa metodologia tem aplicabilidade bastante abrangente, podendo ser utilizada na avaliação econômico-financeira de negócios de áreas diversificadas.

No trabalho de Barbosa (2002), a empresa Vale do Rio Doce foi avaliada pelo método do Fluxo de Caixa Descontado, por ser considerado eficaz e capaz de revelar o potencial da empresa mesmo sem passar pela complexa metodologia de avaliação de seu ativo fixo representado pelos investimentos em máquinas, tecnologia, capital social, sem esquecer de suas jazidas que com certeza representavam um ativo de difícil avaliação. O valor que se pretendeu encontrar no estudo era o valor de mercado ou valor econômico da CVRD em 31 de dezembro de 1996, momento em que ela foi privatizada. Discutiu-se o valor da empresa sob o ponto de vista do mercado no momento em que os interessados se preparavam para comprá-la ou vendê-la e que, mais importante do que seus resultados passados, seriam com certeza os resultados futuros capazes de remunerar o capital investido. O Método do Fluxo de Caixa Descontado, foi nesse caso, um método de fácil aplicação que somente a partir de relatórios publicados pela empresa, pode-se chegar ao seu valor de mercado. Mesmo esse valor não sendo concreto e passível de negociações, ele representou um valor justo, pois para o vendedor ele representa a transferência do seu potencial futuro e para quem compra, ele representa a garantia de remuneração do capital empregado. O valor da Companhia Vale do Rio Doce calculado nesse trabalho se reportou na data em que pela ocasião de sua privatização, ela foi submetida a uma avaliação. Cabe, no entanto, analisar o efeito que sua privatização causou sobre o potencial da empresa, e que esse potencial refletiu grandemente sobre o valor encontrado neste trabalho da forma como foi realizado e o valor que seria encontrado caso fossem projetados os fluxos de caixa a partir de 1996 sem considerar os resultados de 1997 a 2001 como se tivessem sido projetados. Como utilizou-se os fluxos de caixa verificados pela CVRD, no período de 1997 a 2001 como se tivessem sido projetados, este já refletiu as variações dos investimentos

realizados pelos seus compradores após sua privatização. De acordo com o método do fluxo de caixa descontado, portanto, o valor econômico determinado para a Companhia Vale do Rio Doce em 31 de dezembro de 1996 foi de R\$ 27.482 milhões de reais. Esse constitui-se então o valor nesta data pela qual ela deveria ser vendida ou, pelo menos, valor pelo qual deveria se iniciar suas negociações, caso se fizesse sua avaliação por esse método.

Outro exemplo de aplicabilidade do DCF pode ser visto em Steiger (2008). O trabalho tinha por objetivo introduzir ao leitor a metodologia do Fluxo de Caixa Descontado e os fatores chave de entrada que são necessários para a análise por esse método, examinando as consequências que as mudanças nas suposições têm sobre a estimativa do valor da empresa. O artigo demonstrou por meio de uma análise de cenários que o método DCF exige uma quantidade relativamente grande de previsões da situação futura dos negócios da empresa e da economia em geral, alertando para o fato de que pequenas alterações nos pressupostos subjacentes poderiam resultar em grandes diferenças no valor final da companhia.

No artigo apresentado por Lima et al. (2010), o fluxo de caixa foi aplicado em conjunto com a metodologia multicritério de apoio à decisão, a qual incorpora variáveis de natureza qualitativa e subjetiva ao método tradicional do DCF. Para ilustrar o método proposto foi realizado um estudo descritivo de natureza exploratória aplicado em Micro e Pequenas Empresas (MPE) do ramo químico, farmacêutico e de turismo. Como resultado, o avaliador ajustou o preço do negócio levando em conta a resultante da mixagem entre as duas metodologias.

Outra aplicação do método de DCF pode ser observado no estudo de Campos et al. (2010), onde a metodologia foi utilizada para se atribuir um valor justo às ações da empresa Tractebel Energia, e comparar os resultados aos obtidos por meio de outros modelos de precificação de ativos. Nesse trabalho, percebeu-se que o valor alvo da empresa se encontrava muito próximo do preço obtido pelo método de fluxo de caixa descontado, justificando assim sua maior aceitação e aplicabilidade dentro deste tipo de estudo. O objetivo principal da pesquisa era oferecer subsídio para a tomada de decisões de investidores e da Tractebel no que se refere à compra e venda de ações da empresa.

O método do Fluxo de Caixa Descontado foi utilizado por Gouvêa (2013) a fim de avaliar a empresa JBS, maior empresa em processamento de proteína animal do mundo, e verificar se o resultado da avaliação seria condizente com o valor de mercado da empresa. Foram utilizados dados de 3 anos como base de projeção e o preço justo da ação foi comparado

ao valor de mercado da ação da JBS na data determinada. A pesquisa mostrou que a estrutura de custos e os riscos de mercado são fatores importantes para a determinação do valor da Empresa Alfa, além do forte avanço da receita. O resultado final indica que o valor de mercado agregado é cerca de 18 vezes maior que o valor contábil.

Na pesquisa de Martins e Oliveira (2014) buscou-se evidenciar a contabilização da degeneração na fruticultura por meio de um comparativo entre os métodos de custo e valor justo adotando os procedimentos das principais normas contábeis no que se refere à mensuração de ativos biológicos. Tendo em vista a inexistência de preço de mercado e alternativas para estimar o valor justo nos casos estudados, optaram por utilizar o valor presente dos benefícios futuros gerados pelo ativo como forma de mensuração do valor justo das goiabeiras formadas. O objetivo do cálculo do valor presente dos fluxos de caixa líquidos esperados do ativo era determinar o valor justo do ativo biológico no local e condições atuais. Para isso, utilizou-se uma taxa de desconto que refletia as avaliações atuais de mercado acerca do valor do dinheiro no tempo e dos riscos específicos do ativo para os quais as estimativas de fluxo de caixa futuros não tenham sido ajustadas.

Zdanowicz et al. (2015) aplicaram o DCF para avaliação de duas empresas de capital aberto do setor de ensino superior no Brasil, encontrando uma taxa de desconto adequada para o fluxo de caixa projetado visando obter o valor justo das empresas.

Observa-se, portanto, a grande amplitude de situações onde se pode aplicar a metodologia do fluxo de caixa descontado. Na área da mineração, esse método é extremamente empregado pelas empresas para avaliação econômica. Na análise de pré-viabilidade de um projeto, aplica-se o DCF para calcular o valor presente líquido resultante da exploração do depósito, por exemplo.

Embora essa metodologia seja bastante utilizada e de fácil aplicação, existem alguns fatores os quais não são contemplados por ela. A análise pelo DCF opera com parâmetros estáticos, ou seja, não considera fontes de variação que podem ocorrer em decorrência de mudanças no mercado, e que podem acarretar distorções de grande importância nos resultados apresentados. A flexibilidade na avaliação econômica de um projeto diminui o risco, uma vez que reduz a incerteza técnica, e o método do fluxo de caixa descontado não é capaz de contemplar esse valor dentro dos cálculos. Um projeto que apresente VPL estático negativo pode ser aceito se o valor da opção, chamado de prêmio, existir e exceder o valor do VPL. Fatores como altas taxas de juros e incertezas, os quais afetam negativamente o VPL estático

de um projeto, podem ser compensados pelo prêmio da opção que é gerado pela inserção da flexibilidade no gerenciamento das ações. Portanto, pode-se dizer que o método do DCF falha em enxergar as oportunidades futuras que se apresentam no decorrer dos projetos.

2.1.7.2. Método de Opções Reais

Existem dois tipos de opções no mercado financeiro, denominadas opção de compra (*call*) e opção de venda (*put*). A primeira dá ao seu titular o direito (mas não a obrigação) de comprar um ativo a um preço pré-estabelecido e dentro de um prazo de tempo. Já a opção de venda permite que o seu detentor tenha o direito (e não a obrigação) de vender um ativo a um preço pré-estabelecido e dentro de um prazo de tempo.

No conceito de opções salienta-se a importância do titular da opção ter o direito, mas não a obrigação, de realizá-la num período futuro pré-determinado. O custo associado à compra desse direito chama-se prêmio.

Também diferem-se as opções entre aquelas que podem ser exercidas a qualquer momento dentro do prazo estabelecido (americanas) e aquelas que só podem ser exercidas no seu vencimento (europeias) (Hull, 2009).

Dentro da teoria de Opções Financeiras, destaca-se o trabalho realizado por Black e Scholes (1973), o qual apresenta um modelo de opções de compra europeias denominado modelo de Black-Scholes. O modelo utiliza o conceito de que uma ação segue um processo estocástico segundo um Movimento Geométrico Browniano (MGB), fazendo com que a distribuição do preço da ação siga uma curva lognormal.

O modelo de Black-Scholes desenvolveu-se com apoio nos seguintes argumentos (Raphael, 2010):

- O comportamento do preço do ativo tem uma distribuição lognormal, tendo o retorno e a volatilidade constantes;
- Qualquer ativo é perfeitamente divisível;
- Até o vencimento da opção não é necessário pagar dividendos;
- Não existem custos operacionais de transação, impostos ou margens;
- A negociação dos ativos é um processo contínuo;

- A taxa livre de risco é constante;
- Pode-se tomar emprestado ou emprestar qualquer valor com taxa de juros livre de riscos e são permitidas vendas a descoberto.

De posse das premissas citadas acima, Black e Scholes desenvolveram uma fórmula para apreçamento das opções de compra europeias de ações sem dividendos, utilizando equações diferenciais, conforme as fórmulas (2), (3), (4) e (5):

$$C = SN(d_1) - Xe^{-r(T-t)}N(d_2) \quad (2)$$

$$P = Xe^{-r(T-t)}N(-d_2) - SN(-d_1) \quad (3)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \quad (4)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \quad (5)$$

Onde:

C: Valor da opção de compra europeia (call)

P: Valor da opção de venda europeia (put)

S: Valor atual do ativo

X: Preço de exercício

r: Taxa de juros livre de risco

σ : Volatilidade do valor do ativo

T: Tempo para o vencimento

t: Tempo t

N(d1): Função de distribuição normal acumulada para d1

N(d2): Função de distribuição normal acumulada para d2

O termo Opções Reais originou-se a partir do conceito da teoria de Opções Financeiras e foi primeiramente citado por Myers (1977). A utilização do método de Opções Reais (*Real Options Valuation* - ROV) (Brennan e Schwartz, 1985) foi sugerida como uma forma de abranger as diferentes possibilidades futuras de um projeto dentro da sua avaliação econômica.

Para tal, o método considera não só as variabilidades internas (técnicas), como também as externas (mercado) (Amram e Kulatilaka, 1999). Essa metodologia representa uma melhor aproximação da forma como um investidor vê um projeto: aceitar uma incerteza apostando nos potenciais do projeto para as possíveis condições futuras.

Análogo ao conceito de Opções Financeiras, o conceito de Opções Reais nada mais é do que a aplicação da mesma metodologia adaptada para ativos reais. Para isso, algumas modificações tiveram que ser estabelecidas, devido ao nível mais complexo na avaliação das opções reais, permitindo a aplicabilidade do método. A Tabela 1 representa as adequações feitas nos itens descritos para transição de ativos financeiros em ativos reais.

Tabela 1. Adaptações da teoria de Opções Financeiras para Opções Reais (Fonte: Rigolon, 1999)

Itens	Opções Financeiras	Opções Reais
Custo	Preço de exercício	Valor do investimento
Ativo Subjacente	Ação	Projeto
Retorno do Ativo	Retorno da ação	Retorno do projeto
Ganhos de Capital do Ativo	Variações no preço da ação	Variações no valor do projeto
Retorno com Dividendos (do Ativo)	Fluxo de dividendos da ação	Fluxo de caixa do projeto líquido das variações no seu valor

Dixit e Pindyck (1994) acreditam que a tomada de decisão sobre um projeto com base nos métodos de NPV e TIR ignoram duas características importantes: a irreversibilidade, ou seja, o fato de que o investimento é um custo que não pode ser recuperado integralmente em caso de arrependimento do investidor; e que é possível adiar-se a decisão de investir.

De acordo com Dixit e Pindyck (1994), as duas características citadas, somadas com a incerteza sobre o futuro, tornam a oportunidade de investimento análoga a uma opção financeira. Como citou Rigolon (1999) em seu artigo:

"Na presença de incerteza, uma firma com uma oportunidade de investimento irreversível carrega uma opção: ela tem o direito - mas não a obrigação - de

comprar um ativo (o projeto) no futuro, a um preço de exercício (o investimento). Quando a firma investe, ela exerce ou mata essa opção de investir. O problema é que a opção de investir tem um valor que deve ser contabilizado como um custo de oportunidade no momento em que a firma investe. Esse valor pode ser bastante elevado e regras de investimento que o ignoram - tipicamente as regras de VPL e TIR - podem conduzir a erros significativos (Dixit e Pindyck, 1994 apud Rigolon, 1999, p.7)."

Os investimentos específicos realizados por uma empresa, em geral, são custos irreversíveis. Por exemplo, investir na construção de uma planta de beneficiamento, no caso de uma mineradora, é um custo irrecuperável se a operação for malsucedida, visto que somente empresas da mesma área poderiam comprar parte dos equipamentos e assim mesmo por valores muito inferiores aos pagos no momento da aquisição. Já investimentos não específicos (computadores, material de escritório, etc.) são irreversíveis, também, por sua desvalorização no momento da venda, mesmo que possam ser revendidos para diferentes indústrias. A irreversibilidade pode, além disso, ser produzida pela regulação ou por instituições. Uma parte do que é investido nas concessões de serviços públicos é convertida para o governo no final do contrato ou em caso de cancelamento. O controle de capitais pode limitar a venda de ativos por investidores externos, enquanto o investimento em trabalhadores é parcialmente irrecuperável por conta dos altos custos de admissão, demissão e treinamento.

A outra característica importante na decisão de investir, salientada pelos mesmos autores, é a incerteza sobre o futuro. Os valores gerados pelo projeto e os valores gerados pela opção de investir, bem como a própria decisão de investir, são afetados por variáveis como o preço do produto, os custos envolvidos na produção, as taxas de câmbio e juros, entre outras. Essas variáveis carregam consigo uma incerteza sobre seu comportamento, e, portanto, oferecem risco na tomada de decisão sobre investir ou não.

A possibilidade de adiar um investimento é a última característica citada por Dixit e Pindyck (1994). Nem sempre é possível o adiamento de uma decisão de investir. Estratégias das empresas, às vezes, podem forçá-las a antecipar investimentos para inibir o crescimento de concorrentes ou barrar a entrada de novos competidores na área. Entretanto, na maioria dos casos, é possível optar-se pelo adiamento. Para tal, a firma deve comparar o custo de adiar (risco de entrada de novas empresas na indústria ou a perda de fluxo de caixa) com os benefícios de aguardar novas informações para dar início ao investimento, os quais podem justificar a espera.

O desenvolvimento da teoria de Opções Reais aplicada a ativos reais permite a incorporação dos valores gerados por meio dos conceitos de incerteza e flexibilidade gerencial, proporcionando uma nova ferramenta para avaliação econômico-financeira de empresas e projetos. Esse processo de tomada de decisão, considerando tais valores, pode gerar um impacto positivo nos números do projeto, o qual não seria capturado pelo uso isolado de métodos tradicionais como o fluxo de caixa descontado (Raphael, 2010).

Buscando-se o aprimoramento da aderência de transição de ativos financeiros para ativos reais diversos modelos surgiram para o desenvolvimento do método de Opções Reais. A simulação de Monte Carlo é um dos métodos que podem ser aplicados para análise de opções, determinando o comportamento e o valor de uma variável pela simulação estocástica. Dentro da linha de ativos financeiros essa metodologia foi aplicada por Boyle (1977) para opções europeias, enquanto na área de ativos reais é possível encontrar exemplos de sua aplicação em Gamba (2002).

Cox *et al.* (1979) apresentaram um modelo de relativa simplicidade, denominado de Árvore Binomial. Este método permite que o detentor de uma opção analise se deve ou não a exercer em intervalos menores de tempo, até o prazo máximo definido pela data de vencimento. O modelo, portanto, divide o tempo em períodos, sendo que a cada período o preço deve ser multiplicado por uma variável aleatória, a qual representa o crescimento (6) ou queda (7) do valor. Tem-se então:

$$u = e^{(\sigma \cdot \sqrt{\Delta t})} \quad (6)$$

$$d = e^{(-\sigma \cdot \sqrt{\Delta t})} \quad (7)$$

Onde:

u= Parâmetro de crescimento do preço

d= Parâmetro de queda do preço

Δt = Intervalo de tempo

σ = Volatilidade do valor do ativo

Em função dos parâmetros acima mencionados, calcula-se a probabilidade de aumento do preço, considerando uma taxa livre de risco, de acordo com a equação (8):

$$p = (e^{(r \cdot \Delta t)} - d) / (u - d) \quad (8)$$

Onde:

p = Probabilidade de crescimento do preço

r = Taxa livre de risco

Enquanto a probabilidade de queda do preço (q) se dá pela equação (9):

$$q = 1 - p \quad (9)$$

O modelo desenvolvido por Cox *et al.* (1979) pode ser melhor visualizado na Figura 1, que mostra que a cada passo (período de tempo) a probabilidade do preço (S) aumentar ou diminuir é representada pela multiplicação de S pelas variáveis u e d .

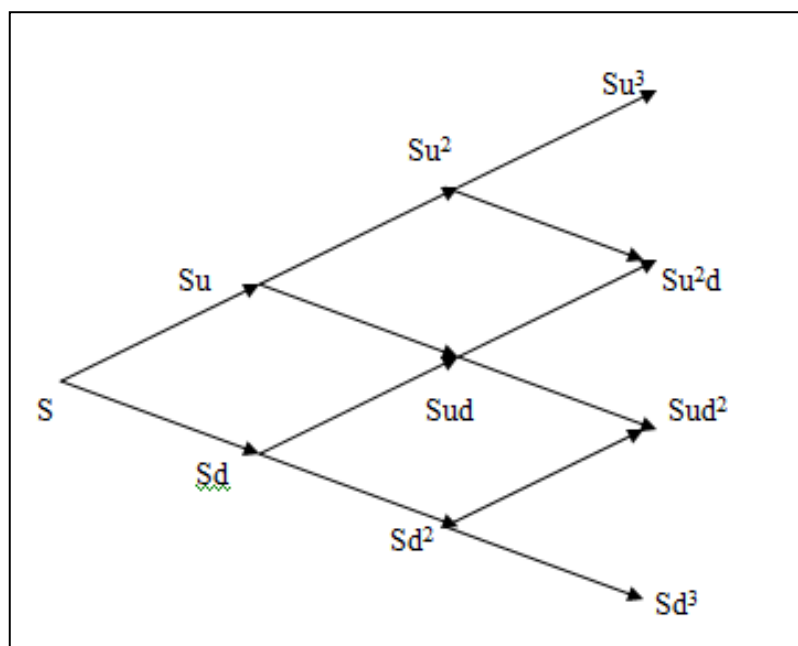


Figura 1. Modelo binomial de Cox *et al.* (Raphael, 2010)

A teoria de Opções Reais não descarta a aplicação dos métodos tradicionais, pelo contrário, vem como complemento aos mesmos, de forma a agregar as inúmeras opções que o

investidor tem durante a vida do projeto. A cada passo (período), utiliza-se o conceito de fluxo de caixa descontado, aplicando-se o VPL, e a partir dos resultados verificam-se as alternativas possíveis que a empresa tem, de forma a decidir-se por aquela que atende às expectativas do investimento, considerando sempre os riscos e incertezas vinculados a cada uma das escolhas. Pode-se dizer, então, que um projeto que se mostre inviável quando analisado somente pela regra do VPL torne-se viável quando incorporado a ele o valor do exercício das opções, ou seja:

$$\text{VPL TOTAL} = \text{VPL DO PROJETO} + \text{VPL DAS OPÇÕES}$$

Algumas das alternativas em investimentos de ativos reais (nos casos onde as características do empreendimento permitem) que podem e devem ser consideradas dentro do planejamento seriam:

- Expandir o projeto, aumentando o investimento e conseqüentemente a escala;
- Reduzir os investimentos programados, diminuindo a escala em cenários desfavoráveis;
- Optar-se pelo desvio do investimento em novas aplicações;
- Abandonar o projeto, visto que o cenário previsto pode acarretar maiores perdas do que o próprio abandono.

Um exemplo das alternativas que vão surgindo de acordo com os cenários que vão se desenhando com o passar do tempo está ilustrado na Figura 2.

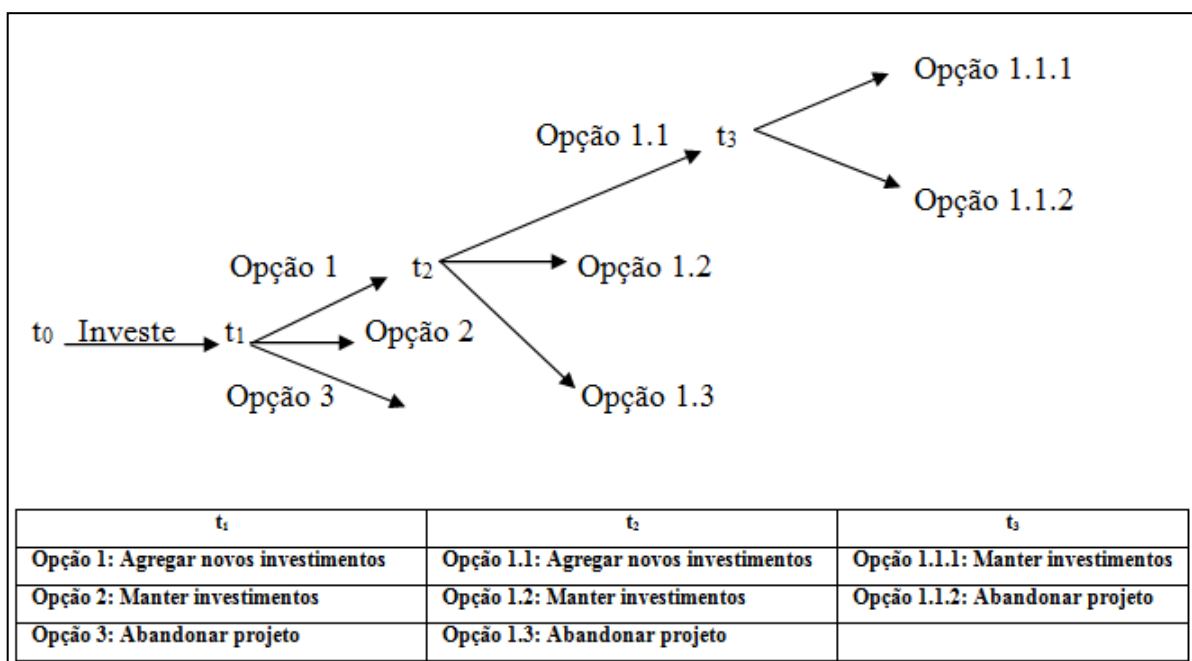


Figura 2. Árvore de opções de um projeto

Conforme observa-se no exemplo da Figura 2, o projeto deve ser reavaliado a cada período de tempo t , analisando-se as opções possíveis dentro do cenário que o mercado apresenta no momento. A opção de abandono sempre vai estar disponível, uma vez que é preferível perder um valor “x” investido no negócio do que seguir o projeto ampliando as perdas quando o mercado não está correspondendo às expectativas dos investidores.

2.1.7.2.1. Áreas de Aplicação do Método de Opções Reais

A metodologia de avaliação de Opções Reais tem recebido especial atenção dos profissionais de diferentes áreas, uma vez que vem sendo aplicada em vários contextos de diversas atividades. Dentro da amplitude de áreas as quais é possível a aplicação deste método, alguns trabalhos serão citados a seguir.

- **Investimentos em Recursos Naturais**

As primeiras aplicações surgiram naturalmente na área de investimentos de recursos naturais devido à disponibilidade de comércio de recursos ou preço de *commodity*, alta volatilidade e longa duração, resultando em maiores e melhores opções de estimativas de valores. Brennan e Schwartz (1985) utilizaram os preços de consumo futuros de uma *commodity* para avaliar o fechamento ou abandono de uma mina. Os autores criticam o uso do DCF para avaliar projetos que apresentam incerteza, especialmente na área da mineração onde ocorre uma alta volatilidade de preços dos minérios. Também, ressaltam a flexibilidade gerencial que pode ser aplicada como resposta a essas variações, mas que, contudo, não são consideradas nos métodos tradicionais. O artigo traz um modelo onde os preços são tidos como variáveis estocásticas, visto que sua flutuação implica diretamente na sensibilidade do projeto, e dimensiona os volumes da produção de acordo com as mudanças no mercado. Outra questão destacada no artigo é o fato de que a taxa de desconto, assim como os riscos, pode sofrer variações durante a vida do projeto conforme o esgotamento das reservas e as modificações de preços. Paddock, Siegel & Smith (1988) avaliaram opções relacionadas às reservas de petróleo não desenvolvidas e apresentaram evidências empíricas de que esse método encontra valores melhores do que as metodologias baseadas no método DCF para orçar locações de campos de petróleo. Trigeorges (1990) avaliou um projeto mineral real proposto por uma grande companhia multinacional envolvendo opções. O VPL do projeto foi negativo, mas os gerentes identificaram essas opções pela metodologia de precificação de opções binárias: opções de atraso, opções de abandono e escala de opções de conversão durante o andamento do projeto, concluindo que o VPL do projeto era positivo e a implementação do projeto viável. Bjerksund e Ekern (1990) avaliaram um campo petrolífero na Noruega com as opções de adiar e abandonar. As opções para atrasar o investimento pareceram ser uma justificativa mais promissora, já que essas opções valeram um aumento de 12,6% no valor do DCF. Laughton & Jacoby (1993) examinaram o viés na avaliação de opções reais e a tomada de decisões de longo prazo sob o processo de reversão da média do preço. De acordo com a teoria microeconômica, a longo prazo, o *Standard Spot Price* de uma *commodity* deve estar vinculado ao seu custo de produção marginal de longo prazo. Se a reversão é negligenciada na presença de uma opção de cronometragem inicial, então, em seus exemplos, a tendência permanece contra o projeto com uma duração operacional mais longa, mesmo que seja um pouco mitigada. Ao considerar o mesmo projeto operacional, no entanto, opções mais longas de temporização tendem a ser

relativamente supervalorizadas se a reversão for negligenciada. Esses resultados sugerem que pode ser útil revisar o trabalho anterior de "opções reais" com base em modelos aleatórios randômicos. Além disso, eles indicam que, quando as condições do mercado tendem a produzir um comportamento de reversão, os gerentes precisam considerar ajustes nas taxas de desconto para investimentos de longa duração, em vez de investimentos de curta duração. Kemna (1993) compartilhou suas experiências com a Shell na análise de casos reais envolvendo o tempo de desenvolvimento de um campo petrolífero offshore, avaliando a opção de desenvolvimento de uma usina e a decisão de abandono de uma unidade de refinamento. Com base nessas experiências, sugeriu que são duas as principais contribuições da teoria de precificação de opções no orçamento de capital. Primeiro, ajudar a administração a estruturar a oportunidade de investimento chamando a atenção para as diferentes alternativas de investimento com suas incertezas subjacentes e suas opções incorporadas. Segundo, poder lidar com flexibilidades dentro do projeto mais facilmente do que por meio da análise tradicional de fluxo de caixa descontado. Cortazar et al. (1998) utilizaram em seu artigo a metodologia de opções reais para avaliar projetos ambientais. O estudo considerou um cenário de forte incerteza de preços, o qual tende a apresentar um modelo que segue um Movimento Geométrico Browniano (MGB). Por conta desta alta variação de preços, o artigo reforça a importância do valor da flexibilidade gerencial, indicando o momento mais favorável para a empresa realizar o investimento no projeto. Dentro do setor da mineração, pode-se citar, também, o trabalho de Slade (2001), que aplicou a metodologia para avaliar a flexibilidade gerencial em investimentos em minas de cobre no Canadá. O artigo focou em operações flexíveis, destacando o fato de que fechamentos temporários das operações são mais observados no Canadá do que a abertura ou o abandono total das atividades. O autor comentou a dificuldade de obtenção de dados sobre a variação dos custos de operação e reservas, criticando a ausência desse tipo de informações na literatura do método de Opções Reais. Foi proposto no trabalho um modelo estocástico multivariado que abrange as variáveis custo, preço e reserva, e não somente a incerteza oriunda do preço da commodity. Também, foi utilizada uma abordagem de modelo de Reversão à Média aplicado ao comportamento dos preços, em contraste com a aplicação do MGB.

- **Desenvolvimento em Propriedades Territoriais**

Titman (1985), Williams (1991) e Quigg (1994) salientaram que o valor de um terreno desocupado deve refletir não somente seu valor para o melhor uso imediato (por exemplo, construir um edifício agora), mas também, pelo seu valor opcional caso o desenvolvimento seja atrasado e o terreno seja convertido para sua melhor utilização alternativa no futuro. Pode-se pagar então para manter o terreno vago na opção de valoração futura, mesmo na presença de um mercado imobiliário crescente. Em um contexto diferente, McLaughlin e Taggart (1992) analisaram o custo de oportunidade de utilizar o excesso da capacidade de produção de acordo com a modificação no valor das opções da empresa causada pela diversificação da capacidade para usos alternativos. Quigg (1993) apresentou resultados empíricos indicando que a opção baseada na valoração do terreno, que incorpora a opção de aguardar o desenvolvimento do mesmo, proporciona melhores aproximações de preço do mercado atual. Grenadier (1996) construiu um modelo de desenvolvimento imobiliário real, oferecendo uma explicação para observações de comportamento do mercado no desenvolvimento de terrenos como, por exemplo, o excesso de construções.

- **Contratos de Arrendamento**

Copeland e Weston (1982), Lee, Martin e Senchack (1982), McConnell e Schallheim (1983) e Trigeorgis (1996) valorizaram diversas opções operacionais relacionadas com contratos de arrendamento. Grenadier (1995) utilizou opções reais para desenvolver um modelo que pode ser aplicado para tabelar diferentes tipos de contratos de arrendamento.

- **Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**

Kolbe, Morris e Teisberg (1991) discutiram elementos de opções relativas a projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Elementos de opção envolvidos nos estágios iniciais de um projeto, também, são debatidos por Sahlman (1988) e Willner (1994). Grenadier e Weiss (1997) examinaram uma situação em que uma companhia possuía projetos que envolviam

inovações sequenciais. Suas valorações incorporaram o aprendizado que auxilia a avaliação e as tomadas de decisões pertencentes a inovações futuras.

- **Análise de Segurança**

O método de opções reais tem sido defendido como uma aproximação para valoração de companhias na análise de segurança. Por exemplo, Mauboussin (1999) discute como opções reais podem ser utilizadas para complementar métodos tradicionais de avaliação. Ele sugere que a metodologia de opções reais é particularmente útil para a valoração de companhias que são intensivas em P&D, bem como as companhias de Internet. Kester (1984) estima que o valor das opções de crescimento de uma empresa é mais da metade do valor de mercado do capital próprio dela, para muitas firmas, quase 70-80% para setores mais instáveis. Similarmente, Pindyck (1988) sugere que a opção de crescimento representa mais do que a metade do valor da empresa caso a previsão de volatilidade exceda 20%. Berger *et al.* (1996) acessaram empiricamente a avaliação do investidor para a opção de abandono.

- **Investimentos Estrangeiros**

Baldwin (1987) discute localizações, escolha do momento e opções de estágio presentes no momento em que a empresa avalia o mercado global. Bell (1994) e Kogut e Kulatilaka (1994), entre outros, examinam a entrada, capacidade e opções de alternância para empresas multinacionais operando sob a volatilidade da taxa de câmbio. Hiraki (1994) sugeriu que o sistema de governança corporativa japonês orientado por bancos serve como uma infraestrutura básica que permite as companhias desenvolverem juntamente opções reais no meio corporativo.

- **Produção Flexível**

A flexibilidade advinda de sistemas flexíveis de produção, produção tecnológica flexível, ou outro maquinário com múltiplas funções, vem sendo analisado como uma opção de perspectiva por Kulatilaka (1993, 1988), Triantis e Hodder (1990), Kulatilaka e Trigeorgis

(1994) e Kamrad e Ernst (1994), entre outros. Kulatilaka (1993) valoriza a flexibilidade provida por uma caldeira industrial a vapor bicomcombustível que pode trocar a energia utilizada (gás natural ou óleo) de acordo com a variação relativa de preços, e conclui que o valor dessa flexibilidade excede em muito o custo incremental de uma máquina que utiliza apenas uma alternativa de combustível. No trabalho de Bastian-Pinto *et al.* (2009) foi analisada a flexibilidade na produção de combustíveis alternativos no Brasil, onde a cana-de-açúcar pode ser matéria prima tanto para a produção de açúcar quanto para a produção de etanol. O artigo avaliou o valor da opção de alternância contido no processo produtivo dessas plantas, obtido por meio da flexibilidade operacional na tomada de decisão entre produzir açúcar ou etanol, de acordo com as condições do mercado, atribuindo valores incrementais nesse processo. Com base nessas premissas, os autores utilizaram uma abordagem baseada em um modelo binomial de tempo discreto que pudesse incorporar o processo estocástico de reversão à média a ser aplicado para as duas variáveis estocásticas (açúcar e etanol), levando em consideração, também, a correlação do comportamento de preços existente entre estas *commodities*. Outro estudo que analisa opções de alternância pode ser visto em Bastian-Pinto *et al.* (2009), o qual avaliou a opção contida em veículos bi-combustíveis, os quais permitem ao proprietário decidir entre abastecer com gasolina ou etanol, buscando a alternativa mais econômica para o cenário atual. Um modelo foi sugerido para quantificar o valor recebido (com a economia gerada pela flexibilidade) e compará-lo ao que foi pago por esse diferencial na aquisição do carro, em comparação ao valor de veículos convencionais. Para tal, utilizaram-se dois processos estocásticos distintos, o Movimento Geométrico Browniano e o modelo de Reversão à Média, sendo esse último considerado mais realista para tratamento de dados referentes a bens minerais. Em ambos os casos, verificou-se que o investimento pago para a aquisição do modelo bi-combustível era justificado pela redução nos gastos no abastecimento durante a vida útil do veículo. Outra forma de flexibilidade é estudada por Baldwin e Clark (1993), a qual é criada pela modularidade no *design* de componentes que conectam grandes sistemas por meio de interfaces padronizadas.

