UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Carolin Debertin

**Modelo integrado de análise de investimento para produtos
e processos inovadores: uma aplicação do *Value at Risk***

São Carlos

2015

Carolin Debertin

**MODELO INTEGRADO DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO PARA
PRODUTOS E PROCESSOS INOVADORES: UMA APLICAÇÃO DO
*VALUE AT RISK***

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Economia, Organizações e Gestão do Conhecimento

Orientadora: Prof^a. Assoc^a. Daisy A. N. Rebelatto

São Carlos

2015

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Bacharela **CAROLIN DEBERTIN**.

Título da dissertação: "Modelo integrado de análise de investimentos para produtos inovadores: uma aplicação do *Value at Risk*".

Data da defesa: 06/11/2015

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Associada **Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof. Associado **Daniel Capaldo Amaral**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof. Dr. **Herick Fernando Morales**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADA

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção:

Profa. Associada **Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

DEDICATÓRIA

Für meine Eltern Ludolf und Ulrike

AGRADECIMENTOS

A Deus o dom da vida.

A minha orientadora, professora Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto, pela oportunidade e pela sábia maneira com que conduziu este trabalho. Obrigada pelos conselhos e seu exemplo pessoal e profissional.

Aos meus pais e a educação que possibilitou de chegar até aqui, a humildade que me fez aprender com meus erros e o amor que me fez quem eu sou.

Ao meu namorado Pedro Henrique Bianchi Samora, pela companhia sempre, em especial durante a composição deste trabalho, pelos valiosos conselhos e considerações e principalmente pela paciência e carinho.

Ao professor da Escola de Engenharia de São Carlos, Daniel Amaral pelas sugestões que aperfeiçoaram o trabalho e o suporte durante todo o mestrado.

Ao professor Herick Moralles da Universidade Federal de São Carlos pelo apoio e conselhos durante todo o processo de trabalho.

Ao professor Nelson Guedes de Alcântara da Universidade Federal de São Carlos, obrigada pelo apoio a parceria de pesquisa muito valiosa.

Aos amigos, em especial Naja, Bruno e Fausto pela ajuda na composição deste trabalho e pela paciência e aos outros do programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Enzo, Flávia, Roiz, Isotilia, Diego, Thales, Li, Daniela, Rodrigo e Caio pelas discussões e tempos de distração entre amigos.

“Nur wenige wissen, wie viel man wissen muss, um zu wissen wie wenig, man weiß”.

(Werner Heisenberg)

RESUMO

DEBERTIN, C. (2015). Modelo integrado de análise de investimento para produtos e processos inovadores: uma aplicação do *Value at Risk*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

A avaliação de riscos em projetos de produtos inovadores transformou-se em peça chave, na atualidade de competição crescente, para as empresas. Esse fato foi reconhecido na área de pesquisa nas últimas décadas e vários autores desenvolveram modelos para estimar riscos em projetos de produtos inovadores, tanto qualitativos como quantitativos. Porém, não foram encontrados, nas principais bases de dados, estudos que tratam o tema pela integração dos riscos de desenvolvimento e comercialização, mensurados por meio do *Value at Risk* (VaR). O objetivo geral do trabalho, portanto, é propor um modelo de análise de investimento que integre as etapas de desenvolvimento e comercialização para projetos inovadores, com utilização do VaR como medida de risco. Para a elaboração do modelo foi desenvolvido, primeiramente, um *framework*, qual relaciona os principais riscos em projetos de inovação e as variáveis que quantificam as tais. Este *framework* serve como base para a construção do modelo conceitual. Com a utilização das variáveis no modelo é possível estimar e quantificar os processos de desenvolvimento. A aplicação do VaR para a avaliação econômica em projetos de investimento representa uma novidade, mas se baseia na aplicação normal de estimação de riscos desenvolvida para o mercado financeiro. A vantagem do VaR é que resume os riscos considerados no cálculo do projeto em um único número, em unidades monetárias e de fácil compreensão, o que permite a comparação de projetos de investimento mutuamente exclusivos. O modelo integrado proposto possibilita uma avaliação econômica mais tangível que os métodos tradicionais de avaliação, aproximando o resultado à realidade e assim apresentando um avanço na estimação de risco no ambiente de desenvolvimento de produtos inovadores. Este fato foi comprovado na aplicação do método proposto em duas simulações de casos reais, quais resultados foram consistentes e compreensíveis.

Palavras-chave: Projeto de investimento; Desenvolvimento de Produto; Risco de mercado; Risco de desenvolvimento; *Value at Risk*.

ABSTRACT

DEBERTIN, C. (2015). Integrated investment analysis model for innovative products and processes: an application of Value at Risk. Dissertation. (MSc) – Engineering School of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2015.

Risk assessment in innovative product projects has become a key point for companies in today's growing competition. This fact was recognized by research in the area in recent decades and several authors have developed models to estimate risks in innovative product projects, as well as qualitative and quantitative. However, in the main databases could not be found studies dealing with the issue by integrating the risks of the development phase and the commercialization phase, measured by Value at Risk (VaR). The overall objective of this work is, therefore, proposing an investment analysis model that integrates the stages of development and commercialization for innovative projects, using VaR as a risk measure. Firstly, a framework, which relates the main risks in innovation projects and the variables that quantify such, was developed. This framework serves as a basis for the construction of the conceptual model. With the use of the defined variables and the conceptual model it is possible to estimate and quantify the processes of innovation projects. The application of VaR for economic evaluation of investment projects is new, but it is based on the risk estimates application used in the financial market. The advantage of VaR methods is that they summarize the risks considered in the project calculation in a single number expressed in monetary units, which is easy to interpret, allowing the comparison of mutually exclusive investment projects. The proposed integrated model enables a more tangible economic assessment than traditional methods of evaluation, bringing the result closer to reality and thus presenting an advance in risk estimation in innovative product development environment. This was proven in the application of the proposed method in two simulations of real cases, which results were consistent and understandable.

Keywords: Investment projects; product development; market risk; development risk; Value at Risk.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- CATEGORIAS DE PORTFÓLIOS DE PRODUTOS	32
FIGURA 2 – VISÃO GERAL DO MODELO DE REFERÊNCIA	36
FIGURA 3- PLANO DE PRIORIDADES	39
FIGURA 4- ILUSTRAÇÃO GRÁFICA DA TIR	45
FIGURA 5- CATEGORIAS DE PRODUTOS E RISCOS ASSOCIADOS.....	52
FIGURA 6– FLUXOGRAMA DE UM PROCESSO DE SIMULAÇÃO	58
FIGURA 7– FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO.....	78
FIGURA 8 - METODOLOGIA PARA ESTIMAÇÃO DO VAR, PRIMEIRA PARTE.....	80
FIGURA 9 – METODOLOGIA PARA ESTIMAÇÃO DO VAR, SEGUNDA PARTE	81
FIGURA 10- APRESENTAÇÃO INICIAL DA FASE I DE DESENVOLVIMENTO.....	91
FIGURA 11 – REPRESENTAÇÃO DOS ITENS NECESSÁRIOS PARA UMA REDE PERT INCLUINDO CUSTOS	94
FIGURA 12 – REPRESENTAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO DA REDE PERT	95
FIGURA 13- <i>FRAMEWORK</i> DA FASE I (DESENVOLVIMENTO)	96
FIGURA 14- APRESENTAÇÃO INICIAL DA FASE II (COMERCIALIZAÇÃO)	98
FIGURA 15- VARIÁVEL INVESTIMENTO E SUB- VARIÁVEIS.....	99
FIGURA 16 – ESTABELECIMENTO DE UMA POLÍTICA DE PREÇO	102
FIGURA 17 – NOVE ESTRATÉGIAS DE PREÇO/QUALIDADE	103
FIGURA 18- VARIÁVEL RECEITA E SUB- VARIÁVEIS.....	104
FIGURA 19- VARIÁVEL CUSTOS E SUB- VARIÁVEIS	106
FIGURA 20- <i>FRAMEWORK</i> COMPLETO DE RELACIONAMENTO DAS VARIÁVEIS.....	108
FIGURA 21 – OS PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS PELOS ESPECIALISTAS	116
FIGURA 22 – FASE I DE DESENVOLVIMENTO REFORMULADO	117

FIGURA 23 - MODELO CONCEITUAL DOS FLUXOS DE CAIXAS INDEPENDENTES PARA CÁLCULO DO VAR - TECNOLOGIA	119
FIGURA 24 - MODELO CONCEITUAL DOS FLUXOS DE CAIXAS INDEPENDENTES PARA CÁLCULO DO VAR - TECNOLOGIA	121
FIGURA 25 – INTERFACE DO SOFTWARE BdME.....	123
FIGURA 26 – VARIÁVEIS DE <i>INPUT</i> DO MODELO PRIMEIRA PARTE- <i>SOFTWARE</i> SETOR SUCROALCOOLEIRO	130
FIGURA 27 – FLUXO DE CAIXA DO MODELO PRIMEIRA PARTE- <i>SOFTWARE</i> SETOR SUCROALCOOLEIRO	131
FIGURA 28 – FLUXO DE CAIXA DO MODELO SEGUNDA PARTE – <i>SOFTWARE</i> SETOR SUCROALCOOLEIRO	132
FIGURA 29 – ILUSTRAÇÃO DA EVOLUÇÃO DOS SALÁRIOS NO MODELO.....	134
FIGURA 30 – DISTRIBUIÇÃO DE VPL – <i>SOFTWARE</i> SETOR SUCROALCOOLEIRO	135
FIGURA 31 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS <i>INPUTS</i> – <i>SOFTWARE</i> SETOR SUCROALCOOLEIRO	135
FIGURA 32 – SUMÁRIO ESTATÍSTICO DA SIMULAÇÃO – <i>SOFTWARE</i> SETOR SUCROALCOOLEIRO.	136
FIGURA 33 – EXEMPLOS DE DIFERENTES DISTRIBUIÇÕES PERT	141
FIGURA 34 – <i>INPUTS</i> DO MODELO (PERT) – TECNOLOGIA.....	142
FIGURA 35 – FLUXO DE CAIXA PRIMEIROS CINCO ANOS (PERT) – TECNOLOGIA.....	143
FIGURA 36 – FLUXO DE CAIXA ÚLTIMOS DEZ ANOS (PERT) – TECNOLOGIA	144
FIGURA 37 – DISTRIBUIÇÃO DE VPLS ESPERADOS (PERT) – TECNOLOGIA	145
FIGURA 38 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS <i>INPUTS</i> (PERT)- TECNOLOGIA	146
FIGURA 39 – SUMÁRIO ESTATÍSTICO DO <i>OUTPUT</i> (PERT) – TECNOLOGIA	146
FIGURA 40 – EXEMPLO DE DISTRIBUIÇÃO DE VALORES EXTREMOS.....	147
FIGURA 41 – <i>INPUTS</i> COM VALORES EXTREMOS – TECNOLOGIA	148
FIGURA 42 - FLUXO DE CAIXA PRIMEIROS CINCO ANOS VALORES EXTREMOS – TECNOLOGIA ..	149
FIGURA 43 - FLUXO DE CAIXA ÚLTIMOS DEZ ANOS VALORES EXTREMOS – TECNOLOGIA	150
FIGURA 44 - DISTRIBUIÇÃO DE VPLS ESPERADOS VALORES EXTREMOS – TECNOLOGIA	151

Lista de Figuras

FIGURA 45 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS INPUTS VALORES EXTREMOS – TECNOLOGIA.....	151
FIGURA 46 – SUMÁRIO ESTATÍSTICO VALORES EXTREMOS – TECNOLOGIA	152
FIGURA 47 – VALORES DO VAR PARA AS DUAS SIMULAÇÕES – TECNOLOGIA.....	153

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – CICLO DE VIDA ECONÔMICO DO PRODUTO	27
GRÁFICO 2 - O MAPA DE RETORNO	38
GRÁFICO 3- RETORNO ESPERADO DE AÇÕES ORDINÁRIAS USANDO CAPM	63
GRÁFICO 4 – CAPM E SML NA TOMADA DE DECISÃO DE ORÇAMENTO DE CAPITAL.....	65
GRÁFICO 5 - A RELAÇÃO CAUSAL ENTRE DIVERSOS RISCOS.....	171

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO DE PRODUTOS NOVOS	31
QUADRO 2 – CLASSES DE RISCO E TADR´s	66
QUADRO 3 - OS RISCOS E AS RESPECTIVAS VARIÁVEIS DO MODELO	85
QUADRO 4- CATEGORIZAÇÃO DE RISCOS E VARIÁVEIS POR FASE DA NOVA TECNOLOGIA	89
QUADRO 5 – SEGMENTOS DE MERCADO COM EXEMPLOS	102
QUADRO 6 – RANKING DAS VARÁVEIS MAIS IMPACTANTES SEGUNDO OS ESPECIALISTAS	115
QUADRO 7 – INDICADORES DO PROJETO REAL – <i>SOFTWARE</i> SETOR ALCOOLEIRO.....	122
QUADRO 8 – INDICADORES DO PROJETO REAL – TECNOLOGIA NOVA	137
QUADRO 9 - OS RISCOS CITADOS COM MAIS FREQUÊNCIAS E SUAS CATEGORIAS	170
QUADRO 10 – DESCRIÇÕES DAS VARIÁVEIS DO MODELO	175

