

unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

BRUNO MESQUITA PARREIRAL

**TEORIA DE OPÇÕES REAIS APLICADA À DECISÃO DE EXPANSÃO DE UMA
INDÚSTRIA SIDERÚRGICA.**

Guaratinguetá

2016

BRUNO MESQUITA PARREIRAL

TEORIA DE OPÇÕES REAIS APLICADA À DECISÃO DE EXPANSÃO DE
UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira

Guaratinguetá

2016

P258t	<p>Parreiral, Bruno Mesquita</p> <p>Teoria de opções reais aplicada à decisão de expansão de uma indústria siderúrgica / Bruno Mesquita Parreiral – Guaratinguetá, 2016. 34 f : il. Bibliografia: f. 34</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira</p> <p>1. Monte Carlo – método de. 2. Viabilidade econômica. 3. Indústria Siderúrgica. I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 519.245</p>
-------	--

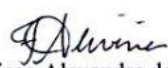
BRUNO MESQUITA PARREIRAL

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr.  Sampaio Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. José Roberto Dale Luche
UNESP-FEG


Prof. Dr. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas
UNESP-FEG

Outubro de 2016

DADOS CURRICULARES

BRUNO MESQUITA PARREIRAL

NASCIMENTO	07.11.1989 – JUIZ DE FORA / MG
FILIAÇÃO	José Rubens Parreiral Suely Quinelato Mesquita Parreiral
2009/2016	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista

dedico este trabalho aos meus pais, *Suely* e *Rubens*, por me apoiarem e estarem sempre presentes e participativos em cada etapa da minha vida; à minha companheira e melhor amiga *Larissa*, que nunca me deixou desistir e esteve o tempo todo ao meu lado; e à minha segunda família, os amigos da *República Intrometemos*, que me trouxeram aprendizados e experiências que levarei para toda a vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, por serem grandes responsáveis por quem eu sou hoje. Entre a minha família, agradeço principalmente aos meus pais, por me darem todo o suporte que precisei para conquistar os meus sonhos e por todas as lições de vida que ainda aprendo com eles;

à *Larissa*, por trilhar praticamente todo o árduo caminho da universidade ao meu lado, me incentivando e dando força para não desistir nos momentos difíceis; por toda a paciência que tem comigo e por me ajudar a superar os desafios do dia a dia;

aos amigos de faculdade, principalmente os da *República Intrometemos* que foram parte fundamental do início ao fim do período acadêmico. Durante os anos de faculdade foi com eles a minha maior convivência, onde passei a maior parte do tempo livre, onde dei muitas risadas mesmo depois de ter ido mal em alguma prova e onde eu aprendi a lidar com muitas das responsabilidades da vida, onde eu pude aprender valores importantes, conquistei boas amizades e tive a oportunidade de conviver com pessoas incríveis.

Agradeço ao meu orientador, *Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira*, por me auxiliar nas dificuldades desta dissertação e se mostrar prestativo mesmo à distância, através de e-mails e telefonemas, a fim de me fornecer excelente orientação;

à todos os professores, mestres e doutores que fizeram parte da minha trajetória, direta ou indiretamente, desde os primeiros dias de escola até a universidade. Tenho plena consciência de que através deles não só eu, mas muitas outras pessoas se formam e são capazes de se tornar pessoas melhores;

àqueles professores que tornaram, de alguma forma, meu caminho um pouco mais difícil e colocaram algumas pedras ali, porque todas as dificuldades e desafios que passei também foram muito importantes para que cada superação e vitória fosse mais valorizada e para que eu me esforçasse ainda mais em busca dos meus sonhos e objetivos, com determinação e foco.

PARREIRAL, B. M. **Teoria de Opções Reais aplicada à decisão de expansão de uma indústria siderúrgica.** 2016. 34f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é ilustrar as características da análise de investimento por meio de Opções Reais, aplicada a uma indústria siderúrgica, de forma a evidenciar suas vantagens perante métodos usuais de análise financeira. Tal indústria busca uma expansão e a análise por opções reais elucida a viabilidade do projeto. Baseado em dados fornecidos pela empresa, é feito um fluxo de caixa contendo a previsão de preço dos produtos, de posse dessas informações são feitas simulações de Monte Carlo e de Hipercubo Latino utilizando o *software Crystal Ball®* aliado ao *Excel*, afim de atingir um objetivo secundário do presente trabalho, a comparação entre os dois tipos de análise. Posteriormente é feita a modelagem das incertezas, o cálculo da volatilidade, seguido da construção das árvores de eventos e de decisão pelo método binomial, o que irá fornecer a conclusão final sobre a viabilidade do projeto de expansão industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Opções Reais. Simulação de Monte Carlo. Hipercubo Latino.

PARREIRAL, B. M. **Real Options Theory applied to an expansion decision of a steel industry.** 2016. 34p. Graduation Work (Graduation in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ABSTRACT

The purpose of this work is to illustrate the characteristics of investment analysis through Real Options method, applied to a steel industry, in a way to evidence its advantages before usual methods of investment analysis. Such industry aims an expansion and the analysis by Real Options elucidates the viability of the project. Based on data provided by the company, it is made a cash flow containing price forecast of the products, with this information Monte Carlo and Latin Hypercube simulations are made using the *software Crystal Ball®* associated with *Excel*, in order to achieve a secondary goal of this study, the comparison between the two types of analysis. Posteriorly the uncertainties modeling is made, the volatility calculation, followed by the construction of the events and decisions trees using the binomial method, which will provide the final conclusion about the viability of the industrial expansion project.

KEYWORDS: Real Options. Monte Carlo simulation. Latin Hypercube.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de árvore binomial para 3 períodos	19
Figura 2: Resultado da Simulação de Monte Carlo para o VPL.	24
Figura 3: Resultado da Simulação de Monte Carlo para o fator Z.	24
Figura 4: Resultado da SHL para o VPL.	25
Figura 5: Resultado da SHL para o fator Z.	26
Figura 6: Árvore de Decisões - SMC.	31
Figura 7: Árvore de Decisões - SHL.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produtos e Quantidades Produzidas.	20
Tabela 2: Dados para a SMC e SHL.....	22
Tabela 3: Dados para árvore de eventos SMC.	28
Tabela 4: Dados para árvore de eventos SHL.	28
Tabela 5: Árvore de Eventos SMC.....	28
Tabela 6: Árvore de Eventos SHL.....	28
Tabela 7: Resultados obtidos para a construção da árvore de decisão com SMC.....	30
Tabela 8: Resultados obtidos para a construção da árvore de decisão com SHL.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FCD – *Fluxo de Caixa Descontado*

SELIC – *Sistema Especial de Liquidação e Custódia*

SMC – *Simulação de Monte Carlo*

SHL – *Simulação por Hipercubo Latino*

TIR – *Taxa Interna de Retorno*

TMA – *Taxa Mínima de Atratividade*

TOR – *Teoria de Opções Reais*

VAUE – *Valor Anual Uniforme Equivalente*

VPL – *Valor Presente Líquido*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.2	JUSTIFICATIVAS	13
1.3	MÉTODO DE PESQUISA.....	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	TEORIA DE OPÇÕES REAIS	16
2.1	PARALELO COM OUTRAS OPÇÕES FINANCEIRAS	16
2.2	TIPOS DE OPÇÕES	17
2.3	MÉTODOS DE PRECIFICAÇÃO.....	18
3	COLETA DE DADOS E MONTAGEM DO FLUXO DE CAIXA	20
3.1	MONTAGEM DO FLUXO DE CAIXA	20
4	APLICAÇÃO DA TEORIA DE OPÇÕES REAIS	23
4.1	ETAPAS DE UMA ANÁLISE POR OPÇÕES PELO MÉTODO BINOMIAL	23
4.1.1	SMC e SHL	23
4.1.2	Modelagem das incertezas.....	26
4.1.3	Determinação da Volatilidade	26
4.1.4	Montagem da Árvore de Eventos	27
4.1.5	Análise dos Resultados.....	32
5	CONCLUSÃO	33
5.1	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1 INTRODUÇÃO

A principal função de uma análise de viabilidade econômica é auxiliar o gerente de uma empresa, um administrador ou um investidor a tomar uma decisão de empreender ou não uma ação de investimento, buscando aumentar ou gerar lucros para a empresa em um momento futuro.