- **Outras Aplicações**

A aquisição estratégica de outras companhias, também, envolve comumente um número de crescimento, distinção e outras opções de flexibilidade, como discutido por Smith e

Triantis (1994). Luerchman (1998) discutiu a visão de estratégia como um portfólio de opções reais. Smit e Ankum (1993) e Smit e Trigeorges (2004) propuseram uma abordagem jogoteórico de investimento corporativo estratégico. Mason e Baldwin (1988) valorizaram os subsídios do governo em projetos energéticos de grande escala como opção de venda, enquanto que Teisberg (1994) propôs uma opção de análise de valoração de escolhas de investimentos por empresas reguladas. Várias outras aplicações de opções podem ser encontradas em áreas variando desde transporte (Bjerksund e Ekern, 1994) até poluição do meio ambiente e aquecimento global (Hendricks, 1991). O potencial para aplicações futuras em si parece ser uma opção de crescimento.

Capítulo 3

3.1. Etapas da Metodologia Proposta

No decorrer do capítulo 3 descreve-se a metodologia sugerida para a aplicação do método de Opções Reais no planejamento de estoque de uma mina. Para tal, são determinados os dados necessários para execução dos cálculos passo a passo, de forma a definir as informações essenciais para a possível aplicação do método. Foi utilizada, na primeira fase, a metodologia usual para a análise de viabilidade de retomada do material estocado e então, numa segunda etapa, sugere-se a abrangência dos conceitos de ROV ao planejamento da pilha, de forma a demonstrar as vantagens proporcionadas pela associação dos métodos. O fluxograma da Figura 3 sugere as etapas que devem ser seguidas para a realização do trabalho proposto.

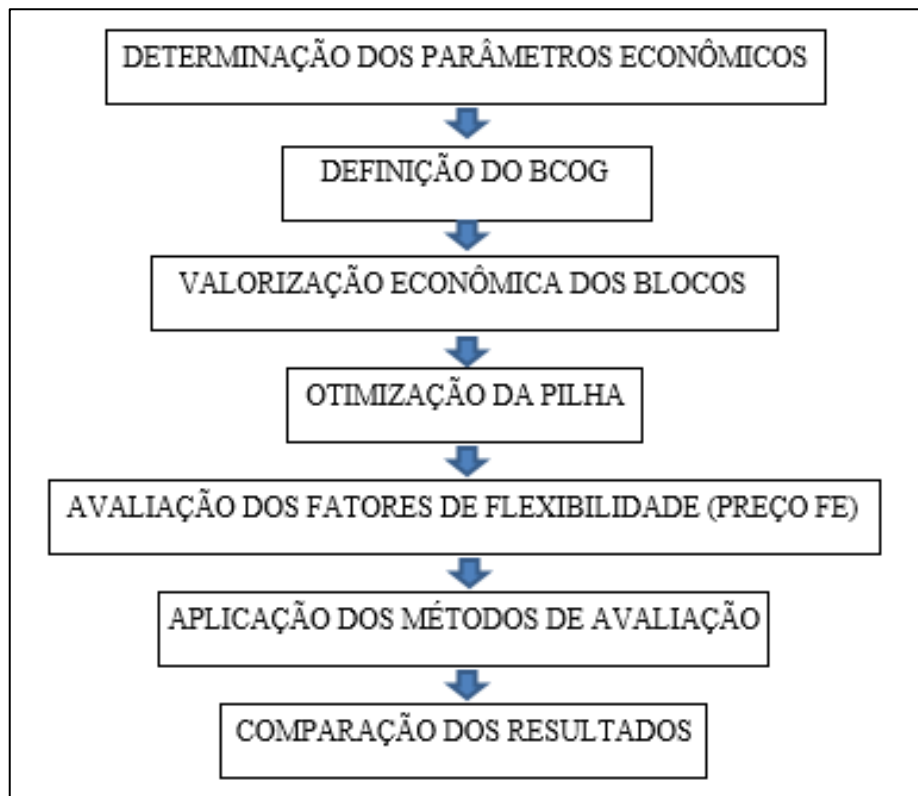


Figura 3. Fluxograma das etapas do trabalho.

3.1.1. Determinação dos Parâmetros Econômicos

Para que se possa dar início ao desenvolvimento da metodologia, partindo-se do estudo de viabilidade do projeto, primeiramente, devem ser definidos alguns parâmetros econômicos associados à lavra, beneficiamento e venda do bem mineral do que será avaliado, nesse caso a pilha de estoque contendo minério de baixo teor, sendo eles:

- Custo de lavra de minério (retomada da pilha);
- Custo de lavra de estéril (nesse caso não tem estéril);
- Custo de lavra incremental (nesse caso retomada do minério);
- Custo de processamento;
- Custos gerais e administrativos;
- Custo de refino (não se aplica ao minério de Fe);
- Recuperação do processo;
- Recuperação da lavra (recuperação da pilha);
- Preço de venda do minério;
- Royalties;
- Taxa de desconto;
- Teor do concentrado.

Para projetos novos, quando alguns desses números não são de conhecimento da equipe técnica de planejamento, é possível fazer uma estimativa dos seus valores por meio do uso de programas destinados a essa função, como o programa MAFMO, por exemplo.

3.1.2. Determinação do Teor de Corte

O teor de corte (Lane, 1964) é o critério normalmente utilizado nas atividades de mineração para distinguir o que é minério do que é estéril dentro de um depósito mineral. A escolha do teor de corte está diretamente relacionada aos lucros que serão gerados à empresa,

sendo uma etapa que deve ser realizada com extremo cuidado e utilizando a maior precisão possível dos dados que serão nela aplicados (De Carli, 2013). Além de responder diretamente pelos lucros, o teor de corte, também, responde pela utilização dos recursos minerais, os quais devem ser aproveitados da forma mais consciente possível, visto que são bens finitos na natureza.

O primeiro teor a ser determinado é o chamado teor de corte de equilíbrio (*Break Even Cut Off Grade*- BCOG) que é definido como sendo o teor mínimo necessário para gerar receitas suficientes para pagar por todos os custos envolvidos na produção, ou seja, custos de lavra e processamento do bloco e os custos gerais e administrativos da empresa (Noble, 1993; Lane, 1988; Hustrulid e Kutcha, 1995), fazendo com que as receitas obtidas pela extração daquela parcela de material tenha valor absoluto idêntico a soma dos custos. A fórmula (10) utilizada para obtenção deste teor de corte é definida como sendo (Rendu, 2008):

$$BCOG = \frac{C_L + C_P + C_{G\&A}}{R * (PV - CR)} \quad (10)$$

Onde:

C_L – Custo de lavra

C_P – Custo de processamento

$C_{G\&A}$ - Custos gerais e administrativos

R – Recuperação do processo

PV – Preço de venda

CR – Custo de refino (aplicável dependendo do minério)

O BCOG ainda pode ser reduzido a um teor de corte marginal (MCOG). O único fator que difere da fórmula anterior, relativa ao BCOG, é que os custos de lavra são excluídos do cálculo, considerando-se que o bloco irá ser extraído de qualquer maneira. Isso ocorre porque, muitas vezes, para se acessar um bloco de minério é necessário a remoção de outros blocos que se encontram sobrepostos a ele. Como anteriormente estes seriam tratados como blocos de estéril, é acrescentado na fórmula um elemento chamado de custo incremental (Inc) (Rendu,

2008). Este elemento se dá pela diferença de custo entre lavrar um bloco de minério e um bloco de estéril, que se dá essencialmente pela variação de distância de transporte entre os dois destinos, a planta de beneficiamento ou a pilha de estéril. A fórmula para o MCOG se dá por (11):

$$MCOG = \frac{Inc + C_P + C_{G\&A}}{R * (PV - CR)} \quad (11)$$

Onde:

Inc - Custo incremental da diferença entre transportar o material para a planta de beneficiamento em relação à pilha de estéril (se distância de transporte para a planta for maior que a distância para a pilha de estéril).

Para a análise do teor de corte da pilha de itabiritos compactos do depósito avaliado será utilizada a fórmula do BCOG, adaptando-se os custos de lavra àqueles referentes aos custos de retomada do material. O teor de corte mínimo para a pilha deve ser inferior àquele referente à cava, uma vez que o minério já foi liberado e encontra-se livre para carregamento, reduzindo os custos com desmonte. É possível que haja necessidade de desmonte secundário nesse material, contudo o custo para essa ação é bastante inferior se comparado a um desmonte primário na frente de lavra.

3.1.3. Valorização Econômica dos Blocos do Modelo

Definido o teor de corte que será aplicado no material contido na pilha de estoque a partir dos parâmetros estabelecidos, utiliza-se a função benefício (Profit Function - PF) para calcular-se o valor econômico dos blocos do modelo.

A fórmula da PF que deve ser vinculada a cada bloco depende da categoria ao qual ele se enquadra. A função benefício se dá pela diferença entre as receitas e os custos envolvidos na lavra e beneficiamento para blocos de minério, enquanto que, para blocos de teor marginal e

estéril, utilizam-se variações da fórmula (Halatchev, 1999). Para os blocos de minério, considera-se todos os custos envolvidos, desde a lavra até o produto final, de acordo com:

$$PF (MINÉRIO) = (TEOR * R * (PV - CR)) - (C_L + C_P + C_{G\&A}) \quad (12)$$

Já para os blocos de teor marginal e estéril, pequenas adaptações devem ser consideradas no cálculo da PF. O custo de lavra aplicado à fórmula para blocos de estéril passa a ser o custo de lavar material estéril, enquanto na fórmula dos blocos de teor marginal esse custo deve ser substituído pela diferença de custos entre a lavra de minério e de estéril, ou seja, o custo incremental, conforme as equações (13) e (14):

$$PF (MARGINAL) = (TEOR * R * (PV - CR)) - (Inc + C_P + C_{G\&A}) \quad (13)$$

$$PF (ESTÉRIL) = -(C_{LE}) \quad (14)$$

Onde:

C_{LE} - Custo de lavra do estéril

Para realizar a valorização dos blocos, é necessário o auxílio de programas de modelamento, havendo diversos disponíveis no mercado. O uso desses *softwares* permite a melhor visualização da disposição dos blocos dentro do depósito, ou dentro da pilha de estoque, como no caso em estudo, bem como a diferenciação entre eles de acordo com suas classificações de categoria.

Como o estudo de caso se refere a um material estocado, o qual apresenta características físicas e químicas muito semelhantes, essa etapa da metodologia se resume a definição da função benefício para uma tonelada do minério, transpondo o valor encontrado para todo o material da pilha. No caso da metodologia ser aplicada para a avaliação de um depósito essa etapa deve ser seguida conforme demonstrado.

3.1.4. Otimização de Cava/ Otimização da Pilha

Na próxima fase do planejamento, utiliza-se do modelo de blocos do depósito/pilha para a tomada de decisão sobre minerar ou não cada um dos blocos, uma vez que a eles já estão associados valores econômicos. A cava resultante que será originada (quando se trata de um depósito), denominada cava ótima, visa a obtenção da lucratividade máxima, ou seja, o maior valor presente líquido para o projeto, ao mesmo tempo que busca o maior aproveitamento dos recursos minerais. Esta etapa de definição do limite ótimo da cava é considerada um dos maiores desafios no planejamento, e, embora seja realizada na fase inicial, deve ser revisada ao longo da vida útil da mina, visto que podem ocorrer variações no mercado muito significativas para o projeto (Carmo et al., 2006; Curi, 2010).

Dentro desta concepção de otimização existe uma série de algoritmos desenvolvidos que se propõem a atingir os objetivos acima apresentados. Os métodos que alcançaram a maior popularidade e consequente implementação computacional, foram as técnicas dos cones flutuantes (Pana e Carlson, 1966; David et al., 1974; Lemieux, 1979) e do algoritmo de Lerchs-Grossmann (Lerchs e Grossmann, 1965). Um melhor esclarecimento da aplicação desses métodos pode ser encontrado em Candido (2012). A cava final é gerada com base nos parâmetros econômicos informados ao programa, portanto, havendo variação em algum desses parâmetros uma nova cava é originada, permitindo-se avaliar diferentes cenários a cada mudança de dados.

Finalmente, para determinar-se o VPL resultante do projeto e o tempo de vida útil da mina/pilha é fundamental a definição do sequenciamento de extração dos blocos. Para isso, necessita-se do valor de produção anual que será aplicado, o qual depende da capacidade limite da planta de beneficiamento e dos equipamentos que serão disponibilizados para lavra e transporte, fatores restritivos do volume que pode ser extraído por unidade de tempo. Terminada esta etapa, transfere-se novamente os dados para o *software* de modelamento, retornando o VPL do projeto e a duração das atividades de extração.

Para o estudo de pilhas, essa mesma ideia de otimização de cava apresentada deve ser aplicada, porém, visando otimizar o aproveitamento deste material estocado. A mesma metodologia deve ser empregada na pilha, considerando-a como um depósito, fazendo-se as mesmas análises para a determinação da distribuição dos blocos e seus devidos teores dentro

deste material armazenado, obtendo-se ao final o VPL oriundo da venda do minério contido na pilha.

3.1.5. Fatores de Flexibilidade do Projeto

Para Sobreiro (2012) flexibilidade pode ser definida como a habilidade para lidar com as incertezas de um ambiente em mudança, sendo incerteza o elemento-chave do conceito, sem ela, flexibilidade deixaria de ser uma questão. Este elemento também requer o aperfeiçoamento constante dos administradores na forma com a qual avaliam e quantificam o risco envolvido em um projeto.

Para inserir o conceito de que os planos de uma empresa devem ser modificados de acordo com as alterações nas condições do mercado, sugere-se a soma do valor das opções que a empresa ao valor do VPL, criando-se assim o chamado VPL estendido. Para fazer essa extensão pode-se usar métodos qualitativos (baseados em 3 experiências e *know-how* – um julgamento subjetivo) ou quantitativos (Modelo Binomial para Precificação de Opções ou Modelo de Black & Scholes (Black e Scholes, 1973)).

Na área de mineração alguns fatores de flexibilidade disponíveis são, por exemplo, o adiamento do investimento, contração ou expansão da escala produtiva e abandono temporário ou definitivo do projeto (em caso desse cenário reduzir as perdas para os investidores). São diversas as variáveis que interferem nesse processo decisório e definem qual a alternativa mais adequada para o momento. Um estudo da variabilidade desses elementos de acordo com os movimentos sofridos no mercado é fundamental para o entendimento do cenário e tomada de decisões gerenciais.

Com relação a organização da produção, flexibilidade está relacionada à aptidão de ajustar-se a uma demanda variável em volume e composição. Nota-se que a flexibilização de volume e operacional possui impacto positivo na produção, visto que permite às empresas se adequarem as diferentes demandas do mercado tanto através de alterações em seus recursos disponíveis quanto na capacidade de processarem demandas extras do mercado. Incorporar este conceito às características de um sistema, gera uma vantagem competitiva que, aplicada à estratégia corporativa, pode se tornar um diferencial para alavancar a liderança de mercado por

meio da disponibilização dos bens necessários, nos momentos e quantidades solicitados e com custos compatíveis, que permitam manter ou até mesmo elevar a lucratividade dos negócios.

Dentre os fatores que apresentam maior impacto econômico para um projeto de mineração está a variação do preço do bem mineral. A mudança do valor de venda do minério afeta diretamente as estimativas de reservas do depósito, uma vez que influencia o teor mínimo para aproveitamento dos recursos. Quando o preço do minério sofre uma queda devido ao aumento de oferta ou mesmo à fatores da economia, o teor de corte viável para venda tende a subir, reduzindo o volume de reservas da mina. A situação inversa também é verdadeira, em casos de aumento de demanda, origina-se maiores volumes com o decréscimo do teor.

Visto que o preço de venda do bem mineral se mostra como a principal variável de impacto na estimativa das reservas de um depósito diante de cenários de incerteza, este foi escolhido como o fator de flexibilização do projeto para a realização do estudo, o qual se dará com base na observação e análise de sua variação, por meio da aplicação do método de simulação selecionado.

3.1.5.1. Variação do Preço do Minério

Para o desenvolvimento de um estudo com base nas expectativas futuras do preço do bem mineral, que serão determinadas com o auxílio de programas de simulação, primeiramente deve-se observar o comportamento da variável escolhida no decorrer dos anos. O intervalo de tempo que será avaliado pode ser qualquer um, desde que se mostre representativo dentro de um contexto, abrangendo cenários suficientes para que se obtenha um estudo coerente com a realidade.

A variação do preço de um minério no mercado está relacionada com diversos fatores da economia, sendo, portanto, muito importante ater-se a acontecimentos dessa área quando se está analisando as possibilidades de mudança do valor de venda do bem mineral. Atrelado a isso, também, estão fatores de oferta e demanda. Em 2015, por exemplo, um excesso de oferta de minério de ferro teve um impacto negativo no seu preço. Já em fevereiro de 2016 os preços voltaram a subir, impulsionados pelas políticas e restrições de oferta impostas pelo governo da China, fazendo com que o valor da tonelada do minério de ferro atingisse US\$ 70 em maio do

mesmo ano. Como consequência dessa elevação de demanda e preço, as usinas siderúrgicas aumentaram sua produtividade, o que fez com que, também, aumentasse o ágio para minério de alto teor.

Observando-se, portanto, os elementos citados, serão desenhados diferentes panoramas de preço do minério (sendo, nesse caso, minério de Ferro) para a realização do estudo, com perspectivas que abranjam desde cenários mais realistas e condizentes com o comportamento analisado no decorrer dos anos, até cenários mais extremistas, que incluam quadros de visões tanto otimistas quanto pessimistas. Para tal, será aplicado um método estatístico, com base no modelo de simulação conhecido como Monte Carlo, o qual utilizará de uma porção de números aleatórios que são gerados computacionalmente para reproduzir os diferentes caminhos que podem percorrer a variável preço para cada um dos cenários observados.

3.1.6. Análise da Árvore de Decisões

Com o resultado da simulação dos cenários de maior probabilidade para preço do minério no decorrer dos anos, gerada por meio de estudo do histórico da sua variação, flutuações do mercado e aplicação de números aleatórios, possibilita-se a elaboração da chamada árvore de decisões, a qual ilustra os diferentes caminhos que podem ser tomados durante o desenvolver de um projeto. É por meio da observação das diversas escolhas que se tem em cada período decorrido que se aplica a flexibilidade gerencial, fator chave no conceito da metodologia de opções reais.

Quando se estabelecem os possíveis quadros que surgirão considerando os diferentes rumos seguidos dentro das atividades de um projeto, torna-se mais fácil a tomada de decisão sobre as ações que acarretarão maiores benefícios (ou redução das perdas) para a empresa. As decisões devem sempre serem tomadas avaliando-se o cenário atual, e não somente com base no estudo inicial do projeto, o qual pode e deve variar de acordo com diferentes elementos, já citados anteriormente.

Para cada período de tempo, que pode ser definido por intervalos de meses, ou anos, de acordo com cada objetivo, deve-se observar a árvore de decisões formada por meio das

simulações, com suas devidas probabilidades e resultados. Essa cadeia de opções tende a se modificar quando atualizada, portanto, a sua avaliação deve ser refeita muitas vezes no decorrer do projeto, verificando-se sempre as mudanças ocorridas antes de tomar-se a decisão sobre ações futuras do empreendimento.

Nesse estudo serão determinados os parâmetros iniciais para análise dos perfis que serão considerados, os quais irão abranger cenários de diferentes probabilidades, sendo eles tanto de aumento e redução, quanto de estabilidade do preço do minério. A variação dessas probabilidades permite a abrangência de uma visão mais ampla das possibilidades do mercado. Para todos esses perfis, portanto, serão realizados n cenários de simulação para cada período de tempo, gerando uma árvore de opções no decorrer do tempo total do projeto.

A Figura 4 mostra a imagem de um exemplo do que seria uma árvore de decisões. A árvore foi gerada para 5 períodos num cenário pessimista sobre o futuro do preço de um minério. Cada caminho de variação do preço é percorrido de acordo com os dados sorteados aleatoriamente durante a simulação, tendo cada qual seu percentual de probabilidade de ocorrência, o que não pode ser verificado na imagem, porém, pode ser averiguado no programa utilizado para manipulação e análise dos dados.

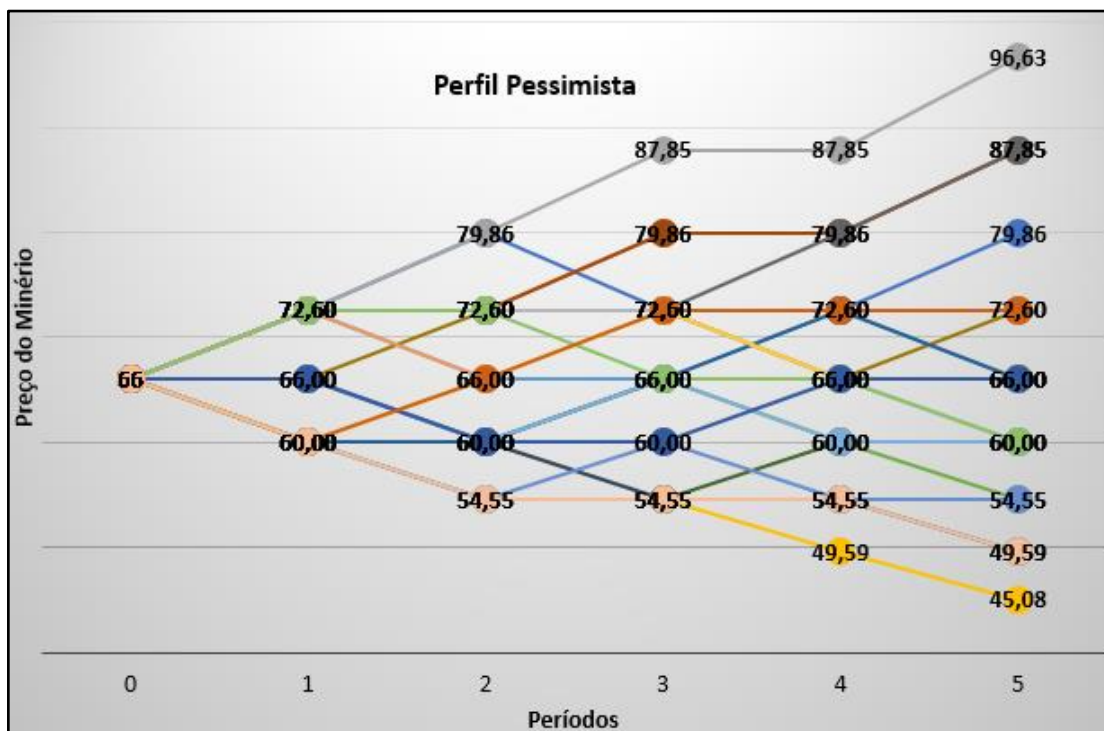


Figura 4. Exemplo de árvore de decisões para um cenário pessimista

No exemplo apresentado na Figura 4 diferentes trajetórias foram geradas a partir de um preço base de 66 US\$/t para minério de ferro (valor observado no ano de 2016). Observa-se uma maior concentração de caminhos na região inferior da imagem, a qual refere-se à redução do preço do minério em relação ao período inicial 0, o que já se é esperado, visto que este perfil apresenta um cenário de visão pessimista sobre expectativa de valor de venda do bem mineral. A cada período é possível estimar-se as probabilidades aproximadas de ocorrências dos diferentes rumos que a variação do preço pode tomar, permitindo dessa forma a flexibilização na tomada de decisões gerenciais.

3.1.7. Redefinição do Teor de Corte para Pilha de Estoque

A partir do estudo realizado em relação às mudanças de mercado e do comportamento da curva de variação do preço do bem mineral, assim como da elaboração da árvore de decisões baseada nesses parâmetros, uma nova avaliação deve ser feita sobre os recursos do depósito em estudo, considerando agora as opções que foram verificadas.

De posse da análise de probabilidades e expectativas do valor de venda do minério nos anos que se seguem, devem-se definir os riscos que a empresa aceita com base nas perspectivas desenhadas pelos diferentes rumos da árvore de decisões. Visando a obtenção de rendas muito maiores no futuro, um investimento (custo de oportunidade) pode ser realizado no momento presente, tal como o armazenamento de material de menor teor. Se o cenário se confirmar de acordo com o esperado esse valor investido se justificará através dos ganhos que serão gerados com a venda desse material. Contudo, em caso das mudanças no mercado, as quais não foram previstas, alterarem os rumos planejados, não confirmando o aumento do preço de venda do minério, o investimento realizado para o armazenamento desse material de teor reduzido será o custo de oportunidade que a empresa optou por arriscar. Em alguns casos, porém, parte desse valor ainda pode ser recuperado de outras formas, como, por exemplo, destinando esse material para uso em outras áreas que não sejam da mineração, como a área da construção civil.

Durante o estudo, pode-se, também, observar um padrão que indique outra situação, onde o cenário tendência apresente a queda do preço do bem mineral, de forma que o

armazenamento de material com teores mais escassos para uso posterior não seja justificado. Portanto, cada caso deve ser averiguado individualmente.

Dito isso, nesta etapa, busca-se a redefinição do teor de corte que será aplicado para o estoque do depósito, considerando os riscos e as expectativas pré-definidos por meio do método de opções reais, e não mais somente a metodologia clássica de determinação do teor de corte para obtenção do valor presente líquido do projeto. Para o estudo de caso desta tese, contudo, o objetivo principal não é a redefinição deste teor, visto que a empresa já possui um estoque estabelecido, mas sim a obtenção dos resultados de viabilidade de retomada deste material, bem como o melhor momento para esta ação, visando a maximização de lucros para a empresa.

Capítulo 4

4.1. Descrição e Análise do Banco de Dados para o Estudo de Caso

Neste capítulo serão apresentadas as características que compõem a área onde será realizado o estudo de caso, o qual foi selecionado para a aplicação da metodologia sugerida nesta tese, além da descrição sobre as operações empregadas pela empresa no depósito ferrífero em análise.

A empresa responsável pela mina aqui descrita é a Vale S.A., a qual é a maior produtora de minério de ferro e pelotas do mundo, sendo a qualidade superior do seu minério um dos seus principais diferenciais competitivos. A liderança da Vale nesse mercado é resultado, também, dos investimentos em tecnologia e pesquisa, assim como em uma infraestrutura logística eficiente, que integra mina, ferrovia e porto. Cabe mencionar que a venda de minério de ferro e pelotas, que são pequenos aglomerados de partículas de ferro, representa mais da metade da receita da empresa. Seus principais clientes são siderúrgicas asiáticas, em especial na China, que consomem, em média, mais da metade da sua produção (Silva, 2016).

O estudo baseia-se em dados referentes a uma mina de ferro, a qual encontra-se situada no estado de Minas Gerais, próximo à cidade de Itabira (Figura 5). O depósito pertence ao Quadrilátero Ferrífero da região.



Figura 5. Mapa de localização dos depósitos de Itabira-MG

O Complexo Minerador é composto por três minas, denominadas de Conceição, Minas do Meio e Cauê, a última, porém, já exaurida. Ao lado da Mina de Conceição existe um depósito de itabiritos compactos, o qual foi armazenado pela empresa ao longo dos anos de operação. Essa pilha começou a ser montada nos anos 80, depositando-se material que apresentava potencial para um futuro aproveitamento. Atualmente, esse estoque de itabiritos compactos possui cerca de 80Mt.

A Figura 6 mostra a localização das cavas do depósito e, também, da pilha de estoque, assim como a localização das três usinas que compõem o complexo mineiro de Itabira.

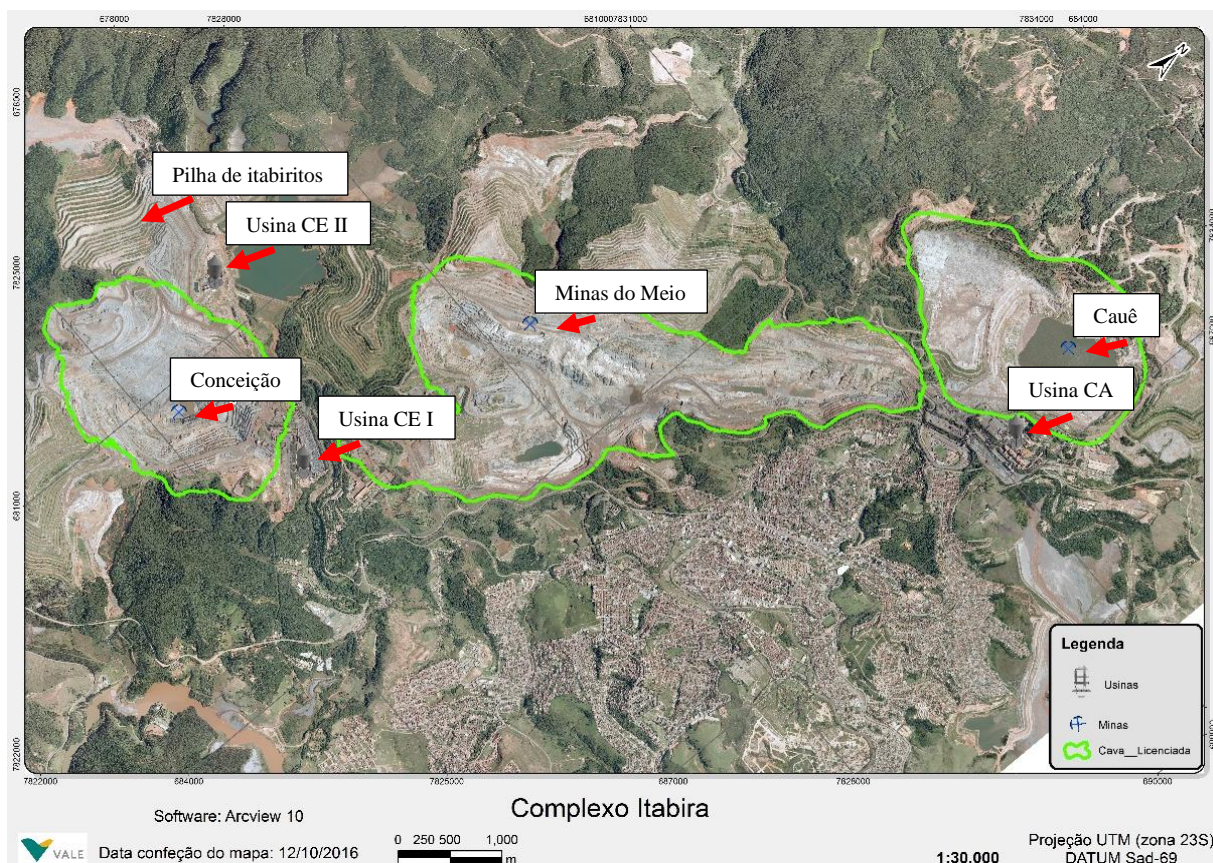


Figura 6. Mapa de localização das cavas, pilha e usinas do complexo

(Fonte: Vale S/A, 2015 *apud* Silva, 2016)

Para o desenvolvimento deste trabalho, serão apresentados os dados referentes às cavas, além das características contidas na pilha de itabirito compacto, a qual se tem por objetivo retomar.

4.1.1. Contexto Geológico das Minas de Itabira

Geologicamente, os depósitos de minério de ferro podem ser agrupados em cinco categorias principais: (i) os sedimentares acamados; (ii) os formados por soluções hidrotermais; (iii) os relacionados às atividades vulcânicas; (iv) os relacionados aos processos de metamorfismo e/ou deformação; e (v) os resultantes de alteração e acúmulo na superfície terrestre. Dessas categorias, os depósitos sedimentares acamados são os mais importantes, por

constituírem os grandes depósitos das formações ferríferas bandadas (FFB). As FFB são formadas por rochas finamente bandadas ou laminadas e constituem-se, principalmente, de minerais de sílica e de ferro (hematita, magnetita e algumas variedades de carbonatos e silicatos) originados provavelmente por precipitação química. Em seguida, essas rochas foram modificadas por diagênese e metamorfismo, que as tornaram ainda mais ricas em ferro. As FFB compreendem as maiores reservas de ferro do mundo, com teores médios do metal entre 20% e 55%.

Do ponto de vista metalúrgico, o minério de ferro é dividido em três categorias, de acordo com a granulometria: granulado (*lump ore*), finos para sinter (*sinter feed*) e finos para pelotas (*pellet feed*). O minério granulado compreende a faixa de granulometria entre 200 mm e 12,5 mm; os finos para sinter, entre 12,5 mm e 0,15 mm; e os finos para pelotas, inferior a 0,15 mm (Carvalho et al., 2014).