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TAXAS DE SUCESSO	28
TABELA 2- TAXAS DE SUCESSO ENTRE AS MELHORES EMPRESAS E O RESTO	29
TABELA 3- <i>PERFORMANCE</i> DE PROJETOS	34
TABELA 4- PASSOS DE PROCEDIMENTO.....	76
TABELA 5 – RISCOS EM PROJETOS DE PDP DE ACORDO COM A LITERATURA	83
TABELA 6- ATUAÇÃO PROFISSIONAL DOS ESPECIALISTAS.....	109
TABELA 7 – CRESCIMENTO COMERCIAL DETERMINADO PELAS RELAÇÕES DAS VARIÁVEIS <i>PROXY</i>	127

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPM – Capital Asset Pricing Model

EDF – Densidade de probabilidade empírica

EVT – Teoria de valores extremos

HZG - Helmholtz- Zentrum- Geesthacht

IPCA- Índice nacional de Preços ao Consumidor- amplo

NPVR - Net present Value Risk-adjusted

P & D – Pesquisa e Desenvolvimento

PDMA – Product Development and Management Association

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto

PERT – Program Evaluation and Review Technique

PINTEC – Pesquisa industrial inovação Tecnológica

PPP - Parceria Pública-Privada

SML – Linha de mercado de Títulos

TADR – Taxa de desconto ajustada por risco

TIR – Taxa interna de retorno

TMA – Taxa mínima de atratividade

VAUE – Valor anual uniforme equivalente

VaR - Value at Risk (Valor no risco)

VPL – Valor presente líquido

WBS – Risk Breakdown Structure

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO E PERGUNTAS DE PESQUISA	21
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	22
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1 INOVAÇÃO	25
2.1.1 <i>Produto inovador.....</i>	<i>26</i>
2.2 PROJETOS DE INVESTIMENTO	40
2.2.1 <i>Valor presente líquido</i>	<i>42</i>
2.2.2 <i>Taxa interna de retorno.....</i>	<i>44</i>
2.2.3 <i>Payback</i>	<i>46</i>
2.2.4 <i>Valor anual uniforme equivalente</i>	<i>48</i>
2.3 RISCO E INCERTEZA	49
2.3.1 <i>Análise de sensibilidade</i>	<i>54</i>
2.3.2 <i>Análise de cenários.....</i>	<i>55</i>
2.3.3 <i>Simulação</i>	<i>57</i>
2.3.4 <i>Modelo de formação de preços de ativos</i>	<i>61</i>
2.3.5 <i>Taxa de desconto ajustada por risco.....</i>	<i>63</i>
2.3.6 <i>Opções Reais</i>	<i>66</i>
2.3.7 <i>Valor no Risco.....</i>	<i>69</i>
CAPÍTULO 3 - MÉTODO DA PESQUISA	75
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS	82
4.1 FRAMEWORK DE RISCOS	82
4.2 PAINEL DE ESPECIALISTAS.....	109
4.3 MODELO CONCEITUAL.....	118

4.4	SIMULAÇÕES COM DADOS REAIS.....	122
4.4.1	<i>Simulação com dados reais – software setor alcooleiro.....</i>	<i>122</i>
4.4.2	<i>Simulação com dados reais – nova tecnologia de soldagem</i>	<i>137</i>
5	CAPÍTULO 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS	154
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	159
	APÊNDICES	168
	APÊNDICE A- TAXONOMIA DE VARIÁVEIS ENCONTRADAS NA LITERATURA	168
	APÊNDICE B- DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO	173
	APÊNDICE C- QUESTIONÁRIO PARA PAINEL PORTUGUÊS	175
	APÊNDICE D- QUESTIONÁRIO PARA PAINEL INGLÊS	180

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A escassez de recursos é muito mais uma norma do que uma exceção, independente do nível de riqueza, regime político e sistema econômico de um país. Dessa forma, diante da necessidade de administrar os recursos escassos para atender às crescentes e imensas necessidades humanas, surgiu a economia como ciência (CONTADOR, 1997). Mankiw (2009) afirmou que a ciência econômica pode ser definida como a maneira com que os membros de uma sociedade administram seus recursos escassos disponíveis e como tomam as decisões necessárias neste ambiente.

Países têm definido suas prioridades e planejado distribuição de recursos escassos por meio de sistemas de planejamento econômico com objetivo de evitar desperdícios e acelerar a melhoria na qualidade de vida. Entretanto, o planejamento vai além das funções do governo, e inclui também todo o processo de elaboração, execução e controle de um plano preestabelecido. Os planos neste contexto (sejam de origem governamental ou do setor privado) incluem um programa coordenado de investimentos, no qual os projetos constituem uma das etapas (CONTADOR, 1997). Assim, a avaliação econômica dos projetos de investimento ocupa um lugar de grande importância na alocação eficiente dos recursos disponíveis na economia.

A inovação tecnológica é o principal agente de mudança para o crescimento econômico (SCHUMPETER, 2002). John Hicks (1969), alegou que a revolução industrial na Inglaterra não ocorreu quando as maiores invenções foram feitas, mas somente muito mais tarde, quando o sistema financeiro foi desenvolvido suficientemente para oferecer os instrumentos adequados para desenvolver e aplicar as inovações. Nesse sentido, a inovação tecnológica depende de geração de conhecimentos novos e da difusão dos mesmos, como afirma Reis (2008). Assim, investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e a aplicação do conhecimento científico novo no nível das empresas ocupam um lugar chave na

economia como um todo. Devido a este fato, o processo de geração de novo conhecimento, os projetos de investimento, especialmente em produtos inovadores, ocupam um lugar estratégico muito importante para a competitividade das empresas (CORAL et. al. 2009).

Além disso, na atualidade, o desenvolvimento de novos produtos enfrenta pressões e mudanças de ambiente: os produtos se tornam mais complexos e os ciclos de desenvolvimento ficam mais curtos para reduzir, por exemplo, o *time-to-market* (WU et al., 2010). Nesse sentido, a avaliação de projetos de investimento em produtos inovadores é importante tanto para a empresa, dado que pode fazer com que ela alcance ou perca posição competitiva, quanto para a economia nacional, no sentido de geração de crescimento econômico no longo prazo.

Na literatura consultada, foram encontrados trabalhos com o tema risco em projetos de desenvolvimento de produtos de inovação, como os de Halman e Keizer (2005 e 2007) que publicaram pesquisas sobre a identificação de riscos em projetos de desenvolvimento de produtos. No primeiro trabalho, Halman e Keizer (2005) desenvolveram um quadro de referência para identificar riscos em projetos de inovação tecnológica em uma abordagem integrada. O quadro de referência desenvolvido tem foco em uma perspectiva integrada de risco - levando em conta risco de negócio, risco tecnológico e risco organizacional - e na avaliação de riscos em projetos em andamento. Nesse estudo, os autores criaram um quadro de referência, composto por 12 principais categorias de risco, conectados a 142 problemas críticos de inovação, a partir de um estudo de caso. Os autores aplicaram o conceito de risco qualitativo e construtivista, implicando que os riscos são entendidos como percepções individuais dos membros da equipe de desenvolvimento, com questões que potencialmente podem comprometer o sucesso de projetos de desenvolvimento de novos produtos, identificadas por meio de entrevistas. Resumindo, de acordo com essa abordagem, a generalização teórica foi considerada como mais importante do que a generalização estatística, ao usar três dimensões de risco - ocorrência, impacto e controle - e categorizar os riscos em três grupos - risco tecnológico, risco de negócio e risco organizacional.

No segundo trabalho, Halman e Keizer (2007) identificaram duas categorias (ambíguas e não ambíguas) de riscos inerentes, especialmente, em projetos de inovação radical. No primeiro passo, especificaram os conceitos de projetos de inovação radical e a definição de risco aplicado para depois, no segundo passo, realizar um estudo empírico. A inovação radical, de acordo com os autores, apresenta novas características de desempenho ou melhorias alcançadas sem precedentes, o que representa mudanças substanciais na tecnologia

quanto aos materiais e funções, novidades para o mercado, tempo e custo. As “grandes mudanças” se relacionam fortemente com a base conceitual de risco em projetos de inovação radical. O risco, de acordo com essa definição, é um conceito tridimensional: incerteza quanto aos resultados, quanto ao nível de controle, e quanto à percepção de impacto sobre os resultados desejados.

Para identificar as categorias de risco, um questionário foi aplicado em participantes de equipes que trabalhavam com projetos de inovação radical. Os especialistas ranquearam os riscos em uma escala de 1 a 5, no escopo citado anteriormente. A primeira dimensão questiona sobre o grau de certeza com que uma solução pode ser encontrada para certo problema técnico. A segunda dimensão questiona sobre o grau de controle ou habilidade para encontrar uma solução para certo problema do projeto, no limite de tempo e dos recursos disponível. E a terceira dimensão questiona sobre o impacto do fator de risco na questão do sucesso do projeto de inovação. As respostas mostraram que podem ser identificadas duas categorias de risco, ambígua e não ambígua.

Os riscos da categoria não ambígua são relacionados à tecnologia do produto, ao mercado e a aceitação pelos consumidores e em relação com fornecedores. Todos eles foram bem ranqueados em todas as três dimensões – incerteza, controle e impacto. As ambíguas, ao contrário, tiveram um *ranking* alto em algumas dimensões e, em outras, um *ranking* baixo. Isso pode significar que são tipos de risco mais ligados a gestão do projeto e a organização interna, mostrado pelo fato de que as pessoas, na pesquisa, tinham diferentes opiniões sobre eles.

Yang (2010) desenvolveu um modelo de simulação de riscos em projetos de desenvolvimento de produtos modelando todo o ciclo de vida, a partir da simulação do comportamento e características de produtos em uso. O autor expandiu, nessa abordagem, a avaliação de risco para a fase de serviço e, assim, foi além de outras abordagens já existentes que limitavam a avaliação às fases de *design* do produto e de fabricação. O modelo dinâmico desenvolvido simulou vários cenários no ciclo de vida do produto, usando o método de Monte Carlo, que é capaz de gerar resultados compostos quando a vida útil do produto é sujeita a eventos imprevisíveis, que tornam o comportamento do sistema não linear.

Sleeve (2010) propôs uma nova abordagem para o gerenciamento formal e a quantificação da inovação tecnológica, com a utilização de uma estrutura baseada no risco que otimiza, simultaneamente, atributos de inovação - junto com a gestão tradicional de projetos - e atributos da engenharia de sistemas. Tal abordagem envolveu quatro tipos de

risco- riscos de custo, risco de tempo, risco de desempenho e risco de inovação – em uma análise simultânea.

Wu et al. (2010) analisaram vários riscos e desafios ao desenvolvimento de produtos e desenvolveram uma abordagem tridimensional de alerta para a gestão de desenvolvimento de produtos, por meio da integração da *Graphical evaluation and review technique* (GERT) e a *Failure modes and effects analysis* (FMEA). O foco desse modelo está nos riscos de tempo, de custo e de qualidade e, ao usar modelos de simulação, os autores identificam pontos-chave de controle dos riscos considerados facilitadores na gestão dos projetos.

Com relação ao uso de VaR em projetos de investimento, é possível citar Mishra et al. (2013), que utilizou o conceito de VaR como uma medida de eficácia para avaliar o compartilhamento de risco em um projeto de parceria pública-privada (PPP). O autor argumentou que projetos de infraestrutura, como os objetos do seu trabalho, apresentam riscos significantes, devido ao fato de que geralmente faltam conhecimentos que permitam inferir custos futuros e benefícios futuros. Ademais, outro fator determinante de risco são os múltiplos agentes envolvidos em projetos PPP. Dessa forma, o uso de análise determinística, neste tipo de projeto, pode não ser a mais adequada. Sendo assim, o autor sugeriu o conceito do VaR como medida de eficácia (MOE) para acessar a divisão de risco entre a unidade pública e privada envolvidas no projeto PPP. Como método, o autor utilizou a técnica *Bootstrap* para simular os efeitos dos riscos sobre as variáveis do projeto. A partir da simulação, uma distribuição da TIR do projeto foi gerada e em seguida foi calculado o VaR do projeto de investimento.

Considerando o exposto até o momento, foi possível identificar, na literatura, pesquisas que buscaram o equacionamento dos riscos em desenvolvimento de produtos, tanto qualitativas como quantitativas. Porém, não foram encontrados, nas principais bases de dados, estudos que tratam o tema pela integração dos riscos de desenvolvimento e comercialização, mensurados por meio do *Value at Risk* (VaR).

Sendo assim, o presente trabalho tem como principal objetivo **propor um modelo de análise de investimento que integre as etapas de desenvolvimento e comercialização para projetos inovadores, com utilização do VaR como medida de risco**. O VaR será calculado a partir da distribuição acumulada de possíveis Valores Presentes Líquidos (VPLs) de fluxos de caixa. O uso de técnicas de simulação e VaR combinado foi sugerida, seguindo a argumentação de Mishra et al. (2013), devido à habilidade de prever as consequências em circunstâncias diferentes, assim tornando possível considerar efeitos dos riscos sobre o VPL.