O método de análise de investimentos tradicional baseia seus resultados em uma conta simples, do ponto de vista qualitativo. Se o valor obtido no final do financiamento for maior do que aquilo que se investiu inicialmente, levando em conta os gastos envolvidos, então a aplicação é viável e lucrativa. Da mesma forma, se o resultado retornar um valor negativo, então o investimento não vale a pena. Quantitativamente, tais métodos utilizam valores como VPL, TIR e *Payback* a fim de determinar o valor de retorno obtido com a aplicação:

- O VPL é justamente o cálculo feito do valor presente do fluxo de caixa subtraído dos gastos feitos com a aplicação, levando em conta o valor do dinheiro no tempo.
- A TIR é a taxa que busca igualar o VPL de um projeto a zero.
- *Payback* significa o tempo necessário para se obter o retorno desejado após o investimento.

A utilização dos parâmetros citados anteriormente nos leva a uma avaliação muitas vezes imprecisa do projeto, pois tratam-se de medidas estáticas e não consideram possíveis incertezas e variáveis durante o *payback*, deixando lacunas na análise. Em um mercado muito volátil, como geralmente é, uma análise feita apenas baseada em valores estáticos nos leva a conclusões precipitadas. Além disso, não dá margens ao investidor ou gerente para desistir de um projeto que inicialmente se mostrava promissor, mas que ao longo do tempo tornou-se inviável, ou para ampliar ou permanecer por mais tempo num projeto que se revelou melhor do que o esperado.

A Teoria de Opções Reais (TOR) não descarta os parâmetros de análise tradicional de investimentos, mas busca complementá-los, preenchendo as lacunas existentes e tornando a interpretação mais precisa e eficiente. Trata-se, portanto, de um VPL expandido, que é o VPL estático (tradicional) somado do valor das opções reais (COPELAND; ANTIKAROV, 2001). Ao utilizar a TOR, obtém-se uma flexibilidade gerencial consideravelmente maior, além de mais liberdade e segurança no investimento.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo ilustrar a aplicação da TOR em um projeto de expansão industrial de uma empresa de siderurgia, evidenciando suas vantagens frente a métodos tradicionais de análise de viabilidade econômica.

Como um objetivo secundário, é possível também mostrar que a simulação feita pelo método de Hipercubo Latino leva vantagem em diversos aspectos frente a simulação de Monte Carlo quando se trata de análise de investimento por Opções Reais

1.2 JUSTIFICATIVAS

O professor de finanças na Universidade Cristã do Texas, Stanley Block, publicou em 2007 um artigo na revista *The Engineering Economist*, com o título “*Are ‘Real Options’ Actually Used In The Real World?*” (As Opções Reais são Realmente Utilizadas no Mundo Real?), no qual é ilustrado um estudo para descobrir o quanto as empresas tem utilizado as Opções Reais como método de análise de investimentos.

Neste estudo, 279 empresas responderam à pesquisa. Destas, apenas 40 estavam utilizando opções reais (14,3%), mas apesar da baixa porcentagem Block (2007) afirma que é um número que vem crescendo.

No artigo “*Improved capital budgeting decision making: Evidence from Canada*” (Tomada de decisão aprimorada de capital orçamentário: Evidencia do Canadá), publicado por Bennouna, Meredith e Marchant (2012) foi exposta outra pesquisa do mesmo gênero, com a finalidade de verificar os métodos de análise de investimentos usado em 88 empresas do Canadá. O resultado desta pesquisa mostrou que apenas 8 por cento destas empresas utilizavam Opções Reais, evidenciando a baixa aderência a este tipo de metodologia não só nos Estados Unidos.

Segundo Bennouna, Meredith e Marchant (2012), os resultados foram surpreendentemente baixos levando em consideração a recente e extensa cobertura sobre a teoria de opções reais na literatura.

A importância destes estudos vem da possibilidade de se avaliar como as opções reais estão sendo utilizadas e porque muitas empresas ainda resistem.

Embora a porcentagem de empresas que utilizam opções reais seja pequena, Monteiro (2014) lembra que a ferramenta mais utilizada atualmente, de fluxo de caixa descontado (FCD),

levou quase cinquenta anos para ser adotada. Monteiro (2014) cita um estudo similar realizado por Klammer (1972), mostrando que em 1959 apenas 19% das empresas utilizavam o FCD.

As principais razões citadas na pesquisa de Block (2007) pelas empresas que não utilizam as opções reais foram falta de apoio da alta gerência (42,7%), fluxo de caixa descontado é um método comprovado (25,6%), requer muita sofisticação (19,5%) e estimula alta admissão de risco (12,2%). Tais dados são muito relevantes, pois irão permitir que novos estudos, incluindo este trabalho, mostrem as vantagens e peculiaridades da utilização das opções reais sobre métodos já comprovados e conhecidos e que obtenha maior apoio da gerência das empresas.

O uso da TOR na avaliação de investimentos consegue, de maneira rápida e efetiva, melhorar as ações de uma empresa. O método auxilia a mesma na obtenção de lucros ou evitando prejuízos consideráveis provenientes da falta de informações ao se utilizar métodos tradicionais de análise econômica.

O objetivo final de qualquer empresa de um sistema capitalista é a obtenção de lucro, com a menor perda possível de recursos e capital. Sendo o investimento por TOR um método barato e notavelmente eficiente, como será evidenciado, o mesmo se mostra a ferramenta ideal para análise de viabilidade econômica.

Um outro elemento curioso mostrado no artigo de Block (2007) foi o fato de que a maioria das empresas que utilizam opções reais são indústrias que exigem uma análise de investimento mais sofisticada, como as de tecnologia, energia, utilitários e outras de segmentos similares. Isto porque tais empresas costumam ter um conhecimento mais voltado para a engenharia ou tecnologia e, portanto, engenheiros e cientistas preferem basear suas decisões em análises matemáticas, enquanto chefes de contabilidade ou até mesmo um MBA, mais presentes em empresas de outros segmentos, tendem a não ser muito favoráveis a tomar decisões apenas baseadas em números, uma vez que possuem um maior poder de percepção para tomada de decisões.

Tais fatos mostram que muitos dos motivos pelos quais as empresas ainda resistem na utilização da TOR podem ser revertidos através de trabalhos e publicações que elucidem os benefícios e simplicidade desta teoria, afim de que mais indústrias apliquem este método e obtenham maior lucro e crescimento.

Para Bennouna, Meredith e Marchant (2012), uma ênfase maior em treinamento e prática do método da TOR poderiam posteriormente melhorar a tomada de decisão na análise de investimentos.

1.3 MÉTODO DE PESQUISA

O trabalho foi desenvolvido através de simulações computacionais, uma vez que o objetivo é aplicar um método que avalia resultados futuros.

Para a aplicação das simulações, é utilizado um sistema contínuo, visto que as variáveis mudam com o tempo e o modelo utilizado será estocástico seguindo uma distribuição normal da simulação de Monte Carlo e da simulação de Hipercubo Latino. A simulação é classificada como terminante, pois a árvore de eventos será construída para um período pré-determinado de dois anos.

Para a efetiva aplicação da Teoria de Opções Reais, foi escolhido o modelo binomial, por ser muito mais simples em termos matemáticos e de compreensão e será exemplificado e discutido posteriormente neste trabalho.