As minas de Itabira estão inseridas no contexto do Cráton do São Francisco, e situam-se na extremidade nordeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), conforme mostra a Figura 7. Quatro grandes unidades ocorrem nesse setor do QF. Tais unidades consistem em Complexos metamórficos granítico-gnáissicos arqueanos com idades de até 3.28 Ga (Machado e Noce, 1993); sequências vulcano-sedimentares do Supergrupo Rio das Velhas, de idade 2772-2776 (Machado et al., 1992; Machado e Noce, 1993) e unidades Paleoproterozóicas correspondentes ao Supergrupo Minas, com idades entre 2.6 e 2.1 Ga (Babinski et al., 1995), consistindo em uma sequência metassedimentar que hospeda os depósitos de ferro e ouro das minas de Itabira. Todas essas sequências são cortadas por rochas intrusivas de vários tipos e gerações com idades arqueanas a neoproterozóicas (Teixeira e Figueiredo, 1991). Nessas sequências também estão impressas feições resultantes da atuação de processo policíclicos de deformação e metamorfismo. O último registro de metamorfismo nessas, obtido por paragêneses minerais e dados isotópicos, indica grau metamórfico de fácies xisto verde a anfíbolito (Hoefs et al., 1982). De acordo com Teixeira e Figueiredo (1991), ao final da orogenia transamazônica (1.9 a 1.8 Ga) a porção do Sul do Cráton do São Francisco foi completamente cratonizada. O tectonismo que afetou o setor leste da porção sul do cráton ocasionou uma deformação caracterizada por dobramentos isoclinais e falhas de empurrão com imbricamento vergente para oeste. A idade em que essas estruturas foram produzidas ainda não está completamente estabelecida, podendo situar-se entre o Paleoproterozóico (Schorscher et al., 1982) e o Neoproterozóico (Teixeira e Silva, 1993).

Nas minas de Itabira as seguintes unidades são reconhecidas: unidade vulcano-sedimentar correspondente ao Supergrupo Nova Lima (talco-clorita-xistos e xistos carbonáticos); unidade de formação ferrífera, pertencente à Formação Cauê e unidade quartzítica correlacionada ao Grupo Piracicaba, ambas fazem parte do Supergrupo Minas Paleoproterozóico. As unidades ferríferas são cortadas por diques anfibolíticos e por fatias tectônicas imbricadas de anfibolitos e talco xistos das unidades vulcano-sedimentares.

As formações ferríferas compreendem itabiritos e diversos corpos de hematita. Os itabiritos são constituídos por bandas milimétricas a centimétricas onde alternam-se agregados de hematita, com ou sem relictos de magnetita, e quartzo com pequenas quantidades de filossilicatos. Dá-se o nome de Jacutinga à variedade de itabirito hidrotermalmente transformada que hospedam as mineralizações de ouro-paládio. A Figura 7 representa a geologia característica de cada uma das minas.

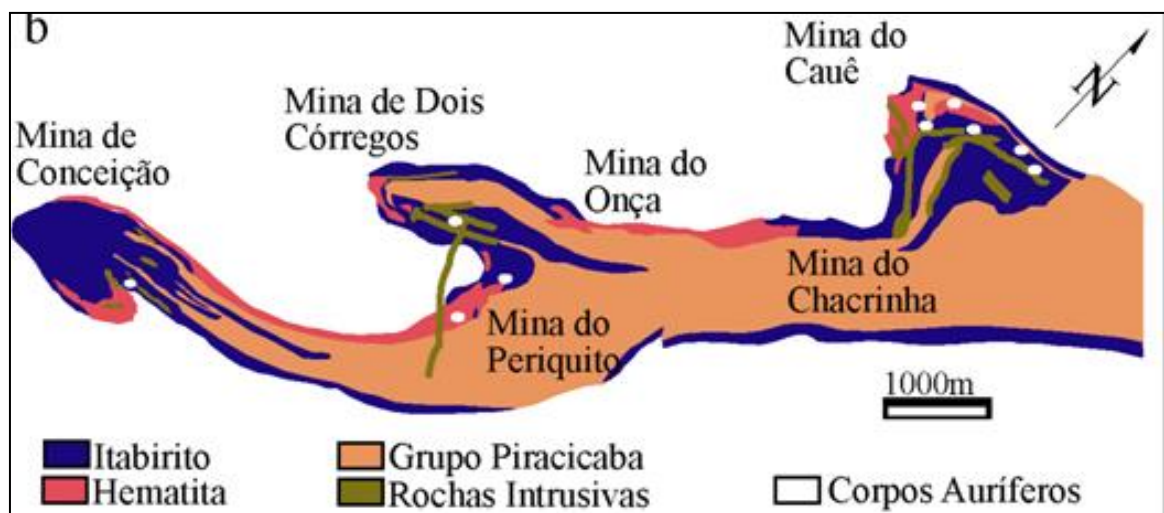


Figura 7. Geologia das minas de Itabira

As fatias de anfibolitos não alterados são constituídas por hornblenda, plagioclásio, quartzo e pequenas quantidades de ilmenita com intercrescimento de hematita. Alteram-se por intemperismo a uma massa ocre argilosa. Os contatos são na maioria das vezes de natureza tectônica.

A estrutura mais antiga reconhecida nas minas de Itabira é uma foliação S1 que corresponde ao bandamento composicional (Sb) dos itabiritos e hematitas. Nesses planos são geralmente encontradas lineações minerais produzidas pelo alinhamento de lamelas ou grãos

tabulares de hematita com eixos maiores preferencialmente orientados. Zonas de cisalhamento paralelas ao bandamento S1 são reconhecidas pelo caráter anastomótico adquirido pela foliação nesses locais. Também são frequentes feições do tipo pares de foliação S-C e assimetria de objetos sigmoidais, em geral representados por aglomerações de materiais quartzo-feldispáticos caulinizados ou talco. Dobras intrafoliais são também feições comumente encontradas. São em geral estruturas de escala de afloramento, amostra de mão ou microscópicas. Uma característica marcante é o paralelismo entre os eixos de dobras isoclinais e a lineação de estiramento mineral (comumente confundido com lineação de interseção, por isso tal paralelismo). As microestruturas que caracterizam a foliação S1 nos itabiritos e hematitas consistem em bandas alternadas constituídas por agregados de hematitas tabulares ou lamelares e grãos de quartzo. Nas bandas de hematita são frequentemente encontrados relictos de magnetitas martitizadas, reconhecidas pelas formas características e pelos planos cristalográficos.

Uma segunda foliação S2 é também reconhecida nos minérios de ferro de Itabira. Não tem a mesma penetratividade que a foliação S1. É facilmente reconhecida nos locais em que S1 está dobrado, sendo S2 planos axiais dessas dobras. São dobras fechadas e que localmente transpõe o bandamento S1. Nesses locais, S2 toma aspecto de uma clivagem de crenulação.

A região do estudo é composta por Formações Ferríferas Bandadas (BIF) compostas de hematita e sílica, as quais foram alteradas por processos de metamorfismos e deformações, modificando as características primárias dos sedimentos originais (Rosière e Chemale, 2013). Essas formações enriquecidas pelos processos geológicos possibilitaram a existência de itabiritos intercalados com hematita compacta com teores de ferro bastante altos. Os tipos litológicos predominantes da mina são: itabirito friável e compacto, que contém entre 40% e 63% de ferro sendo, portanto, o material de menor teor; hematita friável e compacta, a qual contém entre 64% e 66% de ferro; *blue dust*, a forma mais fina e mais rica de hematita, com teores acima de 66% de ferro; xisto, que é o material estéril.

Como consequência das inúmeras deformações ocorridas, há uma grande variabilidade de litologias em uma mesma frente de lavra, de modo que a hematita, material intermediário em relação ao teor, encontra-se mesclada tanto com itabirito (material mais pobre) quanto com xisto (material estéril). Faz-se, portanto, uma seleção visual entre estéril e minério durante a escavação.

4.1.2. Método de Lavra Aplicado na Mina

O complexo de mineração em estudo abrange um total de 7 minas a céu aberto, as quais estão interconectadas. O método de lavra adotado pela empresa para a extração do minério de ferro é basicamente a lavra em cava, com alguns pontos de mineração em encosta, não muito representativos. Conforme De Carli (2013), neste método o material de cobertura do depósito é retirado e armazenado em alguma área reservada para este propósito. Assim que o minério é exposto, a lavra se desenvolve na forma de bancadas, gerando uma espécie de cone invertido. Para que haja segurança no desenvolvimento deste método, a estabilidade dos taludes deve ser monitorada, de acordo com as características da rocha, deixando-se sempre um ângulo de face das bancadas. A largura das bancadas, também, deve estar de acordo com o porte dos equipamentos utilizados na lavra e transporte do minério e deve ser suficiente para acomodar o material desmontado durante o processo. A Figura 8 representa uma configuração da lavra em cava. Este é um método que apresenta grande recuperação da jazida e pouca diluição na lavra. Sua produtividade é bastante elevada e permite a utilização de equipamentos de grande porte (Peroni, 2008).

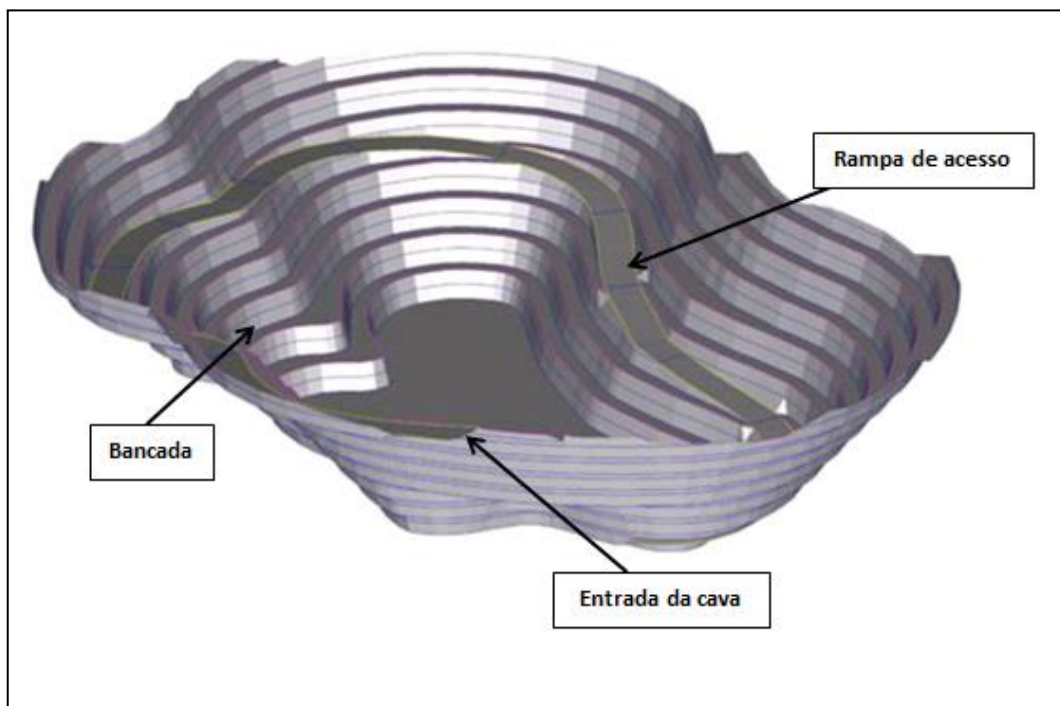


Figura 8. Configuração geral do método de lavra em cava

(Fonte: De Carli, 2013)

A seguir, a Figura 9 apresenta uma das cavas selecionadas para o estudo, denominada Conceição, a qual pertence ao complexo de minas de Itabira. É possível observar-se na imagem a presença das bancadas utilizadas no método de extração de lavra em cava. Além disso, também pode-se perceber na foto a existência das rampas de acesso dos equipamentos, interligando os diferentes níveis de bancadas.



Figura 9. Foto da mina de Conceição apresentando as bancadas geradas pelo método de lavra em cava

4.1.3. Produção

Assim como ocorre na maior parte dos depósitos de ferro no Brasil, a Vale emprega um sistema de processo de produção que é basicamente dividido em duas principais etapas. A primeira se dá pela operação de lavra do material, seguida pelo processo de beneficiamento do minério.

Dentro da etapa de lavra, empregam-se as operações de perfuração e desmonte, seguidas dos procedimentos de escavação, carregamento e transporte por caminhões do material fragmentado. O destino desse material pode ser tanto a planta quanto a pilha do bota-fora, de acordo com a sua categoria.

A mina de Itabira trabalha com uma produção anual de lavra de minério (ROM – run off mine) de aproximadamente 60Mt, respeitando uma proporção de cerca de 80% da capacidade total das plantas. Esse volume pode ser proveniente tanto das cavas quanto da pilha de itabirito compacto.

4.1.4. Usinas de Beneficiamento

Existem três Usinas dentro do complexo de Itabira, Usina do Cauê, e as Usinas de Conceição I e Conceição II. Devido às mudanças de características do material que vem sendo minerado no depósito, a partir do ano de 2017 todas as três Usinas passaram a estar aptas a processar minério composto por itabiritos compactos. Dessa forma, a qualidade da alimentação em qualquer uma das usinas se torna idêntica, com teor médio de 42 % de Fe.

As usinas de Conceição I e de Conceição II possuem capacidade de processamento de 24Mt/ano de ROM de itabiritos cada uma, enquanto a do Cauê possuiu capacidade de 26Mt/ano, totalizando, portanto, uma capacidade de 74Mt/ano para todo o Complexo.

A etapa de beneficiamento do minério é dividida em dois procedimentos. Primeiramente o material passa pelo processo de britagem e moagem, os quais definem a etapa de cominuição, e, após atingir as características adequadas, é encaminhado para a etapa de concentração.

Na usina de Conceição II, na fase de cominuição, o minério passa por quatro etapas de britagem e três etapas de peneiramento, adequando a granulometria do minério para alimentar os moinhos. Na moagem, o minério é reduzido ainda mais, atingindo o tamanho necessário para a etapa de flotação, onde ocorre a separação da sílica, principal contaminante dos minérios itabiríticos. A poupa obtida desse processo passa então para um peneiramento de alta frequência, de onde é encaminhada para um espessador de concentrado, onde parte da água é recuperada para ser reutilizada no processo. A poupa resultante dessa operação, é enviada, por

meio de um mineroduto, até a filtragem, onde a água do minério é retirada, formando os *pellet feeds* que serão empilhados no pátio de estocagem para o carregamento.

A alimentação das Usinas do complexo atualmente se dá pela configuração de origem e destino apresentada na Figura 10. Desta forma, Minas do Meio (MM) alimenta a Usina do Cauê (CA), Mina Conceição (CE) alimenta as Usinas de Conceição I (CEI) e Conceição II (CEII) e a pilha de itabiritos compactos, denominada DEP_IC, alimenta a Usina de Conceição II.

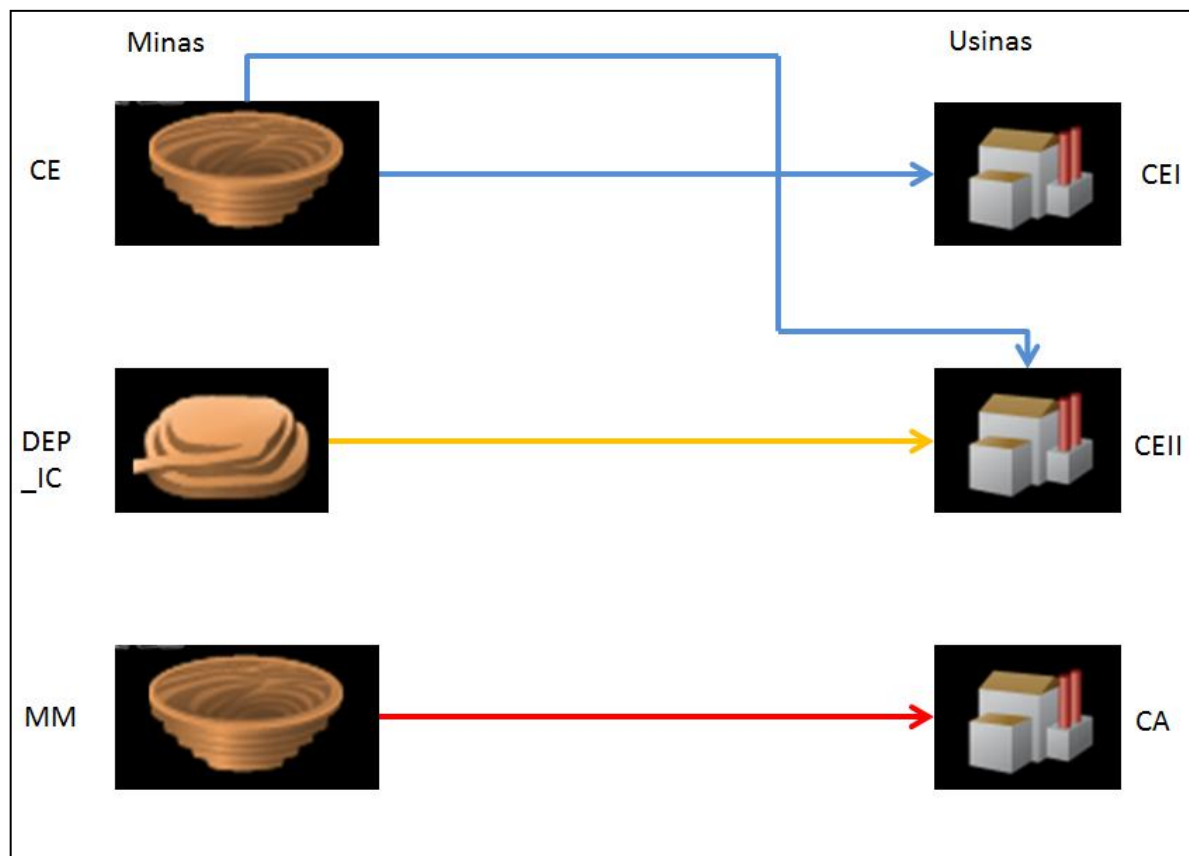


Figura 10. Configuração da alimentação das usinas de Itabira

(Fonte: SILVA, 2016)

4.1.5. Pilha de Estoque

A primeira fase de mineração dos depósitos ferríferos da empresa surgiu em 1942, com teores que chegavam a 68% Fe. A segunda onda teve início nos anos 70, com a origem do processo de pelletização, apresentando teores entre 40 e 60% Fe. A partir de 2013, deu-se início a terceira fase do empreendimento. O capital investido no projeto foi justificado verificando-se, através de estudos de sondagem da área, que a tendência do minério de ferro remanescente nos depósitos da região é surgir associado aos itabiritos compactos, com teores bastante inferiores (40%) aos teores associados as hematitas, que já se encontram em fase de escassez.

Para o projeto de itabiritos, a empresa investiu cerca de 5,5 bilhões de dólares em tecnologia, incluindo a construção e adaptação das usinas de beneficiamento, sendo cerca de 3,9 bilhões destinados à mina de Itabira. Esse investimento foi realizado visando o aproveitamento do minério de baixo teor, aumentando a produção e a vida útil das minas de ferro da região.

O itabirito compacto é um material que apresenta propriedades bastante diferenciadas em relação aos demais materiais portadores de ferro no depósito de Itabira, demandando uma usina de beneficiamento própria para o seu processamento. Por um longo período de tempo, iniciado em meados dos anos 80, a mineradora possuía somente a planta de beneficiamento de hematita e *blue dust*. Durante esta etapa, uma pilha de estoque de itabirito compacto foi formada para armazenar este material que inicialmente surgia em menores quantidades.

Em 2014, passados cerca de 30 anos do início da deposição da pilha, uma nova usina foi construída com o objetivo de beneficiar este material de maior compactação, o itabirito compacto e a própria pilha. Além disso, nos anos seguintes, as duas usinas já existentes no complexo passaram por um processo de adaptação para que, também, estivessem aptas a beneficiar o itabirito compacto. Desta forma, desde o ano de 2017, as três plantas da mineradora já trabalham com todos os tipos de minério presentes no depósito.

4.1.5.1. Composição da Pilha

A pilha de estoque presente no complexo mineiro de Itabira contém aproximadamente 80 milhões de toneladas de itabirito compacto e semi-compacto. Esse material apresenta teor médio de ferro de 41%. Os elementos que compõem o minério de itabirito armazenado na pilha estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Composição da pilha de estoque

Pilha de estoque					
	Fe global	Si global	P	Al global	Mn global
Composição %	41,00	38,55	0,015	0,50	0,054

4.1.5.2. Custos da Pilha de Estoque

De acordo com Martins (2006), a análise de custos tem como principais funções fornecer auxílio no controle dos custos e ajudar na tomada de decisões, uma vez que ela fornece dados para o estabelecimento de padrões, previsões e orçamentos e, ao mesmo tempo, proporciona ferramentas para realizar escolhas a curto e longo prazo, visando o melhor cenário econômico. Os custos estão associados a diferentes momentos e etapas da cadeia de produção. Portanto, faz-se necessária a identificação e classificação dos diferentes tipos de custos relacionados ao armazenamento de material para que se possa realizar uma alocação correta dos mesmos na análise do trabalho.

A classificação que distingue os custos em função do produto é dividida em duas classes: *custos diretos* e *custos indiretos*. Os custos diretos podem ser quantificados e identificados aos produtos, não necessitando de critérios de rateio para a sua alocação, já os indiretos não conseguem perfeitamente serem atribuídos ao produto e necessitam de algum critério de rateio (Oliveira; Perez Jr, 2000).

A relação existente entre custo e produto deve ser aprofundada, observando, também, uma relação entre custo e volume produzido. Por este ponto de vista é possível distinguir o custo em duas classes: aquele que está diretamente ligado ao volume de produção e outro que independe deste (Guazzelli, 2013).

Ao tratar-se de volume de produção uma classificação amplamente aplicada é a de custos fixos e custos variáveis. Esta separação leva em consideração a relação entre valor total de um custo sob o volume de uma atividade em uma unidade de tempo. Sendo assim, é definida uma unidade temporal, por exemplo, um mês, e quando o custo variar neste período em função do que é produzido ele é, portanto, considerado variável. Se neste período, mesmo variando a produção, o custo se mantiver, ele será considerado fixo (Martins, 2006).

No processo de estocagem do material na pilha, da manutenção deste material durante os anos de armazenagem e da sua possível retomada para aproveitamento estão envolvidos custos, os quais devem ser considerados quando se realiza o planejamento deste estoque, visando observar-se primeiramente a viabilidade desta ação. Os custos se diferem entre fixos, variáveis e de investimento, sendo este último um valor único, enquanto os outros são calculados por quantidades de minério, em geral mensuradas em toneladas.

No trabalho realizado para o estudo de caso em questão, o custo de investimento aplicado pela empresa no projeto de itabiritos para a mina de Itabira (3,9bi US\$), citados anteriormente, não será inserido na avaliação de retomada da pilha de estoque. Isso ocorre pelo fato de que tal valor investido foi justificado pelas quantidades de material composto por itabirito compacto observadas no depósito remanescente. Basicamente, no decorrer dos próximos anos de operação, somente será extraído este tipo de minério da região, visto que as reservas de hematita e itabirito friável se mostram quase exauridas. Portanto, a parcela de itabirito compacto presente na pilha, embora possa trazer receitas consideráveis para a empresa, não justificaria os investimentos quando observadas individualmente.

4.1.5.2.1. Custos para Formação e Manutenção da Pilha

Os principais custos envolvidos na formação e manutenção da pilha de estoque, que devem ser observados quando se realiza a tomada de decisão sobre armazenar ou não este material, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Custos estimados para formação e manutenção da pilha de estoque

Custos	Valor (R\$/t)
Perfuração e Desmonte (D&B)	2,20
Carregamento	2,64
Transporte	6,27
G&A	3,48

Considerando que o itabirito compacto que foi enviado à pilha durante esse período de cerca de 30 anos se trata de um material de cobertura, ou seja, sua lavra teria que ser realizada da mesma forma se este fosse considerado um material estéril, já que era necessária a sua remoção para o acesso aos blocos de itabirito friável e hematita, pode-se assumir que os custos de lavra (D&B e carregamento) não são custos diferenciais para a tomada de decisão sobre o destino deste material. Portanto, mesmo que este material fosse enviado para a pilha de rejeitos o custo de lavra não seria modificado. Sendo assim, o único custo variável que deve ser considerado é o custo de transporte, visto que pode haver uma diferença entre a distância do local do bota-fora e o local da pilha. Para o depósito observado neste estudo, essa distância não se mostrou representativa, podendo-se manter o mesmo custo para ambos os destinos.

4.1.5.2.2. Custos para Retomada da Pilha

Na etapa de retomada do material estocado, após um longo período de armazenamento, as despesas que estarão envolvidas nessa atividade estão citadas na Tabela 4.

Tabela 4. Custos estimados para retomada da pilha de estoque

Custos	Valor (R\$/t)
Limpeza e Retirada de Resíduos	1,24
D&B Secundário	0,05
Carregamento	2,64
Transporte	5,64
G&A	3,48
Processamento	10,00

Observa-se que, na pilha de estoque, foram armazenadas porções de ROM mal fragmentadas, bem como resíduos de sucatas que foram depositados na pilha de forma irregular, justificando, dessa forma o surgimento de uma linha adicional de custos para limpeza e seleção do material. O desmonte secundário pode se fazer necessário para solucionar os problemas de fragmentação inadequada de parte desse material, contudo, deve ser aplicado numa parcela bem discreta da pilha, cerca de 2% do volume total, apresentando, por isso, um valor bastante reduzido quando fixado em reais por tonelada.

O custo de transporte do material da pilha para a usina de beneficiamento foi reduzido em 10% em relação ao custo utilizado para materiais oriundos das cavas, visto que a distância percorrida neste trajeto se mostra levemente inferior.

Capítulo 5

Uma vez estimados os dados necessários para a análise do estudo de caso selecionado para demonstração da metodologia sugerida, foi realizada a avaliação da viabilidade de retomada da pilha de minério de baixo teor estocada pela empresa. Foram verificados os dois métodos apresentados no desenvolver desse trabalho, o método mais comumente empregado no planejamento (DCF) e o novo método proposto (ROV), de forma a possibilitar a comparação dos resultados gerados por meio de cada um deles.

Primeiramente, foi avaliada a retomada da pilha de itabirito compacto pelo método do DCF, com o auxílio da fórmula matemática do VPL, observando-se a situação na qual se encontra e os requisitos necessários para que se mostre economicamente viável. Essa metodologia foi aplicada de duas formas, a partir dos conceitos do método tradicional e da árvore de decisões. Em seguida, o mesmo cenário foi analisado complementando-se a metodologia com os conceitos de ROV, o qual também foi avaliado por mais de um modelo de aplicação, verificando-se, em caso da retomada da pilha se mostrar praticável, o momento que se apresenta mais favorável para realizar-se essa ação.

É importante salientar que para utilização dos parâmetros na moeda brasileira (real), foi feita uma conversão do dólar. Na data verificada (meados de 2017) a taxa de conversão era de 3,5 reais para cada 1 dólar.

A Figura 11 apresenta a variação do preço do minério de Fe (62%) entre 2013 e 2018. O preço observado no período da realização deste trabalho encontrava-se em 66 US\$/t. Portanto, com base na taxa de conversão do dólar para o real, o preço aplicado no estudo ficou definido como sendo 231 R\$/t.

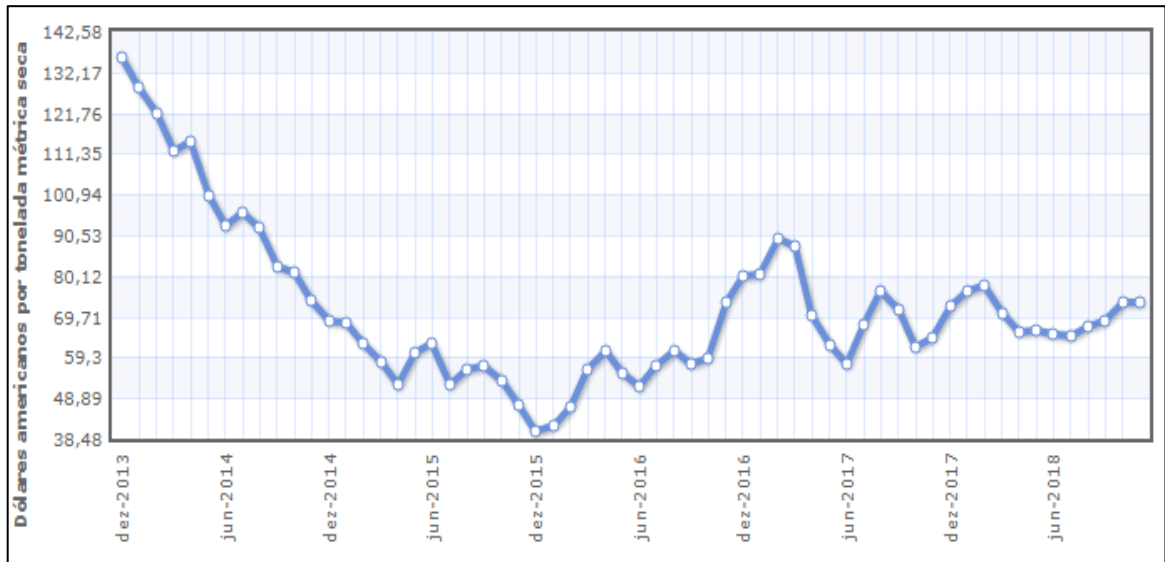


Figura 11. Variação do preço do minério de Fe (62%) entre os anos de 2013 e 2018.

(Fonte: <https://www.indexmundi.com>)

5.1. Aplicação dos Métodos ao Estudo de Caso

5.1.1. VPL da Pilha de Estoque pelo Método Tradicional do DCF

Para a avaliação de viabilidade de retomada da pilha de minério estocado, a primeira etapa a ser realizada é o modelamento desta pilha, ou seja, a análise da sua disposição em relação às características físicas (formato, dimensões) e químicas (teores) do material depositado. Para tal, a pilha deve ser tratada de igual maneira que uma jazida, e furos de sondagem devem ser realizados para a determinação da configuração de distribuições dos teores.

A partir dos resultados obtidos pelo material extraído dos furos, utiliza-se um *software* de modelamento para a construção do modelo. Esse modelo de blocos gerado pode fornecer informações de coordenadas x, y e z dos furos de sondagem, teores, densidade, categoria do bloco, toneladas contidas, etc. A essas informações somar-se-á o campo função benefício (PF-

Profit Function), dando origem a um novo modelo, diferenciando-se os blocos entre minério, minério marginal ou estéril.

O estudo de caso aqui realizado se trata de uma pilha de itabiritos compactos, a qual teve origem com o intuito de preservar o material para que este pudesse ser retomado num momento futuro, quando as modificações necessárias nas plantas fossem realizadas de forma a torná-las aptas ao seu beneficiamento, uma vez que este material apresenta diferentes características físicas e teores mais baixos do que o minério que vinha sendo processado. A aplicação de um método de sondagem na pilha poderia agregar maior grau de conhecimento da distribuição dos teores de ferro dos blocos que foram armazenados, o que retornaria um estudo mais preciso sobre a retomada deste material, contudo, devido a inviabilidade de realização deste procedimento (acarretaria custos os quais não foram disponibilizados para a realização deste estudo), a metodologia será aplicada considerando um teor médio para a pilha. Como todo itabirito estocado ao longo dos anos possui atributos muito semelhantes, incluindo o teor de ferro, é possível trabalhar-se com valores médios sem notáveis distorções dos resultados.

Sabe-se que as plantas de beneficiamento do complexo estão aptas a trabalhar com minério de ferro com teor de 42%. O minério presente na pilha (41% Fe), portanto, não deve alimentar sozinho nenhuma das usinas, sendo parte do produto de ROM juntamente com material proveniente das cavas.

A usina denominada Conceição II, a qual tem maior capacidade para trabalhar com o itabirito compacto, é a única atualmente que está recebendo o material da pilha de estoque (Figura 10), portanto, será considerado neste estudo somente um destino para este material. Além disso, para a avaliação do VPL retornado do minério armazenado na pilha, a metodologia não levará em conta a necessidade de blendagem deste material com aquele proveniente das cavas, embora essa ação seja fundamental para a operação.

Para a avaliação econômica da pilha foram utilizados os parâmetros apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros econômicos para pilha de itabiritos

Parâmetros	Valor	Unidade
Custo de lavra (retomada)	9,57	R\$/t
Custo de processamento	10,00	R\$/t tratada
Custos G&A	3,48	R\$/t
Recuperação do processo	50	%
Taxa de desconto	7	% (ano)
Preço de venda do minério (62% Fe)	231	R\$/t
Taxas sobre a venda	113,9	R\$/t
Teor médio de Fe	41	% Fe

Os parâmetros da Tabela 5 foram estimados para operações de lavra, portanto, algumas modificações foram estabelecidas visto que o objeto estudado agora se trata de uma pilha, enquanto que tais parâmetros se referem exclusivamente às operações em cavas. O custo de lavra da pilha é obtido pela soma dos custos de D&B secundário, carregamento, transporte e limpeza e retirada de resíduos.

De posse dos dados apresentados na Tabela 5, utiliza-se a fórmula do BCOG para o cálculo do teor mínimo necessário para igualar as receitas aos custos, verificando-se a viabilidade ou não do aproveitamento do material disposto na pilha. Para o depósito deste estudo, relativo a minério de ferro, a variável referente ao custo de refino não é aplicável, a qual aparece na fórmula original do BCOG, porém, deve-se considerar outras taxas que se aplicam sobre a venda do produto final, tais como o imposto de Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), custos relativos ao transporte do minério até o seu destino final, entre outros.