Neste sentido, o trabalho pretende contribuir para o preenchimento da lacuna encontrada na literatura, e consiste em desenvolver um método que seja mais adequado ao ambiente de alto risco do que os métodos tradicionais, dado que os métodos tradicionais são baseados na previsão e desconto dos fluxos de caixa, sempre supostos totalmente determinísticos.

É de conhecimento que existem métodos avançados para considerar variações no tempo, em projetos de investimento, como, por exemplo, o conceito das Opções Reais. Entretanto, são de difícil aplicação e pouco conhecidos pelos profissionais no mercado (RODRIGUES, 2014). Dessa maneira, acredita-se, que o método de aplicação da simulação de Monte Carlo em conjunto com o conceito do VaR trará contribuições importantes no sentido de preencher esta lacuna encontrada na literatura.

Com a realização do trabalho aqui proposto, pretende-se contribuir para a recente discussão sobre riscos em desenvolvimento de produtos, com a possibilidade de oferecer uma nova abordagem que contemple tanto as etapas de desenvolvimento quanto as de comercialização. O resultado é fornecido em uma única medida (unidades monetárias), que poderá ser utilizada na tomada de decisão e na avaliação de projetos de investimento inovadores.

1.1 - Objetivo e Perguntas de Pesquisa

A partir do objetivo geral, que é **propor um modelo de análise de investimento que integre as etapas de desenvolvimento e comercialização para projetos inovadores, com utilização do VaR como medida de risco** entende-se que o problema a ser investigado parte da criação de dois fluxos de caixa diferentes que contemplem, respectivamente, os riscos de mercado e os de desenvolvimento de produto, o que levou à formulação de perguntas de pesquisa que definem os passos de procedimento necessários para o atingimento do objetivo proposto.

Pergunta de pesquisa um: Quais são os principais tipos de risco inerentes a projetos de produtos inovadores, classificados nas categorias riscos de comercialização e riscos de desenvolvimento, encontrados na literatura existente e apontados pelo mercado?

Pergunta de pesquisa dois: Quais são as variáveis utilizadas para quantificar os principais tipos dos riscos encontrados na literatura e apontados pelo mercado?

Pergunta de pesquisa três: Como os principais riscos encontrados e as variáveis para mensurá-los podem ser relacionados em um *framework*?

Pergunta de pesquisa quatro: O *framework* desenvolvido representa de uma maneira completa e compreensível os relacionamentos dos riscos e das variáveis relacionadas?

Pergunta de pesquisa cinco: Qual é o modelo conceitual para conceber, a partir do *framework* desenvolvido, o modelo quantitativo?

Pergunta de pesquisa seis: A técnica de simulação e posterior cálculo de VaR é aplicável em diferentes estudos de casos de projetos de inovação?

Pergunta de pesquisa sete: Os resultados da aplicação em estudos de casos são realísticos e preenchem os requisitos pré- estabelecidos?

Pergunta de pesquisa oito: Existem diferenças na aplicação em diferentes estudos de casos?

1.2 - Organização do Texto

A estrutura e organização do texto de dissertação estão definidas da seguinte maneira:

- Capítulo 1 – Introdução: apresenta o tema, as justificativas, os objetivos, além da organização do texto;
- Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: este capítulo reporta a pesquisa bibliográfica realizada e constitui o embasamento teórico para o desenvolvimento do projeto, considerando os principais temas envolvidos – inovação, projetos de investimento, risco e incerteza.
- Capítulo 3 – Método da Pesquisa: neste capítulo encontra-se a definição do método e os passos de procedimentos para o alcance do objetivo proposto

➤ Capítulo 4 – Resultados: neste capítulo são apresentados os resultados obtidos, o modelo conceitual, o *framework* do relacionamento das variáveis de risco desenvolvido, o Painel de especialistas e as duas simulações com dados de projetos reais.

➤ Capítulo 5 – Conclusão: neste capítulo serão resumidos e discutidos os resultados obtidos.

Referências Bibliográficas- apresenta as obras consultadas para o desenvolvimento desta dissertação.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica está organizada em três subitens, dedicados aos principais temas que constituem a base conceitual deste trabalho: 2.1 – Inovação, 2.2 – Projetos de investimento e 2.3 – Risco e incerteza.

O tópico inovação vem recebendo grande atenção nos trabalhos acadêmicos. Sendo assim, no item 2.1, será apresentado primeiro o conceito de inovação tecnológica e a importância desse assunto para a economia como um todo e em seguida será tratado especificamente o processo de desenvolvimento do produto (PDP) e o desenvolvimento de novas tecnologias.

Já o tema projetos de investimento é um assunto amplamente tratado pela literatura e suas técnicas de avaliação econômica são muito discutidas dentro da área de Engenharia Econômica. Deste modo, no item 2.2 serão demonstradas as definições e os métodos de avaliação econômica de projetos de investimento, incluindo os métodos tradicionais como VPL, TIR, *Payback*, além dos derivados destes métodos como VAUE e *Payback* descontado.

No terceiro tópico, que trata de risco e incerteza, serão consideradas definições para os dois conceitos e uma apresentação dos principais autores que trataram o tema. Em seguida, serão apresentadas as principais ferramentas usadas para a avaliação econômica de projetos de investimento no ambiente de risco e incerteza, como a análise de sensibilidade, análise de cenários, simulação, o *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), o conceito das Opções Reais e, finalmente, o Valor no risco (VaR)

2.1 Inovação

Desde o modelo neoclássico de crescimento econômico de Solow, sabe-se que a inovação tecnológica é um dos fatores mais importantes para gerar crescimento econômico no longo prazo (SOLOW, 1957). Esse fato é consenso em muitas outras teorias, como a teoria de crescimento econômico endógeno que reconhece que a inovação tecnológica e a acumulação de capital humano são os principais motores de crescimento econômico (ROMER, 1990).

Uma maneira de gerar inovação tecnológica é a implementação de P&D no nível das empresas. É amplamente reconhecido que a inovação tecnológica ocorre quando novas tecnologias são adotadas e inseridas no ciclo de novos produtos (SLEEFE, 2010). Cabe ressaltar que o processo de desenvolvimento de projetos de P&D não é simples, com resultados futuros que possam ser previstos com precisão. Trata-se de um processo não linear, influenciado por variáveis complexas e de difícil controle (HONGFANG et al., 2008). Além disso, de acordo com Moraes e Weinberg (2001), projetos de P&D envolvem alto comprometimento de recursos humanos e materiais por longos períodos. Por isso, uma priorização adequada dos projetos deve ser realizada para que não exista desperdício ou uso inadequado desses recursos.

Mueser (1958) definiu inovação tecnológica como uma nova ideia, um evento técnico descontínuo, que está sendo desenvolvido ao longo de certo período de tempo, até o momento em que se torna prático e, então, é usada com sucesso. O autor apontou que a inovação pode se tratar de uma inovação no produto, no processo ou nos componentes, ressaltando que a maior parte de inovações se encaixa na primeira categoria, ou seja, de produtos. No manual de Oslo (OECD, 2005, p.46) inovação é definida como a implementação de um novo ou significativamente novo produto (bem ou serviço), processo, método de marketing ou método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas.

De acordo com a definição do Manual de Oslo, podem ser identificados quatro tipos de inovação ao nível das empresas (OECD, 2005, p.16-17; 48-49):

- Inovações de produtos: é a introdução de um bem ou serviço o qual é novo ou melhorado significativamente, em relação às suas características ou usos pretendidos. Isso inclui melhorias significantes em especificações técnicas,

componentes e matérias, *software*, interface com o usuário ou outras características funcionais.

- Inovações de processos: é a implementação de um novo ou significativamente melhorado processo de produção ou de entrega. Isso inclui mudanças significativas na tecnologia, equipamentos e/ou *software*.
- Inovações marketing: é a implementação de um novo método de marketing, incluindo mudanças significativas no design do produto ou sua embalagem, na distribuição e divulgação do produto e em métodos para definir preços de benefícios e serviços.
- Inovações em organizacionais: é a implementação de novos métodos organizacionais, na prática de negócios da empresa, na organização do trabalho na empresa ou nas relações externas da empresa.

Em seguida, será especificado o produto inovador como um processo de projeto de inovação.

2.1.1 Produto inovador

A importância da inovação ao nível de empresas e o desenvolvimento de novos produtos estão baseados, entre outros aspectos, no ciclo de vida do produto, representado pelo Gráfico 1.

Todo produto tem um ciclo de vida, como representado no Gráfico 1, contemplado pelas fases de desenvolvimento do produto, crescimento comercial, maturidade do produto e a fase de declínio. Baseado nisso, surge a necessidade e a importância da inovação para a empresa, já que o processo se repete para as novas oportunidades. Nota-se que cada novo ciclo é composto por variáveis diferentes, definidos, por exemplo, pelo número de concorrentes no mercado, mudanças no próprio mercado ou pela existência de novas tecnologias. Dessa maneira, a identificação de novas oportunidades que podem ser desenvolvidas, que representam o sucesso comercial para a empresa, se torna cada vez mais difícil (CORAL et al. 2009).

Gráfico 1 – Ciclo de vida econômico do produto

Fonte: CORAL et al., 2009, p. 2.

Uma vantagem competitiva para as empresas pode ser alcançada a partir da diferenciação ou pela liderança de custos, portanto, ambas estratégias envolvem a atividade de desenvolver novos produtos, como Wright, Kroll e Parnell (2000) ressaltaram. Neste contexto, Noronha et al. (2014) apontaram que a grande quantidade de informações de natureza técnica e econômica, e a interação dessas informações com o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), tornam o processo em si altamente complexo. Os autores convergiram com o apresentado por Coral et al. (2009), que afirma, que devido as mudanças frequentes nas tecnologias, nas regulamentações e nos requisitos dos clientes intensifica-se, cada vez mais, o caráter do processo.

O Governo brasileiro apresentou o estudo Pesquisa Industrial Inovação Tecnológica (PINTEC), realizado pelo IBGE (2013), usando como base o Manual de Oslo. Até o ano 2015 foram elaboradas 5 edições (2000; 2003; 2005; 2008 e 2011)¹ as quais tem como objetivo construir indicadores setoriais, nacionais e regionais, das atividades de inovação tecnológica das indústrias brasileiras, a fim de comparar com outros países. De acordo com os dados do PINTEC a taxa de inovação das empresas brasileiras, de 2008 para 2011, caiu de 38,1% para 35,6%. As principais causas citadas pelas empresas da amostra foram os elevados custos da inovação (81,7%) e os riscos econômicos (71,3%).

¹ Todas as informações com bases de dados completos disponíveis em: <http://www.pintec.ibge.gov.br/>.

A associação de gestão e desenvolvimento de produtos² (PDMA) conduz estudos sobre as melhores práticas no PDP desde 1990, sendo que em 2012 foi conduzida a quarta pesquisa comparativa sobre a *performance* das empresas no desenvolvimento de novos produtos. A amostra teve uma participação de 453 empresas de 24 países diferentes; assim foi capaz de identificar diferenças nas práticas entre as empresas líderes do mundo. Na apresentação dos resultados, os resultados de PDP foram divididos entre taxa de sucesso, vendas, tempo e *performance* no cronograma, objetivos técnicos, objetivos do mercado, rentabilidade, mortalidade dos projetos e o tempo de ciclo de desenvolvimento. A Tabela 1 resume os resultados encontrados ao longo dos anos (1990-2012) e pelos três continentes, América, Europa e Ásia.

Tabela 1 – Taxas de sucesso							
	2012	2004	1995	1990	América do Norte	Ásia	Europa
Número de empresas	453	416	383	189	43,7%	32,9%	13,5%
Sucessos	61,0%	59,0%	59,0%	58,0%	67,5%	48,6%	56,8%
Lucro dos sucessos	56,2%	54,2%	54,6%	N/A	62,5%	44,5%	51,8%
Vendas de novos produtos	31,1%	28,0%	32,4%	32,6%	28,0%	38,9%	29,2%
Lucro de novos produtos	30,85%	28,3%	30,6%	33,2%	28,2%	36,7%	31,5%
Número de ideias para um sucesso	8,7	7,2	6,6	11,0	6,4	14,9	10,2

N/A não disponível

Fonte: adaptado segundo MARKHAM, S. K.; HYUNJUNG, L., 2012.

De acordo com a Tabela 1, é possível identificar que 61% dos produtos lançados no mercado obtiveram sucesso e todos os outros índices de *performance* aumentaram ao longo dos anos. Verifica-se, também, que as empresas da América do Norte possuem taxas de sucesso e rentabilidade mais altas que as empresas da Europa e Ásia. Além disso, foi encontrado que existem grandes diferenças entre as empresas, que foram divididas entre as melhores e o resto (Tabela 2).