As etapas utilizadas nesta metodologia foram:

- Coleta de dados sobre a indústria siderúrgica e montagem do fluxo de caixa;
- Determinação do Valor Presente Líquido;
- Modelagem das incertezas através das simulações de Monte Carlo e Hipercubo Latino;
- Determinação da Volatilidade;
- Montagem das Árvores de Eventos e de Decisões para cada simulação;
- Análise dos resultados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é estruturado da seguinte maneira:

Capítulo 2: Uma breve explicação teórica sobre a TOR, abordando os tipos de opções, métodos de precificação e um paralelo com outras opções financeiras.

Capítulo 3: É exposta a obtenção de dados para o presente trabalho, assim como algumas considerações feitas e a montagem do fluxo de caixa.

Capítulo 4: Efetiva aplicação da TOR, descrevendo e ilustrando cada etapa da análise. São mostradas as simulações por Monte Carlo e Hipercubo Latino, a modelagem de incertezas, determinação da volatilidade, montagem das árvores de eventos e de decisões e por fim a análise dos resultados.

Capítulo 5: Dedicado às conclusões e sugestões para futuras pesquisas.

2 TEORIA DE OPÇÕES REAIS

Segundo Noronha (2012), a Teoria de Opções Reais é uma ferramenta para avaliação de ativos reais, como projetos de investimentos, considerando flexibilidades gerenciais e operacionais ao longo da vida útil do projeto. Noronha (2012) afirma também que devido à sua característica dinâmica, diferentemente de técnicas tradicionais como VPL, a TOR conduz a resultados mais realistas.

A TOR é enfaticamente definida como o direito, e não a obrigação, de se empreender uma ação, geralmente em uma empresa. Tal ação pode ser de diferir, contrair, expandir ou abandonar um projeto ou investimento, a um custo e a um tempo pré-determinados.

O custo da opção é chamado de preço de exercício e o momento em que o detentor da opção poderá aplicá-la irá depender do tipo de opção que ele possui. Caso seja uma opção americana, pode-se executar o procedimento em qualquer momento do projeto até a data limite de vencimento. Para uma opção europeia, a utilização ou não da opção só poderá ocorrer na data de vencimento. A decisão de se executar ou não cabe ao próprio possuidor da opção.

Segundo Copeland e Antikarov (2001), a Teoria de Opções Reais é focada na incerteza, não como uma fonte de risco, mas como uma oportunidade de criar valor.

2.1 PARALELO COM OUTRAS OPÇÕES FINANCEIRAS

Além da análise financeira por opções reais, existem também outros métodos como os tradicionais de FCD, já citados na introdução do presente trabalho, que também utilizam o VPL, TIR e *Payback* mas possuem pouca ou nenhuma flexibilidade e liberdade para o investidor.

Existem variadas diferenças entre opções financeiras tradicionais e opções reais, evidenciadas por Mellis (1999) em sua dissertação de mestrado em Administração, tais como:

- Longevidade das opções reais, que podem ser perpétuas enquanto métodos tradicionais costumam durar menos de um ano;
- Como os métodos financeiros de investimento tradicionais tem um prazo mais curto, o custo de não exercer a opção antes do vencimento torna-se menos crítico em relação às opções reais.
- Ao contrário das opções reais, que dependem da estrutura de mercado e em mercados competitivos a empresa não será a única a ter oportunidade de investimento, nas opções financeiras clássicas há exclusividade do investidor;

- Divergentemente das opções financeiras, opções reais não ficam restritas a um ativo-objeto e um preço de exercício, podendo ser compostas, combinando opção de expansão com opção de esperar ou de contratação.

Além dos métodos tradicionais como o FCD e da TOR, existem também outros como o método do Payback, e o método do Valor Anual Uniforme Equivalente, ou VAUE, que tem a vantagem de não ser necessário que o fluxo de caixa se prolongue por vários meses até um valor comum de investimento para poder compará-los. Tais métodos fogem do escopo deste trabalho e, portanto, não serão abordados.

2.2 TIPOS DE OPÇÕES

As opções reais são divididas em três categorias principais:

- Opção de Espera (Ou timing): Esta opção se aplica quando o gerente decide adiar o projeto, por não possuir informações suficientes para realizar o investimento ou quando o mercado não é favorável naquele momento, sendo mais prudente aguardar até uma estabilização ou melhoria da economia para, então, investir.
- Opção de Abandono: Normalmente ocorre quando já existe um projeto em andamento ou em espera. É geralmente utilizada quando o investimento deixa de ser atrativo, podendo gerar algum prejuízo futuro para a empresa.
- Opção de Expansão: É uma opção de crescimento, seja este físico, de produção ou financeiro e é muito comum em projetos piloto. Possui grande utilidade prática, uma vez que consegue viabilizar projetos considerados desfavoráveis, por apresentarem VPL negativo, em análises tradicionais. Isso ocorre porque através da opção de expansão o investidor pode investir uma pequena quantia inicial, que servirá como teste, e observar o comportamento do mercado e da economia. Caso o mercado se mostre favorável, o detentor da opção pode realizar um investimento um pouco maior e ir aumentando até um valor considerado aceitável e que ainda apresente ganhos futuros. Para o oposto, com o mercado adverso, o investidor pode optar por não continuar com o projeto tendo uma perda consideravelmente menor do que se tivesse realizado apenas um único investimento maior.

2.3 MÉTODOS DE PRECIFICAÇÃO

Existem basicamente duas formas de se chegar a um valor da opção real, conhecidas como métodos de precificação. Os dois métodos são imprescindíveis para que a TOR seja desenvolvida e para se chegar a uma conclusão com relação a viabilidade ou não do investimento.

O primeiro método trata-se da abordagem de Black & Scholes (1973), desenvolvido por Fischer Black e Myron Scholes, a qual foi definida em tempo contínuo e, portanto, é voltada para uma análise de opção de compra europeia. Segundo Noronha (2012), o modelo pioneiro desenvolvido por Black & Scholes (1973) para a avaliação de opções financeiras foi o que serviu de base para a ideia de incorporar métodos de precificação de opções ao problema de investimentos reais sob incerteza. A desvantagem deste procedimento, frente ao método binomial, é o fato de apresentar o preço final da opção, mas não sua trajetória, o que pode reduzir a precisão da análise. Segundo o estudo realizado por Blocks (2007), já citado neste trabalho, entre as 40 empresas que utilizam opções reais, apenas uma utiliza o método de Black & Scholes, o que ratifica a desvantagem do procedimento.