Aplicando-se os valores relativos aos parâmetros da Tabela 5 à equação do BCOG (10), obtêm-se:

$$BCOG = \frac{9,57+10,0+3,48}{0,5*(231-113,9)} = 0,394$$

Portanto, para o preço de venda do minério de ferro ao valor estabelecido de 231 R\$/t, encontra-se o teor mínimo de equilíbrio (BCOG) para a pilha de estoque de 39,4% Fe, indicando a provável viabilidade econômica de retomada do material estocado, uma vez que o teor de corte se apresenta inferior ao teor médio do minério armazenado.

A partir da definição desse teor, quando a avaliação é realizada para um depósito, ou mesmo para uma pilha de material com diferentes distribuições de teores em sua formação, utiliza-se de programas específicos para realizar a valorização econômica dos blocos do modelo, a qual permitirá estabelecer quais blocos devem ser minerados e quais devem ser tratados como material estéril. Contudo, nesse estudo de caso, como o material estocado possui um teor médio, que foi determinado em 41% Fe, não se faz necessária a verificação de valor econômico dos blocos individualmente, visto que todos eles apresentarão idêntico resultado e devem ser tratados como minério.

A próxima etapa a ser realizada, então, é o cálculo das receitas geradas pela recuperação do material da pilha de itabirito estocada. Para tal, utiliza-se a fórmula da função benefício (12), aplicando-se os dados da Tabela 5, conforme demonstrado:

$$PF (MINÉRIO) = (0,41 * 0,5 * (231 - 113,9)) - (9,57 + 10 + 3,48) = 0,9555R\$/t$$

O resultado encontrado por meio da equação da PF apresenta uma receita de 0,96 reais por tonelada vendida de minério com concentração de 62% de teor de ferro. Embora esse valor não pareça muito significativo, ele pode gerar ganhos consideráveis à empresa, uma vez que a pilha contém 80M de toneladas desse minério de baixo teor. Para que se possa estimar mais precisamente o quanto isso representará de receitas no somatório dos fluxos de caixa do projeto ao longo dos anos, a próxima etapa do estudo será a avaliação do valor presente líquido gerado pela venda deste material estocado.

Conforme demonstrado no capítulo 2 desse trabalho, a metodologia do fluxo de caixa descontado (DCF) utiliza a equação do VPL (1) para determinar o quanto os valores obtidos nas receitas do fluxo de caixa da empresa representam quando trazidos para uma data presente, descontando-se uma taxa de atualização desse valor (i).

É necessário, primeiramente, calcular os fluxos de caixa gerados ano a ano pela venda do material estocado para que se possa então, a partir desses valores, determinar o VPL final obtido com a retomada da pilha de itabiritos compactos. Conforme o planejamento da empresa, encontrado no trabalho de Silva (2016), a disponibilidade de ROM proveniente da pilha é de aproximadamente 14M de toneladas ao ano. Portanto, a expectativa é que o minério armazenado (80Mt) seja enviado para as plantas de beneficiamento num período total de 6 anos, respeitando essa capacidade apresentada. Entre os anos 1 e 5 a quantidade anual de material retomado da pilha se manterá constante, reduzindo para 10M de toneladas na etapa final. Tem-se, então:

$$FC(\text{ano 1 ao 5}) = 0,9555 * 14.000.000 = 13.377.000 \text{ R\$}$$

$$FC(\text{ano 6}) = 0,9555 * 10.000.000 = 9.555.000 \text{ R\$}$$

Para o cálculo do VPL resultante do somatório ano a ano, ainda é necessário determinar-se a taxa de atualização que será aplicada ao projeto em questão. A técnica de atualização permite levar em conta a desvalorização ao longo do tempo, considerando simplesmente que uma unidade monetária atual (disponível hoje) é equivalente a pouco mais que uma unidade monetária que só será disponível dentro de um ano. O custo do capital pode ser representado pela taxa de juros que as empresas usam para calcular, descontando ou compondo, o valor do dinheiro no tempo. Para o estudo de caso aqui avaliado, considerou-se uma taxa de desconto de 7% ao ano, com base na média dos valores de investimentos em CDB e poupança, as quais se encontram com valores anuais de rentabilidade em torno de 7,4% e 6,1%, respectivamente.

Aplicando os valores encontrados para os fluxos de caixa ano a ano na equação (1), o valor presente líquido obtido pela venda do minério de itabirito armazenado na pilha de estoque será:

$$VPL = \sum_{t=1}^{t=5} \frac{13.377.000}{(1 + 0,7)^t} + \frac{9.555.000}{(1 + 0,7)^6} - 0 = 61.215.241,05 \text{ R\$}$$

Para cálculo do VPL gerado especificamente pelo itabirito estocado não foram considerados os valores de investimento realizados no projeto, o que pode ser verificado na

equação apresentada ($I=0$). Conforme mencionado anteriormente, os custos de investimentos nas plantas do complexo para o beneficiamento deste material mais compacto e de baixo teor são justificados quando observadas as reservas como um todo, uma vez que estudos de investigação da área mostram que o minério remanescente das cavas é composto quase que em toda sua formação por itabiritos compactos. Portanto, o investimento realizado para a viabilização de processamento desse material aumentou de forma considerável a vida útil das minas de Itabira, proporcionando um melhor aproveitamento do bem mineral, o que é uma das prioridades que uma empresa deve ter dentro da área da mineração, visto que bens minerais são finitos.

5.1.2. VPL da Pilha de Estoque pela Árvore de Decisões

Outra forma de avaliar o valor presente líquido do projeto é analisá-lo através da árvore de decisões, de forma a contemplar as probabilidades relacionadas às mudanças de preço que podem surgir no decorrer dos anos. Para tal, primeiramente a árvore de decisões deve ser gerada apresentando os diferentes rumos possíveis para o valor de venda do minério. A Figura 12 apresenta oscilações de cenários para o preço do ferro dentro de um período de 10 anos, considerando que a cada ano o valor pode sofrer uma variação positiva ou negativa de 10% do seu valor atual.

Anos										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
										599,15
									544,69	
								495,17		495,17
							450,15		450,15	
						409,23		409,23		409,23
					372,03		372,03		372,03	
				338,21		338,21		338,21		338,21
			307,46		307,46		307,46		307,46	
		279,51		279,51		279,51		279,51		279,51
	254,10		254,10		254,10		254,10		254,10	
231,00		231,00		231,00		231,00		231,00		231,00
	210,00		210,00		210,00		210,00		210,00	
		190,91		190,91		190,91		190,91		190,91
			173,55		173,55		173,55		173,55	
				157,78		157,78		157,78		157,78
					143,43		143,43		143,43	
						130,39		130,39		130,39
							118,54		118,54	
								107,76		107,76
									97,97	
										89,06

Figura 12. Árvore de decisões para os cenários de preço (R\$/t) do minério de ferro

A partir dos valores gerados na árvore, três diferentes perfis de cenários foram avaliados: perfil equidistante, perfil otimista e perfil pessimista. O primeiro considera probabilidades idênticas de variação positiva ou negativa para o preço do ferro. No perfil otimista a probabilidade de crescimento do preço esperada é de 70%, enquanto no perfil pessimista de mercado essa probabilidade é reduzida a 40%. A Tabela 6 apresenta os perfis analisados e suas respectivas expectativas de oscilação dos valores.

Tabela 6. Probabilidades de aumento e queda do preço de venda do minério de ferro para cada um dos perfis

Probabilidades		
	Aumento	Queda
Equidistante	50%	50%
Otimista	70%	30%
Pessimista	40%	60%

5.1.2.1. VPL da Pilha para o Perfil Equidistante

Definidos tais parâmetros apresentados na Tabela 6, busca-se a determinação do novo VPL do projeto. Para tal, calcula-se a probabilidade de ocorrência dos preços demonstrados na árvore de decisões para o período de 6 anos de retomada da pilha. Essas probabilidades, para o cenário de perfil equidistante de variações, estão ilustradas na Figura 13.

		Anos					
0	1	2	3	4	5	6	
Probabilidade (%)						1,56	
Sobe	50				3,13		
Desce	50			6,25		9,38	
			12,50		15,63		
		25,00		25,00		23,44	
	50,00		37,50		31,25		
100,00		50,00		37,50		31,25	
	50,00		37,50		31,25		
		25,00		25,00		23,44	
			12,50		15,63		
				6,25		9,38	
					3,13		
						1,56	
total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Figura 13. Probabilidade de ocorrência de cada um dos preços do Fe na árvore de decisões para o perfil equidistante

O próximo passo para determinação do VPL é calcular os fluxos de caixa gerados pelos respectivos preços ao longo dos anos de retomada do material e multiplicá-los pelas suas probabilidades de ocorrência, abatendo a taxa de desconto (7%), trazendo o valor para o tempo presente. O somatório de cada uma das parcelas, ano a ano, resulta no novo VPL para o projeto, de acordo com:

$$\begin{aligned}
VPL &= \frac{(79.674.000 \times 0,5) + (-46.893.000 \times 0,5)}{(1 + 0,7)^1} \\
&+ \frac{(152.600.700 \times 0,25) + (13.377.000 \times 0,50) + (-101.683.909 \times 0,25)}{(1 + 0,7)^2} \\
&+ \frac{(232.820.070 \times 0,125) + (79.674.000 \times 0,375) + (-46.893.000 \times 0,375) + (-151.493.826 \times 0,125)}{(1 + 0,7)^3} \\
&+ \frac{(321.061.377 \times 0,0625) + (152.600.700 \times 0,25) + (13.377.000 \times 0,375) + (-101.683.909 \times 0,25)}{(1 + 0,7)^4} \\
&+ \frac{(-196.775.569 \times 0,0625)}{(1 + 0,7)^4} \\
&+ \frac{(418.126.815 \times 0,0313) + (232.820.070 \times 0,1563) + (79.674.000 \times 0,3125) + (-46.893.000 \times 0,3125)}{(1 + 0,7)^5} \\
&+ \frac{(-151.493.826 \times 0,1563) + (-237.940.790 \times 0,0313)}{(1 + 0,7)^5} \\
&+ \frac{(374.927.712 \times 0,0156) + (229.329.555 \times 0,0938) + (152.600.700 \times 0,2344) + (9.555.000 \times 0,3125)}{(1 + 0,7)^6} \\
&+ \frac{(-72.631.364 \times 0,2344) + (-140.553.978 \times 0,0938) + (-196.688.370 \times 0,0156)}{(1 + 0,7)^6} = 112.334.381
\end{aligned}$$

O valor presente líquido para o projeto, se consideradas as probabilidades de ocorrência de cada um dos preços, passa a ser R\$ 112.334.381. Contudo, a metodologia de árvore de decisões tem por objetivo demonstrar as alternativas que surgem durante o decorrer do projeto, permitindo que decisões gerenciais interfiram nos resultados gerados a cada escolha tomada nos diferentes momentos avaliados (nós). Sendo assim, quando observadas ocasiões de redução do preço do bem mineral durante o processo, aquela parcela de material que seria retomada da pilha é retida para ser recuperada somente quando se tornar viável economicamente. Dessa forma, o VPL final passa a desconsiderar as parcelas negativas que antes eram agregadas ao cálculo, já que estas podem ser gerenciadas de maneira a torná-las nulas ou até mesmo positivas num momento futuro, aumentando assim consideravelmente o resultado obtido para o projeto, conforme mostra a equação:

$$\begin{aligned}
& VPL \\
& = \frac{(79.674.000 \times 0,5) + (0 \times 0,5)}{(1 + 0,7)^1} + \frac{(152.600.700 \times 0,25) + (13.377.000 \times 0,50) + (0 \times 0,25)}{(1 + 0,7)^2} \\
& + \frac{(232.820.070 \times 0,125) + (79.674.000 \times 0,375) + (0 \times 0,375) + (0 \times 0,125)}{(1 + 0,7)^3} \\
& + \frac{(321.061.377 \times 0,0625) + (152.600.700 \times 0,25) + (13.377.000 \times 0,375) + (0 \times 0,25) + (0 \times 0,0625)}{(1 + 0,7)^4} \\
& + \frac{(418.126.815 \times 0,0313) + (232.820.070 \times 0,1563) + (79.674.000 \times 0,3125) + (0 \times 0,3125)}{(1 + 0,7)^5} \\
& + \frac{(0 \times 0,1563) + (0 \times 0,0313)}{(1 + 0,7)^5} \\
& + \frac{(374.927.712 \times 0,0156) + (229.329.555 \times 0,0938) + (152.600.700 \times 0,2344) + (9.555.000 \times 0,3125)}{(1 + 0,7)^6} \\
& + \frac{(0 \times 0,2344) + (0 \times 0,0938) + (0 \times 0,0156)}{(1 + 0,7)^6} = 269.837.166
\end{aligned}$$

A possibilidade de tomada de decisão sobre os rumos que o projeto deve seguir durante o longo do tempo de sua realização decorreu em um aumento de mais de 100% no seu valor presente líquido resultante, passando a ser R\$ 269.837.166, mostrando, dessa forma, a importância das decisões gerenciais no planejamento.

5.1.2.2. VPL da Pilha para o Perfil Otimista

As probabilidades de ocorrência dos preços da árvore de decisões, para o período de retomada de 6 anos da pilha no cenário de perfil otimista de variações, estão ilustradas na Figura 14.

		Anos					
0	1	2	3	4	5	6	
Probabilidade (%)						11,76	
Sobe	70				16,81		
Desce	30			24,01		30,25	
			34,30		36,02		
		49,00		41,16		32,41	
	70,00		44,10		30,87		
100,00		42,00		26,46		18,52	
	30,00		18,90		13,23		
		9,00		7,56		5,95	
			2,70		2,84		
				0,81		1,02	
					0,24		
						0,07	
total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Figura 14. Probabilidade de ocorrência de cada um dos preços do Fe na árvore de decisões para o perfil otimista

Aplicando-se as probabilidades calculadas na Figura 14 aos respectivos fluxos de caixa e substituindo tais valores na fórmula, tem-se:

VPL

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(79.674.000 \times 0,7) + (-46.893.000 \times 0,3)}{(1 + 0,7)^1} \\
 &+ \frac{(152.600.700 \times 0,49) + (13.377.000 \times 0,42) + (-101.683.909 \times 0,09)}{(1 + 0,7)^2} \\
 &+ \frac{(232.820.070 \times 0,343) + (79.674.000 \times 0,441) + (-46.893.000 \times 0,189) + (-151.493.826 \times 0,027)}{(1 + 0,7)^3} \\
 &+ \frac{(321.061.377 \times 0,2401) + (152.600.700 \times 0,4116) + (13.377.000 \times 0,2646) + (-101.683.909 \times 0,0756)}{(1 + 0,7)^4} \\
 &+ \frac{(-196.775.569 \times 0,0081)}{(1 + 0,7)^4} \\
 &+ \frac{(418.126.815 \times 0,1681) + (232.820.070 \times 0,3602) + (79.674.000 \times 0,3087) + (-46.893.000 \times 0,1323)}{(1 + 0,7)^5} \\
 &+ \frac{(-151.493.826 \times 0,0284) + (-237.940.790 \times 0,0024)}{(1 + 0,7)^5} \\
 &+ \frac{(374.927.712 \times 0,1176) + (229.329.555 \times 0,3025) + (152.600.700 \times 0,3241) + (9.555.000 \times 0,1852)}{(1 + 0,7)^6} \\
 &+ \frac{(-72.631.364 \times 0,0595) + (-140.553.978 \times 0,0102) + (-196.688.370 \times 0,0007)}{(1 + 0,7)^6} = 512.197.487
 \end{aligned}$$

Portanto, para um cenário de probabilidades maiores de aumento no preço de venda do minério de ferro, o valor presente líquido resultante é de R\$512.197.487. Quando considerada a flexibilidade gerencial, eliminando-se as perdas geradas pela redução do preço do Fe, obtém-se:

VPL

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(79.674.000 \times 0,7) + (0 \times 0,3)}{(1 + 0,7)^1} + \frac{(152.600.700 \times 0,49) + (13.377.000 \times 0,42) + (0 \times 0,09)}{(1 + 0,7)^2} \\
 &+ \frac{(232.820.070 \times 0,343) + (79.674.000 \times 0,441) + (0 \times 0,189) + (0 \times 0,027)}{(1 + 0,7)^3} \\
 &+ \frac{(321.061.377 \times 0,2401) + (152.600.700 \times 0,4116) + (13.377.000 \times 0,2646) + (0 \times 0,0756) + (0 \times 0,0081)}{(1 + 0,7)^4} \\
 &+ \frac{(418.126.815 \times 0,1681) + (232.820.070 \times 0,3602) + (79.674.000 \times 0,3087) + (0 \times 0,1323)}{(1 + 0,7)^5} \\
 &+ \frac{(0 \times 0,0284) + (0 \times 0,0024)}{(1 + 0,7)^5} \\
 &+ \frac{(374.927.712 \times 0,1176) + (229.329.555 \times 0,3025) + (152.600.700 \times 0,3241) + (9.555.000 \times 0,1852)}{(1 + 0,7)^6} \\
 &+ \frac{(0 \times 0,0595) + (0 \times 0,0102) + (0 \times 0,0007)}{(1 + 0,7)^6} = 562.823.030
 \end{aligned}$$

5.1.2.3. VPL da Pilha para o Perfil Pessimista

A Figura 15 mostra as probabilidades de ocorrência de cada um dos preços do minério num cenário de maior tendência de queda dos valores.

		Anos					
0	1	2	3	4	5	6	
Probabilidade (%)						0,41	
Sobe	40				1,02		
Desce	60			2,56		3,69	
			6,40		7,68		
		16,00		15,36		13,82	
	40,00		28,80		23,04		
100,00		48,00		34,56		27,65	
	60,00		43,20		34,56		
		36,00		34,56		31,10	
			21,60		25,92		
				12,96		18,66	
					7,78		
						4,67	
total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Figura 15. Probabilidade de ocorrência de cada um dos preços do Fe na árvore de decisões para o perfil pessimista

De acordo com os parâmetros probabilísticos determinados para o perfil, calcula-se o VPL do projeto:

VPL

$$\begin{aligned} &= \frac{(79.674.000 \times 0,4) + (-46.893.000 \times 0,6)}{(1 + 0,7)^1} \\ &+ \frac{(152.600.700 \times 0,16) + (13.377.000 \times 0,48) + (-101.683.909 \times 0,36)}{(1 + 0,7)^2} \\ &+ \frac{(232.820.070 \times 0,064) + (79.674.000 \times 0,288) + (-46.893.000 \times 0,432) + (-151.493.826 \times 0,216)}{(1 + 0,7)^3} \\ &+ \frac{(321.061.377 \times 0,0256) + (152.600.700 \times 0,1536) + (13.377.000 \times 0,3456) + (-101.683.909 \times 0,3456)}{(1 + 0,7)^4} \\ &+ \frac{(-196.775.569 \times 0,1296)}{(1 + 0,7)^4} \\ &+ \frac{(418.126.815 \times 0,0102) + (232.820.070 \times 0,0768) + (79.674.000 \times 0,2304) + (-46.893.000 \times 0,3456)}{(1 + 0,7)^5} \\ &+ \frac{(-151.493.826 \times 0,2592) + (-237.940.790 \times 0,0778)}{(1 + 0,7)^5} \\ &+ \frac{(374.927.712 \times 0,0041) + (229.329.555 \times 0,0369) + (152.600.700 \times 0,1382) + (9.555.000 \times 0,2765)}{(1 + 0,7)^6} \\ &+ \frac{(-72.631.364 \times 0,3110) + (-140.553.978 \times 0,1866) + (-196.688.370 \times 0,00467)}{(1 + 0,7)^6} = -72.516.452 \end{aligned}$$

Para o perfil que apresenta maior tendência de queda dos preços, o valor presente líquido do projeto mostra-se negativo, R\$ -72.516.452, o que tornaria a retomada do material da pilha economicamente inviável. Porém, a possibilidade de gerenciamento de paradas na retomada da pilha, evitando possíveis perdas, permitem que o VPL passe a ser positivo, conforme apresentado:

$$\begin{aligned}
VPL &= \frac{(79.674.000 \times 0,4) + (0 \times 0,6)}{(1 + 0,7)^1} + \frac{(152.600.700 \times 0,16) + (13.377.000 \times 0,48) + (0 \times 0,36)}{(1 + 0,7)^2} \\
&+ \frac{(232.820.070 \times 0,064) + (79.674.000 \times 0,288) + (0 \times 0,432) + (0 \times 0,216)}{(1 + 0,7)^3} \\
&+ \frac{(321.061.377 \times 0,0256) + (152.600.700 \times 0,1536) + (13.377.000 \times 0,3456) + (0 \times 0,3456) + (0 \times 0,1296)}{(1 + 0,7)^4} \\
&+ \frac{(418.126.815 \times 0,0102) + (232.820.070 \times 0,0768) + (79.674.000 \times 0,2304) + (0 \times 0,3456)}{(1 + 0,7)^5} \\
&+ \frac{(0 \times 0,2592) + (0 \times 0,0778)}{(1 + 0,7)^5} \\
&+ \frac{(374.927.712 \times 0,0041) + (229.329.555 \times 0,0369) + (152.600.700 \times 0,1382) + (9.555.000 \times 0,2765)}{(1 + 0,7)^6} \\
&+ \frac{(0 \times 0,3110) + (0 \times 0,1866) + (0 \times 0,00467)}{(1 + 0,7)^6} = 166.655.492,52
\end{aligned}$$

5.1.1. VPL da Pilha de Estoque pelo Método ROV

5.1.1.1. ROV por Árvore Binomial de Cox *et al*

A metodologia da árvore de decisões, embora cumpra o objetivo de expor as alternativas disponíveis no decorrer do tempo, possibilitando a mudança de decisão gerencial de acordo com o desenvolvimento do cenário, ainda apresenta algumas falhas. Quando mais variáveis são envolvidas no processo de avaliação do projeto, a complexidade do uso do método pode ser muito elevada, inviabilizando talvez sua aplicação. Outro fator que deve ser observado é que, quando analisa-se a possibilidade de abandono ou parada, a taxa de desconto aplicada não pode ser a mesma (TRIGEORGIS, 1996).

O modelo de Cox *et al.* (1979), denominado de Árvore Binomial, apresenta relativa simplicidade. Conforme citado anteriormente, o método permite que o detentor da opção analise se deve ou não exercê-la em menores intervalos de tempo. O modelo, portanto, divide o tempo em períodos, sendo que a cada período o preço deve ser multiplicado por uma variável aleatória, a qual representa o crescimento ou queda do valor.

Para a aplicação do modelo de Cox *et al*, serão utilizados os conceitos e as fórmulas apresentados na Figura 16, extraídos do trabalho de Santos & Pamplona (2010).

$F = \frac{pFu + (1-p)Fd}{r}$ $F_u = \text{Max}(uV - I, 0)$ $F_d = \text{Max}(dV - I, 0)$ $p = \frac{r - d}{u - d}$	Notação	
	F Fu Fd V P	FCD estendido – incluindo a opção de flexibilidade em cada período Valor do projeto se o valor bruto aumenta em valor Valor do projeto se o valor bruto diminui em valor Valor bruto do projeto Probabilidade neutra ao risco
	r u d	1 + taxa livre de risco 1 + mudança percentual no valor bruto entre períodos, se o valor bruto aumenta. 1 + mudança percentual no valor bruto entre períodos, se o valor bruto diminui.

Figura 16. Modelo binomial para precificação de opção (para um período)

(Fonte: Kallberg & Laurin, 1997 *apud* Santos & Pamplona, 2010)

Tendo em vista os parâmetros apresentados, o VPL do projeto de retomada da pilha será calculado para cada um dos três perfis, variando-se somente as probabilidades de aumento e queda do preço do Fe de acordo com aqueles estabelecidos para cada perfil (ver Tabela 6). A taxa ajustada ao risco (taxa de desconto) e a taxa livre de risco utilizadas no método serão 7% e 5%, respectivamente.

O modelo será calculado com base na árvore de valores do minério de ferro (gerada anteriormente) para um período de 6 anos (tempo para retomar todo material da pilha). A Figura 17 mostra os possíveis preços de venda do Fe, tendo em vista uma variação de 10% para mais ou para menos, ano a ano, e os seus respectivos fluxos de caixa anuais, que são gerados pela retomada desse minério.

Preços Fe						
0	1	2	3	4	5	6
						409,2
					372,0	
				338,2		338,2
			307,5		307,5	
		279,5		279,5		279,5
	254,1		254,1		254,1	
231,0		231,0		231,0		231,0
	210,0		210,0		210,0	
		190,9		190,9		190,9
			173,6		173,6	
				157,8		157,8
					143,4	
						130,4
Fluxos de caixa						
0	1	2	3	4	5	6
						374.927.711,6
					418.126.814,7	
				321.061.377,0		229.329.555,0
			232.820.070,0		232.820.070,0	
		152.600.700,0		152.600.700,0		109.000.500,0
	79.674.000,0		79.674.000,0		79.674.000,0	
13.377.000,0		13.377.000,0		13.377.000,0		9.555.000,0
	- 46.893.000,0		- 46.893.000,0		- 46.893.000,0	
		- 101.683.909,1		- 101.683.909,1		- 72.631.363,6
			- 151.493.826,4		- 151.493.826,4	
				- 196.775.569,5		- 140.553.978,2
					- 237.940.790,5	
						- 196.688.370,4

Figura 17. Preços (R\$) para o Fe e respectivos fluxos de caixa (R\$) gerados para o período de 6 anos

De posse dos dados apresentados, calcula-se inicialmente a taxa superior (u) (15) e a taxa inferior (d) (16) para o ano 1 com base nos preços do Fe do ano 2:

$$\text{Taxa superior } (u) = \frac{\text{FCD nó superior (ano 1)}}{\text{VPL (ano 0)}} \quad (15)$$

$$\text{Taxa inferior } (d) = \frac{\text{FCD nó inferior (ano 1)}}{\text{VPL (ano 0)}} \quad (16)$$

Uma vez definidas as taxas, é possível calcular-se a probabilidade neutra ao risco (p), a qual permitirá a obtenção do DCF estendido (F) de cada um dos nós presentes na árvore. O cálculo é sempre realizado voltando-se um ano. Por exemplo, para o cálculo do nó superior do ano 1 aplica-se p aos valores dos fluxos de caixa encontrados para o ano 2 ligados a esse nó, conforme representado na Figura 18.

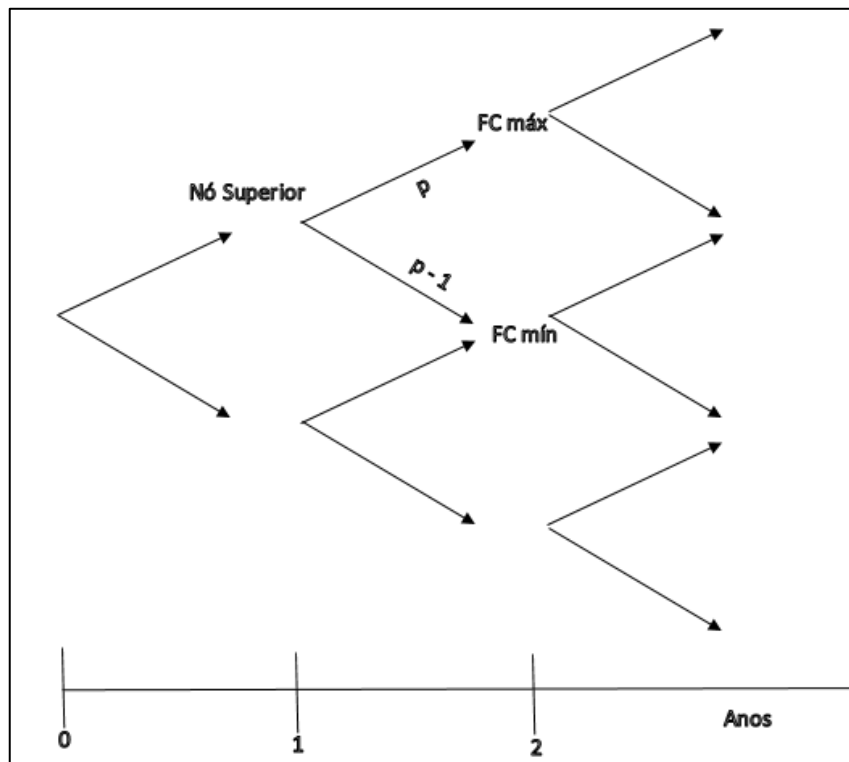


Figura 18. Representação dos nós utilizados no ano 2 para determinação do nó superior do ano 1

Esse mesmo procedimento é realizado para cada um dos nós que compõem a árvore, sempre determinando o valor de F a partir dos valores do ano posterior. Sempre que o fluxo de caixa do projeto se torna negativo, esse valor é tomado como zero, ou seja, o projeto deve ser interrompido nessa etapa, evitando assim perdas para a empresa. Para o caso analisado neste estudo, referente à pilha de itabiritos, essa parada deve ser entendida como a não retomada do material para momentos de queda do preço que acarretem fluxos de caixa negativos. Isso significa que aquela parcela de material será mantida na pilha, podendo ser recuperada ou não no futuro, de acordo com as flutuações do preço do minério.

5.1.1.1.1. Análise para Perfil Equidistante

Para o perfil equidistante tem-se que a probabilidade de queda do preço (1-q) é igual a probabilidade de aumento do preço (q), sendo este valor 0,5. Tendo em vista essa informação, obtêm-se para os fluxos de caixa descontados nos nós superior e inferior do ano 1:

$$Nó superior (ano 1) = \frac{(152.600.700 \times 0,5) + (13.377.000 \times 0,5)}{(1 + 0,07)} = 77.559.673$$

$$Nó inferior (ano 1) = \frac{(13.377.000 \times 0,5) + (0 \times 0,5)}{(1 + 0,07)} = 6.250.935$$

Conforme citado anteriormente, se o fluxo de caixa se torna negativo, o valor deve ser zerado, por isso a segunda parcela do cálculo do nó inferior apresenta valor nulo. A próxima etapa é trazer para o ano 0 os fluxos de caixa do ano 1:

$$VPL (ano 0) = \frac{(77.559.673 \times 0,5) + (6.250.935 \times 0,5)}{(1 + 0,07)} = 39.163.835$$

Determinados os parâmetros acima, calculam-se as taxas u (15) e d (16), e, finalmente, a probabilidade neutra ao risco (p) (Figura 16):

$$Taxa superior (u) = \frac{77.559.673}{39.163.835} = 1,98$$

$$Taxa inferior (d) = \frac{6.250.935}{39.163.835} = 0,16$$

$$Probabilidade (p) = \frac{1,05 - 0,16}{1,98 - 0,16} = 0,489$$

De posse dos dados necessários para a aplicação do método, todos os ramos da árvore passam a ser calculados de acordo com a equação de F (Figura 16). Os fluxos de caixas são trazidos à data zero um a um, sempre partindo dos fluxos de datas posteriores. Para facilitação dos cálculos, esse procedimento foi realizado no programa Excel para os 6 anos de retomada da pilha de estoque. Somando-se todos os FCD, o valor final do VPL estendido encontrado para o perfil de probabilidade equidistante foi de R\$ 267.960.656.

5.1.1.1.2. Análise para Perfil Otimista

Na análise do perfil otimista tem-se que a probabilidade de aumento do preço (q) é igual a 0,7, enquanto a probabilidade de queda do preço ($1-q$) é 0,3. Portanto, os fluxos de caixa descontados nos nós superior e inferior do ano 1 serão:

$$\text{Nó superior (ano 1)} = \frac{(152.600.700 \times 0,7) + (13.377.000 \times 0,3)}{(1 + 0,07)} = 103.582.794$$

$$\text{Nó inferior (ano 1)} = \frac{(13.377.000 \times 0,7) + (0 \times 0,3)}{(1 + 0,07)} = 8.751.308$$

Trazendo para o ano 0 os valores obtidos nos nós do ano 1, tem-se:

$$\text{VPL (ano 0)} = \frac{(103.582.794 \times 0,7) + (8.751.308 \times 0,3)}{(1 + 0,07)} = 70.218.083$$

Aplicando os resultados acima na determinação das equações (15) e (16), encontra-se:

$$\text{Taxa superior (u)} = \frac{103.582.794}{70.218.083} = 1,48$$

$$\text{Taxa inferior } (d) = \frac{8.751.308}{70.218.083} = 0,12$$

Finalmente, obtém-se a probabilidade neutra ao risco para o perfil otimista:

$$\text{Probabilidade } (p) = \frac{1,05 - 0,12}{1,48 - 0,12} = 0,685$$

Aplicando os parâmetros determinados acima na metodologia da árvore binomial, os fluxos de caixa gerados resultam em um valor presente líquido estendido de R\$ 568.026.260. Observa-se que, tendo um cenário otimista como base, há uma ampliação significativa do VPL resultante para o projeto de retomada da pilha.