Conforme demonstrado pela Tabela 2, as melhores empresas possuem taxas de sucesso significativamente melhores, já que mais de 82% dos novos produtos lançados no mercado nos últimos cinco anos foram bem sucedidos contra 52,9% do resto das empresas.

² Product Development and Management Association, site da associação: <http://www.pdma.org/>.

No que diz a respeito à rentabilidade, as melhores tem uma taxa de sucesso de 78,2% contra 48,5 % do resto. Somando a isto, aproximadamente 47,9% das vendas estavam relacionadas a produtos novos e 48,5% do lucro tinha origem os produtos novos nas melhores empresas. Por outro lado, no resto das empresas, as taxas eram de apenas 25,4% e 25% respectivamente. Esses resultados foram estáveis de 2004 a 2012 com a exceção de que o resto das empresas mostrou um aumento nas vendas e no lucro de novos produtos em 2012. No total, a taxa de comercialização de novos produtos, desde a ideia inicial, chegou a 19% em 2012 contra 24% em 2004 (MARKHAM e HYUNJUNG, 2012).

Tabela 2- Taxas de sucesso entre as melhores empresas e o resto				
	2012		2004	
	As melhores	O resto	As melhores	O resto
Número de empresas	88 (24,6%)	270 (75,4%)	96 (24,1%)	303 (75,9%)
Sucessos	82,2%	52,9%	75,5%	53,8%
Lucro dos sucessos	78,2%	47,9%	72,4%	47,9%
Vendas de novos produtos	47,9%	25,4%	47,6%	21,4%
Lucro de novos produtos	48,5%	25,0%	49,1%	21,2%
Número de ideias para um sucesso	4,5	11,4	4,0	9,2

Fonte: adaptado segundo MARKHAM, S. K.; HYUNJUNG, L., 2012.

Filho et al. (2010) apontaram que, de acordo com a literatura clássica, existem vários termos que se referem ao processo de desenvolvimento de produtos como, por exemplo, processo de planejamento, projeto de engenharia e projeto de desenvolvimento do produto. No proposto trabalho será utilizado o termo processo de desenvolvimento de produto (PDP).

Dessa maneira, será utilizada a definição de Ulrich e Eppinger (2000), onde PDP refere-se à sequência de passos e atividades interdisciplinares que começa com a percepção da oportunidade de mercado e termina com a produção e comercialização de um produto, passando pelas fases de planejamento, desenvolvimento do conceito, projeto do sistema, projeto detalhado, teste, refinamento e produção-piloto. Neste processo de desenvolvimento, importantes decisões de investimento precisam ser tomadas, decorrentes da escassez de informações e conhecimentos. As decisões iniciais deste processo são determinantes para o sucesso do projeto de desenvolvimento, entretanto, também apresentam a característica de que dificilmente podem ser modificadas posteriormente (COOPER, 2008).

O PDP envolve dois conceitos importantes, o conceito de processo e o conceito de fluxo de informações. O conceito do processo é definido como “um conjunto de atividades realizadas em uma sequência lógica com o objetivo de produzir um bem ou serviço que tem valor para um grupo específico de clientes” (ROZENFELD et al. 2006, p. 10). O fluxo de informações é importante para o processo do PDP, à medida que gera e faz uso de entradas e saídas de conhecimentos e informações. Nas atividades do processo, existe uma interação das mais diversas fontes de informação como, por exemplo, entre as áreas funcionais da empresa, fornecedores e clientes.

Somando a isto, Rozenfeld et al. (2006) ressaltaram que “a visão do PDP baseada em fluxo de atividades e de informações permite compreender as ligações críticas entre as áreas da empresa e entre essa, o mercado, os fornecedores, as fontes de informação tecnológica e as instituições de regulamentação do produto. Desse modo, pode-se posicionar o PDP dentro do ambiente da empresa, sua relação com outros processos internos e com o ambiente externo à empresa.” (ROZENFELD et al. 2006, p.10). Sendo assim, o processo de desenvolvimento do produto deve abranger, segundo os autores, todo o planejamento e gerenciamento do portfólio de produtos e do portfólio de projetos para garantir a compatibilidade com as estratégias da empresa. Além disso, tanto a gestão estratégica quanto a gestão operacional, considerando aspectos de mercado e manufatura também são envolvidos nesse processo de negócio. O processo pode ser executado de diversas formas e, por isso, cada empresa pode empregar um processo específico diferente ou até uma mesma empresa pode empregar processos diversos para diferentes tipos de projetos de desenvolvimento (ULRICH e EPPINGER, 2001).

De acordo com Cooper et al. (2003) o desenvolvimento de produto pode envolver mudanças incrementais de produtos, produtos novos para o mercado, revisões principais de produtos, produtos novos para o mundo e desenvolvimento promocional e mudança de pacote. Crawford e di Benedetto (2006) desenvolveram uma classificação parecida com Cooper (2006), representado no Quadro 1, com exemplos de produtos.

Davis (2001) dividiu os portfólios de PDP, além da definição de Crawford e di Benedetto (2006), em quatro categorias em função do risco de mercado e do retorno esperado, como apresentado na Figura 1. Porém as categorias em si podem ser ligadas diretamente com a classificação apresentada no Quadro 1 e completadas com características específicas e indicadores numéricos.

Classificação de produtos novos	
1. Produtos novos para o mundo, ou realmente produtos novos:	Esses produtos são invenções que realmente criam um mercado completamente novo. Exemplos: câmera de Polaroid, Sony Walkman, impressora a laser da Hewlett- Packard. Essa categoria responde a mais ou menos 10 % dos produtos novos.
2. Produtos novos para a empresa, ou novas linhas de produtos:	Produtos que levam uma empresa a uma nova categoria para ela. Os produtos não são novos para o mundo, mas novos para a empresa. Exemplos: impressora a laser da Canon, primeiro xampu da P&G. Essa categoria corresponde a cerca de 20% dos produtos novos.
3. Adições às linhas de produtos existentes:	Produtos que são extensões, franquizados, etc., no mercado atual da empresa. Exemplos: Budweiser Light, iMac do Apple. Aproximadamente 26% dos produtos novos.
4. Melhorias e revisões de produtos existentes:	Produtos atuais feitos melhor. Exemplos: produtos de limpeza doméstica, o Gol da Volkswagen. Mais ou menos 26% dos produtos novos.
5. Reposicionamento:	Produtos que são redirecionados para um novo uso ou aplicação. Exemplo: aspirina reposicionada como proteção contra ataques cardíacos. Aproximadamente 7% dos produtos novos.
6. Redução de custos:	Novos produtos que substituem os produtos já existentes na linha, oferecendo ao cliente um desempenho semelhante, mas a um custo menor. Poder ser mais um produto novo em relação ao design ou produção do que marketing. Mais ou menos 11% dos produtos novos.

Quadro 1 – Classificação de produtos novos

Fonte: adaptado segundo CRAWFORD E DI BENEDETTO (2006).

Novos empreendimentos são produtos novos para o mundo, ou seja, produtos que são inovadores e criam um mercado novo. Apesar de o termo ser frequentemente associado com *startups*, é igualmente aplicável à inovação em empresas estabelecidas. Estes produtos representam apenas cerca de 10% de todos os novos produtos, embora em empresas de alta tecnologia a taxa poderá ser mais elevada, atingindo até 20% (DAVIS, 2001). Esta definição corresponde com a primeira categoria da Classificação de Crawford e di Benedetto (2006) nomeada “Produtos novos para o mundo”.

Novas categorias são produtos novos para a empresa e a inclusão de novas linhas de produtos que têm como alvo um mercado já estabelecido, porém em que a empresa não competia antes (DAVIS, 2001). Esta classificação corresponde à segunda categoria segundo Crawford e di Benedetto (2006), chamada “Produtos novos para a empresa”. Estes produtos, incluindo o reposicionamento dos produtos existentes, representam 27% de todos os produtos novos, embora em empresas de alta tecnologia o número poderá ser 39% (DAVIS, 2001).

Figura 1- Categorias de Portfólios de Produtos

Fonte: adaptado segundo DAVIS (2001).

Novas plataformas são mais frequentemente adições a linhas de produtos existentes, muito embora os próprios produtos em si possam ser bastante inovadores. Estas plataformas são a base para futuros derivados de produtos quando uma nova tecnologia, um melhor conhecimento do mercado ou *know-how* de fabricação se tornam disponíveis. Para todas as empresas, esses produtos representam 26% de todos os novos produtos - embora em empresas de alta tecnologia a taxa poderá ser tão baixa quanto 20% (DAVIS, 2001). A terceira categoria “Adições a linhas de produção existentes” da classificação segundo Crawford e Benedetto (2006) corresponde com esta definição apresentada.

Por fim, produtos derivados são melhorias e revisões de produtos existentes, incluindo reduções de custos. Para todas as empresas, esses produtos representam a maior categoria de investimento em PDP com uma taxa de 37%, embora em empresas de alta tecnologia esta taxa poderá chegar a apenas 22% (DAVIS, 2001). Esta última categoria corresponde respectivamente as três últimas categorias segundo a classificação de Crawford e di

Benedetto (2006) “Melhorias e revisões de produtos existentes”, “Reposicionamento” e “Redução de Custos”.

Dessa maneira, Yao et al. (2013) ressaltou que é importante distinguir os projetos de PDP do tipo contínuo/ incremental ou descontínuo/ - radical. Essas duas categorias são definidas da seguinte maneira:

- Contínuo/incremental: são melhorias de produtos, atualizações e extensões de linha com o objetivo de satisfazer uma necessidade de mercado percebida, geralmente, leva menos tempo para desenvolver e pode resultar em retornos mais baixos sobre o investimento.

Descontínuo/radical: Um projeto de PDP radical é normalmente projetado para encontrar mercados específicos para um novo produto onde se espera riscos envolvidos para se desenvolver, mas uma vez desenvolvida, uma inovação radical pode proporcionar retornos mais altos que o projeto do tipo contínuo/ incremental.

Halman e Keizer (2007) acrescentaram que projetos contínuos/incrementais são mais lineares e previsíveis, com menos incertezas sobre os recursos e incluem relações de colaboração mais simples que projetos radicais. Ao contrário, os projetos radicais envolvem um ciclo de inovação mais longo, são menos previsíveis, têm mais paradas e recomeços, dependem mais do contexto onde decisões estratégicas podem acelerar, adiar ou terminar o progresso do projeto e incluem mais vezes trabalho em equipe de diferentes unidades ou de diferentes funções.

Halman e Keizer (2007) também argumentam que as duas categorias diferem em relação aos resultados esperados. Os projetos contínuos/incrementais geralmente são avaliados segundo o retorno esperado dentro de um horizonte de tempo pré-determinado, de acordo por exemplo, com as seguintes perguntas: Qual é o impacto do retorno esperado?; Quão rápido o produto vai crescer?; Quanto *market share* é esperado?. Ao contrário, os critérios-chave em relação aos projetos radicais/descontínuos são relacionados ao retorno do novo valor para o mercado: Qual impacto essa tecnologia terá no mercado?; A tecnologia nova vai gerar os benefícios desejados?; Quais são as novas possibilidades geradas pela nova tecnologia?.

Conectando a classificação de Yao et al. (2013), Davis (2001) e Crawford e di Benedetto (2006), pode-se afirmar que as duas primeiras categorias nomeadas por Davis (2001) e Crawford e di Benedetto (2006) correspondem ao tipo de projetos de PDP descontínuos/radicais e as outras categorias ao tipo contínuo/incremental, classificado por Yao et al. (2013).

Em suma, as classificações encontradas na literatura estão consistentes entre si, mesmo que os nomes sejam diferentes, as descrições e números indicadores são semelhantes ou até mesmo iguais. Assim, a definição de produto novo neste trabalho se referencia às primeiras duas categorias dos autores citados, que podem ser resumidos com os termos projetos descontínuos/radicais.

A taxa de sucesso de projetos de PDP ainda é baixa, afirmaram Halman e Keizer (2005), o que também é refletido pelos números citados por Cooper (2003) que apontou que cerca de 80% dos esforços de desenvolvimento de novos produtos falham antes da conclusão do projeto, e mais de 50% dos esforços não conseguiram retorno sobre o investimento de dinheiro e tempo.

A pesquisa da *Product Development and Management Association* (PDMA) também apontou para o fato que o grau de novidade do projeto (tratando-se de um projeto incremental ou radicalmente novo) influencia fortemente a *performance* e o resultado do PDP como resumido na Tabela 3.

Tabela 3- <i>Performance</i> de projetos				
	No tempo (%)	Dentro do orçamento (%)	Alcançou objetivos técnicos (%)	Alcançou objetivos de mercado (%)
Radical	29,2	31,7	53,1	46,3
Mais inovativo	43,6	49,1	66,3	58,7
Incremental	57,9	62,3	72,9	68,0

Fonte: adaptado segundo MARKHAM, S. K.; HYUNJUNG, L., 2012.

Quanto mais radical o projeto de inovação, menos sucesso em todas as variáveis explicativas de *performance*. Empresas em todos os níveis de inovação têm os melhores resultados em alcançar os objetivos técnicos seguido pelos objetivos de mercado. Em contrapartida, as empresas têm dificuldade de ficar dentro do orçamento e ficar dentro das metas de tempo de desenvolvimento (MARKHAM e HYUNGJUNG, 2012).