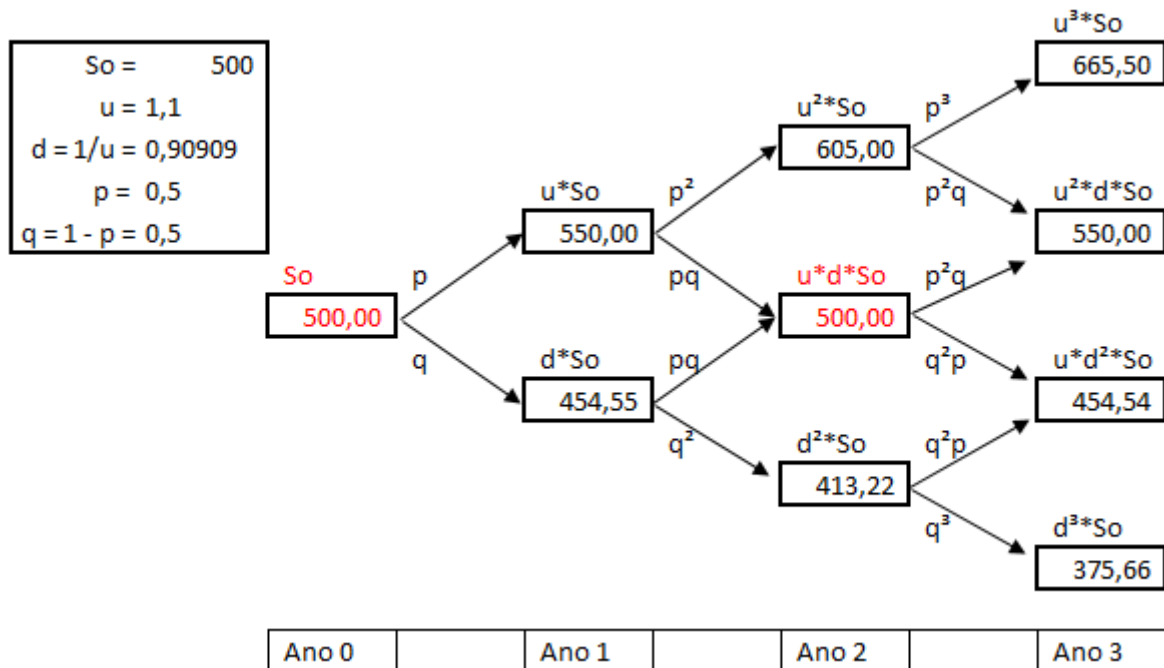
A segunda metodologia, que será aplicada neste trabalho, foi desenvolvida por Cox, Ross e Rubinstein (1979) posteriormente ao modelo Black & Scholes e é conhecida como binomial. De acordo com Mellis (1999), o modelo Binomial mostra de maneira intuitiva e menos computacional, a avaliação com base neutra ao risco. Este método é desenvolvido em vários estágios e executado por meio de uma árvore de eventos e outra de decisões. A árvore de eventos é construída por um processo estocástico multiplicativo e é capaz de mostrar o valor de determinado ativo objeto ao longo do tempo, sendo que cada estágio da árvore representa um determinado período do investimento.

Como a árvore de eventos permite uma avaliação do investimento em uma data anterior ao vencimento, ela se torna muito útil para avaliar opções americanas tornando possível avaliar ponto a ponto se é mais valioso exercer a opção ou não.

A árvore de decisões leva em conta os valores obtidos na árvore de eventos e a decisão de continuar ou abandonar o projeto virá a partir de um valor definido como salvage value. Se o valor da árvore de eventos for superior ao salvage value, então o projeto mostra-se viável e a melhor decisão é a de continuar. Caso contrário, é mais vantajoso abandonar o projeto.

A Figura 1 mostra um exemplo de uma árvore binomial avaliada para 3 períodos.

Figura 1: Exemplo de árvore binomial para 3 períodos



Fonte: Do autor

3 COLETA DE DADOS E MONTAGEM DO FLUXO DE CAIXA

O primeiro passo do trabalho foi a obtenção dos dados da indústria siderúrgica, assim como o fluxo de caixa e as previsões de preço dos quatro produtos que serão analisados (Cinzento, cilindro, GGG50, Nodular).

São feitas simulações de Monte Carlo e de Hipercubo Latino para a obtenção de parâmetros necessários a aplicação da TOR. Para tanto, foram utilizados dados obtidos em um trabalho de graduação feito em 2013, com o título “A Simulação De Monte Carlo Como Instrumento Fundamental Para A Análise De Viabilidade Econômica: A Implementação De Uma Fundição De Ferro Em Uma Empresa Metalúrgica” (Hildebrand, 2013), em que o autor baseia sua análise no VPL. Estes dados serviram de base para a aplicação da TOR e são fundamentais para a comparação entre uma análise clássica de investimento baseada no VPL e a TOR.

A empresa de siderurgia não determinou um *Salvage Value* específico, portanto é utilizada a metodologia de portfólio replicante através do valor de uma taxa livre de risco, explicitada mais adiante como a taxa SELIC.

3.1 MONTAGEM DO FLUXO DE CAIXA

Todos os dados foram obtidos através de um estudo de expansão do projeto industrial feito pela própria empresa e são mostrados a seguir:

- Do estudo de mercado: Produtos e quantidades produzidas (Tabela 1).

Tabela 1: Produtos e Quantidades Produzidas.

Produto	Quantidade / dia [Kg/dia]	Preço [R\$/Kg]
Cinzento	530	8,55
Nodular	1212	9,70
Cilindro	400	12,10
GGG50	780	9,18

Fonte: Empresa Siderúrgica X

- Da engenharia:
 - Valor do terreno: Doador;

- Área de Construção: 450m²;
 - Custo do m² da construção industrial: R\$1.848,72;
 - Valor dos equipamentos e utensílios: R\$554.616,40.
- Gastos:
- Custos variáveis de produção: R\$ 3,09 /Kg;
 - Custos fixos: R\$ 5.400/mês;
 - Despesas variáveis: R\$ 0,05 /Kg;
 - Despesas fixas: R\$ 5.150/mês;
 - Capital de giro: R\$ 95.022;
 - Taxa de IPI: 10 % para todos os produtos;
 - PIS/COFINS: 2 % da receita de vendas (sem considerar o IPI);
 - ICMS: 5% da receita de vendas (sem considerar o IPI).
- Demais Informações:
- Valor residual do investimento fixo: 10 % do investimento;
 - Vida útil do projeto: 100 meses;
 - Depreciação: 4% por ano para construções civis; 10 % por ano para equipamentos;
 - Primeiro mês de atividade: 70 % da capacidade;
 - Segundo mês: 90 % da capacidade;
 - Terceiro mês em diante: Capacidade normal.
 - Alíquota de IRPJ: 35%.

A estrutura de capital do setor é 50% por 50%, ou seja, a empresa utiliza 50% do capital de credor e 50% de capital próprio. Além disso, 3,5 % a.a.c.a é a taxa que o BNDS financia a empresa. As ações da empresa apresentam retorno acumulado de 14% a.a.c.a.

Para a Simulação de Monte Carlo e Hipercubo Latino, têm-se a Tabela 2:

Tabela 2: Dados para a SMC e SHL.

Produto	Quantidade [Kg]	Preço [R\$/Kg]
Cinzeno	Gama (alfa: 1,83387; beta:288,57511)	Normal (8,55;1057)
Cilindro	Gama (alfa: 2,92599; beta:264,70025)	Normal (9,182; 1,054)
GGG50	Gama (alfa: 1,94929; beta:69,53818)	LogNormal (2,518;0,1029)

Fonte: Empresa Siderúrgica X

“O fluxo de caixa do projeto foi formatado considerando as partes de investimento fixo, capital de giro, receita proveniente das vendas, taxa de depreciação, vida útil do projeto, tributação atual da empresa, gastos com despesas fixas, custos fixos e custos variáveis.”. (HILDEBRAND, 2013)

4 APLICAÇÃO DA TEORIA DE OPÇÕES REAIS

Como já exposto, foi utilizado o método binomial para a análise financeira da indústria siderúrgica. Tal análise está detalhada a seguir.

4.1 ETAPAS DE UMA ANÁLISE POR OPÇÕES PELO MÉTODO BINOMIAL

A análise pelo método de Opções Reais é realizada em seis etapas, partindo da simulação de Monte Carlo que será comparada com a Simulação por Hipercubo Latino. Em seguida é feita a modelagem das incertezas e a determinação da volatilidade. De posse destes dados, é possível a construção da árvore binomial (Ou árvore de eventos) e da árvore de decisões, a partir das quais foi feita a análise dos resultados.

4.1.1 SMC e SHL

Mather (2012) esclarece que o resultado buscado em uma Simulação de Monte Carlo ou uma Simulação por Hipercubo Latino é obter convergência, isto é, quando se atinge um ponto em que mesmo realizando mais mil, dez mil ou cem mil simulações a resposta seria exatamente a mesma. A SMC e a SHL são essenciais para se iniciar a análise de investimento, uma vez que ambas irão fornecer a distribuição do fluxo de caixa. De posse da distribuição, foi verificado se convergiram ou não e, convergindo, obtém-se o valor do desvio padrão, valor necessário para o cálculo da volatilidade.