5.1.1.1.3. Análise para Perfil Pessimista

Por fim, a metodologia será aplicada a um cenário de tendências de queda do preço do minério de Fe. Neste perfil, a probabilidade de aumento do preço (q) é de 40%, enquanto a probabilidade de queda do preço (1-q) é 60%. Sendo assim, os fluxos de caixa descontados nos nós superior e inferior do ano 1 serão:

$$\text{Nó superior (ano 1)} = \frac{(152.600.700 \times 0,4) + (13.377.000 \times 0,6)}{(1 + 0,07)} = 64.548.112$$

$$\text{Nó inferior (ano 1)} = \frac{(13.377.000 \times 0,4) + (0 \times 0,6)}{(1 + 0,07)} = 5.000.748$$

Quando descontados esses valores ao tempo zero, obtém-se como VPL resultante:

$$VPL (\text{ano } 0) = \frac{(64.548.112 \times 0,4) + (5.000.748 \times 0,6)}{(1 + 0,07)} = 26.934.293$$

A taxa superior (u) e a taxa inferior (d) relativas aos dados do perfil pessimista serão, portanto:

$$\text{Taxa superior } (u) = \frac{64.548.112}{26.934.293} = 2,40$$

$$\text{Taxa inferior } (d) = \frac{5.000.748}{26.934.293} = 0,19$$

Aplicando u e d à fórmula da probabilidade neutra ao risco, encontra-se finalmente:

$$\text{Probabilidade } (p) = \frac{1,05 - 0,19}{2,40 - 0,19} = 0,391$$

Utilizando o valor de p na fórmula de F para os 6 anos de operação de retomada da pilha, obtendo assim os fluxos de caixa de cada um dos nós da árvore, encontra-se um VPL estendido de R\$ 164.947.686.

5.1.1.2. ROV pela Análise de Cenários Simulados

Para uma boa avaliação de um projeto, de forma a possibilitar a maximização do seu retorno, é necessário fazer conhecimento das oportunidades nele embutidas, de tal forma que o administrador possa saber quando e qual será a melhor decisão a ser tomada. O momento de investir em um projeto deve ser avaliado levando em considerações muitos fatores.

No projeto aqui analisado, determinou-se como principal parâmetro a ser observado o preço de venda do minério de ferro, que tem sofrido consideráveis variações ao longo dos últimos anos e se mostra um dos principais parâmetros de impacto econômico no planejamento,

já que influencia diretamente os teores de corte do minério e o fluxo de caixa da empresa. Dito isto, a metodologia de opções reais será incrementada ao estudo da pilha de estoque contemplando estas variações associadas ao preço do bem mineral.

O principal objetivo da aplicação do método ROV é apresentar as diferentes opções que a empresa tem para a retomada deste material de baixo teor. Assim como foi visto e demonstrado anteriormente, o método de DCF busca encontrar o resultado do valor presente líquido proporcionado pela venda do material contido na pilha, considerando um preço de venda fixo para um período de retomada pré-determinado. Contudo, existem outras opções para a recuperação deste material, as quais podem ampliar os ganhos da empresa sob a pena de um risco associado.

Serão realizadas 50 simulações de cenários para cada um dos perfis num período de 10 anos. Para a realização dessas simulações, utiliza-se o programa Excel, a partir do comando ALEATÓRIO. Este comando busca variáveis aleatórias dentro de um intervalo pré-determinado (0 e 1, sendo 1 a representação de 100%). Este intervalo é dividido entre as possibilidades de variação do preço do Fe, e, de acordo com a categoria onde se encaixa o número sorteado através do comando, toma-se um novo valor para a precificação do minério.

O aumento ou queda do preço acarreta 10% de acréscimo ou decréscimo, respectivamente, sobre o preço atual para o subsequente, conforme ilustrado na árvore (Figura 12). A cada novo sorteio, portanto, determina-se o novo preço, construindo assim o caminho de um cenário dentre os 50 cenários que darão origem aos diferentes trajetos que podem ser percorridos na árvore de decisões.

Os intervalos que definirão qual caminho deve seguir o valor do ferro na árvore estão definidos na Tabela 7.

Tabela 7. Intervalos que correspondem as probabilidades de ocorrência das variações do preço do ferro dentro de cada perfil

Perfil	Variação	Mínimo	Máximo
Equidistante	Positiva	0,50	1
	Negativa	0	0,50
Otimista	Positiva	0,3	1
	Negativa	0	0,3
Pessimista	Positiva	0,6	1
	Negativa	0	0,6

Determinados os preços que serão considerados ano a ano nos trajetos percorridos, serão calculados então os fluxos de caixa que se originarão na venda do material retomado da pilha. Conforme citado anteriormente, a pilha será recuperada respeitando o limite de produção anual de 14 milhões de toneladas.

A próxima etapa é a determinação do valor presente líquido gerado para as diferentes opções disponibilizadas ao longo do tempo para a retomada do material estocado. As opções de cenários avaliadas neste estudo serão:

- Retomada da pilha a partir do ano 1 (até ano 6);
- Retomada da pilha a partir do ano 2 (até ano 7);
- Retomada da pilha a partir do ano 3 (até ano 8);
- Retomada da pilha a partir do ano 4 (até ano 9);
- Retomada da pilha a partir do ano 5 (até ano 10);
- Retomada do material nos primeiros 6 anos com FC positivo (havendo paradas nos anos que apresentam FC negativo).

5.1.1.2.1. Análise de Cenários para o Perfil Equidistante

O primeiro perfil que será analisado é o perfil que apresenta iguais probabilidades de aumento ou queda do preço de venda do ferro. O valor base do preço do minério utilizado para este estudo na data zero, ou seja, o valor de partida para a avaliação das possíveis variações, é de 231 R\$/t, conforme foi apresentado na Tabela 5, recebendo, quando devido, um acréscimo ou decréscimo de 10% sobre o valor atual a cada passo.

Tendo em vista essa informação, utiliza-se o programa Excel para a simulação de 50 cenários, gerados a partir dos números aleatórios sorteados pelo comando. A cada número sorteado está associada alguma das duas variações do preço, de acordo com o intervalo ao qual ele correspondente. Essa ação é realizada ano a ano, gerando diferentes caminhos traçados pela flutuação desse parâmetro. O estudo foi realizado para um período de 10 anos, a partir da data zero, conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8. 50 cenários de variação do preço do minério de Fe (R\$/t) para 10 anos (perfil de probabilidades equidistante)

Cenário	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	231	254,10	279,51	254,10	279,51	254,10	231,00	254,10	279,51	254,10	279,51
2	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21	307,46	279,51
3	231	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	409,23
4	231	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	231,00
5	231	210,00	231,00	254,10	279,51	254,10	231,00	254,10	231,00	210,00	190,91
6	231	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78	143,43	130,39
7	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	307,46	338,21
8	231	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	231,00
9	231	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	231,00
10	231	254,10	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78
11	231	254,10	279,51	254,10	279,51	254,10	279,51	307,46	279,51	307,46	279,51
12	231	210,00	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91
13	231	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00
14	231	210,00	190,91	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	279,51	307,46	279,51
15	231	254,10	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	157,78
16	231	254,10	279,51	307,46	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21	372,03	338,21
17	231	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51	254,10	231,00	254,10	279,51

18	231	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00
19	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	279,51	307,46	338,21	307,46	279,51
20	231	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	279,51
21	231	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	157,78
22	231	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00
23	231	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	190,91
24	231	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	190,91
25	231	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	279,51
26	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21	307,46	338,21	307,46	338,21
27	231	254,10	279,51	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21
28	231	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00
29	231	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	409,23
30	231	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	190,91
31	231	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00
32	231	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	231,00
33	231	254,10	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51	254,10	279,51
34	231	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21
35	231	254,10	279,51	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21	372,03	409,23
36	231	254,10	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	231,00
37	231	210,00	190,91	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51
38	231	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21
39	231	254,10	231,00	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	157,78	143,43	157,78
40	231	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	157,78	143,43	157,78	173,55	157,78
41	231	254,10	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	190,91
42	231	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	279,51
43	231	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	231,00
44	231	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	157,78	143,43	130,39
45	231	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	279,51	254,10	279,51	307,46	279,51
46	231	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	190,91
47	231	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00	210,00	190,91
48	231	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	279,51
49	231	254,10	231,00	210,00	190,91	173,55	190,91	210,00	231,00	254,10	231,00
50	231	254,10	279,51	254,10	279,51	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21

A partir dos valores obtidos na Tabela 8, diferentes caminhos podem ser traçados na árvore de decisões, mostrando as tendências das curvas do preço do ferro para o período, o que pode ser observado em sua representação, na Figura 19.

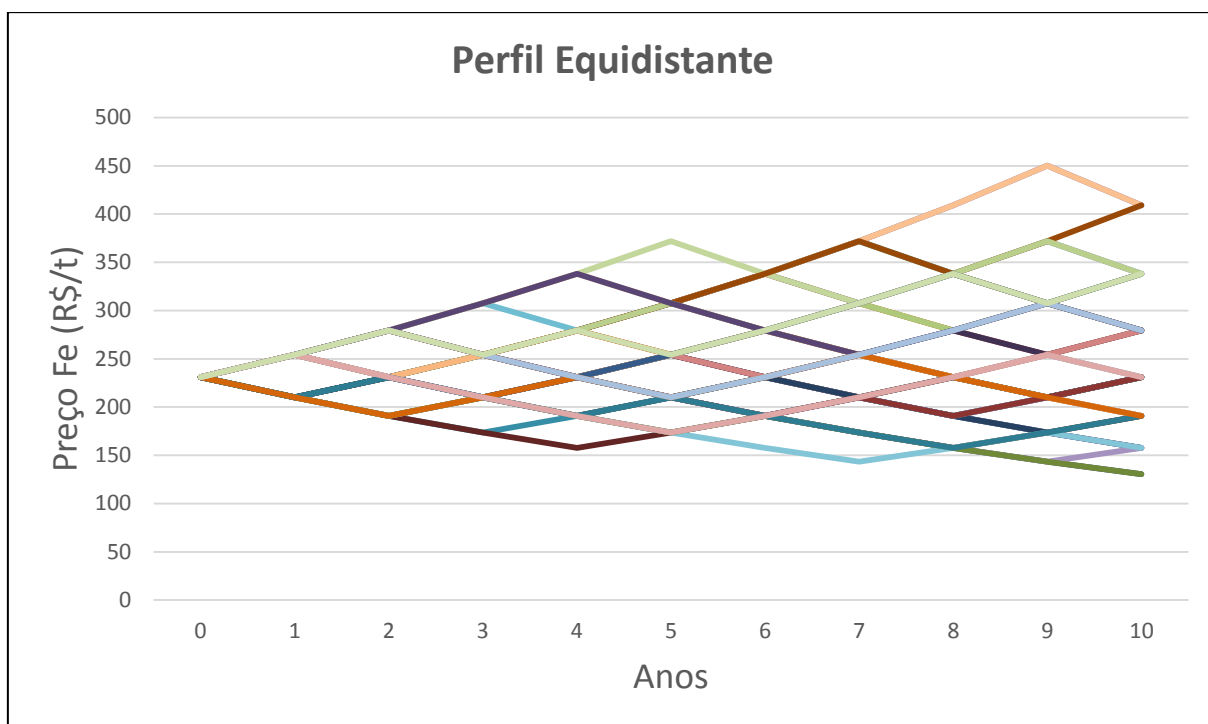


Figura 19. Caminhos na árvore de decisões para o cenário de perfil de probabilidades equidistante

Para o perfil de probabilidades equidistante, os 50 cenários simulados resultaram em valores para o preço do ferro abrangidos entre 130,39 R\$/t e 450,15 R\$/t ao longo de todo o período. A partir de tais parâmetros, calculam-se, portanto, os fluxos de caixa provenientes da venda do itabirito contido na pilha, de acordo com o preço estabelecido para o ano da venda. Todos os fluxos gerados devem ser somados e trazidos à uma data presente, abatendo-se a taxa de desconto estipulada (7% ao ano). A Tabela 9 mostra os resultados do VPL obtido para cada uma das 50 simulações realizadas nos 6 diferentes cenários desenhados.

Tabela 9. VPL total da recuperação da pilha de estoque para as 50 simulações de cada cenário no perfil equidistante

Cenários	VPL TOTAL					
	Anos (1-6)	Anos (2-7)	Anos (3-8)	Anos (4-9)	Anos (5-10)	Positivos
1	452.378.465	415.904.230	360.232.428	351.525.693	302.899.785	452.378.465
2	468.124.275	759.065.984	955.250.559	1.034.057.807	1.009.232.274	759.065.984
3	586.411.190	759.065.984	1.039.990.012	1.311.804.502	1.485.807.464	586.411.190
4	- 175.061.228	- 149.548.237	- 164.014.731	- 141.730.697	- 66.586.876	57.730.875
5	212.488.177	294.300.859	302.354.241	221.321.902	60.693.832	294.300.859
6	- 242.544.710	- 285.466.087	- 305.410.186	- 392.298.740	- 539.468.676	10.205.249
7	468.124.275	676.637.608	839.850.832	918.658.079	955.001.736	676.637.608
8	- 275.559.883	- 250.046.892	- 164.014.731	- 141.730.697	- 66.586.876	198.117.072
9	201.160.605	86.480.982	97.422.095	197.587.719	210.223.315	316.829.729
10	134.321.477	41.547.553	20.752.153	161.557.719	266.757.085	170.302.298
11	518.643.200	576.797.486	548.374.733	599.168.938	574.343.405	518.643.200
12	16.034.562	41.547.553	20.752.153	120.917.777	175.332.753	103.855.427
13	2.958.710	28.471.701	14.005.207	85.463.571	92.497.707	126.350.165
14	- 31.275.209	145.165.993	338.845.265	492.955.844	574.343.405	492.955.844
15	- 111.538.557	- 226.218.179	- 288.517.885	- 326.007.078	- 343.427.027	86.145.672
16	833.027.374	1.005.682.168	1.080.263.371	1.106.053.943	1.171.196.055	833.027.374
17	172.539.819	280.858.395	288.911.777	257.053.768	314.640.953	280.858.395
18	106.275.083	188.087.765	196.141.147	115.108.808	102.473.212	188.087.765
19	387.943.944	564.385.146	727.598.370	806.405.617	781.580.084	564.385.146
20	172.539.819	348.981.020	512.194.244	591.001.492	672.389.053	348.981.020
21	201.160.605	39.952.312	202.093.813	358.712.011	463.911.377	282.992.010
22	- 490.288.503	- 486.681.210	- 400.649.050	- 292.979.583	- 217.835.762	133.711.966
23	- 242.544.710	- 285.466.087	- 305.410.186	- 358.712.011	- 429.382.964	14.163.021
24	- 142.046.056	- 138.438.763	- 200.738.469	- 197.587.719	- 252.002.695	78.502.096
25	- 175.061.228	- 93.248.547	- 27.316.978	126.793.600	295.960.578	341.078.629
26	1.093.666.366	1.183.892.783	1.225.502.636	1.179.297.071	1.087.122.884	1.093.666.365
27	412.430.106	470.584.392	512.194.244	662.997.628	834.352.834	412.430.106
28	- 187.780.466	- 105.967.785	2.584.252	74.042.616	81.076.752	124.716.062
29	961.545.218	1.134.200.012	1.293.520.668	1.440.322.346	1.485.807.464	961.545.218
30	255.924.849	163.150.924	20.752.153	161.557.719	232.228.672	295.142.279
31	- 562.833.475	- 559.226.182	- 473.194.022	- 365.524.555	- 217.835.762	14.585.724
32	69.223.446	177.542.021	185.595.403	207.879.438	195.243.842	235.558.050
33	121.245.626	84.771.391	150.702.960	245.312.599	302.899.785	197.511.730
34	- 175.061.228	- 93.248.547	- 27.316.978	126.793.600	357.129.768	402.247.818
35	708.014.562	880.669.356	955.250.559	1.106.053.943	1.245.210.775	708.014.562
36	- 23.759.140	- 138.438.763	- 200.738.469	- 197.587.719	- 210.223.315	189.401.179
37	- 97.539.944	- 15.727.263	92.824.774	164.283.138	221.870.324	164.283.138
38	506.230.860	564.385.146	727.598.370	878.401.754	943.543.865	506.230.860
39	- 186.117.501	- 347.325.793	- 467.768.547	- 554.657.100	- 585.511.741	86.145.672
40	- 450.162.777	- 549.641.482	- 584.966.960	- 638.268.784	- 655.688.733	-
41	290.826.735	280.858.395	288.911.777	207.879.438	153.464.462	290.826.735
42	69.223.446	245.664.647	408.877.871	591.001.492	672.389.053	458.840.517
43	201.160.605	86.480.982	97.422.095	197.587.719	210.223.315	316.829.729
44	- 404.903.071	- 447.824.447	- 467.768.547	- 554.657.100	- 614.047.620	-
45	881.364.887	871.396.547	815.724.744	741.506.138	588.162.761	881.364.887
46	- 229.825.473	- 272.746.849	- 393.189.603	- 446.491.428	- 429.382.964	21.581.309
47	- 187.780.466	- 105.967.785	2.584.252	24.868.286	29.546.690	102.336.042
48	255.924.849	219.450.614	163.778.812	214.573.017	295.960.578	327.346.358
49	- 186.117.501	- 300.797.123	- 315.263.617	- 243.805.253	- 148.991.700	145.714.101
50	518.643.200	576.797.486	618.407.339	697.214.586	733.558.243	518.643.200

5.1.1.2.2. Análise de Cenários para o Perfil Otimista

O próximo perfil analisado é o perfil que apresenta maiores probabilidades para aumento do que para a queda do preço de venda do ferro. Partindo-se novamente do valor referência de 231 R\$/t, os preços encontrados em cada simulação estão disponibilizados na Tabela 10.

Tabela 10. 50 cenários de variação do preço do minério de Fe (R\$/t) para 10 anos (perfil de probabilidades otimista)

Cenário	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	231	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	372,03	409,23	372,03	409,23
2	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21	307,46	279,51
3	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	495,17	544,69	599,15
4	231	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	231,00	254,10	279,51	254,10	279,51
5	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21	372,03	338,21	307,46	279,51
6	231	210,00	190,91	210,00	231,00	254,10	279,51	254,10	279,51	307,46	338,21
7	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	372,03	409,23
8	231	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	231,00
9	231	254,10	279,51	307,46	279,51	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21
10	231	254,10	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00	254,10	279,51	254,10	231,00
11	231	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	372,03	338,21	372,03	409,23
12	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	372,03	338,21
13	231	254,10	279,51	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	409,23
14	231	210,00	190,91	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23
15	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21	372,03	338,21	307,46	338,21
16	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	409,23	450,15	495,17
17	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	279,51	307,46	338,21
18	231	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00
19	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21	372,03	409,23	372,03	338,21
20	231	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23
21	231	254,10	279,51	307,46	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	372,03	409,23
22	231	254,10	279,51	254,10	279,51	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23
23	231	254,10	231,00	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	190,91	210,00	231,00
24	231	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21
25	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	409,23
26	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21	372,03	409,23	372,03	409,23
27	231	254,10	279,51	307,46	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	495,17
28	231	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	409,23
29	231	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	409,23
30	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	372,03	338,21	307,46	338,21
31	231	254,10	279,51	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23

32	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	372,03	409,23	372,03	409,23
33	231	254,10	279,51	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	495,17
34	231	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23
35	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	409,23	450,15	495,17
36	231	254,10	279,51	254,10	279,51	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23
37	231	210,00	190,91	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21
38	231	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	495,17	544,69	599,15
39	231	254,10	231,00	210,00	190,91	210,00	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00
40	231	254,10	231,00	254,10	231,00	210,00	190,91	173,55	190,91	210,00	190,91
41	231	254,10	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	231,00
42	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	372,03	409,23
43	231	254,10	279,51	307,46	279,51	254,10	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51
44	231	254,10	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78
45	231	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	279,51	254,10	279,51	307,46	279,51
46	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	279,51	254,10	279,51	307,46	338,21
47	231	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	372,03	409,23	372,03	338,21
48	231	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21
49	231	254,10	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	338,21
50	231	254,10	279,51	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	495,17

A partir dos valores obtidos na Tabela 10, os diferentes caminhos traçados na árvore de decisões foram gerados, de acordo com a Figura 20, estando compreendidos entre os valores de preço do Fe de 599,15 R\$/t e 157,78 R\$/t.

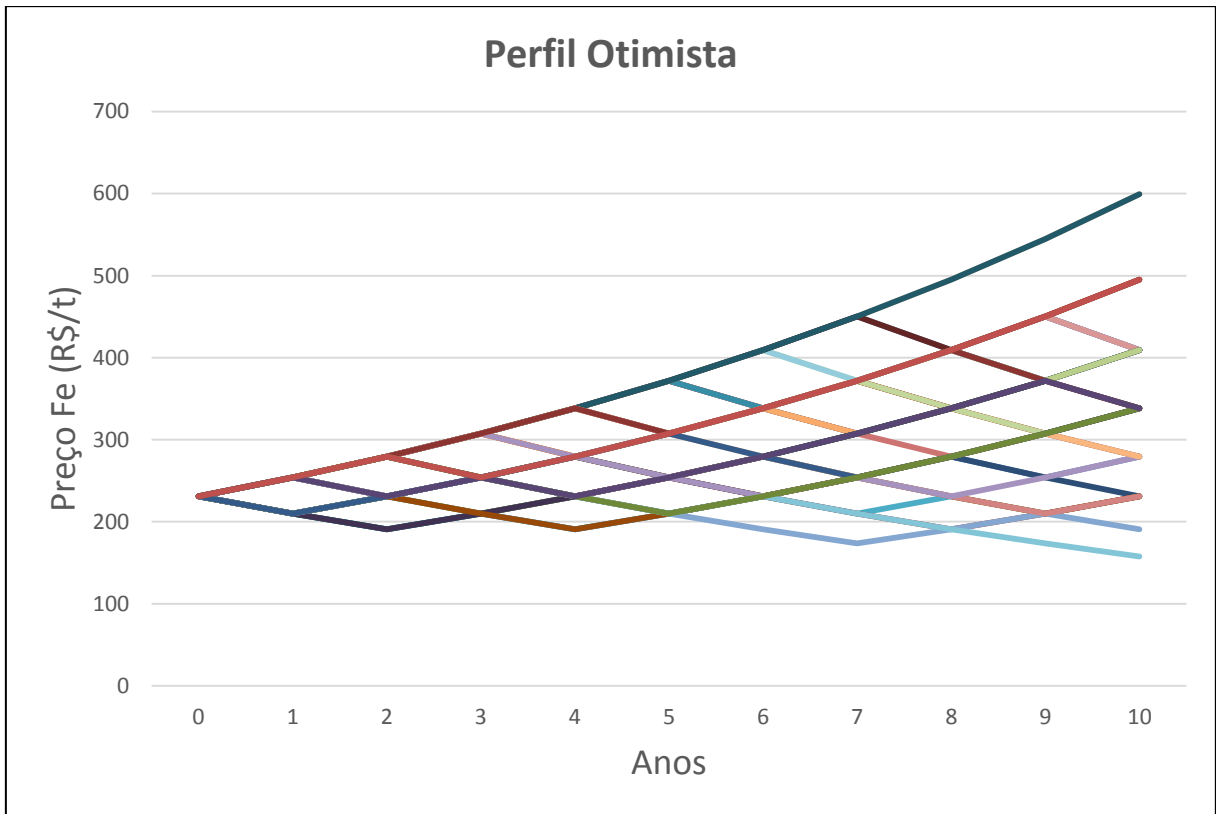


Figura 20. Caminhos na árvore de decisões para o cenário de perfil de probabilidades otimista

Na Tabela 11 é possível visualizar o VPL resultante referente a cada uma das simulações dentro dos cenários avaliados.

Tabela 11. VPL total da recuperação da pilha de estoque para as 50 simulações de cada cenário no perfil otimista

Cenários	VPL TOTAL					
	Anos (1-6)	Anos (2-7)	Anos (3-8)	Anos (4-9)	Anos (5-10)	Positivos
1	961.545.218	1.134.200.012	1.293.520.668	1.353.207.021	1.363.846.008	961.545.218
2	468.124.275	759.065.984	955.250.559	1.034.057.807	1.009.232.274	759.065.984
3	1.190.684.565	1.501.884.975	1.803.635.703	2.096.860.820	2.382.432.517	1.190.684.565
4	- 175.061.228	- 93.248.547	- 27.316.978	67.292.661	212.659.263	257.777.314
5	1.093.666.366	1.266.321.160	1.340.902.363	1.294.696.798	1.141.353.422	1.093.666.365
6	- 31.275.209	77.043.367	243.473.590	397.584.168	540.140.919	397.584.168
7	468.124.275	676.637.608	839.850.832	990.654.216	1.129.811.047	676.637.608
8	- 275.559.883	- 250.046.892	- 164.014.731	- 141.730.697	- 66.586.876	198.117.072
9	577.391.277	540.917.042	485.245.239	411.026.632	447.370.289	577.391.277
10	134.321.477	97.847.243	163.778.812	155.072.077	162.106.213	205.742.986
11	961.545.218	1.134.200.012	1.208.781.215	1.234.571.787	1.245.210.775	961.545.218
12	468.124.275	676.637.608	839.850.832	990.654.216	1.055.796.327	676.637.608
13	708.014.562	880.669.356	1.039.990.012	1.311.804.502	1.485.807.464	708.014.562
14	- 31.275.209	145.165.993	408.877.871	662.997.628	908.367.554	662.997.628
15	1.093.666.366	1.266.321.160	1.340.902.363	1.294.696.798	1.202.522.612	1.093.666.365
16	1.190.684.565	1.501.884.975	1.701.100.965	1.847.902.643	1.982.945.572	1.190.684.565
17	468.124.275	676.637.608	769.818.226	820.612.431	856.956.088	676.637.608
18	106.275.083	188.087.765	196.141.147	115.108.808	102.473.212	188.087.765
19	1.093.666.366	1.266.321.160	1.425.641.816	1.485.328.169	1.421.952.437	1.093.666.365
20	172.539.819	348.981.020	512.194.244	662.997.628	908.367.554	348.981.020
21	833.027.374	923.253.791	964.863.644	990.654.216	1.129.811.047	833.027.374
22	518.643.200	576.797.486	618.407.339	769.210.722	908.367.554	518.643.200
23	330.775.093	238.001.168	175.701.463	75.535.839	- 43.312.851	330.775.093
24	- 87.281.812	- 5.469.130	60.462.438	214.573.017	357.129.768	259.691.067
25	468.124.275	759.065.984	1.039.990.012	1.311.804.502	1.485.807.464	759.065.984
26	1.093.666.366	1.266.321.160	1.425.641.816	1.485.328.169	1.495.967.156	1.093.666.365
27	833.027.374	1.005.682.168	1.165.002.824	1.311.804.502	1.575.365.275	833.027.374
28	961.545.218	1.134.200.012	1.293.520.668	1.440.322.346	1.485.807.464	961.545.218
29	961.545.218	1.134.200.012	1.293.520.668	1.440.322.346	1.485.807.464	961.545.218
30	1.190.684.565	1.402.146.639	1.476.727.842	1.430.522.278	1.338.348.091	1.190.684.565
31	412.430.106	470.584.392	512.194.244	662.997.628	908.367.554	412.430.106
32	1.190.684.565	1.402.146.639	1.561.467.295	1.621.153.648	1.631.792.636	1.190.684.565
33	708.014.562	880.669.356	1.039.990.012	1.311.804.502	1.575.365.275	708.014.562
34	172.539.819	348.981.020	512.194.244	662.997.628	908.367.554	348.981.020
35	1.190.684.565	1.501.884.975	1.701.100.965	1.847.902.643	1.982.945.572	1.190.684.565
36	518.643.200	576.797.486	618.407.339	769.210.722	908.367.554	518.643.200
37	- 97.539.944	- 15.727.263	150.702.960	304.813.538	447.370.289	304.813.538
38	1.190.684.565	1.501.884.975	1.803.635.703	2.096.860.820	2.382.432.517	1.190.684.565
39	- 56.774.313	- 93.248.547	- 85.195.165	- 62.911.130	12.232.690	157.319.108
40	79.557.233	- 81.651.059	- 162.562.233	- 262.727.857	- 317.142.833	174.511.489
41	290.826.735	280.858.395	288.911.777	207.879.438	195.243.842	290.826.735
42	468.124.275	759.065.984	1.039.990.012	1.224.689.177	1.363.846.008	759.065.984
43	577.391.277	540.917.042	427.367.053	270.496.232	221.870.324	577.391.277
44	134.321.477	41.547.553	- 20.752.153	- 161.557.719	- 266.757.085	174.007.892
45	881.364.887	871.396.547	815.724.744	741.506.138	588.162.761	881.364.887
46	387.943.944	496.262.520	562.194.089	612.988.294	649.331.951	496.262.520
47	961.545.218	1.134.200.012	1.293.520.668	1.353.207.021	1.289.831.289	961.545.218
48	255.924.849	219.450.614	163.778.812	214.573.017	357.129.768	327.346.358
49	290.826.735	348.981.020	512.194.244	662.997.628	834.352.834	290.826.735
50	708.014.562	880.669.356	1.039.990.012	1.311.804.502	1.575.365.275	708.014.562

5.1.1.2.3. Análise de Cenários para o Perfil Pessimista

No último perfil analisado, observa-se o comportamento do preço do Fe para uma situação de maiores tendências de queda do valor, conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12. 50 cenários de variação do preço do minério de Fe (R\$/t) para 10 anos (perfil de probabilidades pessimista)

Cenário	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	231	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78	143,43	130,39
2	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	279,51	307,46	279,51	254,10	231,00
3	231	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	372,03	409,23	450,15	409,23
4	231	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	231,00
5	231	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	157,78	143,43	130,39
6	231	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78	143,43	130,39
7	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	279,51	254,10	279,51	254,10	279,51
8	231	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	190,91	173,55	190,91
9	231	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	157,78	173,55	190,91
10	231	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	157,78	143,43	130,39
11	231	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00
12	231	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	157,78	173,55	157,78
13	231	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00
14	231	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00
15	231	254,10	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	157,78
16	231	254,10	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	157,78
17	231	210,00	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	231,00
18	231	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00	210,00	231,00
19	231	210,00	231,00	254,10	279,51	307,46	279,51	307,46	338,21	307,46	279,51
20	231	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	279,51
21	231	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78	143,43	130,39	143,43	130,39
22	231	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	190,91	173,55	190,91	173,55	190,91
23	231	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78	143,43	157,78
24	231	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	190,91
25	231	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	190,91	210,00	231,00	254,10	231,00
26	231	210,00	231,00	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	231,00	210,00	231,00
27	231	254,10	279,51	254,10	231,00	254,10	279,51	307,46	279,51	307,46	279,51
28	231	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00
29	231	254,10	279,51	307,46	338,21	307,46	338,21	372,03	338,21	307,46	279,51
30	231	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78
31	231	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	157,78	173,55	190,91	173,55	157,78
32	231	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78	143,43	157,78
33	231	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	157,78	173,55	190,91	173,55	190,91

34	231	210,00	231,00	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	157,78	173,55	190,91
35	231	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	279,51
36	231	254,10	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	231,00
37	231	210,00	190,91	210,00	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00	254,10	231,00
38	231	254,10	231,00	254,10	231,00	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	157,78
39	231	254,10	231,00	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	157,78	143,43	157,78
40	231	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	157,78	143,43	157,78	173,55	157,78
41	231	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	190,91	173,55	157,78	143,43	130,39
42	231	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	190,91	210,00	190,91	173,55	157,78
43	231	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	210,00	190,91
44	231	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	190,91	173,55	157,78	143,43	130,39
45	231	254,10	231,00	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00
46	231	210,00	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	157,78	173,55	190,91
47	231	210,00	190,91	210,00	231,00	210,00	231,00	254,10	231,00	210,00	190,91
48	231	254,10	279,51	254,10	231,00	210,00	190,91	210,00	190,91	173,55	157,78
49	231	254,10	231,00	210,00	190,91	173,55	190,91	210,00	231,00	254,10	231,00
50	231	254,10	231,00	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	231,00	210,00	190,91

De posse dos valores apresentados na Tabela 12, os diferentes caminhos trilhados na árvore de decisões foram esboçados, conforme observa-se na Figura 21. A variação do preço para o minério de ferro na simulação do perfil de probabilidades pessimista ficou compreendida entre os valores de 450,15 R\$/t e 130,39 R\$/t.