Apenas um terço dos projetos radicais e menos da metade dos projetos mais inovadores conseguiram alcançar as metas de tempo e orçamento. Destaca-se que as empresas geram mais lucros a partir de projetos incrementais (48%) do que a partir dos radicais (18,9%) ou dos mais inovativos (33,2%). Porém as melhores empresas geram significativamente mais lucro que o resto das empresas dos projetos radicais (22,9% contra 18,6%), enquanto o resto gera mais lucro dos projetos incrementais do que as melhores (49,7% contra 39%) (MARKHAM e HYUNGJUNG, 2012).

É importante notar que o lançamento de um produto inovador pode causar perdas, em alguns casos irre recuperáveis à empresa, caso o produto não seja aceito pelo mercado. Alguns exemplos são perda da imagem, baixo retorno sobre o capital investido, ciclo de vida declinante, prejuízos financeiros, entre outros (TONI e SCHULER, 2003).

Então, o PDP está fortemente ligado ao planejamento estratégico da empresa, já que nesse planejamento são consideradas as estratégias da empresa e também as tecnológicas. Para cada mercado que a empresa deseja atingir, um conjunto de produtos é definido. Dessa maneira, todo o planejamento envolve a relação com o mercado e todos os outros produtos da empresa. Portanto, a tomada de decisão para certo projeto de investimento em um produto inovador, dentro do portfólio dos projetos disponíveis influencia fortemente o planejamento estratégico da empresa, sempre com o foco em manter um conjunto de produtos capazes de atender às necessidades dos clientes (ROZENFELD et al., 2006).

Em outras palavras, o PDP é um processo de tomada de decisão de negócios complexo e difícil, devido ao alto nível de investimento necessário e exposição à baixa probabilidade de sucesso. As explicações fundamentais para a dificuldade do processo de desenvolvimento de produto são relativas aos riscos inesperados e ao seu impacto, além da incapacidade da empresa de se defender contra os riscos, de forma eficaz e eficiente (AHN e CHOI, 2010).

Uma certeza em projetos de inovação é que inovação em si, desde sempre, envolveu incerteza e risco (WU et al. 2010). Os PDPs são caracterizados por incertezas e, assim, contêm um nível alto de risco que exige maior flexibilidade no planejamento. Essas incertezas em relação ao projeto são, por exemplo, incerteza sobre o retorno do mercado, sobre o orçamento do produto, sobre a *performance* do produto, sobre a exigência do mercado, e sobre o cronograma do projeto (HUCHZERMEIER e LOCH, 2001).

Yao et al. (2013), também, afirmaram que o PDP ocorre sob incertezas tanto econômicas quanto técnicas, então é necessário que o projeto seja flexível o suficiente para ser ajustado com a chegada de novas informações. Como resultado, o PDP não é uma decisão de uma vez só, e sim um processo bastante dinâmico.

Por exemplo, Chesbrough (2004) afirmou que a comercialização bem sucedida de um produto novo envolve a gestão, tanto das incertezas tecnológicas quanto das incertezas de mercado, já que a capacidade e o desempenho de uma tecnologia incipiente são, muitas vezes, poucos compreendidos. Esta incerteza técnica é agravada pela incerteza do mercado, quando

os projetos em estágio inicial também são destinados a um mercado incerto. A maneira como a tecnologia pode ser usada pelos clientes e quais são os possíveis benefícios que ela pode proporcionar a eles geralmente está longe de ser clara. Como consequência, os erros de medição (tanto falsos positivos como falsos negativos) são inevitáveis.

Como citado anteriormente, existem na literatura vários modelos para o processo de PDP e a aplicação dos mesmos depende das características específicas do projeto. Rozenfeld et al. (2006) apresentaram um modelo geral para o processo, descrito em seguida, e utilizado como referência no presente trabalho, representado pela Figura 2.

Figura 2 – Visão geral do modelo de referência

Fonte: ROZENFELD et al., 2006, p.44.

A Figura 2 apresenta o modelo referencial, principalmente para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital, por meio das três macrofases do processo como um todo. Estas fases consistem em pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. É importante notar que as duas macrofases, pré e pós-desenvolvimento, são as mais genéricas e podem ser utilizadas em outros tipos de empresas, além das citadas, com pequenas alterações. Já as atividades da macrofase de desenvolvimento são dependentes da tecnologia envolvida no produto, baseadas nos aspectos tecnológicos correspondentes à definição do produto em si, suas características e forma de produção (ROZENFELD et al., 2006).

As fases são determinadas pelas entregas do conjunto de resultados, as quais indicam o final da fase anterior e, assim, determinam um novo patamar de evolução do projeto de desenvolvimento. Na transição de fase, uma avaliação dos resultados obtidos é feita para

garantir a antecipação de problemas e, assim, gerar aprendizado para a empresa. Nesta avaliação serão analisados pontos como, por exemplo, a qualidade dos resultados obtidos, a situação do projeto diante do planejado, o impacto dos problemas encontrados e a importância do projeto perante o portfólio. A análise de viabilidade econômica, foco do presente trabalho, será uma atividade executada na fase de projeto detalhado, após a fase de projeto conceitual, que envolve a seleção e determinação de concepções alternativas e o detalhamento da documentação do produto a ser desenvolvido (ROZENFELD et al., 2006).

O mapa de retorno aplicado para produtos inovadores foi desenvolvido por House e Price (1991) e pode ser aplicado para qualquer produto inovador para mostrar graficamente os indicadores financeiros. O mapa apresenta o tempo necessário para o desenvolvimento do produto até a produção e o tempo até alcançar retornos. Assim, o mapa incentiva a empresa a sempre atualizar as estimativas relacionadas ao investimento e tempo necessário para o desenvolvimento do projeto de inovação. Com a atualização contínua das estimativas, a equipe do projeto pode planejar melhor as atividades e, assim, prever os impactos das ações no sucesso geral do projeto. O mapa de retorno é representado pelo Gráfico 2.

Os pontos mais importantes apresentados pelo mapa de retorno (HOUSE e PRICE, 1991), são os seguintes:

- *Time-to-market*: corresponde ao tempo total do desenvolvimento do produto, ou seja, desde a fase de investigação até o lançamento do produto no mercado. Então, é o tempo de desenvolvimento necessário até o produto chegar ao mercado.
- Ponto de equilíbrio (*break-even-time*): representa o tempo necessário para que os investimentos, desde o início do desenvolvimento, se igualem aos lucros obtidos.
- Ponto de liberação após o lançamento do produto (*break-even-after-release*): corresponde ao tempo, desde a fase de lançamento do produto até o momento que os investimentos são recuperados.
- Fator de retorno (*Return factor*): é representado pelos lucros divididos pelos investimentos, em um momento específico após o lançamento do produto.

Gráfico 2 - O mapa de retorno

Fonte: adaptado segundo HOUSE E PRICE, 1991.

Para a priorização de projetos de PDP Moraes e Weinberg(2001) desenvolveram um método de priorização de projetos, considerando a existência da alta incerteza e a subjetividade na priorização de projetos de PDP. O método proposto pelos autores, prioriza os projetos de PDP a partir da função das variáveis independentes exequibilidade, definido como a facilidade de ser colocado em prática, e interesse dos avaliadores em executar o projeto, definido como o grau de desejo de desenvolver o projeto em questão. A partir dessa função, será possível priorizar o projeto. A Figura 3 ilustra a relação entre as duas variáveis e o grau de prioridade.

Como pode ser observado na Figura 3, quanto maior a exequibilidade e o interesse no projeto, maior será a prioridade atribuída ao mesmo. Seguindo, Moraes e Weinberg (2001), atribuem mais variáveis explicativas associadas a cada uma das duas variáveis básicas “interesse” e “exequibilidade”. O nível da variável exequibilidade, segundo os autores, é dependente da segurança tecnológica, do prazo e do investimento. Para a variável de interesse, os autores incluem as variáveis explicativas, aderência à estratégia da empresa, nível de receita a ser gerado pelo projeto e o efeito do projeto em mercados ainda não atendidos. Em seguida, especialistas devem atribuir notas às variáveis propostas, usando uma escala de baixo-médio-alto.

Figura 3- Plano de prioridades

Fonte: MORAES e WEINBERG, 2001.

Por fim, por meio do cálculo de uma média aritmética, os valores de exequibilidade e interesse de cada um dos projetos podem ser calculados e plotados na Figura 3 para a visualização e posterior priorização dos projetos disponíveis. Dessa forma, será possível escolher o projeto com a maior prioridade. Assim este método apresenta uma primeira ferramenta para a priorização entre projetos disponíveis, muito embora ainda não apresente uma avaliação financeira.

Cooper et al. (1999) ressaltaram que gestão de portfólio é de alta importância para o sucesso de projetos PDP. De acordo o estudo da PDMA, 71% das empresas responderam que usam um processo estruturado para o gerenciamento do portfólio de novos produtos comparado com 55% em 2004, que também mostra a importância cada vez maior do gerenciamento de portfólios de PDP. Destaca-se que o método mais utilizado foi o *Payback descontado* seguido pelo fluxo de caixa descontado e o ranqueamento dos projetos. Na amostra, os projetos mais inovativos e radicais foram avaliados por métodos de avaliação econômica menos frequentemente do que os projetos incrementais. Isto é um fator bastante interessante, pois os projetos radicais apresentam maior risco para as empresas (MARKHAM e HYUNGJUNG, 2012).

A avaliação financeira de projetos de PDP torna-se complexa devido às características de alto nível de risco do projeto, alta incerteza e maior flexibilidade exigida. Os

métodos tradicionais podem ser aplicados nesse ambiente, mas podem não fornecer os melhores resultados. Vários autores consideram que o uso dos métodos de fluxo de caixa descontado (por exemplo, o valor presente líquido) não são adequados para projetos de investimento de produtos inovadores (FREDBERG, 2007 e QIU; YEO, 2003), pois consideram apenas os lucros e custos tangíveis (HONGFANG et al., 2008). Como dependem de informações futuras e incluem quantidades substanciais de custos e lucros intangíveis, esses métodos não apresentam uma boa medida (HONGFANG et al., 2008).

A seguir será definido o que é um projeto de investimento e quais são os métodos de avaliação econômica.

2.2 Projetos de investimento

Segundo Bodie et al. (2000, p.23) um investimento, em geral, é definido como um “comprometimento atual de dinheiro ou de outros recursos na expectativa de colher benefícios futuros”. Para a tomada de decisão, usa-se a análise das alternativas de investimento, por meio de estudo dos fluxos de caixa, ou seja, desembolsos de capital (saídas de caixa) e reembolsos (entradas de caixa) para avaliar a viabilidade econômica. Um projeto de investimento será considerado economicamente viável quando prever a recuperação do capital (retorno do investimento) e uma remuneração (retorno sobre o investimento).

Uma empresa, naturalmente enfrentando condições de escassez de recursos, pode ser vista como uma tomadora de decisões, primeiro sobre o investimento a ser feito, que se refere à aplicação de recursos e, segundo sobre o financiamento, referente à captação de recursos (RODRIGUES, 2014).

No entanto, em qualquer investimento sempre haverá um risco associado. De acordo com Bodie et al. (2000, p. 29) “retornos reais ou realizados quase sempre se desviarão do retorno esperado previsto no início do período de investimento”. Segundo Weston e Brigham (1976), três características básicas associadas a projetos de investimento interagem para determinar a decisão do investidor. Primeiro, o investimento é irreversível, significando que os fundos já investidos no projeto não podem mais ser recuperados na totalidade. A segunda,

sempre há incertezas envolvidas em qualquer tipo de investimento, por exemplo, sobre benefícios futuros. A terceira característica está relacionada ao “*timing*” do investimento, devido ao fato de que, com o planejamento adequado, as decisões de investimento podem ser adiadas até que a informação credível sobre os resultados futuros estejam disponíveis.

Segundo Queiroz (2001) as etapas básicas que compõem um projeto de investimento são as seguintes:

- estudo de mercado
- estudo de tamanho e localização
- engenharia
- análise de custos e receitas
- avaliação da viabilidade econômica

Estas etapas são dinâmicas, demandando por um trabalho interdisciplinar e em equipe, já que às vezes se torna necessário um retorno às etapas já cumpridas ou um avanço para as etapas ainda não realizadas.

Existem vários métodos para avaliar a viabilidade econômica para a tomada de decisão em projetos de investimento. Os métodos tradicionais são: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o período de retorno de capital (*payback*) e o Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE). Todos se baseiam na previsão e desconto do fluxo de caixa do projeto de investimento.

As técnicas de análise econômica tradicionais, utilizadas na avaliação de projetos de investimento, baseiam-se no pressuposto de que os fluxos de caixa futuros são totalmente determinísticos na natureza e não são projetados para dar conta dos riscos envolvidos na avaliação de resultados futuros (MISHRA, 2013). A maioria das técnicas de análise econômica, usadas para calcular retornos futuros pode ser dividida em duas categorias, ou seja, preditiva (*ex-ante*) ou avaliativa (*ex-post*) (BOARDMAN et al. 2005).