– Simulação de Monte Carlo:

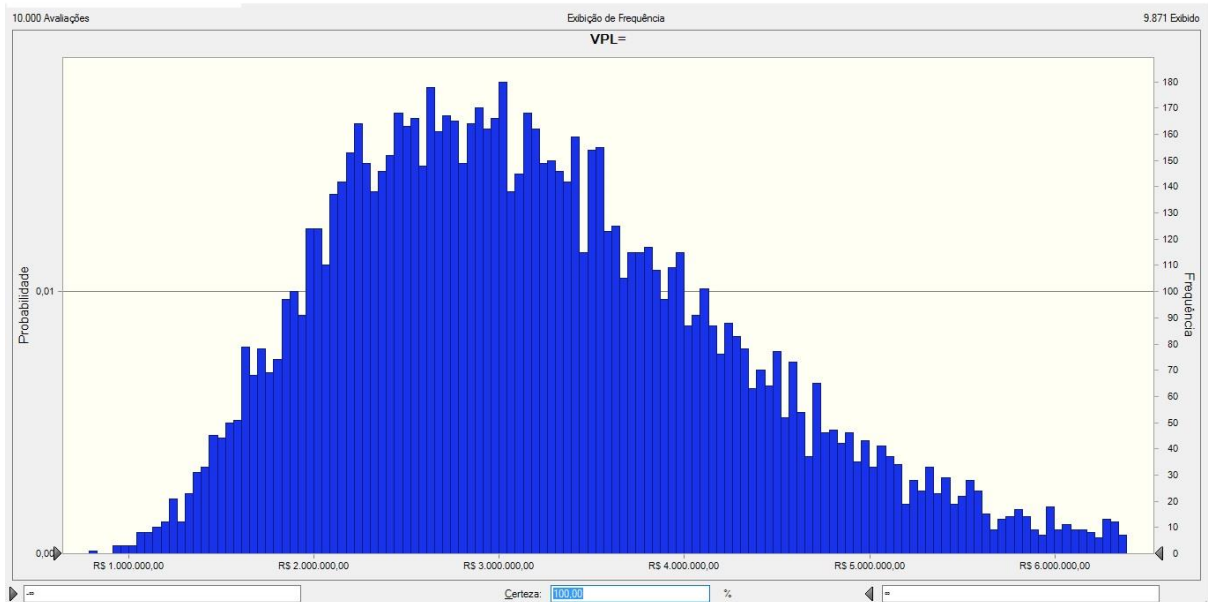
Para a SMC, utiliza-se o *software Crystal Ball*® da Oracle. Os parâmetros do fluxo de caixa utilizados no programa tanto para a SMC quanto para a SHL são o VPL, a TMA, a previsão de preço de cada produto e o coeficiente Z.

O coeficiente Z é calculado através da equação: $Z = \ln[(PV_1 + FCF_1)/PV_0]$, onde:

PV_1 = Valor Presente na data 1; PV_0 = Valor Presente na data 0; FCF_1 = Fluxo de Caixa na data 1.

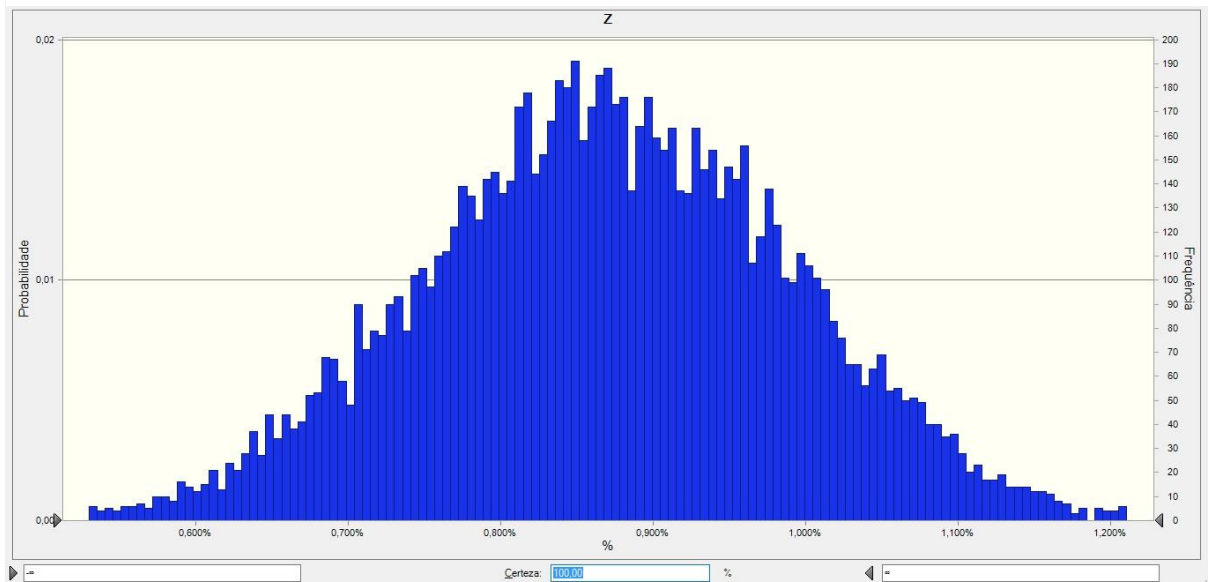
Tanto para a previsão de VPL quanto para a previsão do coeficiente Z, foram realizadas dez mil avaliações, afim de obter uma maior precisão. O tempo de execução da SMC foi de quinze horas, vinte e três minutos e oito segundos. A Figura 2 exhibe o resultado da SMC para o VPL e a Figura 3 mostra o resultado para o coeficiente Z.

Figura 2: Resultado da Simulação de Monte Carlo para o VPL.



Fonte: Do autor

Figura 3: Resultado da Simulação de Monte Carlo para o fator Z.



Fonte: Do autor

A análise das figuras permite concluir que a simulação convergiu, o que era esperado. Sendo assim, a partir do relatório gerado, foi obtido o valor do desvio padrão para a variável Z.

– Simulação por Hipercubo Latino

O próximo passo será a consolidação de uma simulação conhecida como Hipercubo Latino. A SHL, segundo Vose (2014), é um tipo de amostragem estratificada, a qual é controlada para cada distribuição separadamente a fim de garantir uma cobertura uniforme para cada distribuição individualmente. Vose (2014) mostra que como a SHL não controla a amostragem de combinações das distribuições, ela só se torna vantajosa para amostragens pequenas, sendo que esta precisão superior à Simulação de Monte Carlo se mostra imperceptível a medida que se aumenta o número de distribuições.