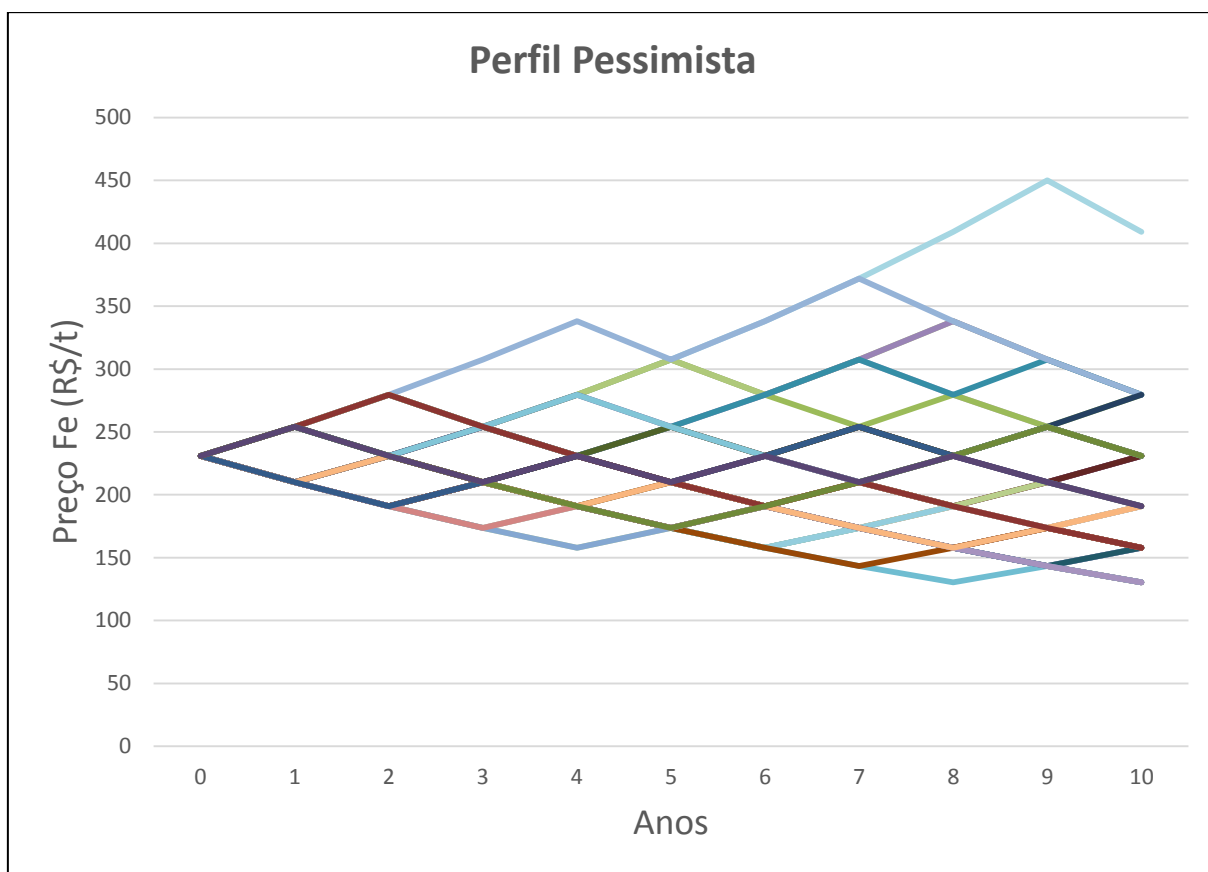


Figura 21. Caminhos na árvore de decisões para o cenário de perfil de probabilidades pessimista

Finalmente, obtém-se o VPL resultante da soma dos fluxos de caixa descontados, gerados pela venda do material contido na pilha de estoque, para cada uma das situações possíveis de retomada. A Tabela 13 disponibiliza todos os resultados gerados dentro de todas as simulações realizadas. Conforme previsto, este perfil expõe um maior número de ocorrências de VPL negativo, devido à tendência de queda do preço do Fe ser superior à tendência de aumento do mesmo.

Tabela 13. VPL total da recuperação da pilha de estoque para as 50 simulações de cada cenário no perfil pessimista

Cenários	VPL TOTAL					
	Anos (1-6)	Anos (2-7)	Anos (3-8)	Anos (4-9)	Anos (5-10)	Positivos
1	- 142.046.056	- 184.967.433	- 305.410.186	- 392.298.740	- 539.468.676	21.889.239
2	387.943.944	564.385.146	657.565.764	648.859.030	549.680.072	564.385.146
3	586.411.190	759.065.984	1.039.990.012	1.311.804.502	1.485.807.464	586.411.190
4	- 175.061.228	- 149.548.237	- 164.014.731	- 141.730.697	- 66.586.876	57.730.875
5	- 450.162.777	- 511.188.035	- 531.132.135	- 618.020.689	- 677.411.208	-
6	- 242.544.710	- 285.466.087	- 305.410.186	- 392.298.740	- 539.468.676	10.205.249
7	387.943.944	496.262.520	562.194.089	553.487.354	504.861.446	496.262.520
8	- 404.903.071	- 447.824.447	- 428.236.967	- 465.726.159	- 448.617.695	63.711.833
9	- 349.664.122	- 410.689.381	- 531.132.135	- 584.433.960	- 567.325.496	11.683.990
10	- 404.903.071	- 447.824.447	- 467.768.547	- 554.657.100	- 614.047.620	-
11	255.924.849	219.450.614	105.900.625	74.042.616	81.076.752	327.346.358
12	- 304.404.416	- 347.325.793	- 467.768.547	- 521.070.371	- 538.490.320	11.683.990
13	2.958.710	28.471.701	14.005.207	85.463.571	92.497.707	126.350.165
14	- 187.780.466	- 105.967.785	2.584.252	74.042.616	81.076.752	124.716.062
15	- 111.538.557	- 226.218.179	- 288.517.885	- 326.007.078	- 343.427.027	86.145.672
16	- 111.538.557	- 272.746.849	- 393.189.603	- 446.491.428	- 463.911.377	86.145.672
17	16.034.562	41.547.553	20.752.153	120.917.777	133.553.373	102.640.805
18	106.275.083	188.087.765	196.141.147	115.108.808	102.473.212	188.087.765
19	387.943.944	564.385.146	727.598.370	806.405.617	781.580.084	564.385.146
20	172.539.819	348.981.020	512.194.244	591.001.492	672.389.053	348.981.020
21	- 349.664.122	- 449.142.827	- 617.637.687	- 717.594.532	- 776.985.051	11.683.990
22	- 490.288.503	- 533.209.880	- 513.622.399	- 465.726.159	- 448.617.695	36.929.922
23	- 242.544.710	- 285.466.087	- 305.410.186	- 392.298.740	- 510.932.797	10.205.249
24	- 142.046.056	- 138.438.763	- 200.738.469	- 197.587.719	- 252.002.695	78.502.096
25	- 304.404.416	- 300.797.123	- 315.263.617	- 243.805.253	- 148.991.700	79.252.233
26	212.488.177	238.001.168	223.534.675	142.502.336	23.653.645	264.421.268
27	412.430.106	470.584.392	442.161.639	492.955.844	574.343.405	412.430.106
28	- 187.780.466	- 105.967.785	2.584.252	74.042.616	81.076.752	124.716.062
29	961.545.218	1.134.200.012	1.208.781.215	1.162.575.650	1.009.232.274	961.545.218
30	255.924.849	163.150.924	20.752.153	161.557.719	266.757.085	291.905.670
31	- 608.093.182	- 669.118.440	- 649.530.960	- 601.634.720	- 546.509.697	-
32	- 142.046.056	- 184.967.433	- 305.410.186	- 392.298.740	- 510.932.797	21.889.239
33	- 535.548.209	- 596.573.468	- 576.985.988	- 529.089.748	- 511.981.284	-
34	- 304.404.416	- 347.325.793	- 467.768.547	- 521.070.371	- 503.961.907	11.683.990
35	- 87.281.812	- 5.469.130	2.584.252	74.042.616	131.629.802	119.160.667
36	- 23.759.140	- 138.438.763	- 200.738.469	- 197.587.719	- 210.223.315	145.246.188
37	- 97.539.944	- 15.727.263	92.824.774	164.283.138	171.317.274	164.283.138
38	79.557.233	81.651.059	202.093.813	358.712.011	463.911.377	161.388.638
39	- 186.117.501	- 347.325.793	- 467.768.547	- 554.657.100	- 585.511.741	86.145.672
40	- 450.162.777	- 549.641.482	- 584.966.960	- 638.268.784	- 655.688.733	-
41	- 562.833.475	- 605.754.852	- 625.698.952	- 627.202.073	- 614.047.620	-
42	- 490.288.503	- 486.681.210	- 448.482.261	- 400.586.021	- 418.005.970	-
43	201.160.605	86.480.982	97.422.095	197.587.719	252.002.695	312.547.185
44	- 404.903.071	- 447.824.447	- 467.768.547	- 554.657.100	- 614.047.620	-
45	330.775.093	238.001.168	223.534.675	191.676.666	92.497.707	330.775.093
46	- 229.825.473	- 272.746.849	- 393.189.603	- 446.491.428	- 429.382.964	17.623.538
47	- 187.780.466	- 105.967.785	2.584.252	24.868.286	29.546.690	84.945.848
48	201.160.605	86.480.982	97.422.095	238.227.661	343.427.027	282.992.010
49	- 186.117.501	- 300.797.123	- 315.263.617	- 243.805.253	- 148.991.700	144.068.773
50	31.005.104	61.768.821	76.235.315	53.951.280	108.366.256	117.292.651

Capítulo 6

6.1. Análise do Resultados

Finalizada a etapa de aplicação da metodologia proposta neste trabalho, os resultados obtidos para cada um dos cenários serão analisados a seguir, de maneira a avaliar qual das alternativas agrega melhores valores ao projeto.

6.1.1. Resultados obtidos pelo método Tradicional do DCF

A primeira avaliação do estudo de caso foi realizada por meio do método do Fluxo de Caixa Descontado (DFC). Esta metodologia prevê o valor do fluxo de caixa ano a ano do projeto, considerando uma taxa de desconto que represente o risco assumido, para o tempo zero.

Para estimar o fluxo de caixa do projeto de retomada da pilha, primeiramente foram estimados alguns parâmetros, tais como: produção, preço do bem mineral, taxas, recuperação e custos. Calcula-se então o valor do fluxo de caixa descontado subtraindo-se das receitas estimadas as devidas deduções e custos, considerando a taxa de desconto aplicável para o projeto, que foi estabelecida em 7%. A partir da determinação dos fluxos de caixa anuais, fez-se possível a definição do valor presente líquido na data presente.

A metodologia foi aplicada da sua forma mais tradicional, sem a incorporação de flexibilidade, considerando um cenário apenas, com preço fixo para o minério de ferro. Quando analisado dessa maneira, o projeto de retomada da pilha originou um VPL resultante de R\$ 61,2M, para um processo de recuperação do material a partir do ano 1, e tendo duração de seis anos. Nos cinco primeiros anos de operação, 14M de toneladas de itabiritos compactos devem ser enviadas para a planta anualmente, restando 10M de toneladas para o ano final do processo. Os resultados obtidos com essa metodologia estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Resultados do Método Tradicional de DCF

Anos	Capacidade de Retomada (Toneladas)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Descontado (R\$)
1	14.000.000	13.377.000	12.501.869
2	14.000.000	13.377.000	11.683.990
3	14.000.000	13.377.000	10.919.617
4	14.000.000	13.377.000	10.205.249
5	14.000.000	13.377.000	9.537.616
6	10.000.000	9.555.000	6.366.900
Total	80.000.000	76.440.000	61.215.241

6.1.2. Resultados Obtidos pelo Método da Árvore de Decisões

Outra forma de aplicar-se o método do DCF é agregando a ele o conceito de árvore de decisões, o qual permite a análise de diferentes cenários que surgem de acordo com a variação ocorrida para o preço de venda do minério. Dito isto, a próxima avaliação foi realizada considerando três diferentes perfis de variação do preço do ferro. Em todos eles a variação a cada passo (ano) é sempre de 10% sobre o valor atual. No primeiro perfil, denominado de equidistante, o valor de venda do minério pode sofrer uma variação positiva ou negativa, tendo ambos os casos a mesma probabilidade de ocorrência. No perfil otimista, a ocorrência de variação positiva apresenta maior probabilidade (70%), enquanto no cenário pessimista a tendência maior é a queda do preço do minério (60%) (ver Tabela 6).

Com base nos parâmetros estabelecidos, uma árvore de decisões foi criada, apresentando todos os possíveis valores para a venda do minério de ferro dentro de um período de 10 anos (Figura 12). A partir das opções apresentadas na árvore, calcula-se o VPL da pilha quando consideradas as probabilidades de ocorrência de cada um dos valores do Fe.

Além de possibilitar a avaliação dos diferentes cenários que podem surgir durante a vida útil do projeto, essa metodologia agrega valores devido à flexibilidade na tomada de

decisões, de acordo com os rumos do mercado. Ou seja, as definições sobre as atividades que devem ou não ser realizadas não se dá necessariamente apenas no momento inicial do planejamento, mas sim a cada nova informação agregada. Portanto, quando o projeto apresenta fluxo de caixa negativo no decorrer das operações, há a opção de interromper aquela atividade para estancar as perdas. Dessa forma, o VPL final da pilha, visto pelo ângulo da metodologia de DCF incorporando a árvore de decisões, tende a ser consideravelmente maior do que aquele determinado pelo método tradicional.

Os resultados que foram encontrados na aplicação dessa técnica, VPL total (com DCF negativos) e VPL total sem perdas (somente DCF positivos) estão demonstrados na Tabela 15. Assim como na avaliação anterior pelo método tradicional do DCF, a pilha terá uma vida útil de 6 anos, sendo recuperadas 14M toneladas de material nos 5 primeiros anos e as 10M de toneladas restantes no ano 6.

Tabela 15. Resultados do VPL da pilha por DCF na árvore de decisões

	VPL Total (R\$)	VPL Total (positivos) (R\$)	Tempo para Retomada da Pilha (anos)
Perfil Equidistante	112.334.381	269.837.166	6
Perfil Otimista	512.197.487	562.823.030	6
Perfil Pessimista	- 72.516.452	166.655.492	6

6.1.3. Resultados Obtidos Incorporando ROV

A partir dos conceitos definidos por Opções Reais, o estudo de caso da pilha de Itabira foi avaliado de duas diferentes formas. Em ambas as aplicações, o objetivo da análise é a incorporação das opções dentro das metodologias utilizadas, de forma a ampliar a maneira de apreciar o projeto.

6.1.3.1. Resultados Obtidos com Árvore Binomial de Cox *et al*

A primeira avaliação da pilha por meio dos conceitos de Opções Reais utilizou como método de avaliação a Árvore Binomial de Cox *et al*. Conhecendo-se as hipóteses sobre a distribuição de probabilidade dos preços do minério de Fe e certificando-se de que o apreçamento neutro ao risco é apropriado, podem ser utilizadas aproximações discretas. A cada nó da árvore, o preço da opção pode ser calculado como o valor atual do preço esperado do Fe, segundo a probabilidade p .

Assim como para a análise da árvore de decisões, três diferentes perfis de cenários foram estudados, mantendo os mesmos critérios estabelecidos anteriormente (Tabela 6). Para a aplicação deste método utilizou-se como base as taxas de desconto e taxa livre de risco de 7% e 5%, respectivamente.

A partir da aplicação das fórmulas referentes ao modelo de Cox *et al* (Figura 16) na análise dos três perfis, os valores presentes líquidos estendidos, ou seja, valores que incorporam o preço das opções disponíveis durante a retomada do material disposto na pilha de estoque, foram determinados. A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos por meio da metodologia da árvore binomial.

Tabela 16. Resultados do VPL da pilha por árvore binomial de Cox *et al*

	VPL Total Estendido (R\$)	Tempo para Retomada da Pilha (anos)
Perfil Equidistante	267.960.656	6
Perfil Otimista	568.026.260	6
Perfil Pessimista	164.947.686	6

6.1.3.2. Resultados Obtidos com Cenários Simulados

Utilizando as ideias estabelecidas para a determinação do valor das opções que existem dentro de um projeto, outra forma de avaliar o valor gerado pela recuperação do material contido na pilha é por meio de simulação de cenários. Para tal, utilizou-se novamente a árvore de valores para o preço de venda do Fe (Figura 12) como ponto de partida e os mesmos três perfis apresentados anteriormente foram verificados.

A metodologia aplicada nesta etapa do estudo procurou analisar um grande número de cenários simulados em busca de uma tendência na expectativa de valores associados à venda do material depositado na pilha, os quais estão diretamente relacionados às variações do preço do Fe. Foram realizadas 50 simulações para cada perfil.

A metodologia foi realizada utilizando o programa Excel como meio de sorteio aleatório para os números gerados. Cada valor encontrado estabelece um trajeto dentro da árvore de decisões (Ver Figuras 19, 20 e 21), e cada trajetória realizada resulta em um VPL diferente para a pilha de estoque. O mesmo processo foi realizado para cada um dos três perfis.

A ideia do método é estabelecer um intervalo de valores para o VPL resultante da venda do itabirito armazenado, de acordo com o momento escolhido para a retomada do material. A flexibilidade na tomada de decisão sobre vender ou não o minério a cada passo verificado (ano) permite que perdas sejam evitadas, maximizando sempre o valor final do projeto. Dessa forma, diferentes possibilidades foram averiguadas na operação de recuperação da pilha.

A análise foi feita para as seguintes circunstâncias:

- Retomada da pilha a partir do ano 1 (até ano 6);
- Retomada da pilha a partir do ano 2 (até ano 7);
- Retomada da pilha a partir do ano 3 (até ano 8);
- Retomada da pilha a partir do ano 4 (até ano 9);
- Retomada da pilha a partir do ano 5 (até ano 10);
- Retomada do material nos primeiros 6 anos com FC positivo (havendo paradas nos anos que apresentam FC negativo).

Os resultados dos VPL obtidos na análise de cada uma das opções mostradas para cada perfil estão dispostos nas Tabelas 9, 11 e 13, apresentadas anteriormente. A partir desses dados, foram construídos histogramas da distribuição das frequências dos resultados dentro de um intervalo. As Figuras 22, 23, 24, 25, 26 e 27 apresentam essas distribuições para cada uma das circunstâncias analisadas dentro do perfil de probabilidades equidistante.

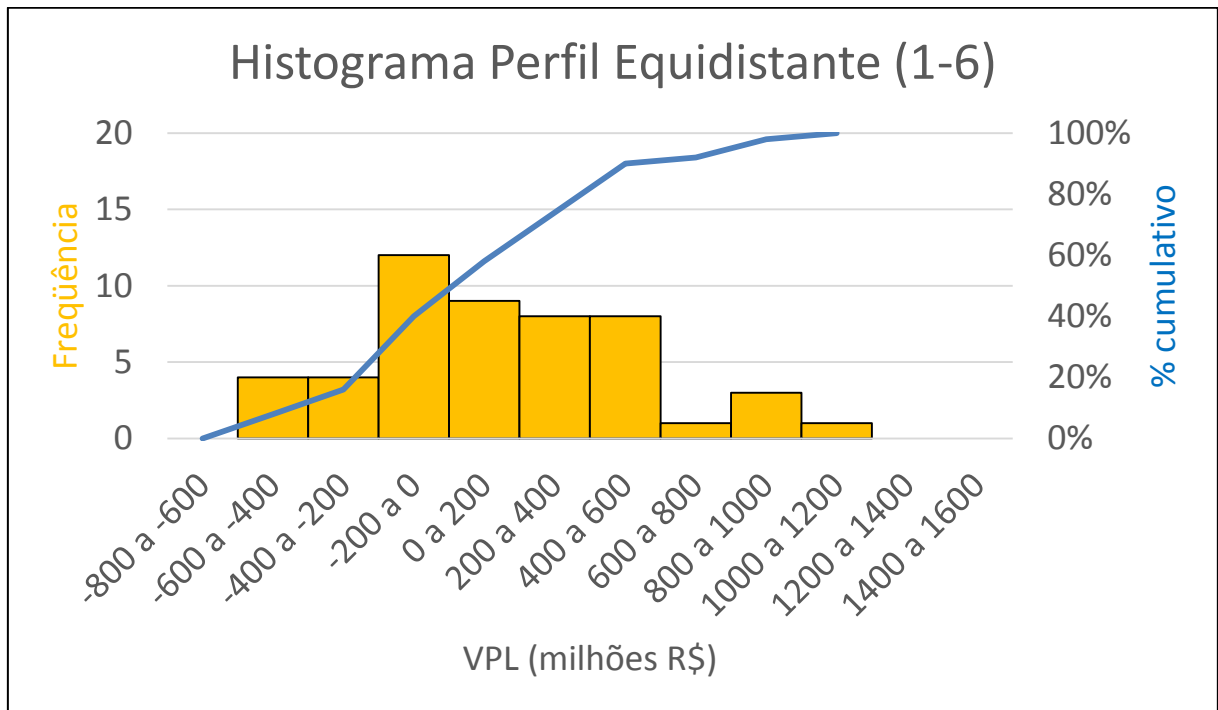


Figura 22. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 1-6 no Perfil Equidistante

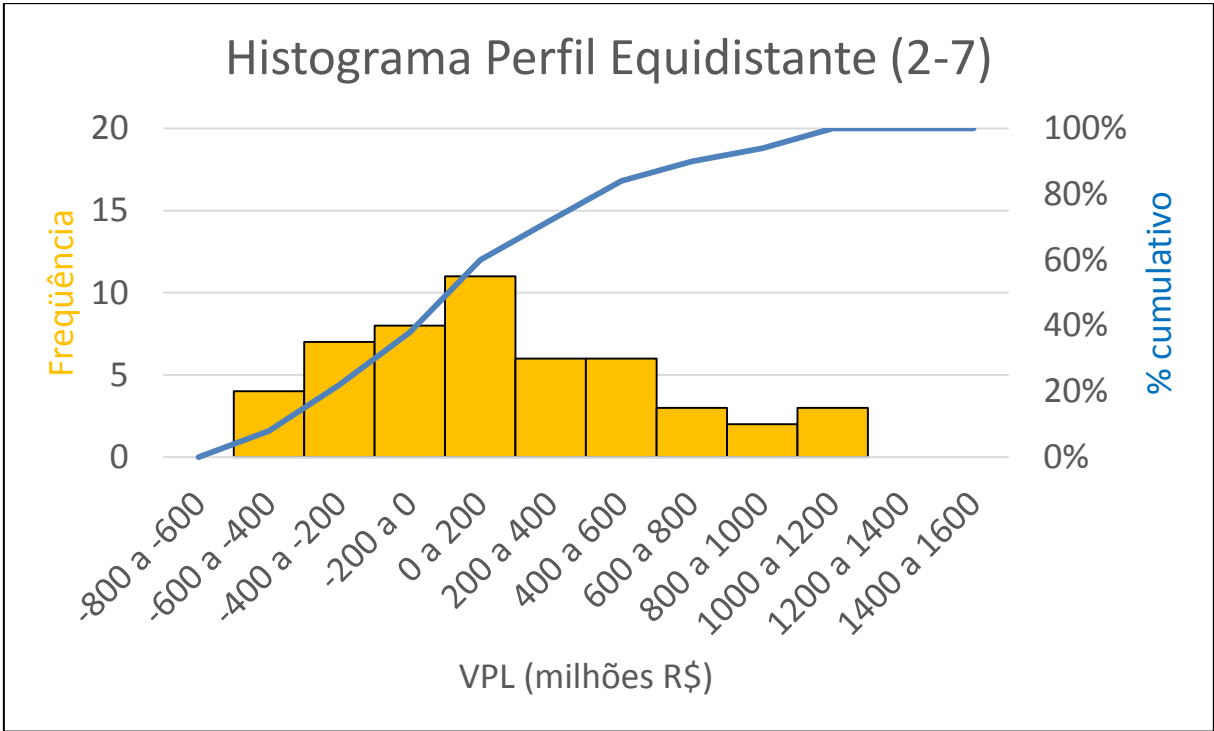


Figura 23. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 2-7 no Perfil Equidistante

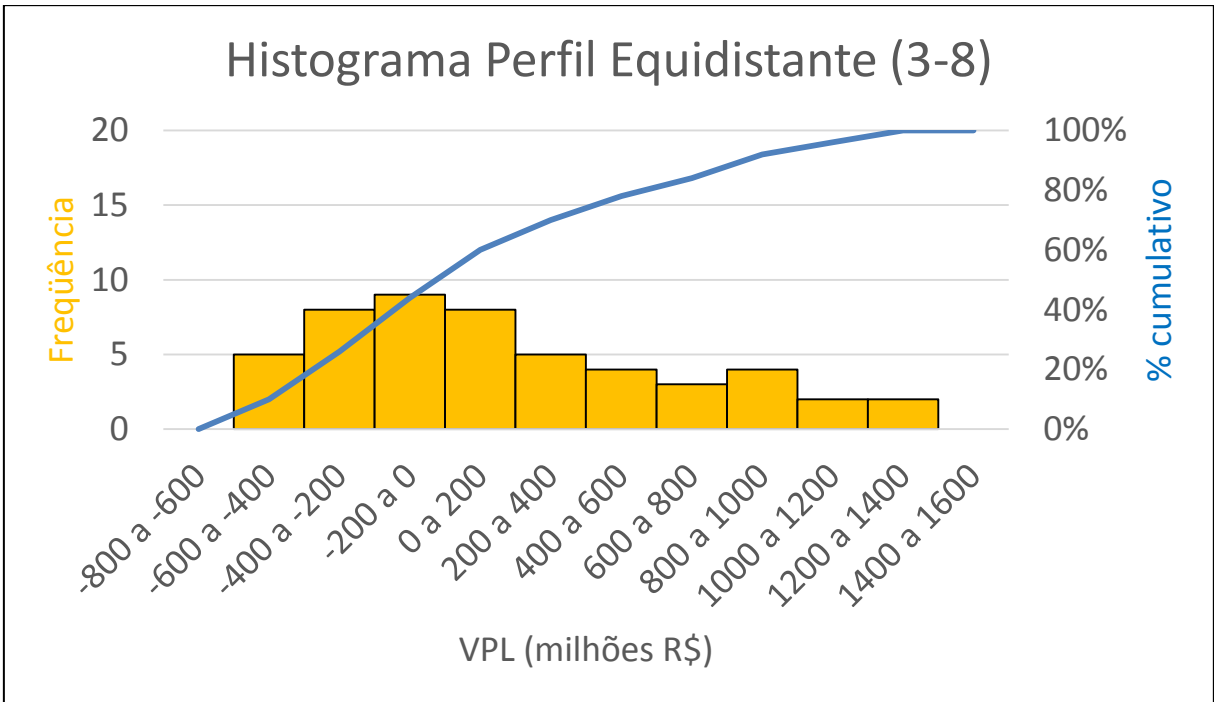


Figura 24. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 3-8 no Perfil Equidistante

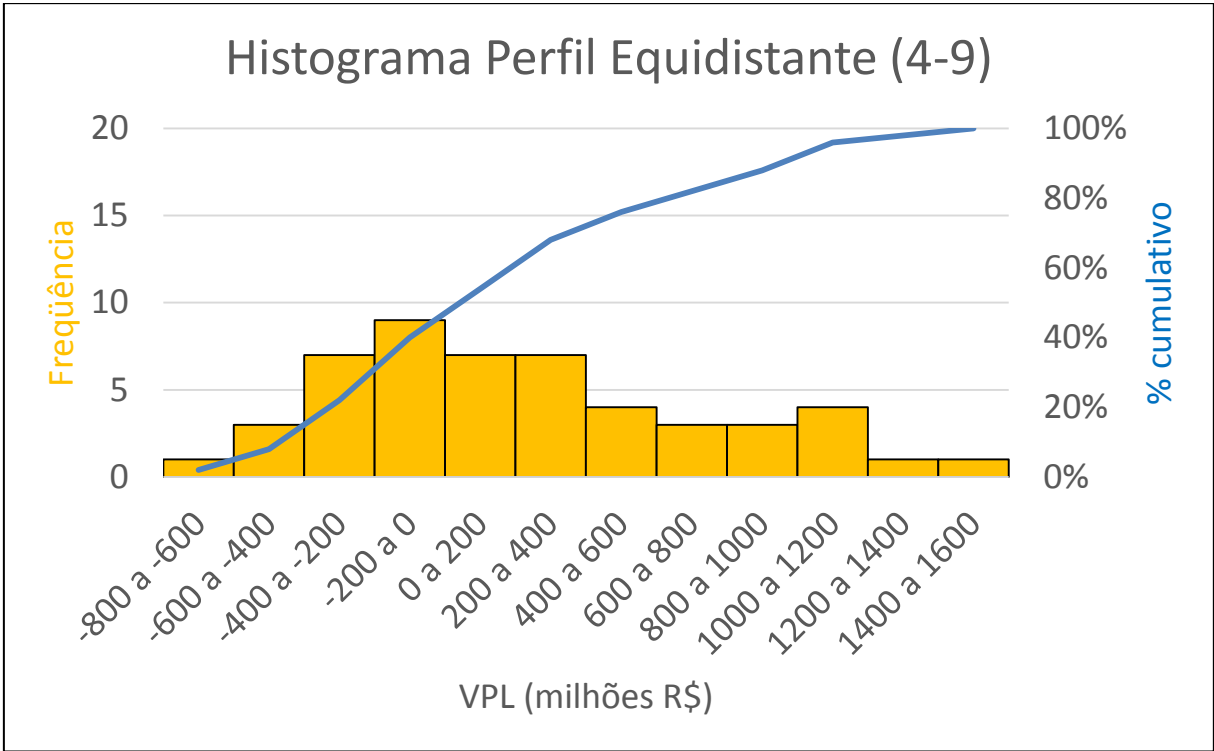


Figura 25. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 4-9 no Perfil Equidistante

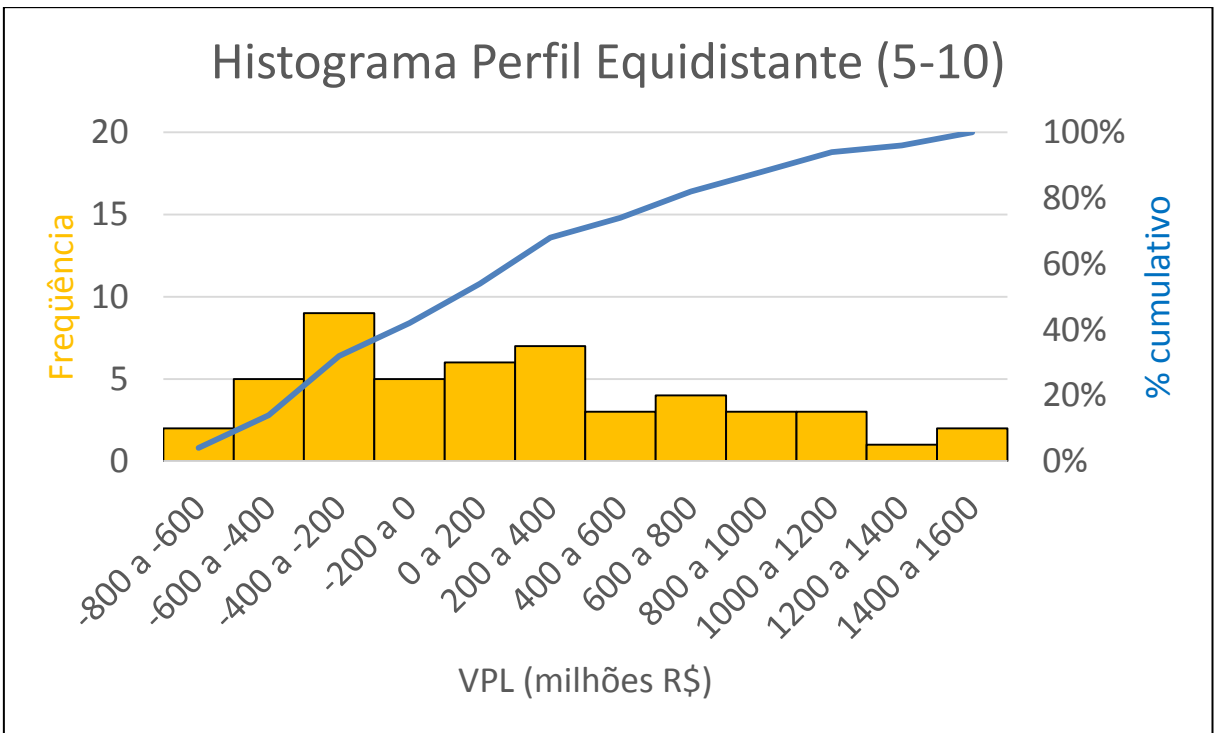


Figura 26. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 5-10 no Perfil Equidistante

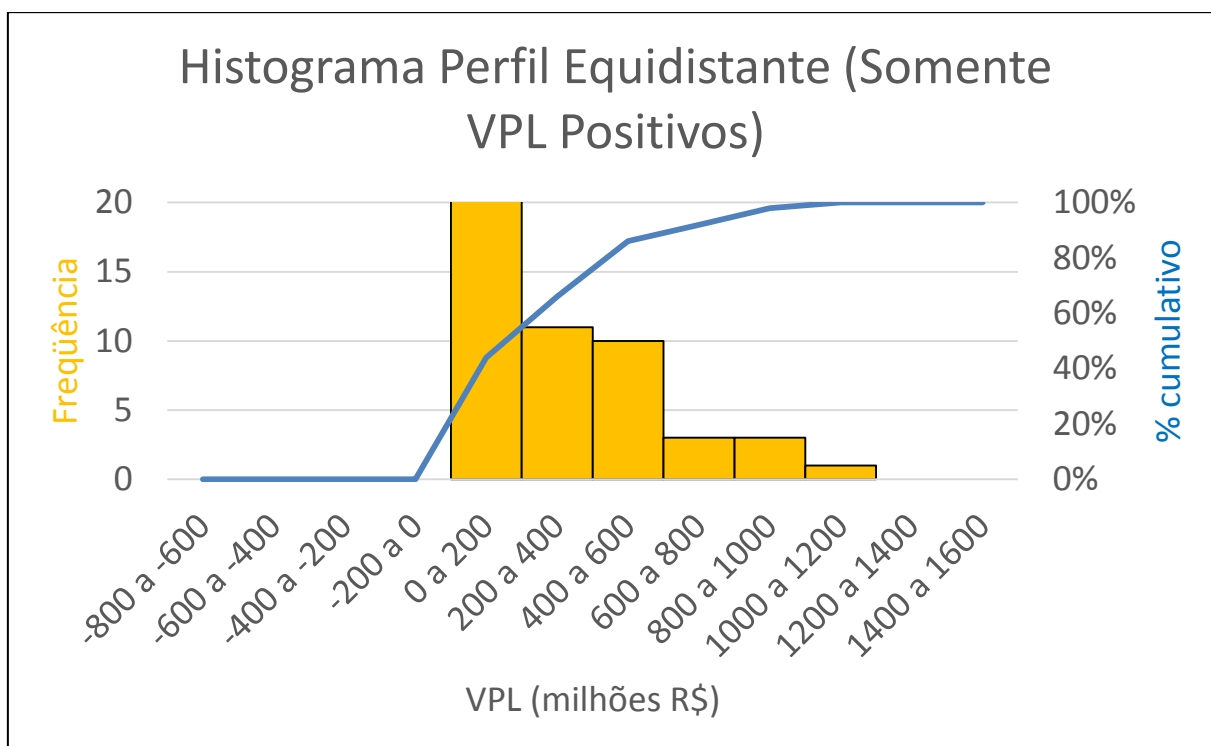


Figura 27. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha somente em anos com VPL positivos no Perfil Equidistante

A partir dos dados apresentados nos histogramas, obtiveram-se, então, as probabilidades de sucesso no projeto da retomada da pilha, ou seja, as chances da venda do material estocado resultar um VPL positivo para a empresa. Essas probabilidades estão apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17. Probabilidade do projeto ser viável para cada das circunstâncias analisadas no perfil equidistante

Período de Retomada	Probabilidade de Viabilização Econômica do Projeto (VPL final positivo)
Anos 1-6	60%
Anos 2-7	62%
Anos 3-8	56%
Anos 4-9	60%
Anos 5-10	58%
Somente anos com VPL positivo	100%

Para o perfil de maior tendência de aumento dos preços para o ferro, o perfil denominado otimista, também foi realizado o mesmo procedimento de avaliação das distribuições dos valores de VPL. Os histogramas resultantes da análise podem ser visualizados nas Figuras 28, 29, 30, 31, 32 e 33.