Cooper (2001) ressalta, todavia, que a decisão de qual método usar, muitas vezes, não é fácil, devido à diversidade de métodos existentes. Os métodos tradicionais de avaliação de investimentos, apesar de serem criticados para aplicação em contextos diferenciados, como em ambientes de incertezas, são amplamente utilizados. Rodrigues (2014) continua a argumentação indicando a ausência de métodos de avaliação de investimentos apropriados para o contexto de priorização e seleção de projetos de PDP, o que é confirmado por *surveys* sobre os métodos de avaliação de investimento. A autora aponta como problema que métodos

mais sofisticados são pouco conhecidos ou não compreendidos, sendo vistos como caixas pretas por muitos tomadores de decisão.

Em suma, as técnicas citadas anteriormente são usadas pelas empresas para que sejam selecionados os gastos de capital compatíveis com o objetivo de maximização de lucro, ou seja, com o objetivo de analisar a viabilidade e a atratividade de projetos de investimento (GITMAN, 2007). Em seguida serão apresentados, primeiramente, os métodos determinísticos de avaliação de projetos de investimento.

2.2.1. Valor presente líquido

O VPL é um método quantitativo na avaliação econômica de projetos de investimentos e é um dos métodos mais usados pela engenharia econômica. De acordo com Rebelatto (2004), o VPL de um projeto de investimento é o valor atual das entradas de caixa (retornos de capital esperados), incluindo o valor residual (se houver) menos o valor atual das saídas de caixa (investimentos realizados). Os fluxos de caixa no cálculo de VPL serão descontados a uma taxa especificada, chamada de taxa de desconto (taxa de juros aplicada sobre os futuros valores), custo de oportunidade de capital ou custo de capital (GITMAN, 2007). Em relação ao fluxo de caixa de um projeto de investimento, a função do VPL consiste em trazer as entradas e saídas de capital para a data zero do investimento. Então o VPL é calculado pela expressão (1):

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (1)$$

Onde:

FC_0 : fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial), podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento;

FC_j : representa o valor de entrada ou saída de caixa previsto para cada intervalo de tempo;

i : é a taxa de desconto;

n : período de tempo.

No caso de uma única alternativa de investimento:

Se o $VPL > 0$, aceita-se o projeto;

Se o $VPL < 0$, rejeita-se o projeto;

Se o $VPL = 0$, é indiferente investir ou não nesse projeto.

Portanto, o VPL somente se torna inaceitável em casos de projetos cujos valores sejam negativos, já que o VPL representa um sobrelucro. Melhor explicando, para o caso do $VPL > 0$, ocorre uma remuneração superior à taxa mínima de atratividade (TMA), no caso do $VPL < 0$ uma remuneração inferior à TMA e quando o $VPL = 0$ indica uma rentabilidade com taxa igual à TMA. A TMA é fixada pelas próprias empresas e é amplamente reconhecido, pela literatura, que ela deve ser baseada pelo menos no custo do capital, se não no custo de oportunidade de capital.

A argumentação encontrada na literatura, para o fato do investidor ser indiferente ao investimento no caso do $VPL = 0$, é fortemente ligada à escolha da TMA. Se o investidor usa uma TMA com base, por exemplo, na taxa SELIC³, e o VPL for igual a 0, realmente se pode afirmar, que ele será indiferente com relação ao investimento, já que receberia a mesma remuneração no mercado de títulos do governo, com baixo risco. Por outro lado, se o investidor define a TMA com base no custo de oportunidade de capital, ele não estaria mais indiferente quanto ao investimento, pelo fato de estar sendo remunerado numa taxa presente em projetos de mesmo risco. Buarque (1991) afirma neste contexto, que a determinação da TMA apresenta uma grande dificuldade para os investidores, já que ela pode ser determinada de diferentes maneiras pelo investidor.

A grande vantagem para o uso do VPL como indicador para avaliação de investimentos sustenta-se no fato de que o VPL apresenta o resultado em valores monetários, representando o diferencial de ganhos em relação à aplicação do capital a TMA estabelecida pela empresa e não representando lucros ou prejuízos em termos absolutos (REBELATTO,

³ “A taxa de juros equivalente à taxa SELIC (taxa básica de juros da economia), pode ser verificada diariamente no site do Banco Central do Brasil, <http://www.bcb.gov.br/pt-br/paginas/default.aspx>. Dia 30/07/2015 o Comitê monetário do Banco Central do Brasil anunciou um aumento de 0,5 pontos da taxa SELIC de 13,75% para 14,25% <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/copom-aumenta-taxa-de-juros-em-meio-ponto-para-14-25>.

2004). Assim, ele se torna um método confiável e flexível, porém de difícil interpretação para as empresas, o que leva os investidores a optar pela avaliação econômica de projetos através da TIR (BLANK e TARQUIN, 2005).

2.2.2 Taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (TIR) é uma técnica simples de orçamento de capital, mas apresenta um cálculo mais complexo do que o cálculo do VPL. A TIR é a taxa de desconto que iguala o VPL de uma oportunidade de investimento a \$0, justamente pela lógica que o valor presente das entradas líquidas de caixa se iguala ao investimento, essa lógica está representado na Figura 4.

No caso em que todas as entradas de caixa previstas se realizem ao longo da vida do projeto, a TIR é a taxa composta de retorno anual que a empresa obterá na realização do projeto (GITMAN, 2007).

Matematicamente a TIR é representada pelas seguintes expressões (2) e (3):

$$\$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - FC_0 \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = FC_0 \quad (3)$$

Então, se a TIR for maior ou igual à TMA, deve-se aceitar o projeto; se a TIR for menor que a TMA, deve-se rejeitar o projeto. De acordo com esses critérios, pelo menos o retorno exigido deverá ser obtido pela empresa.

Figura 4- Ilustração gráfica da TIR

Fonte: BARREIROS, 2003.

Se compararmos as técnicas de VPL e TIR, algumas diferenças fundamentais entre elas estão visíveis. Do ponto de vista teórico, Gitman (2007) e também Buarque (1991) argumentam, de acordo com a observação já feita na seção anterior, que o uso do VPL é preferível ao uso do TIR. Esta argumentação está associada às diferentes hipóteses implícitas que o VPL e a TIR contêm a respeito do reinvestimento de entradas intermediárias de caixa de um projeto. Enquanto o VPL pressupõe o reinvestimento dessas entradas intermediárias a uma taxa correspondente ao custo de capital (mais conservadora), a TIR por sua vez supõe o reinvestimento à própria TIR do projeto. Além disso, o VPL também não apresenta problemas matemáticos como a TIR, quando calculada para séries não convencionais de fluxos de caixa, especialmente quando o fluxo de caixa apresenta mais que uma conversão de sinais.

Para o caso de várias inversões de sinal e a existência de várias taxas foi desenvolvido a TIR modificada (MTIR), qual leva em consideração mais que uma taxa através de seguinte equação (4) (OLIVEIRA, 2008):

$$MTIR = \left(\frac{\sum_{j=0}^n R_j(1+i_r)^{n-j}}{\sum_{j=0}^n |C_j|/(1+i_c)^j} \right)^{1/n} - 1 \quad .(4)$$

Onde:

i_r : taxa de atratividade;

i_c : taxa correspondente ao custo de capitação (custo financeiro);

R_j : fluxos de caixa positivos;

C_j : fluxos de caixa negativos;

n : período de tempo;

Assim a MTIR possibilita calcular o retorno de um investimento que contemple a aplicação dos fluxos excedentes por uma taxa de aplicação e os déficits de fluxos por uma taxa de captação. Um exemplo seria quando existe um investimento com um custo além do financiamento inicial, por exemplo, no primeiro período, neste caso não poderia ser aplicado a TIR porque a taxa de financiamento do projeto e do reinvestimento não são as mesmas ao longo do ciclo de vida do projeto, qual é a suposição da TIR. Neste caso pode ser aplicado a MTIR com uma taxa de financiamento (para os períodos com fluxo de caixa negativo) e uma taxa de captação (para os períodos com fluxos de caixa positivos).

2.2.3 Payback

A técnica de *payback* indica o tempo necessário para que a empresa recupere seu investimento inicial em um projeto, levando em conta suas entradas líquidas de caixa. Em outras palavras, é o período de tempo necessário para que os resultados líquidos acumulados do projeto sejam equivalentes ao investimento inicial. Para uma série uniforme de pagamentos o *payback* é representado pela seguinte expressão (5):

$$0 = -P + \sum_{t=1}^{t=n_p} NCF_t \quad (5)$$

Onde n_p é o número de períodos,

P o custo inicial do investimento e NCF o fluxo de caixa líquido.

Os critérios aplicados à técnica de período de *payback* são as seguintes:

- $t < n$; o projeto apresenta lucro econômico;
- $t = 0$; o projeto apresenta lucro normal;

- $t > n$; o projeto apresenta prejuízo econômico

t = tempo de recuperação do investimento

n = igual ao período de vida útil do projeto (horizonte de planejamento do projeto)

Se o período de *payback* for menor ou igual ao período máximo aceitável para a recuperação do investimento inicial, o projeto será aceito.

Se o período de *payback* for maior que o período máximo aceitável para a recuperação do investimento inicial, o projeto será rejeitado.

O período máximo aceitável, por sua vez, é determinado pelo investidor, levando em conta vários fatores, como o tipo de projeto (expansão, substituição, reforma), o risco que oferece e a relação suposta entre o período de *payback* e o valor da ação. Este período servirá como base para as decisões de investimento criadoras de valor (GITMAN, 2007). Este método de avaliação pode ser usado quando o investidor desejar diminuir seus riscos, porque o *payback* reflete a liquidez do projeto de investimento, ou seja, ele avalia o risco de não se recuperar o investimento realizado (REBELATTO, 2004).

Uma variação do *payback* tradicional, com os problemas apresentados até agora, é o uso do *payback* descontado que faz uso do $i > 0\%$. Para calcular o *payback* descontado se altera a expressão (5) para a expressão (6) usando a taxa de desconto $i > 0\%$.

$$0 = -P + \sum_{t=1}^{t=n_p} NCF_t (P/F, i, t) \quad (6)$$

Onde P é o investimento inicial, e NCF são os fluxos de caixas líquidas por cada ano t .

Após n_p anos os fluxos de caixa irão recuperar o investimento com um retorno de $i\%$. Se, na realidade, o ativo ou a alternativa de investimento é realizada por mais de n_p anos, um maior retorno pode ocorrer, mas por outro lado se a vida útil é inferior a n_p anos, não há tempo suficiente para recuperar o investimento inicial e o $i\%$ de retorno. É muito importante perceber que, nesta análise de retorno, todos os fluxos de caixa líquidos que ocorrem após n_p anos não estão sendo considerados. Este fato é significativamente diferente da abordagem do VPL, onde todos os fluxos de caixa para toda a vida útil do projeto, estão incluídos na análise econômica. Sendo assim, a análise de *payback* pode causar viés na seleção na escolha de alternativas diferentes de investimento. Por isso, o *payback* é usado apenas como uma técnica

de *screening* ou técnica suplementar, mesmo com a análise de reembolso descontado proporciona mais uma sensação de risco envolvido no investimento (BLANK e TARQUIN, 2005).

2.2.4 Valor anual uniforme equivalente

O VAUE, como método de avaliação, transforma fluxos de caixa do projeto em uma série uniforme de pagamentos, indicando o valor do benefício líquido por período de tempo. O projeto será avaliado somente positivo, se ele apresentar uma série uniforme positiva. Se o investidor tiver que decidir entre vários projetos de investimento, se optará pelo projeto com o maior benefício positivo por período (REBELATTO, 2004).

$$VAUE = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \times \left[\frac{i \times (1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \right] \quad (7)$$

Onde

FC_t = Fluxo de caixa do projeto

i = taxa de juros do projeto

n = tempo de vida do projeto

Temos que o termo do lado direito da expressão é o valor atual de um fluxo de caixa e o segundo termo é o fator de recuperação do capital de uma série uniforme.

Todos os métodos determinísticos apresentados são baseados na previsão e desconto de fluxos de caixa, quais são pressupostos totalmente determinísticos, porém essa suposição é inválida quando pensamos no ambiente de alto risco para projetos de investimento. Neste ambiente os fluxos de caixas e suas respectivas variáveis determinantes são influenciados pela variação nos diversos parâmetros, o que torna a suposição do fluxo de caixa determinístico inválido. Dessa maneira, é necessário o uso de técnicas estocásticas para avaliar a influência da variação dos parâmetros no resultado da avaliação econômica do projeto de investimento em questão, para uma tomada de decisão realística.

2.3 Risco e incerteza

Decisões de investimento, especialmente em projetos de inovação, são caracterizadas pela incerteza sobre futuras recompensas e irreversibilidade, ou seja, a possibilidade que o investimento não possa ser recuperado (HUCHZERMEIER et al., 2001). Além disso, o uso de novas tecnologias pode levar a resultados indesejáveis como, por exemplo, atrasos no *time-to-market*, altos custos unitários e baixa qualidade e funcionalidade do produto (TATIKONDA; ROSENTHAL, 2000).