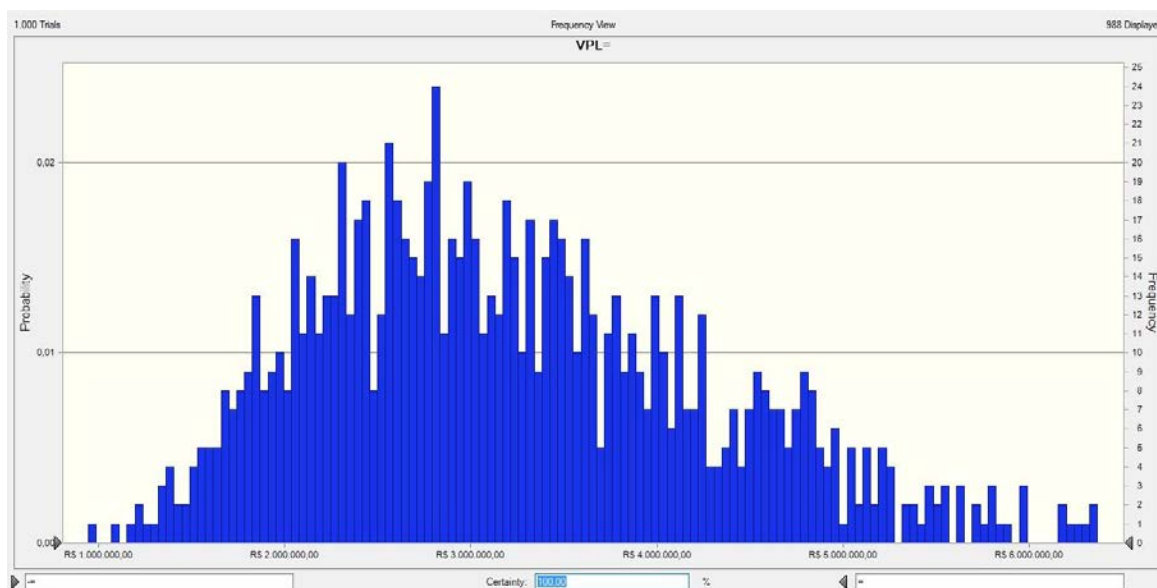
A vantagem da utilização da SHL em detrimento da SMC é justamente o fato de ela requerer uma amostragem consideravelmente menor para uma maior precisão, convergindo para melhores resultados. A melhor precisão ocorre também porque toda a faixa de distribuição é amostrada mais uniformemente e consistentemente, contribuindo para o objetivo de uma avaliação real do investimento de expansão.

“A Amostragem por Hipercubo Latino tem por objetivo gerar amostras esparsas, de forma que uma distribuição mais uniforme seja obtida.” (SANTOS, 2014)

A conveniência da utilização da SHL com relação a SMC é evidenciada pelos resultados obtidos com a Simulação. A convergência foi alcançada com apenas mil avaliações, tanto para o VPL quanto para o coeficiente Z e o tempo de simulação foi de apenas cinco segundos, o que indica uma maior precisão em um tempo consideravelmente menor.

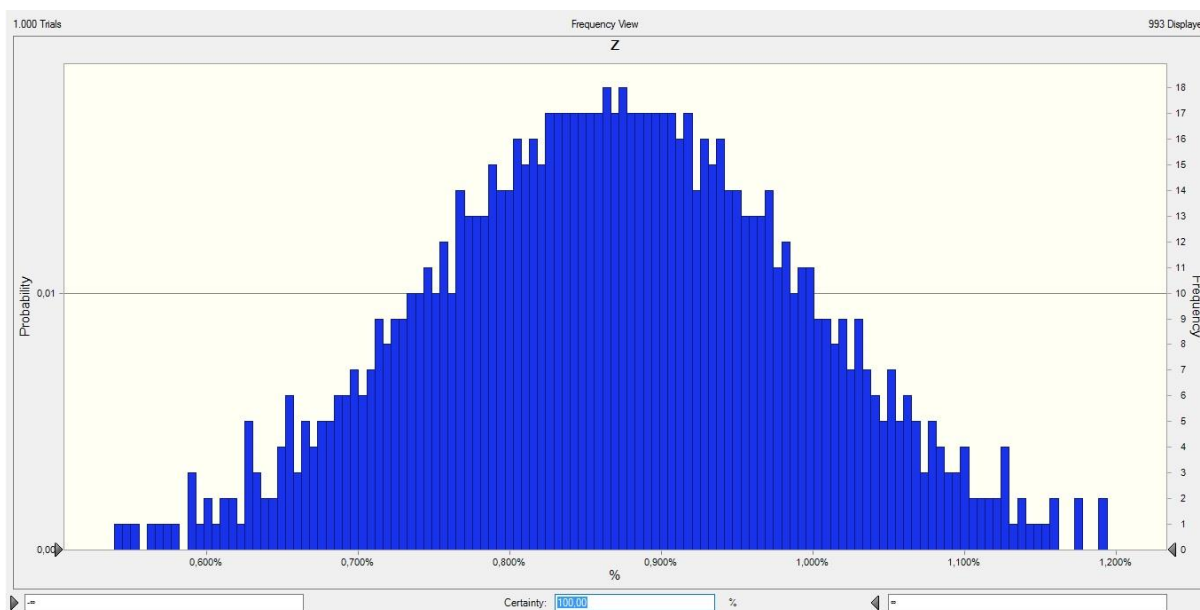
Os resultados para o VPL e para Z da SHL são indicados nas Figuras 4 e 5 a seguir:

Figura 4: Resultado da SHL para o VPL.



Fonte: Do autor

Figura 5: Resultado da SHL para o fator Z.



Fonte: Do autor

4.1.2 Modelagem das incertezas

A construção da árvore de eventos está alicerçada na modelagem das incertezas inerentes ao projeto e que irão influenciar diretamente no valor da volatilidade. As incertezas presentes no projeto de expansão da empresa em questão são provenientes principalmente dos preços dos produtos e da quantidade a ser vendida.

Para que a aplicação das incertezas fosse simplificada e por não haver incertezas tecnológicas nem econômicas significativas, foi utilizada a abordagem consolidada. Isto é, todas as incertezas presentes são combinadas em uma única, as distribuições dos retornos do projeto, e resume toda a volatilidade das variáveis do projeto apenas na incerteza do valor total.

A abordagem consolidada é possível através da análise de Monte Carlo e/ou da simulação de Hiper cubo Latino, daí a importância de se realizar tais simulações.

4.1.3 Determinação da Volatilidade

A volatilidade mede a incerteza quanto ao valor presente do ativo objeto. Quanto maior é a volatilidade do preço de um ativo, maior é a variabilidade esperada desse preço no futuro, e

por consequência, maior é a probabilidade de obtenção de retorno muito alto ou muito baixo. Sendo assim, quanto maior a volatilidade, melhor será para o detentor da opção.

Os valores da volatilidade são o desvio padrão determinados através das simulações de Monte Carlo e Hipercubo Latino, respectivamente, $\sigma_{SMC} = 0,122\%$ e $\sigma_{SHL} = 0,124\%$. De posse destes parâmetros, já é possível partir para a próxima etapa, o cálculo do valor da opção e das taxas de crescimento (u) e decrescimento (d) para a construção das árvores de eventos e de decisão.

4.1.4 Montagem da Árvore de Eventos

Inicia-se a edificação da árvore binomial por um valor inicial V_0 e move-se para cima ou para baixo, multiplicando V_0 por uma taxa de crescimento (u) ou decrescimento (d) do valor do ativo, repetindo esta multiplicação a cada estágio da árvore. Em geral, pressupõe-se que $d = 1/u$. A probabilidade de crescimento é chamada de p e a probabilidade de decrescimento é chamada de q.

Desta forma, o primeiro estágio da árvore é feito a partir de V_0 , ascendendo com uma probabilidade p até o valor $u \cdot V_0$ e declinando com uma probabilidade q até o valor $d \cdot V_0$. No segundo estágio, temos a partir de $u \cdot V_0$ uma elevação com probabilidade p^2 até o valor $u^2 \cdot V_0$ e declinando até o valor $u \cdot d \cdot V_0$ com uma probabilidade $p \cdot q$. Segue-se ainda no segundo estágio, agora a partir de $d \cdot V_0$, ascendendo até o valor $u \cdot d \cdot V_0$ e probabilidade $q \cdot p$ (encontrando, portanto, com o valor de descida anterior) e declinando até o valor $d^2 \cdot V_0$ com probabilidade q^2 . Mantém-se o mesmo raciocínio para os próximos estágios da árvore, que pode ser dividida em quantos períodos se desejar. No presente trabalho, foi considerado apenas dois estágios, que representam dois anos de investimento.