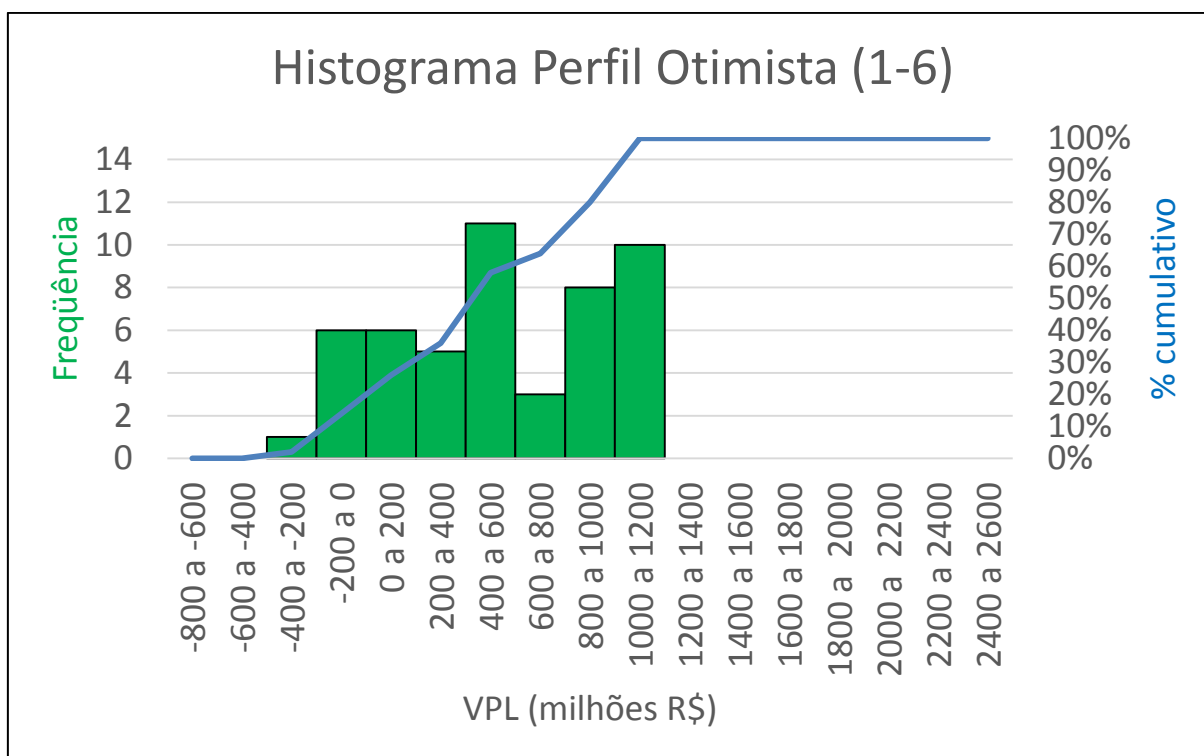


Figura 28. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 1-6 no Perfil Otimista

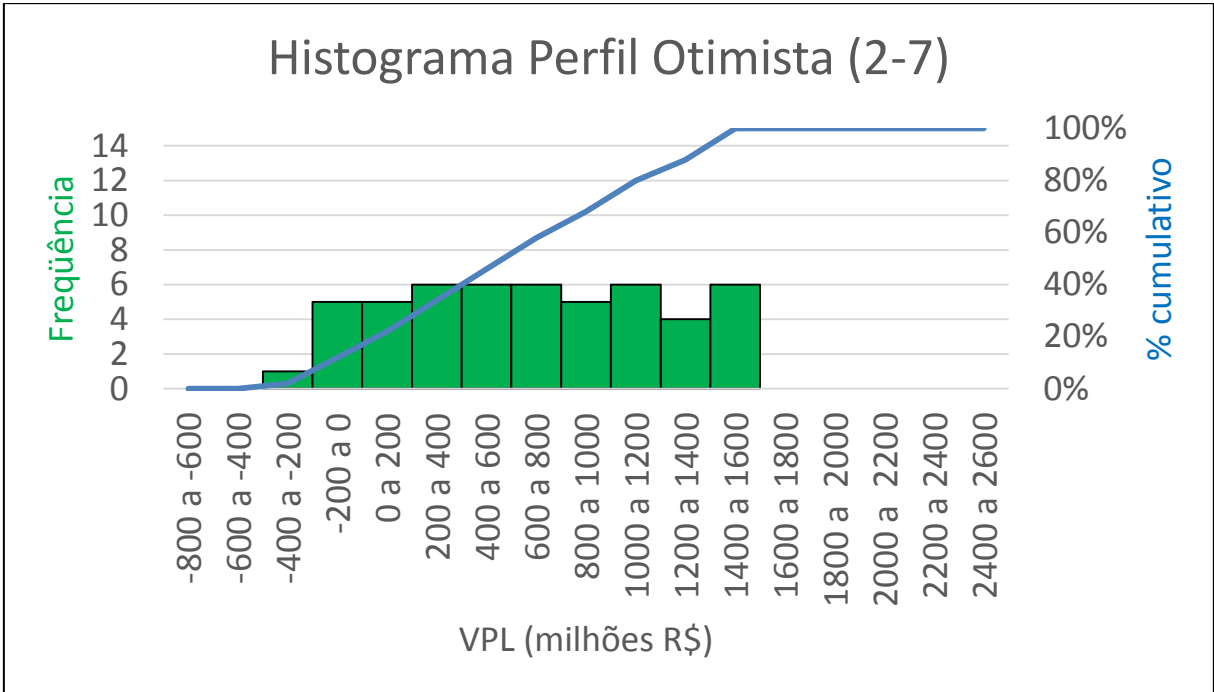


Figura 29. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 2-7 no Perfil Otimista

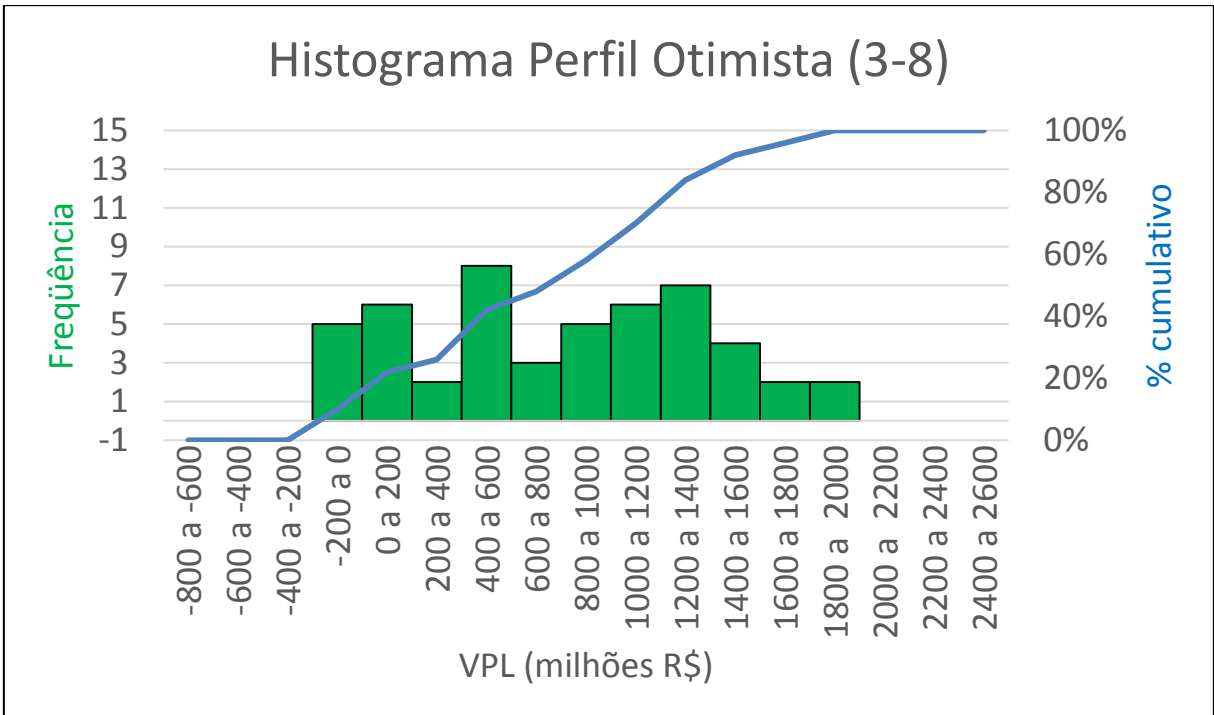


Figura 30. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 3-8 no Perfil Otimista

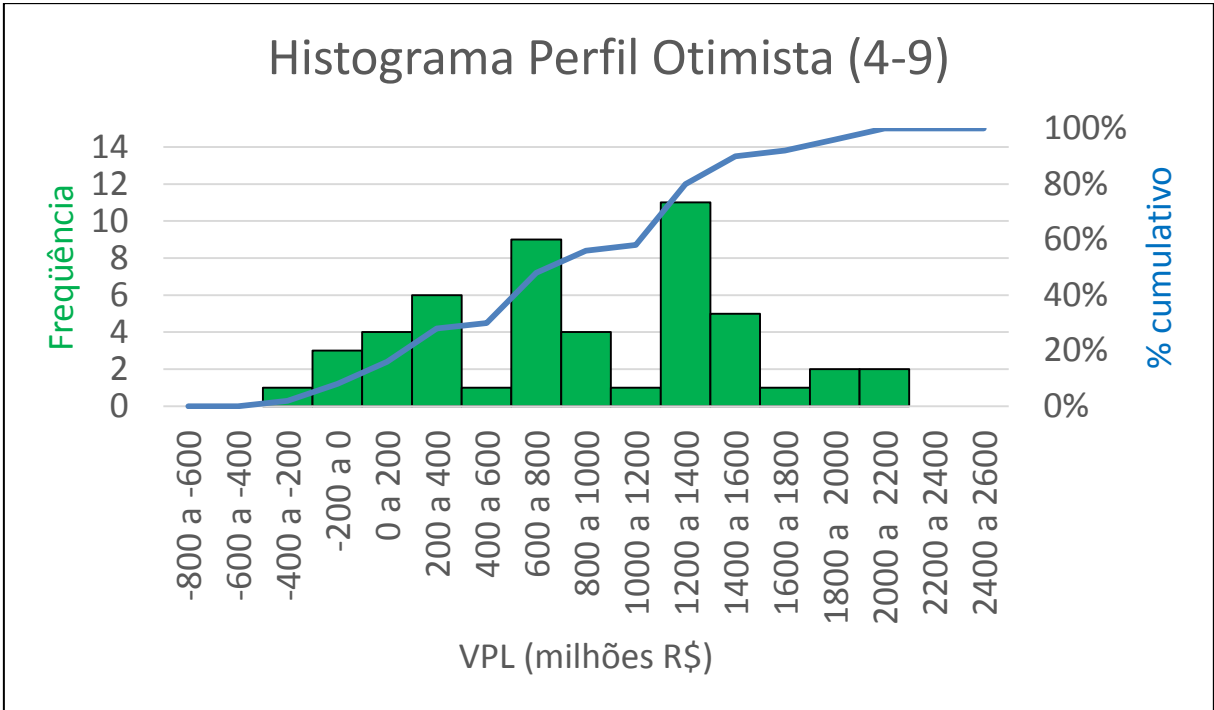


Figura 31. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 4-9 no Perfil Otimista

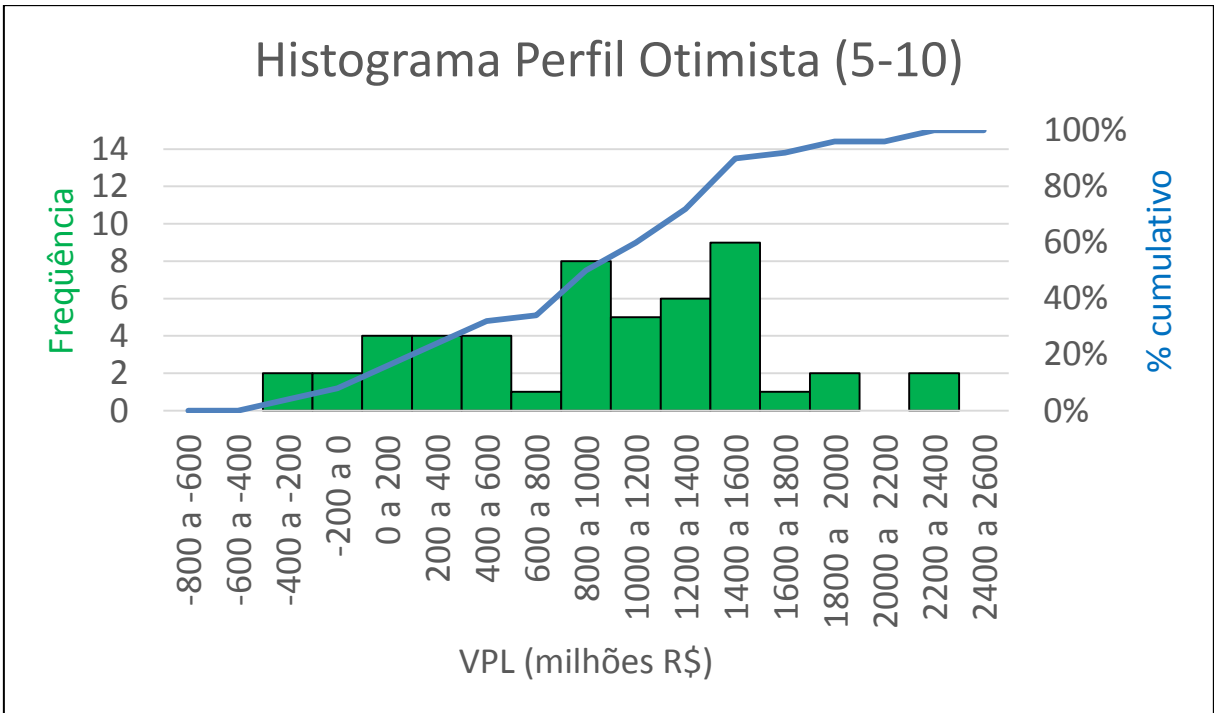


Figura 32. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 5-10 no Perfil Otimista

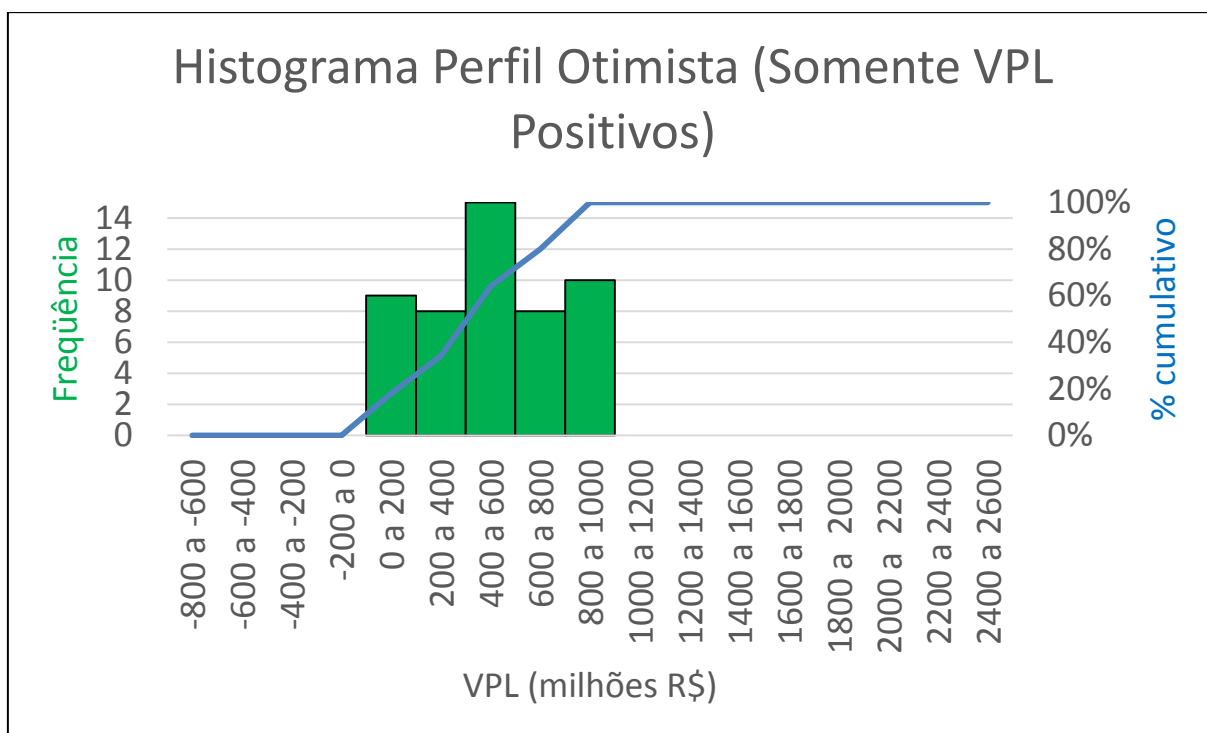


Figura 33. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha somente em anos com VPL positivos no Perfil Otimista

Por meio dessas distribuições de VPL, foram determinadas as probabilidades do projeto se mostrar viável economicamente, conforme apresentado na Tabela 18.

Tabela 18. Probabilidade do projeto ser viável para cada das circunstâncias analisadas no perfil otimista

Período de Retomada	Probabilidade de Viabilização Econômica do Projeto (VPL final positivo)
Anos 1-6	86%
Anos 2-7	88%
Anos 3-8	90%
Anos 4-9	92%
Anos 5-10	92%
Somente anos com VPL positivo	100%

Por último, foram então realizados os histogramas referentes ao perfil pessimista de tendência de preços. As Figuras 34, 35, 36, 37, 38 e 39 apresentam os resultados obtidos.

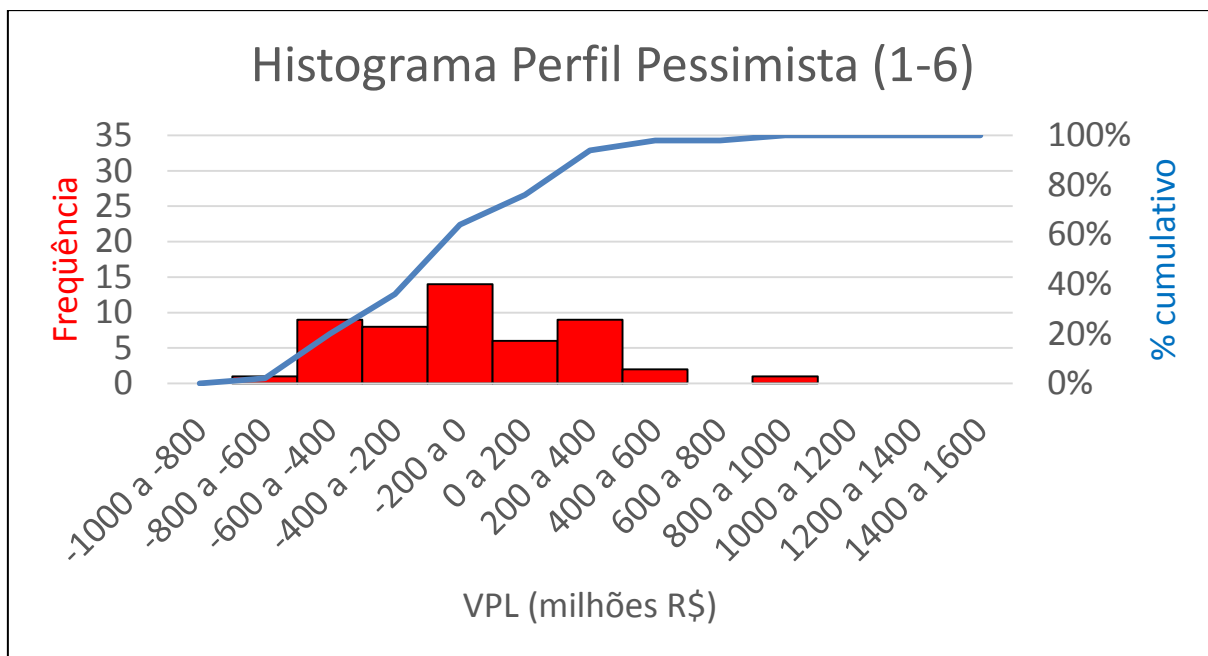


Figura 34. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 1-6 no Perfil Pessimista

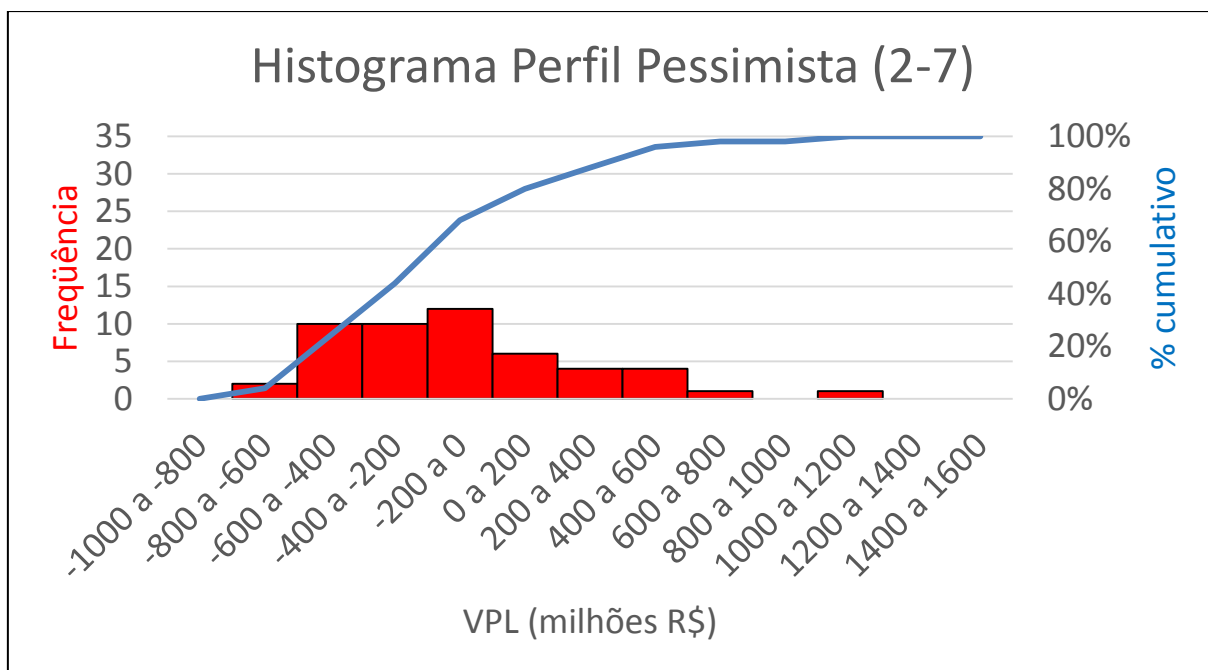


Figura 35. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 2-7 no Perfil Pessimista

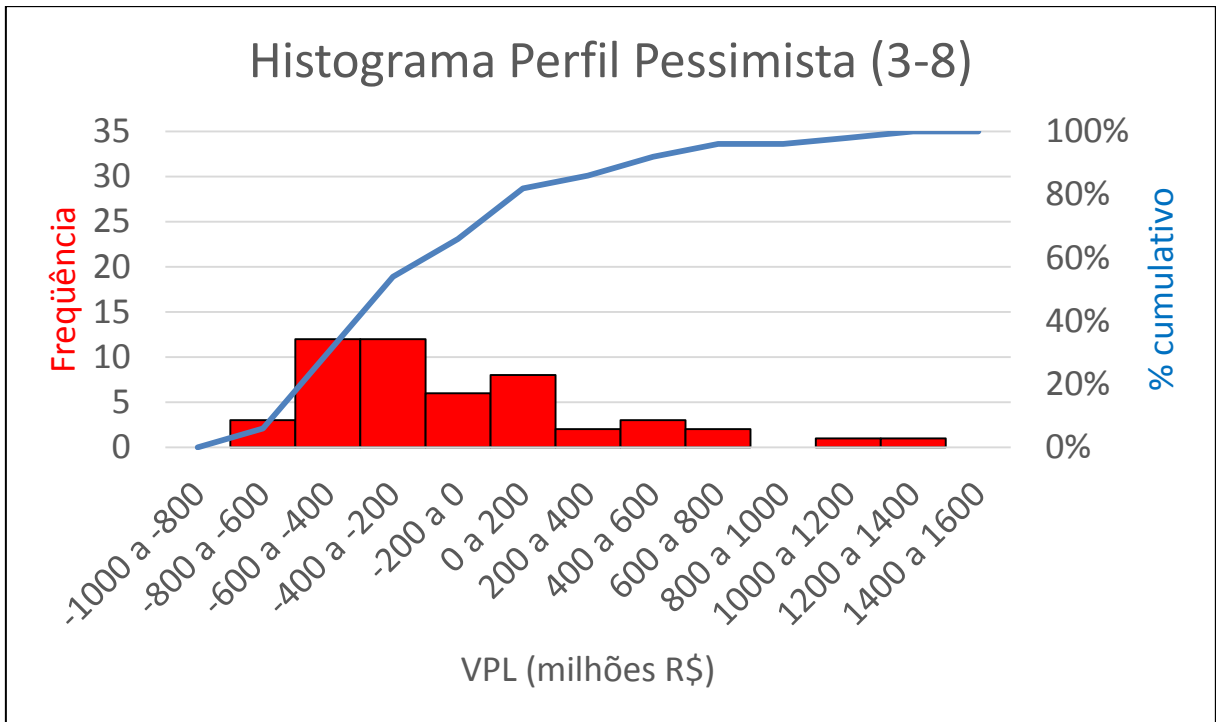


Figura 36. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 3-8 no Perfil Pessimista

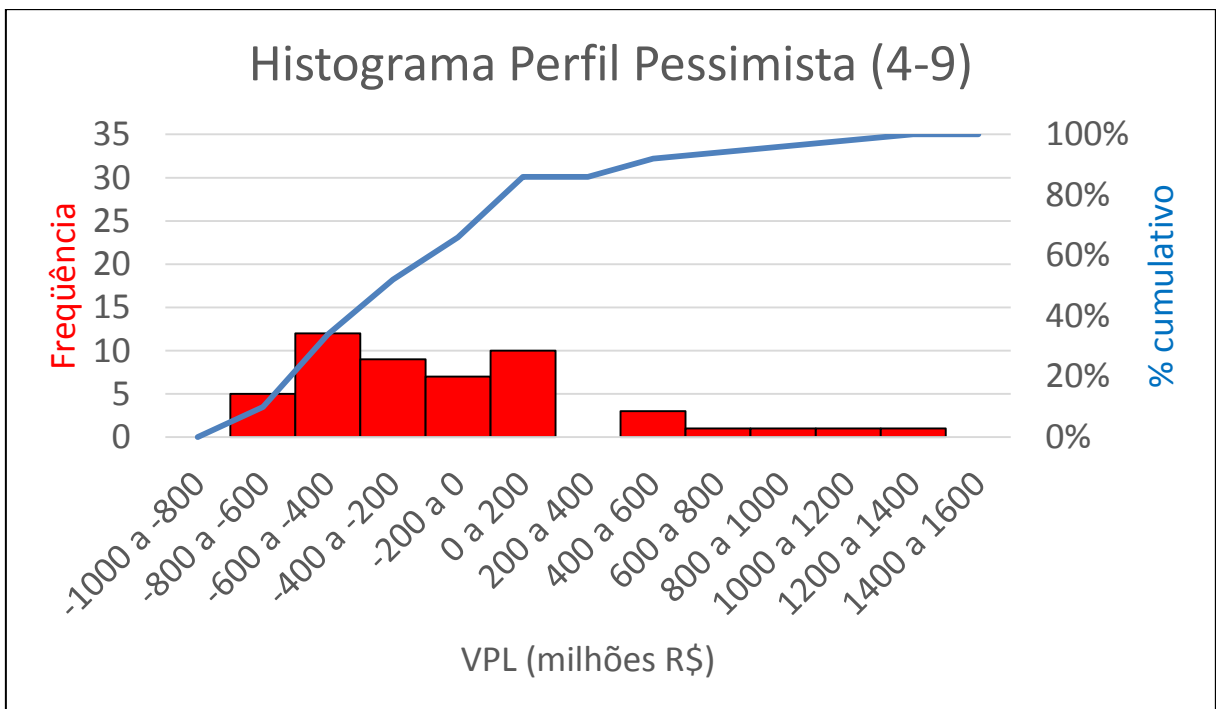


Figura 37. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 4-9 no Perfil Pessimista

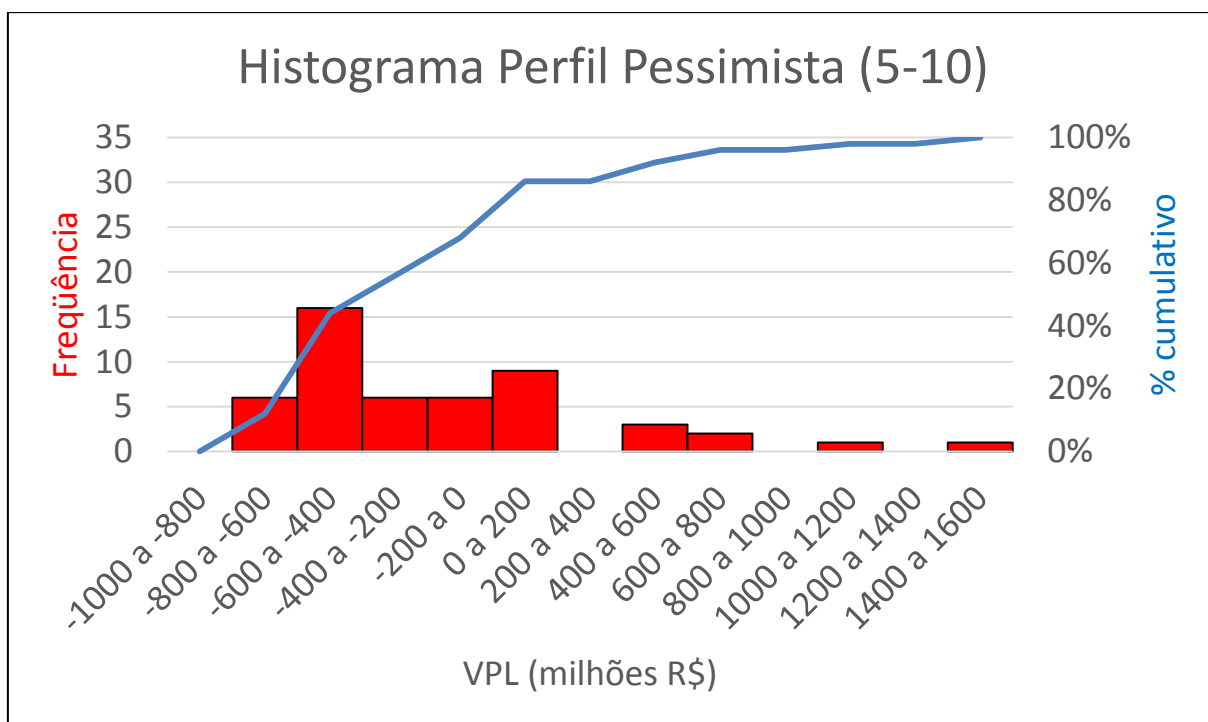


Figura 38. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha entre os anos 5-10 no Perfil Pessimista

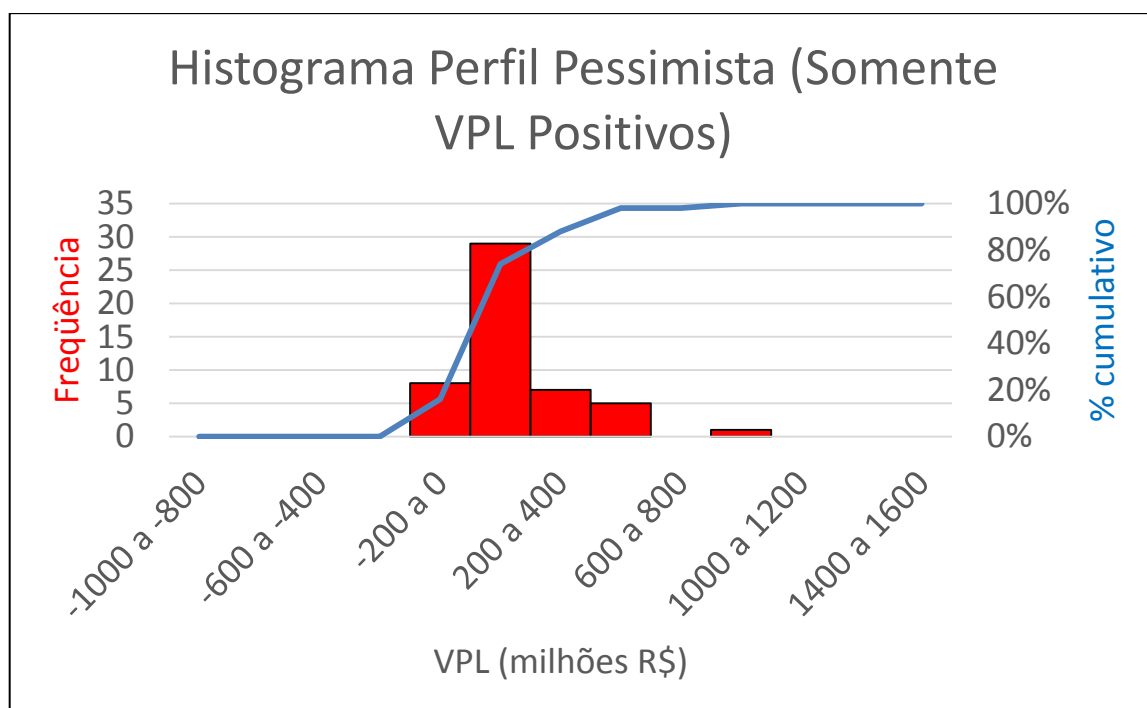


Figura 39. Histograma de frequências do VPL para retomada da pilha somente em anos com VPL positivos no Perfil Pessimista

Com base nos histogramas das distribuições do VPL, novamente foram determinadas as probabilidades de sucesso na retomada do material estocado, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19. Probabilidade do projeto ser viável para cada das circunstâncias analisadas no perfil pessimista

Período de Retomada	Probabilidade de Viabilização Econômica do Projeto (VPL final positivo)
Anos 1-6	36%
Anos 2-7	32%
Anos 3-8	34%
Anos 4-9	34%
Anos 5-10	32%
Somente anos com VPL positivo	100%

Fazendo uma análise comparativa dos valores médios do VPL para cada um dos casos, observa-se uma grande amplitude no intervalo dos dados, a qual é gerada pela imposição de variação de cenários no decorrer do tempo. O resumo dos resultados dos valores médios obtidos pela aplicação do método de simulação dos cenários está descrito na Tabela 20.