Nesse contexto, os riscos e incertezas inerentes a esse tipo de projeto ocupam um lugar importante no processo de avaliação de um projeto de investimento. Reis (2008) afirmou que existem quatro grupos principais de incertezas ligadas a projetos de inovação. O primeiro grupo é a incerteza devido à concorrência; a situação de mercado, neste caso, pode não estar completamente visível e assim interferir no sucesso do projeto inovador e na possível margem de lucro. O segundo grupo se refere às incertezas relacionadas ao processo de produção como, por exemplo, baixo rendimento técnico ou pouca confiabilidade do produto. O terceiro grupo contempla as incertezas ligadas ao mercado, esse grupo inclui incertezas relacionadas à confiabilidade do estudo de mercado realizado ou do *time-to-market*, ou seja, o tempo necessário para o produto chegar ao mercado. O quarto grupo envolve as incertezas decorrentes dos erros de gestão, que podem incluir, por exemplo, erros na interpretação das tendências do mercado, concorrência, concepção do produto ou com a patente (REIS, 2008).

Risco e incerteza são dois conceitos interligados, o que fica claro na definição de Merrit e Smith (2002), que afirmaram que a incerteza considera a probabilidade de ocorrência de riscos. Em seguida, risco foi definido como a relação entre os dois conceitos: risco é a possibilidade de que um resultado indesejado, ou a ausência de um resultado desejado, perturbe o projeto e apresenta três aspectos essenciais - incerteza, perda e componente de tempo. A incerteza considera a probabilidade de ocorrência de riscos e, também, a determinação das consequências e impactos, caso ocorra o risco; perda está relacionada com a possibilidade de uma perda de algum tipo e o risco é gerenciado para tentar evitar essa perda; componente de tempo pressupõe que todo risco está associado ao tempo em que o risco deixa de existir, ou porque já ocorreu ou porque foi resolvido.

Em suma, situações sob condições de incerteza são consideradas aquelas onde o nível de conhecimento é suficiente para estabelecer os resultados possíveis, mas insuficiente para estabelecer suas probabilidades de ocorrências. Por outro lado, situações sob condições de risco são consideradas aquelas onde o nível de conhecimento é suficiente para estabelecer tanto os resultados possíveis, quanto suas possibilidades de ocorrência.

Para Woiler e Mathias (2011), a existência de risco é dada pela possibilidade de alteração no retorno associado à determinada alternativa, sendo que a principal fonte de risco é oriunda de um número muito elevado de informações e os valores são projetados para o futuro (que é incerto).

Jorion (2007) utiliza, na definição de risco, o conceito de volatilidade, que se pressupõe importante para o desenvolvimento do presente projeto. Para o autor, risco pode ser definido como a volatilidade de resultados, que podem ser representados pelo valor dos ativos, do patrimônio ou pelos rendimentos. As empresas estão expostas a vários tipos de risco, que podem ser classificados amplamente em riscos de negócio e riscos financeiros. Tecnicamente, isso significa que o risco é representado pela propagação, na função de densidade da probabilidade, de uma variável aleatória, representando lucros e perdas possíveis.

Segundo Sleaf (2010), risco pode ser quantificado de acordo com a definição que risco é medido como as combinações unidas da probabilidade de ocorrência de um evento com as consequências associadas ao evento. Usando a expressão (6), o risco de ocorrência de um evento E pode ser definido da seguinte maneira:

$$R_E = L_E \sum_{i=1}^{N_E} c_i p_i \quad (6)$$

Onde R_E é o risco associado ao evento E , L_E é a probabilidade do evento E , c_i é um conjunto de consequências indesejáveis associado ao evento E , e o p_i são as respectivas probabilidades ligadas às consequências. N_E é o número de consequências que estão sendo avaliadas pelo analista de risco.

Halman e Keizer (2007) afirmam que risco, especificadamente em projetos de PDP de caráter radical, pode ser descrito como um conceito tridimensional envolvendo incerteza sobre o resultado, o nível de controle e o impacto percebido no desempenho desejado do projeto. A incerteza sobre o resultado está interligada ao fato de que existem lacunas entre o conhecimento disponível e o conhecimento exigido, habilidades e experiências ligadas à tecnologia, ao mercado, fatores operacionais ou fatores financeiros. A definição contém o

nível de controle por causa do processo dinâmico no qual os gestores influenciam os fatores de riscos percebidos antecipadamente, que podiam prejudicar o sucesso do projeto de PDP. O impacto percebido no desempenho desejado do projeto foi incluído na definição porque estudos mostram que os construtos de desempenho e aspiração são centrais para o conceito de risco dos gerentes. Considerando esta definição, um projeto de inovação pode ser considerado arriscado se:

- A segurança é baixa: como por exemplo, a probabilidade de uma solução satisfatória para o assunto de inovação é baixa.
- A controlabilidade é baixa: por exemplo, quando a habilidade da equipe do projeto influenciar o curso de ação da maneira que uma solução satisfatória seja realizada dentro dos limites de tempo e recursos do projeto é pequena (habilidade de influência).
- A importância relativa é alta: por exemplo, se não é encontrada uma solução satisfatória para a tecnologia nova, o desempenho do projeto inteiro é prejudicado.

De maneira geral, segundo Antonik (2004), existem três grandes categorias de riscos presentes em projetos de investimentos:

- Risco inflacionário: interligado à perda de valor aquisitivo da moeda, assim pode acontecer uma defasagem dos preços do mercado em comparação aos custos associados ao projeto de investimento;
- Risco conjuntural: está ligado a vários fatores do ambiente econômico como, por exemplo, concorrência (regulamentação do mercado), situação econômica em caso de recessão, instabilidade da demanda e o nível de desemprego;
- Risco financeiro: se refere às condições de empréstimo (taxas de juros), vendas dos produtos finais, e ao desequilíbrio de moedas em relação às taxas de câmbio, principalmente quando os custos ocorrem em uma moeda e as receitas em outra.

Já Davis (2001) associou diretamente as categorias de novos produtos discutidos anteriormente aos níveis de riscos em três categorias - risco de mercado, risco técnico e risco de usuário - representado na Figura 5. Fatores de risco de *marketing* incluem a atual posição da empresa no mercado-alvo e os fatores necessários para trazer um novo produto com sucesso para o mercado. Fatores de risco técnicos estão relacionados com a compreensão da empresa da tecnologia e sua capacidade de montar uma equipe de desenvolvimento eficaz.

Fatores de risco do usuário estão relacionados com o consumidor e com a compreensão da empresa das suas necessidades.

Figura 5- Categorias de produtos e riscos associados

Fonte: adaptado segundo DAVIS, (2001).

Essa categorização não apresenta os riscos absolutos das categorias de produtos, porém demonstra quais são os riscos mais impactantes na comercialização de produtos novos. Em um novo empreendimento, por exemplo, existem riscos técnicos significativos, mas na maioria das vezes é a falta de mercado ou entendimento do usuário que faz com que um produto falhe na comercialização. Isso é evidenciado pelo grande número de novos empreendimentos com a tecnologia no protótipo bem sucedido, porém falho na procura pelos clientes, sendo que isso é a causa mais comum de insuficiência de novos produtos (28%), especialmente para as empresas voltadas para a tecnologia.

Por outro lado, o sucesso comercial dos produtos derivados é impulsionado principalmente pelo desenvolvimento técnico. As necessidades do cliente e estratégia de mercado são geralmente bem compreendidas, e a maior influência sobre o sucesso é a

capacidade de atingir reduções de custos ou melhorias de recursos no tempo e dentro do orçamento (DAVIS, 2001).

Existe uma variedade alta de métodos de medida de riscos, portanto, a escolha depende fortemente dos objetivos da análise. Exemplos de técnicas de medida de risco incluem a probabilidade de ocorrência, a volatilidade, o risco de retorno sobre o capital e o valor no risco. Outras formas de análise, tais como análise de sensibilidade e análise estocástica, estimam o “*tradeoff*” sobre o resultado econômico (em termos de VPL e Taxa Interna de Retorno), alterado por conta dos fatores de risco (MISHRA et al., 2013).

Para medir o risco é preciso, primeiro, definir a variável de interesse, o que, por exemplo, poderia ser o valor do portfólio, o lucro, o capital ou um fluxo de caixa particular (JORION, 2007). Em geral, quanto mais o valor do ativo reage ao comportamento do mercado, maior é seu risco; quanto menos reage, menor é seu risco.

Esses riscos podem ser classificados, segundo Wu et al. (2010), em riscos externos, internos e de resultado. Os riscos externos são aqueles que não podem ser influenciados pela empresa, os riscos internos por sua vez são aqueles que podem ser influenciados pela gestão do projeto e os riscos de resultado, os que influenciam a *performance* final do projeto. Chapman (1990), afirmou que os fatores-chave a serem levados em conta em riscos de inovação são: tempo, dinheiro e qualidade.

Após a Segunda Guerra Mundial, para minimizar os custos associados com a volatilidade do fluxo de caixa e com o objetivo de maximizar o valor de um *portfólio*, o gerenciamento de riscos começou a ser estudado. A origem do gerenciamento de risco moderno é datado entre 1955-1964 segundo diversas fontes como Crockford (1982), Harrington e Niehaus (2003) e Williams et al. (1997).

Verzuh (2000) afirmou que o gerenciamento de riscos é um dos trabalhos principais do gerenciamento de projetos de investimento, já que cada técnica de avaliação econômica é, na verdade, uma técnica de gerenciamento de risco, já que todas as técnicas de avaliação econômica têm como objetivo controlar um possível prejuízo para a instituição como, por exemplo, se o projeto atrasar e/ou ultrapassar o orçamento estimado. De maneira complementar, Cooper et al. (2005) indicaram que a utilização do gerenciamento de riscos proporciona melhores resultados ao projeto e, como consequência, negócios mais satisfatórios. Isto ocorre porque este gerenciamento fornece o discernimento, o conhecimento e a convicção para tomada de decisões empresariais em projetos de investimentos.

As técnicas mais usadas para o gerenciamento de riscos em projetos de investimentos são: análise de sensibilidade, análise de cenários, simulação, modelo de precificação de ativos, taxa de desconto ajustada ao risco, opções reais e valor no risco (VaR).

2.3.1 Análise de sensibilidade

A ideia básica da técnica da análise de sensibilidade é verificar o quão sensível é a variação do resultado sobre o retorno do investimento à variação imposta a cada parâmetro de entrada, isoladamente (um único por vez). A mesma pode ser utilizada quando não há nenhuma informação disponível sobre a distribuição de probabilidade. Somando a isto, neste tipo de análise, é estudado qual é o efeito que a variação de um dado de entrada ou saída pode ocasionar nos resultados do projeto, ou seja, usa possibilidades de retorno para obter uma noção da variabilidade entre os resultados. Os parâmetros que provocarem maior variação no resultado serão classificados como sensíveis ao projeto de investimento e demandarão investigações adicionais para melhorar sua estimativa (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 1987 e GITMAN, 2007).

O procedimento para a análise segue os seguintes passos, de acordo com Blank e Tarquin (2005):

1. Escolha de um parâmetro de entrada do projeto de investimento
2. Determinação do intervalo da variação esperada do parâmetro escolhido
3. Seleção de um valor dentro do intervalo determinado
4. Determinação do valor da variável aleatória de interesse do projeto de investimento para o valor selecionado
5. Repetição da 3ª e 4ª etapa para os demais valores dentro do intervalo determinado
6. Repetição da 2ª, 3ª, 4ª e 5ª etapa para os demais parâmetros de entrada do projeto de investimento (um único por vez)

A amplitude dos retornos mede o risco do ativo. Esta amplitude é calculada subtraindo o resultado pessimista do resultado otimista e, quanto maior ela for, maior será o

risco do ativo, representado pela variabilidade entre os possíveis retornos. A mesma, por exemplo, pode ser medida em relação aos VPLs associados às estimativas pessimistas, prováveis e otimistas. Sendo assim, a análise de sensibilidade possui um enfoque comportamental, utilizado quando se deseja saber a possível variabilidade do retorno devido à mudança de uma variável-chave (GITMAN, 2007). Contudo é importante ressaltar que a técnica da análise de sensibilidade está restrita apenas ao estudo da incerteza, ou seja, onde o nível de conhecimento é suficiente para estabelecer os resultados possíveis, mas insuficiente para estabelecer suas probabilidades de ocorrência (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 1987).

Por fim entende-se que a principal vantagem da técnica da análise de sensibilidade é a facilidade de aplicação e suas principais desvantagens são a incapacidade de tratamento do risco e a utilização de um único parâmetro de entrada por vez.

2.3.2 Análise de cenários

O enfoque da análise de cenários é muito semelhante à análise de sensibilidade, também com enfoque comportamental, mas com escopo mais amplo, já que avalia o impacto de alterações simultâneas de diversas variáveis sobre o retorno do projeto.