O cálculo da taxa de crescimento, u, é feito através da equação: $u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$, onde σ é a volatilidade e $\Delta t = \frac{\text{maturidade da opção}}{\text{número de estágios da árvore}}$. Como no caso da análise de expansão da indústria siderúrgica tanto a maturidade da opção como o número de estágio da árvore são iguais e valem dois, têm-se que $\Delta t = \frac{2}{2} = 1$.

A título de comparação, foram criadas duas árvores de eventos e duas árvores de decisões, uma para cada simulação.

Obtemos, portanto, as Tabelas 3 e 4 para a árvore a partir da SMC e SHL:

Tabela 3: Dados para árvore de eventos SMC.

Desvio Padrão (Z)	0,121660%
$V_0 = PV_0 = (PV_1)/[(1+TMA)^1]$	R\$ 2.165.131,45
$\sigma_{SMC} =$	0,0012165967
$\Delta t =$	1
$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$	1,001217337
$d = 1/u$	0,998784143

Fonte: Do autor

Tabela 4: Dados para árvore de eventos SHL.

Desvio Padrão (Z)	0,123615%
$V_0 = PV_0 = (PV_1)/[(1+TMA)^1]$	R\$ 2.165.131,45
$\sigma =$	0,0012361457
$\Delta t =$	1
$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$	1,00123691
$d = 1/u$	0,998764618

Fonte: Do autor

A partir das Tabelas 3 e 4, as árvores de eventos são construídas e mostradas abaixo nas Tabelas 5 e 6:

Tabela 5: Árvore de Eventos SMC.

Ano 0	Ano 1	Ano 2
		R\$ 2.170.406,05
	R\$ 2.167.767,14	
R\$ 2.165.131,45		R\$ 2.165.131,45
	R\$ 2.162.498,96	
		R\$ 2.159.869,67

Fonte: Do autor

Tabela 6: Árvore de Eventos SHL.

Ano 0	Ano 1	Ano 2
		R\$ 2.170.490,91
	R\$ 2.167.809,52	
R\$ 2.165.131,45		R\$ 2.165.131,45
	R\$ 2.162.456,69	
		R\$ 2.159.785,23

Fonte: Do autor

Após a construção das duas árvores de eventos, ainda é necessário criar mais duas árvores nas quais estarão presentes os valores obtidos da comparação entre o valor de cada ano menos o investimento inicial e a aplicação do portfólio replicante.

Para o ano 2, os valores de Cdd e Cdu mostrados vêm da equação (1):

$$MÁX (Valor do Ano 2 na árvore de eventos [V] - Investimento Inicial [X]; 0) \quad (1)$$

Para o ano 1, a equação é similar (equação (2)), porém como na prática não havia um *Salvage Value* pré-determinado, é necessário incluir o valor do portfólio livre de risco, que será calculado em seguida:

$$MÁX ([V] - [X]; Portfólio; 0) \quad (2)$$

Para o cálculo do valor do portfólio replicante (livre de risco), são utilizadas a equação (3) e a equação (4):

$$(m \cdot u \cdot V_0) + B = Cdu \text{ (Valor da opção ascendente no ano 1)} \quad (3)$$

$$(m \cdot d \cdot V_0) + B = Cdd \text{ (Valor da opção descendente no ano 1)} \quad (4)$$

Onde **u** e **d** são, respectivamente, as taxas de crescimento e decrescimento já calculadas anteriormente para a árvore de eventos, **Cdu** e **Cdd** são os valores referentes ao ano dois, obtidos a partir da equação (1), **V₀** é o valor presente também já calculado para a árvore de eventos, **m** é o número de ações do portfólio e **B₀** é o número de títulos livre de risco para o ano 0 e **B₁** para o ano 1. B e m serão calculados a partir das equações (5), (6) e (7), sendo que m é o mesmo para os anos 0 e 1:

$$m = \frac{(Cdu - Cdd)}{(u - d)} = \frac{(870.994,28 - 865.726,09)}{(2.167.767,14 - 2.162.498,96)} = 1,00 \quad (5)$$

$$B_0 = \frac{Cdd - m \cdot d}{(1 + rf)} = \frac{(865.726,09 - 2.162.498,96)}{(1 + 0,1425)} = -1.135.030,96 \quad (6)$$

$$B_1 = \frac{(678.306,67 - 2.159.869,67)}{(1 + 0,1425)} = -1.296.772,87 \quad (7)$$

A variável r_f é a taxa livre de risco (*risk free*) e seu valor, utilizado nas equações (6) e (7) foi obtido a partir da taxa SELIC de 14,25% a.a. para 2016.

De posse das duas árvores de eventos, mais os resultados das variáveis B e m, agora é possível comparar cada valor das árvores com o *Salvage Value*, que no nosso caso será o valor do Portfólio Replicante, afim de determinar se a expansão é viável ou não.

As Tabelas 7 e 8 resumem os resultados das equações utilizadas para cada ano em cada simulação:

Tabela 7: Resultados obtidos para a construção da árvore de decisão com SMC.

SMC		
Ano 0	Ano 1	Ano 2
Máximo ($V_0 - X; C_0; 0$)	Máximo ($uV_0 - X; C_u; 0$)	Máximo ($u^2V_0 - X; 0$)
R\$ 683.568,45	R\$ 686.204,14	R\$ 688.843,05
R\$ 1.032.736,19	R\$ 870.994,28	R\$ 0,00
	Máximo ($dV_0 - X; C_d; 0$)	Máximo ($udV_0 - X; 0$)
	R\$ 680.935,96	R\$ 683.568,45
	R\$ 865.726,09	R\$ 0,00
		Máximo ($d^2V_0 - X; 0$)
		R\$ 678.306,67
		R\$ 0,00

Fonte: Do autor

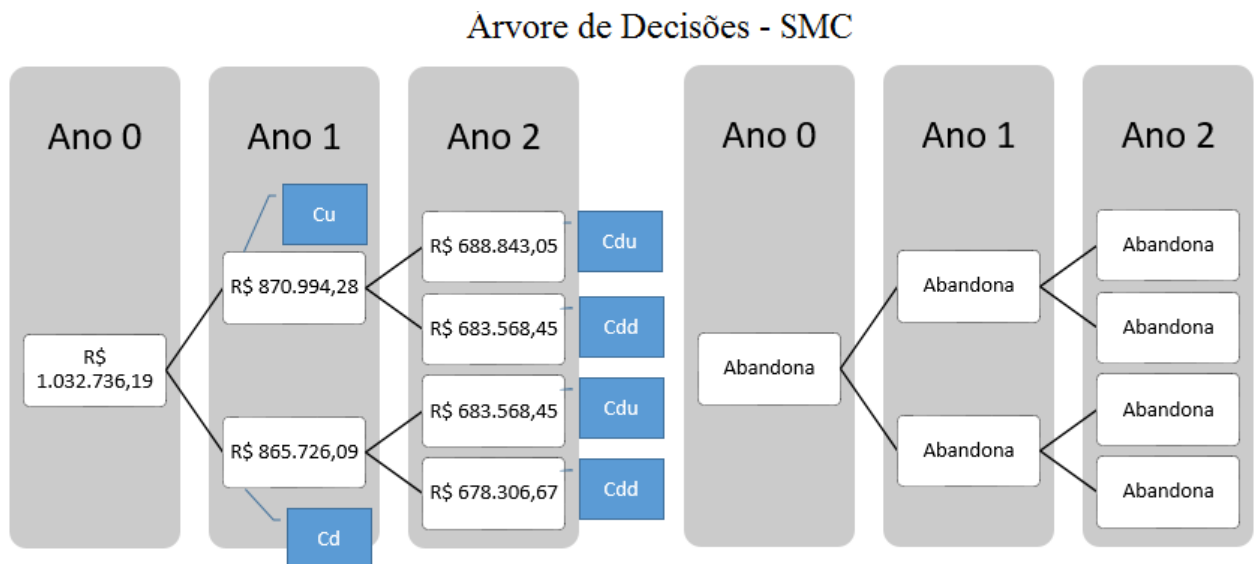
Tabela 8: Resultados obtidos para a construção da árvore de decisão com SHL.