Tabela 20. VPL médio da pilha para as seis circunstâncias analisadas nos três perfis

	VPL médio (R\$)					
	VPL (1-6)	VPL (2-7)	VPL (3-8)	VPL (4-9)	VPL (5-10)	VPL (positivos)
Perfil Equidistante	134.035.104	166.815.028	188.051.948	210.596.831	224.513.140	327.413.574
Perfil Otimista	560.245.833	685.907.978	793.326.362	878.923.198	959.206.777	666.484.432
Perfil Pessimista	-82.159.076	-95.860.635	-116.734.802	-134.217.757	-156.958.827	161.007.943

Outra forma de avaliar os resultados apresentados nas simulações é analisar o P50 proveniente dos dados. Esse parâmetro nada mais é do que a própria mediana resultante do intervalo compreendido nos 50 valores para o VPL de cada perfil. Essa medida é mais

representativa, pois reflete o valor central das amostras, distinguindo a metade maior da metade menor da distribuição das probabilidades. Os VPLs encontrados em P50 para todas as análises realizadas estão expostos na Tabela 21.

Tabela 21. P50 dos resultados do VPL da pilha para as seis circunstâncias analisadas nos três perfis

Perfil	VPL P50 (mediana) (R\$)					
	VPL (1-6)	VPL (2-7)	VPL (3-8)	VPL (4-9)	VPL (5-10)	VPL (positivos)
Perfil Equidistante	113.760.355	86.480.982	53.414.990	126.793.600	127.968.837	286.909.372
Perfil Otimista	493.383.737	676.637.608	827.787.788	905.633.324	958.799.914	676.637.608
Perfil Pessimista	- 142.046.056	-143.993.500	- 201.416.141	-241.016.457	- 259.379.890	86.145.672

No caso do perfil de tendências equivalentes, a flutuação dos dados se apresenta de forma mais irregular, uma vez que as probabilidades na variação positiva ou negativa do preço são idênticas. Quando comparadas as seis hipóteses propostas para retomada de material, nota-se que as simulações realizadas sugerem que o melhor cenário para recuperação da pilha é aquele onde somente nos anos que apresentam FC positivo o material deve ser enviado para planta. Dessa forma, mesmo mantendo-se o limite de capacidade de recuperação de 14M toneladas anuais, o tempo total para a retomada é variável, podendo mudar de acordo com cada cenário.

Para o perfil otimista, no entanto, essa não se apresenta como a melhor escolha para maximização do VPL. Como a tendência do preço de venda do minério tem probabilidades maiores de aumento, a opção de aguardar para o início da operação se mostra favorável, apresentando maior retorno se iniciada a retomada a partir do ano 5, mesmo que o tempo de espera penalize o VPL (taxa de desconto anual). Contudo, se a espera para o início da recuperação da pilha ultrapassar certo ponto (aguardar somente anos de FC positivo), o desconto que incide sobre o valor acaba por diminuir os ganhos na venda do material.

No cenário onde o preço de venda do ferro tem tendência de queda superior à tendência de aumento, a mediana obtida das simulações apresentou inviabilidade na venda do produto estocado na pilha, exceto para uma das hipóteses. Somente em caso de manutenção ou elevação do preço o minério deve ser retomado, caso contrário a operação não deve ocorrer. O período

para que isso ocorra depende dos rumos do mercado, porém, ao optar-se pelo abandono do material, maiores perdas são evitadas. Este exemplo de situação demonstra claramente como decisões gerenciais podem interferir nos resultados do projeto. Se a empresa passa a recuperar a pilha a partir do primeiro ano, cerca de 82 milhões de reais podem ser perdidos, por uma simples falta de análise das opções. Se o momento certo for escolhido, no entanto, pode haver um ganho de aproximadamente 160 milhões.

Por fim, os resultados do valor presente líquido gerado por meio de cada uma das metodologias que foram aplicadas ao estudo foram comparados, utilizando o valor de P50 para a análise do método de simulação de cenários. Tais dados podem ser observados na Figura 40.

Método		VPL (Milhões R\$)		
		Perfil Equidistante	Perfil Otimista	Perfil Pessimista
DCF Tradicional			61,2	
Árvore de Decisões		112,3	512,2	-72,5
Árvore de Decisões (Somente VPL Positivos)		269,8	562,8	166,7
Árvore Binomial de Cox et al		268,0	568,0	165,0
Cenários Simulados (P50-Mediana)	Anos 1-6	113,8	493,4	-142,0
	Anos 2-7	86,5	676,6	-144,0
	Anos 3-8	53,4	827,8	-201,4
	Anos 4-9	126,8	905,6	-241,0
	Anos 5-10	128,0	958,8	-259,4
	Somente VPL Positivos	287,0	676,6	86,1

Figura 40. VPL resultante para cada método aplicado ao estudo

De posse dos resultados finais obtidos para o estudo de caso de retomada da pilha de Itabira, é possível determinar-se o Valor da Opção revelado por meio da análise por ROV. Conforme mencionado no decorrer do capítulo 2 deste trabalho, quando o conceito de opções é incorporado na avaliação de um projeto, o VPL final passa a ser o VPL estático acrescido do VPL das opções, ou seja:

$$\text{VPL TOTAL} = \text{VPL ESTÁTICO} + \text{VPL DAS OPÇÕES}$$

Dessa forma, a diferença entre o valor presente líquido obtido pelo método da árvore de decisões, o qual não abrange a flexibilidade presente no projeto (*time-to build option*), e o VPL determinado pelos métodos que integram os conceitos dados por ROV, reflete o VPL das

opções. A Figura 41 apresenta essa diferença nos resultados do estudo de caso da pilha de estoque analisada.

Método		Valor da Opção (Milhões R\$)		
		Perfil Equidistante	Perfil Otimista	Perfil Pessimista
Árvore Binomial de Cox et al		155,6	55,8	237,5
Cenários Simulados (P50-Mediana)	Anos 1-6	1,4	- 18,8	- 69,5
	Anos 2-7	- 25,9	164,4	- 71,5
	Anos 3-8	- 59,0	315,6	- 128,9
	Anos 4-9	14,5	393,4	- 168,5
	Anos 5-10	15,6	446,6	- 186,9
	Somente VPL Positivos	174,6	164,4	158,7

Figura 41. Valor da Opção incluído no projeto por cada método de ROV

Capítulo 7

7.1. Conclusões e Recomendações Futuras

7.1.1. Conclusões

As técnicas tradicionalmente utilizadas para a avaliação econômica de projetos baseiam-se em fatores tangíveis, não levando em consideração outros fatores que podem interferir consideravelmente nos resultados de retorno financeira para a empresa. Para ambientes de incerteza, como por exemplo o mercado da mineração, onde muitos parâmetros utilizados na avaliação podem sofrer variações ao longo da vida útil da mina, o uso dessas técnicas pode penalizar excessivamente os resultados, tornando-os até inviáveis.

A incorporação dos conceitos apresentados pela metodologia de Opções Reais aparece como uma maneira de possibilitar a avaliação de diferentes cenários que podem se desenhar no decorrer das atividades da mina. Dessa forma, agrega-se valor ao projeto pela inserção de flexibilidade gerencial, ou seja, a flexibilidade na tomada de decisões sobre as ações a serem seguidas a cada passo das operações.

A metodologia de ROV mostra-se um grande complemento à metodologia do DCF, trazendo maiores informações, e conseqüentemente, diminuindo os riscos que se referem aos resultados gerados no planejamento. A decisão sobre o caminho a percorrer num determinado momento passa a ser revista durante o projeto, e não mais deve seguir tão somente o plano inicial realizado na data zero. Conforme obtêm-se novas informações, ajustes nas resoluções são providenciados.

Conforme verificado no estudo de caso realizado, a avaliação das opções disponíveis para a realização das ações durante o desenvolver do projeto demonstrou a possibilidade de amplificação do retorno financeiro para a empresa. Fazendo-se uma análise do VPL obtido com o método da árvore de decisões (preço do Fe varia), obteve-se um resultado bastante elevado em relação aquele encontrado quando considera-se o uso do método tradicional (preço fixo).

Quando incorporada a metodologia de ROV, os resultados tornaram-se mais precisos, uma vez que as taxas aplicadas aos fluxos de caixa foram corrigidas (taxa de desconto e taxa de livre de risco).

A retomada do material da pilha de estoque analisada se mostrou viável em todos os métodos, conforme mostra a Figura 40. Embora para algumas verificações o VPL resultante seja negativo, para todas as metodologias há pelo menos um cenário em que o retorno é um valor positivo. Somente na aplicação do método da árvore de decisões ocorre uma situação de VPL negativo, no caso do perfil de probabilidade maior de queda do preço do ferro. Contudo, essa opção não precisa ser exercida, uma vez que nesta avaliação foi considerada a retomada do material em casos de queda do preço. No caso do VPL tornar-se negativo durante a operação, a retomada é interrompida, sendo reiniciada tão somente quando, e se, a venda do material originar fluxo de caixa positivo. Essa é a situação considerada para a verificação da árvore para VPLs somente positivos, corrigindo resultados que pudessem originar perdas para a empresa. Na ocorrência dessas paradas, o material permanece no estoque, não prejudicando os resultados.

As metodologias que consideraram somente valores presentes líquidos positivos, ou seja, que consideraram paradas em momentos de baixa do preço, apresentam um resultado final que ainda pode ser ampliado. No caso de haver crescimento do preço do ferro nos anos subsequentes, é possível a retomada deste material, agregando mais valor ao VPL final. Essa possibilidade, embora existente, não foi inserida nos resultados, o que mostra que, em caso de haverem variações positivas no mercado, o retorno financeiro pode tornar-se ainda mais favorável.

7.1.2. Recomendações Futuras

Como forma de inserir ainda mais certeza na análise da viabilidade de projetos, sugere-se a verificação da variação de novos parâmetros, e não somente o preço de venda do minério. Esses novos parâmetros podem ser verificados separadamente ou, se vistos de forma integrada, poderiam fornecer informações ainda mais precisas ao planejamento que contempla opções.

Utilizar novos programas que permitam essa avaliação de um número maior de variáveis e, além disso, ampliar o número de simulações realizadas. Quanto mais cenários forem simulados, maior se tornará a confiabilidade dos resultados.

A amplificação dos ramos na metodologia da árvore também possibilita uma visão mais apropriada dos cenários que podem surgir durante a vida útil do projeto. Quanto maior o número de verificações (ramos) maior será a informação obtida.

A metodologia utilizada neste trabalho para avaliar a retomada de uma pilha de estoque também poderia ser aplicada para o planejamento do material que deve ser estocado. Estuda-se os retornos financeiros gerados ;pelo armazenamento de materiais de diferentes teores e as suas probabilidades de ocorrência e define-se a melhor estratégia a ser tomada. A empresa pode escolher se aceita o risco para receber o prêmio (retorno) que pode ser gerado por esse investimento.

Referências bibliográficas

- AMRAM, M.; KULATILAKA, N. **Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World**. Harvard Business School Press, p. 246, 1999.
- BABINSKI, M.; CHEMALE JR., F.; VAN SCHMUS, W. R. **The Pb/Pb Age of the Minas Supergroup Carbonate Rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil**. *Precambrian Research*, v. 72, p. 235–245, 1995.
- BALDWIN, C. **The Capital Factor: Competing for Capital in a Global Environment**. *Midland Corporate Finance Journal*, v. 5, p. 43–64, 1987.
- BALDWIN, C.; CLARK, K. **Modularity and Real Options**. Boston.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5ª ed.
- BARBOSA, S. T. **Aplicação do Método “Fluxo de Caixa Descontado” para Cálculo do Valor Econômico de Empresas: uma análise a partir de dados da companhia Vale do Rio Doce**. *Faculdades Integradas “Antônio Eufrásio de Toledo”*, 2002.
- BASTIAN-PINTO, C.; BRANDÃO, L.; DE LEMOS ALVES, M. **Valuing the Switching Flexibility of the Ethanol-gas Flex Fuel Car**. *Annals of Operations Research*, v. 176, n. 1, p. 333–348, 2009.
- BASTIAN-PINTO, C.; BRANDÃO, L.; HAHN, W. J. **Flexibility as a source of value in the production of alternative fuels: The ethanol case**. *Energy Economics*, v. 31, n. 3, p. 411–422, 2009.
- BELL, G. **Valatile Exchange Rates and the Multinational Firm: Entry, Exit and Capacity Options**. In: L. TRIGEORGES. *Real Options in Capital Investment: New Contributions*. New York. p. 163–183.
- BERGER, P. G.; OFEK, E.; SWARY, I. **Investor Valuation of the Abandonment Option**. *Journal of Financial Economics*, v. 42, p. 257–287, 1996.
- BJERKSUND, P.; EKERN, S. **Managing Investment Opportunities under Price Uncertainty: from “last chance” to “wait and see” strategies**. *Financial Management*, v. 19, p. 65–83, 1990.
- BJERKSUND, P.; EKERN, S. **Contigent Claims Evaluation of Mean-Reverting Cash Flows in Shipping**. In: *Real Options in Capital Investment: New Contributions*. New York.
- BLACK, F.; SCHOLES, M. **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. *Journal of Political Economy*, v. 81, n. 3, p. 637–654, 1973.
- BOYLE, P. P. **Options: A Monte Carlo approach**. *Journal of Financial Economics*, v. 4, p. 323–338, 1977.
- BRANDÃO, L. E. T. **Uma Aplicação da Teoria das Opções Reais em Tempo Discreto para Avaliação de Uma Concessão Rodoviária no Brasil**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.
- BRENNAN, M. J.; SCHWARTZ, E. S. **Evaluating Natural Resource Investments**. *The Journal of Business*, v. 58, n. 2, p. 135–157, 1985.

CAMPOS, R. et al. **Valor Justo da Tractebel Energia : uma avaliação a partir dos principais modelos de precificação de ativos.** Revista de Ciências da Administração, v. 12, n. 26, p. 11–47, 2010.

CANDIDO, M. T. **Impacto de Diferentes Algoritmos e Geometria de Depósitos Minerais no Planejamento de Longo Prazo.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CARMO, F. A. R.; CURI, A.; SOUZA, W. T. **Otimização Econômica de Explorações a Céu Aberto.** Revista Escola de Minas, 2006.

CARVALHO, P. S. L. et al. **Minério de Ferro Insumos Básicos.**

CATERPILLAR®. Equipamentos para Mineração. Disponível em: https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/wheel-tractor-scrapers/open-bowl-scrapers/18576180.html

CHAVES, A. P. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios.** 3ª ed. São Paulo: Signus, 2006.

CHAVES, A. P.; FERREIRA, F. M. **Apostila Estocagem e Homogeneização.** São Paulo, 1996.

COPELAND, T.; KOLLER, T.; MURRIN, J. **Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies.** 4ª ed. McKinsey & Company Inc., 2005.

COPELAND, T.; WESTON, J. F. A Note on the Evaluation of Cancellable Operating Leases. **Financial Management**, v. 11, p. 60–67, 1982.

CORREA, H. L. **Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II/ERP, conceitos, uso e implantação.** São Paulo: Atlas, 2000.

CORTAZAR, G.; SCHWARTZ, E. S.; SALINAS, M. **Evaluating Environmental Investments: A real options approach.** Management Science, v. 44, n. 8, p. 1059–1070, 1998.

COX, J.; ROSS, S.; RUBINSTEIN, M. **Option Pricing: A simplified approach.** Journal of Financial Economics, v. 7, n. 3, p. 229–263, 1979.

CURI, A. **Projeto de Mineração- trabalho de compilação de textos.**

DAVID, M. .; DOWD, P.; KOROBOV, S. **Forecasting departure from planning in open pit design and grade control.** Annals - APCOM.. Golden, USA: 1974

DE CARLI, C. **Análise de Projetos Limite: Lavra a Céu Aberto X Lavra Subterrânea.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

DIXIT, A.; PINDYCK, R. **A New View of Investment.** In: Investment Under Uncertainty. New Jersey: Princeton University Press, 1994. p. 1–17.

DIXIT, A.; PINDYCK, R. **The Options Approach to Capital Investment.** Harvard Business Review, p. 105–115, 1995.

FISCHER, J. F. **Method for Making a Cone for a Rock Bit and Product.** Newport Beach, CA, 1981.

GAMBA, A. **Real Options Valuation: a Monte Carlo approach.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228289701_Real_Options_Valuation_A_Monte_Carlo_Approach>.

GERSTEL, A. W. **Bed Blending Theory.** In: Stacking, Blending and Reclaiming of Bulk Materials. Clausthal-Zellerfeld: Trans Tech Publications, 1977. p. 321–441.

GOUVÊA, L. S. S. **Avaliação de Empresas pelo Método do Fluxo de Caixa Descontado: o caso da JBS**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://revistas.face.ufmg.br/index.php/contabilidadevistaerevista/article/view/2507>>.

GRENADIER, S. R. Valuing Lease Contracts: A real-options approach. **Journal of Financial Economics**, v. 38, n. 3, p. 297–331, 1995.

GRENADIER, S. R. **The Strategic Exercise of Options: Development Cascades and Overbuilding in Real State Markets**. *Journal of Finance*, v. 51, p. 1653–1679, 1996.

GRENADIER, S.; WEISS, A. Investment in Technological Innovations: An option pricing approach. **Journal of Financial Economics**, v. 44, p. 397–416, 1997.

GUARANY, C. A. L. B. et al. Principais Métodos de Estocagem de Minério de Ferro: Uma Abordagem Teórica. **Perspectivas Online: Ciências exatas e engenharia**, v. 3 (6), p. 42–55, 2013.

GUZZELLI, S. R. **Análise de Custos de Perfuração e Desmonte em Mina de Ferro**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

HALATCHEV, R. **Company Strategy – A Basis for Production Scheduling of an Open Pit Complex**: Whittle – Strategic Mining Planning. **Anais**. Perth: GE, 1999

HENDRICKS, D. **Optimal Policy Responses to an Uncertain Threat: The Case of Global Warming**. 1991.

HIRAKI, T. Corporate Governance, Long-Term Investment Orientation, and Real Options in Japan. In: TRIGEORGES, L. (Ed.). **Real Options in Capital Investment: New Contributions**. New York. p. 151–161.

HOEFS, J.; MULLER, G.; SCHUSTER, A. K. Polymetamorphic Relations in Iron Ores from the Iron Quadrangle, Brazil: the correlation of oxygen isotope variations with deformational history. **Contributions of Mineralogy and Petrology**, v. 79, p. 241–251, 1982.

HULL, J. **Options, futures and other derivatives**. 7^a. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2009.

HUSTRULID, W.; KUTCHA, M. **Open Pit Mine Planning and Design**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1995.

INDEX MUNDI. Preço das Mercadorias- Minério de Ferro. Disponível em <<https://www.indexmundi.com/pt/pre%C3%A7os-de-mercado/?mercadoria=min%C3%A9rio-de-ferro&meses=60>>.

JOURNEL, A. G. Geostatistics for Conditional Simulation of Ore Bodies. **Economic Geology**, v. 69, n. 5, p. 673–687, 1974.

JULIÁ, A. F. **Dimensionamento de um Sistema Integrado Pátio-Porto na Cadeia do Minério de Ferro**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

KALLBERG, G.; LAURIN, P. **Real Options in R&D Capital Budgeting - A Case Study at Pharmacia & Upjohn**. 1997.

KAMRAD, B.; ERNST, R. Multiproduct Manufacturing with Stochastic Input Prices and Output Yield Uncertainty. In: TRIGEORGES, L. (Ed.). **Real Options in Capital Investment: New Contributions**. New York.

KEMNA, A. G. Z. Case Studies on Real Options. **Financial Management**, v. 22, p. 259–270, 1993.

KESTER, W. C. Today's Options for Tomorrow's Growth. **Harvard Business Review**, v. 62, p. 153–160, 1984.

KOGUT, B.; KULATILAKA, N. Operating Flexibility, Global Manufacturing, and the Option Value of a Multinational Network. **Management Science**, v. 40, n. 1, p. 123–139, 1994.

KOLBE, A. L.; MORRIS, P. A.; TEISBERG, E. O. When Choosing R&D Projects, Go with Long Shots. **Research - Technology Management**, p. 35–40, 1991.

KULATILAKA, N. Valuing the Flexibility of Flexible Manufacturing Systems. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 35, n. 4, p. 250–257, 1988.

KULATILAKA, N. The Value of Flexibility: The case of a dual-fuel industrial steam boiler. **Financial Management**, v. 22, n. 3, p. 271–280, 1993.

KULATILAKA, N.; TRIGEORGIS, L. The General Flexibility to Switch: Real Options Revised. **International Journal of Finance**, v. 6, p. 778–798, 1994.

LANE, K. F. Choosing the Optimum Cut Off Grade. Colorado School of Mines, 1964. p. 811–829.

LANE, K. F. **The Economic Definition of Ore**. London: Mining Journal Books, 1988.

LAUGHTON, D. G.; JACOBY, H. D. Reversion Timing Options and Long-Term Decision-Making. **Financial Management**, v. 22, p. 225–240, 1993.

LEAL FILHO, L. S. **Pesquisa de Metodologias de Monitoramento de Efluentes de Usinas de Tratamento de Minérios**. São Paulo.

LEE, W.; MARTIN, J.; SENCHACK, A. The Case for Using Options to Evaluate Salvage Values in Financial Leases. **Financial Management**, v. 11, p. 33–41, 1982.

LEMIEUX, M. **Moving cone optimizing algorithm in computer methods for 80s** Society of Mining Engineers. **Anais...** New York: AIME, 1979

LERCHS, H.; GROSSMANN, L. F. Optimum Design of Open Pit Mines. **CIM Bulletin**, v. 58, p. 47–54, 1965.

LIMA, M. V. A. DE et al. Avaliação de Micro e Pequenas Empresas Utilizando a Metodologia Multicritério e o Método do Fluxo de Caixa Descontado. **Revista de Ciências da Administração**, v. 12, n. 26, p. 48–71, 2010.

LUEHRMAN, T. Strategy as a Portfolio of Real Options. **Harvard Business Review**, v. 76, p. 89–99, 1998.

MACHADO, M. et al. U-Pb Geochronology of Archean Magmatism and Proterozoic Metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, Southern São Francisco Cráton, Brazil. **Geological Society of America Bulletin**, v. 104, p. 1221–1227, 1992.

MACHADO, M.; NOCE, C. M. **A Evolução do Setor Sul do Cráton do São Francisco entre 3,1 a 0,5 Ga Baseada em Geocronologia U-Pb** Simpósio sobre o Cráton do São Francisco, 2. **Anais...** Salvador: SGB-BA, 1993

MARTINS, A. S.; OLIVEIRA, D. DE L. Reconhecimento Contábil da Degeneração de Ativos Biológicos para a Produção no Cultivo de Árvores Frutíferas. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 11, n. 22, p. 73, 2014.

MARTINS, E. **Contabilidade de Custos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2005.

- MASON, S. P.; BALDWIN, C. Evaluation of Government Subsidies to Large-Scale Energy Projects: A Contingent Claims Approach. **Advances in Futures and Options Research**, v. 3, p. 169–181, 1988.
- MAUBOUSSIN, M. J. Using Options in Security Analysis. **Frontiers of Finance**, v. 10, p. 2–30, 1999.
- MAYBEE, B.; LOWEN, S.; DUNN, P. Risk-based Decision Making within Strategic Mine Planning. **International Journal of Mining and Mineral Engineering**, v. 2, n. 1, p. 44–58, 2010.
- MCCONNELL, J. J.; SCHALLHEIM, J. S. Valuation of Asset Leasing Contracts. **Journal of Financial Economics**, v. 12, p. 237–261, 1983.
- MCLAUGHLIN, R.; TAGGART, R. The Opportunity Cost of Using Excess Capacity. **Financial Management**, v. 21, p. 12–23, 1992.
- MYERS, S. C. Determinants of corporate borrowing. **Journal of Financial Economics**, v. 5, n. 2, p. 147–175, 1977.
- NOBLE, A. C. Geologic resources vs. ore reserves. In: **SME Mining Engineering Handbook**. [s.l.] Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 1993.
- OLIVEIRA, L. M.; PEREZ JR, J. H. **Contabilidade de Custos: para não contadores**. São Paulo: Atlas, 2000.
- PADDOCK, J. L.; SIEGEL, D. R.; SMITH, J. L. Option Valuation of Claims on Real Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 103, n. 3, p. 479–508, 1988.
- PANA, M. T.; CARLSON, T. R. **Description of a computer technique used in mine planning of the Utah mine of Kennecott Copper Corp.** 6th APCOM. Anais...1966
- PERONI, R. L. **Lavra a Céu Aberto- Teoria e Prática**. Porto Alegre Universidade Federal do Rio Grande do Sul, , 2008.
- PINDYCK, R. Irreversible Investment, Capacity Choice, and the Value of the Firm. **American Economic Review**, v. 78, n. June, p. 969–985, 1988.
- QUIGG, L. Empirical Testing of Real Option-Pricing Models. **Journal of Finance**, v. 48, n. 2, p. 621–640, 1993.
- QUIGG, L. Optimal Land Development. In: TRIGEORGES, L. (Ed.). **Real Options in Capital Investment: New Contributions**. New York. 1994.
- RAPHAEL, R. A. **Uma Aplicação da Teoria de Opções Reais na Avaliação Econômico-Financeira de Projetos e Análise das Flexibilidades Operacionais na Indústria de Alumínio**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2010.
- RENDU, J. M. **An Introduction to Cut-off Grade Estimation**. Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2008.
- RIGOLON, F. J. Z. Opções Reais e Análise de Projetos. **Textos para discussão**, n. 66, p. 41, 1999.
- ROSIÈRE, C. A.; CHEMALE JR., F. Itabiritos e Minérios de Ferro de Alto Teor do Quadrilátero Ferrífero - Uma visão geral e discussão. **Geonomos**, v. 8, n. 2, p. 27–43, 2013.
- ROZMAN, L. I. **Measuring and Managing the Risk in Resources and Reserves Towards 2000- Ore Reserves and Finance**. Sydney.
- SAHLMAN, W. Aspects of Financial Contracting in Venture Capital. **Journal of**

Applied Corporate Finance, v. 1, p. 23–36, 1988.

SANTOS, E. M.; PAMPLONA, E. O. **Captando o Valor da Flexibilidade Gerencial através da Teoria das Opções Reais**. Departamento de Engenharia de Produção da Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá, 2010.

SAYADI, A.; HEIDARI, S.; SAYDAM, S. Study of Key Factors in Geometrical and Grade Modelling of Copper Porphyry Deposits. **International Journal of Mining and Mineral Engineering**, v. 2, n. 1, p. 59–77, 2010.

SCHELLMAN, M. G. **Determination of an Optimal Cutoff Grade Policy Considering the Stockpile Alternative**. [s.l.] Colorado School of Mines, 1989.

SCHOFIELD, C. J. **Homogenization/Blending Systems Design and Control for Minerals Processing: with Fortran Programs**. Trans Tech Publications. Clausthal-Zellerfeld, 1980.

SCHORSCHER, H. D. et al. **Quadrilátero Ferrífero- Minas Gerais State: Rio das Velhas Greenstone Belt and Proterozoic Rocks** Salvador ISAP, , 1982.

SILVA, P. A. C. **Programação Linear na Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de Projeto Multimina**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

SLADE, M. E. Valuing Managerial Flexibility: An application of real option theory to mining investments. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 41, p. 193–233, 2001.

SMIT, H. T. J.; ANKUM, L. A. A Real Options and Game-Theoretic Approach to Corporate Investment Strategy under Competition. **Financial Management**, v. 22, p. 241–250, 1993.

SMIT, H. T. J.; TRIGEORGES, L. **Strategic Investment: Real Options and Games**. Princeton: Princeton University Press, 2004.

SMITH, J. E.; MCCARDLE, K. F. Options in the Real World: Lessons Learned in Evaluating Oil and Gas Investments. **Operations Research**, v. 47, n. 1, p. 1–15, 1999.

SMITH, K. W.; TRIANTIS, A. The Value of Options in Strategic Acquisitions. In: TRIGEORGES, L. (Ed.). **Real Options in Capital Investment: New Contributions**. New York. p. 135–150.

SOBREIRO, V. A. **Proposta de uma Heurística Construtiva Baseada na Teoria das Restrições para Definição de Mix de Produção**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2012.

STEIGER, F. The Validity of Company Valuation Using Discounted Cash Flow Methods. **Seminar Paper**, p. 25, 2008.

TEISBERG, E. An Option Valuation Analysis of Investment Choices by a Regulated Firm. **Management Science**, v. 40, p. 535–548, 1994.

TEIXEIRA, W.; FIGUEIREDO, M. C. H. An Outline of Early Proterozoic Crustal Evolution in the São Francisco Craton, Brazil: a review. **Precambrian Research**, v. 53, p. 1–22, 1991.

TEIXEIRA, W.; SILVA, F. C. **A Evolução Tectonotermal Proterozóica do Cráton do São Francisco, com Base em Interpretações Geocronológicas K-Ar** Simpósio sobre o Cráton do São Francisco, 2. **Anais...** Salvador: SBG, 1993

TITMAN, S. Urban Land Prices Under Uncertainty. **American Economic Review**, v. 75, p. 505–514, 1985.

TRIANSTIS, A. J.; HODDER, J. E. Valuing Flexibility as a Complex Option. **Journal**

of Finance, v. 45, n. 2, p. 549–565, 1990.

TRIGEORGES, L. A Real Options Application in Natural Resources Investments. **Advances in Futures and Options Research**, v. 4, p. 153–164, 1990.

TRIGEORGIS, L. Evaluating Leases with Complex Operating Options. **European Journal of Operational Research**, v. 91, p. 315–329, 1996.

WILLIAMS, J. T. Real Estate Development as an Option. **The Journal of Real Estate Finance and Economics**, v. 4, p. 191–208, 1991.

WILLNER, R. Valuing Start-up Venture Growth Options. In: TRIGEORGES, L. (Ed.). **Real Options in Capital Investment: New Contributions**. New York.

ZDANOWICZ, J. E.; BAGGIO, D. K.; BATISTA, G. **Valuation Aplicado ao Setor de Educação de Ensino Superior por Fluxo de Caixa Descontado**. Florianópolis.