SHL		
Ano 0	Ano 1	Ano 2
Máximo ($V_0 - X; C_0; 0$)	Máximo ($uV_0 - X; C_u; 0$)	Máximo ($u^2V_0 - X; 0$)
R\$ 683.568,45	R\$ 686.246,52	R\$ 688.927,91
R\$ 1.032.736,19	R\$ 870.994,28	R\$ 0,00
	Máximo ($dV_0 - X; C_d; 0$)	Máximo ($udV_0 - X; 0$)
	R\$ 680.893,69	R\$ 683.568,45
	R\$ 865.726,09	R\$ 0,00
		Máximo ($d^2V_0 - X; 0$)
		R\$ 678.222,23
		R\$ 0,00

Fonte: Do autor

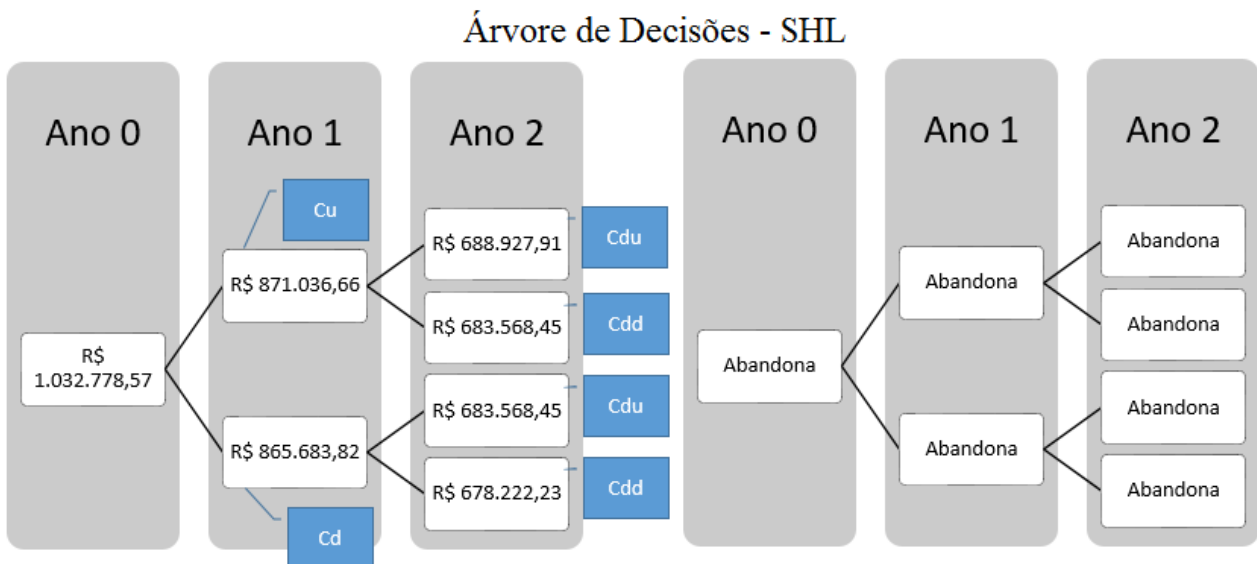
O resultado obtido é mostrado nas árvores de decisões abaixo (Figuras 6 e 7):

Figura 6: Árvore de Decisões - SMC.



Fonte: Do autor

Figura 7: Árvore de Decisões - SHL.



Fonte: Do autor

4.1.5 Análise dos Resultados

Os resultados obtidos mostram que para a empresa o investimento em expansão não é lucrativo, uma vez que em nenhum dos casos o valor da árvore de eventos subtraído do investimento a ser realizado conseguiu superar o valor do Portfólio (quantificado como *Salvage Value*), sendo assim seria preferível para a indústria siderúrgica investir em um ativo livre de risco.

5 CONCLUSÃO

A análise realizada baseada nos métodos de avaliação de investimento via Opções Reais revelou que para a empresa o investimento não seria viável a curto prazo. Entretanto, o método se mostrou coerente com o que era esperado e forneceu informações precisas que se tornam essenciais para a tomada de decisão de não investir em uma expansão.

A partir da árvore de Decisões, é possível verificar ano a ano um cenário mais realista do investimento, fomentando argumentos e embasamento teórico para que o investidor consiga buscar o lucro maior para a empresa de siderurgia de maneira mais confiável.

Diante das dificuldades em se obter dados mais precisos da indústria siderúrgica, bem como o fato de o *Salvage Value* ter sido adaptado para um valor de portfólio livre de riscos traz uma possível incerteza sobre os reais valores que ocorreriam na prática, entretanto o procedimento de análise por Opções Reais pôde ser aplicado e exemplificado, destacando sua eficiência e praticidade e cumprindo com o objetivo central deste trabalho.

A comparação entre os dois métodos de simulação trouxe resultados interessantes para a pesquisa. A principal observação a ser feita sobre as diferenças e características entre a Simulação de Monte Carlo e a Simulação por Hipercubo Latino é que os resultados foram tão próximos, que poderiam ser considerados iguais. Desta feita, diante do fato de que a SHL foi realizada em um tempo e com uma amostragem consideravelmente menores, e com a mesma precisão, conclui-se claramente que este é um procedimento que deve ser considerado quando for necessário este tipo de simulação.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Para futuros trabalhos sugere-se a aplicação da TOR em outras empresas, utilizando outros tipos de opção, exemplificando diferentes tipos de investimento e focando mais no comportamento prático do que nas características teóricas desta análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENNOUNA, Karim; MEREDITH, Geoffrey G.; MARCHANT, Teresa. Improved capital budgeting decision making: evidence from canada. **Management Decision**, [S. l.], v. 48, n. 2, p.225-247, 16 nov. 2012.

BLOCK, Stanley. Are “Real Options” actually used in the real world? **The Engineering Economist**, Texas, v. 52, n. 3, p.255-267, 23 ago. 2007.

COPELAND, Tom; ANTIKAROV, Vladimir. **Opções Reais: um Novo Paradigma Para Reinventar a Avaliação de Investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 384 p.

HILDEBRAND, Fernando Pessoa. **A simulação de Monte Carlo como instrumento fundamental para a análise de viabilidade econômica: A Implementação De Uma Fundação De Ferro Em Uma Empresa Metalúrgica**. 2013. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

MATHER, Timothy Deane. **The fundamentals of probability distributions**. 2012. Disponível em: <<http://www.visualizetheplan.com/2012/10/15/the-fundamentals-of-probability-distributions/>>. Acesso em: 17 out. 2016.

MELLIS, Carlos Eduardo Vicentini. **Avaliação de projetos segundo a teoria de Opções Reais: Aplicação em Casos Práticos**. 1999. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Fgv / Eaesp, São Paulo, 1999.

MONTEIRO, Leandro Dimuro. **Precificação de garantias governamentais em PPP através de opções reais: Estudo de caso do TAV Brasil**. 2014. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração de Empresas, Puc - Rio, Rio de Janeiro, 2014.

NORONHA, Julia Cristina Caminha. **Investimentos em distribuição de energia elétrica sob incerteza regulatória utilizando Opções Reais**. 2012. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

SANTOS, Ketson Roberto Maximiano dos. **Técnicas de amostragem inteligente em simulação de Monte Carlo**. 2014. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

SOUSA NETO, José Antônio de; OLIVEIRA, Virgínia Izabel de; BERGAMINI JUNIOR, Luiz Carlos. **Opções Reais: Introdução à teoria e à prática**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008. 97 p.

VOSE, David. **The pros and cons of Latin Hypercube sampling**. 2014. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/20140708131747-483951-the-pros-and-cons-of-latin-hypercube-sampling>>. Acesso em: 18 out. 2016.