O valor esperado da variável aleatória de interesse do projeto de investimento é estimado pela soma ponderada dos valores da variável em cada cenário, demonstrado pela equação (8):

$$E(X_i) = \sum_{j=1}^n p_j x_{ij} \quad (8)$$

Sendo:

$E(X_i)$ = valor esperado da variável aleatória de interesse do projeto de investimento;

p_j = probabilidade de ocorrência do cenário

x_{ij} = valor da variável aleatória de interesse do projeto de investimento no cenário j .

O risco é estimado pela expressão do desvio-padrão da variável aleatória de interesse do projeto de investimento, que mede a dispersão dos valores da variável em torno da medida central. Uma alta dispersão implica um alto risco, e vice-versa. No entanto, para evitar que as dispersões positivas e negativas da variável compensem umas às outras se torna necessário o cálculo prévio da variância da variável aleatória de interesse do projeto de investimento, que mede a dispersão quadrada dos valores da variável em torno da medida central, conforme ilustra a equação (9):

$$\sigma^2(X_i) = \sum_{j=1}^n p_j [x_{ij} - E(X_i)]^2 \quad (9)$$

Sendo:

$\sigma^2(X_i)$ = variância da variável aleatória de interesse do projeto de investimento;

p_j = probabilidade de ocorrência do cenário;

x_{ij} = valor da variável aleatória de interesse do projeto de investimento no cenário j ;

$E(X_i)$ = valor esperado da variável aleatória de interesse do projeto de investimento.

(QUEIROZ, 2001).

Cada cenário gerado resulta em diferentes níveis de VPL, já que afetará as entradas e saídas de caixa e o custo de capital. A empresa poderia, por exemplo, gerar cenários para avaliar o impacto tanto de inflação elevada (cenário 1) como de inflação baixa (cenário 2) sobre o VPL de um projeto. Com essas estimativas de VPL, geradas pelos cenários, o tomador de decisões pode aferir o risco associado aos níveis da variável respectiva (GITMAN, 2007). De uma maneira geral, conforme afirmou Rodrigues (2014), a análise pode ser definida como uma possível situação futura.

A análise é executada por meio de um procedimento com os seguintes passos: preparação, análise de campo, prognóstico, desenvolvimento e transferência. Alterando as hipóteses para as variáveis de interesse, diferentes situações podem ser consideradas, tornando possível estimar os fluxos de caixas para as variáveis (GAUSEMEIER; FINK; SCHLAKE, 1998; FINK et al., 2005). De acordo com Damodaran (2009) os possíveis passos para a elaboração de uma análise de cenários são os seguintes:

1. Definir o objetivo do cenário: definição de valores para o projeto.
2. Analisar o campo dos cenários: o objetivo neste segundo passo é a identificação dos fatores-chave. As incertezas que influenciam possíveis situações futuras aqui podem ser identificadas como fatores-chave.

3. Prognóstico do cenário: o horizonte de tempo de planejamento é identificado nesse passo, geralmente recomenda-se 5-10 anos, mas isso pode variar muito de projeto para projeto. Em seguida serão escolhidos quais serão os cenários a serem considerados; em geral cenários otimistas, moderados e pessimistas.
4. Desenvolvimento dos cenários: são feitas projeções da variável de interesse para os cenários escolhidos, por exemplo, pessimista, moderado e pessimista. Nesta etapa opiniões de especialistas podem ser utilizadas para as estimativas.
5. Transferência dos cenários: por último são analisados os impactos dos cenários no valor do projeto, por exemplo, considerando a estimativa do valor dos VPLs nos diferentes cenários.

2.3.3 Simulação

Blank e Tarquin (2005) definiram o processo de simulação da seguinte maneira: uma amostra aleatória de tamanho n é selecionada a partir de uma população com uma distribuição de probabilidade assumida ou conhecida, de tal modo que os valores das variáveis têm a mesma probabilidade de ocorrer, tanto na amostra como na população. O processo de simulação pode ser definido, de acordo com Gitman (2007, p. 368), como “um enfoque comportamental com base estatística que aplica distribuições de probabilidades predeterminadas e números gerados ao acaso para estimar resultados com risco”.

A simulação em geral pode ser aplicada a problemas onde existe alguma informação ou hipótese sobre a distribuição da probabilidade para que a incerteza possa ser transformada em risco (CASAROTTO FILHO; KOPITKE, 1987).

Dessa maneira, a modelagem é feita a partir de variações dos diversos elementos do fluxo de caixa, gerando uma distribuição de probabilidades dos resultados do projeto (GITMAN, 2007).

O fluxograma de um processo de simulação de um projeto de investimento simples, gerando uma distribuição de, por exemplo, VPLs ou TIRs é representado na Figura 6.

Figura 6– Fluxograma de um processo de simulação

Fonte: CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 1987, p. 178.

Ao longo do processo apresentado na Figura 6, valores para cada uma das variáveis são determinados por meio da geração de números aleatórios e com o uso das distribuições de probabilidades de entradas e saídas de caixa. O VPL do projeto é gerado pela inserção desses valores em um modelo matemático e a distribuição dos VPL, em seguida, é construída através da repetição desse processo (GITMAN, 2007). Gitman (2007, p. 368) resume o uso da simulação como sendo “uma base excelente para a tomada de decisões porque permite ao executivo analisar o conjunto contínuo de pares de risco e retorno, no lugar de uma única estimativa pontual”.

Segundo Queiroz (2001), a técnica mais usada é a Simulação de Monte Carlo, que é uma técnica simples de simulação de decisões em diferentes cenários, com base na geração de valores aleatórios para criar um cenário de um problema.

É uma técnica de amostragem estocástica, operando com componentes aleatórios, como, por exemplo, as variáveis de entrada de um projeto sujeitas a incertezas, e apresenta, após diversas iterações, um conjunto de resultados em termos das probabilidades (RUBINSTEIN, 1981). A vantagem é que sempre considera um conjunto de fatores de risco (por exemplo, preços, vendas, custos e despesas, etc) no cálculo da variabilidade do VPL de um projeto (BRUNI; FAMÀ, SIQUEIRA, 1998). Devido a esta característica, o método de Monte Carlo pode ser aplicado a problemas de diversas áreas, tais como: engenharia, medicina, finanças, etc (RUBINSTEIN, 1981).

O procedimento geral utiliza a simulação de Monte Carlo para a obtenção de amostras de tamanho n para parâmetros selecionados de alternativas formuladas. Esses parâmetros devem variar de acordo com uma distribuição de probabilidade pré-definida. Todos os outros parâmetros são considerados uma alternativa segura, isto é, eles são conhecidos, ou podem ser estimados com uma precisão suficiente para considerá-los determinados. Somando a isto, todos os parâmetros são independentes, ou seja, uma distribuição de uma variável não afeta o valor de qualquer outra variável da alternativa. Isto é conhecido como a propriedade de variáveis aleatórias independentes (BLANK e TARQUIN, 2005).

Queiroz (2001) afirmou que a principal vantagem é a capacidade de gerar um grande número de cenários, ao contrário, por exemplo, da própria análise de cenários. Por outro lado, a utilização do método demanda a utilização de um *software* estatístico, que talvez apresente uma barreira técnica na utilização. De acordo Queiroz (2001), com a utilização de um *software*, o procedimento pode ser resumido da seguinte forma:

1. Definição das variáveis-chave do projeto de investimento.
2. Determinação do intervalo da variação esperada para cada variável-chave informada; determinação da distribuição de probabilidade para cada variável-chave.
3. Dentro dos intervalos e distribuições definidos o programa selecionará valores aleatórios.
4. Utilizando os valores selecionados para as variáveis-chave e ao mesmo tempo mantendo constantes as demais, o valor da variável aleatória de interesse será computado.

5. As etapas 3 e 4 serão repetidas n vezes (pelo menos 1000 vezes).
6. Os valores computados por meio desse procedimento serão plotados em um gráfico de distribuição da variável aleatória de interesse.
7. Em seguida será calculado em cima da distribuição obtida o valor esperado e o desvio- padrão da variável aleatória de interesse.
8. Comparação do resultado com o critério de avaliação econômica utilizado como variável aleatória de interesse (por exemplo, estimativa da probabilidade da inviabilidade).

O método de Monte Carlo é um método probabilístico importante na análise de viabilidade de um projeto, já que considera variações simultâneas nos parâmetros. Além disso, é fácil de ser executado com programas específicos para análise de risco como, com o @Risk⁴ da Palisade, o Crystal Ball⁵ da Oracle, ou com o Excel do Pacote Office⁶. Em comparação, os métodos determinísticos apresentados não conseguem considerar as possíveis mudanças em parâmetros que influenciem o comportamento do projeto. Dessa maneira, a simulação de Monte Carlo apresenta uma análise de viabilidade mais completa que os métodos determinísticos.

Em outras palavras, um determinado projeto analisado por métodos probabilísticos pode apresentar um VPL positivo no fim da sua análise de viabilidade. Entretanto, os métodos probabilísticos podem mostrar como as mudanças simultâneas em outros parâmetros como, por exemplo, nos custos, na taxa de juros, e na inflação, influenciam o VPL ao longo da vida do projeto, oferecendo, pela função de distribuição de probabilidade, uma visão mais diferenciada do real comportamento econômico, o que pode mostrar o risco real da execução do projeto e assim influenciar a decisão final sobre sua execução (PEREIRA et al., 2014).

Sem suma, o método pode ser utilizado para gerar continuamente valores de variáveis independentes como, por exemplo, entradas e saídas de caixa, podendo assim fornecer não apenas um valor de um VPL ou uma TIR, mas também uma distribuição estatística do VPL ou da TIR do projeto analisado. Por fim, as vantagens do uso da simulação de Monte Carlo podem ser resumidas da seguinte forma:

⁴ Palisade: o @Risk executa análise de risco por meio de simulação de Monte Carlo, mais informações: <http://www.palisade-br.com/risk/>.

⁵ Oracle: mais informações: <http://www.oracle.com/us/products/applications/crystalball/overview/index.html>.

⁶ Guia de como usar simulação de Monte Carlo em Excel: <https://www.riskamp.com/how-to>.

1. A matemática envolvida é simples;
2. O cálculo das funções de distribuição pode ser realizado por computador;
3. Disponibilidade de softwares comerciais (@Risk e Crystal Ball);
4. Tratamento de modelos lineares e não lineares simples e complexos sem grande dificuldade;
5. Alterações e testes no modelo podem ser realizados de maneira fácil e rápida (por exemplo, substituição das distribuições associadas ou número de iterações);
6. Trabalhar com diversas variáveis independentes ao mesmo tempo resulta em uma função de distribuição de probabilidade para a variável de saída (TIR ou VPL), e assim facilita o processo de tomada de decisão em projetos de investimento (VOSE, 2008).

2.3.4 Modelo de formação de preços de ativos

O modelo de formação de preços de ativos (CAPM) é usado para relacionar o risco relevante de um ativo ao retorno de todos os ativos negociados em mercados financeiros eficientes.

O risco total de um determinado ativo pode ser definido da seguinte forma:

$$\text{Risco total} = \text{Risco não diversificável} + \text{Risco diversificável} \quad (10)$$

O risco diversificável, neste contexto, é o resultado de eventos aleatórios ou não controláveis que pode ser eliminado com a montagem de carteiras diversificadas, compostas por ativos de diferentes naturezas. Entretanto, este risco não pode ser eliminado, e assim, ele se torna o risco relevante pelo qual os portadores de ativos serão renumerados. Por outro lado, para determinar o risco não diversificável é elaborado um índice do grau de variação do retorno de um ativo em resposta a uma variação do retorno de mercado, chamado coeficiente β . Então, em forma de equação, usando a definição do coeficiente β , o CAPM para medir o risco relevante de qualquer ativo j pode ser expresso da seguinte maneira:

$$K_j = R_F + [b_j \times (k_m - R_f)] \quad (11)$$

Onde

k_j = retorno exigido do ativo j

R_F = taxa de desconto livre de risco

b_j = coeficiente beta do ativo j

k_m = retorno da carteira de mercado

De acordo com equação (11), qualquer título com retorno esperado maior que seu retorno exigido é aceito para o investimento e, conseqüentemente, qualquer título com expectativa de taxa de retorno menor que o retorno calculado será rejeitado (GITMAN, 2007).

Para a taxa de desconto livre de risco (R_F) geralmente é escolhido o investimento mais seguro disponível, ou seja, os que são certificados pelo tesouro do país em questão. O prêmio acima do investimento seguro é definido pelo termo $(k_m - R_F)$ e o coeficiente beta b indica a variação esperada do ativo comparado a um portfólio escolhido na bolsa de valores na mesma área geral do mercado, por exemplo, as 100 maiores empresas na bolsa em questão. Em outras palavras, quando o $b < 1,0$, a ação é menos volátil, logo o retorno esperado será menor; enquanto quando o $b > 1,0$ movimentos maiores no preço são esperados, então o retorno esperado será maior que do portfólio do mercado comparado. Essa relação é representada pela linha de mercado de títulos (SML) (BLANK e TARQUIN, 2005).

O Gráfico 3 ilustra a relação entre os diferentes coeficientes beta e o prêmio de risco associado é representado usando a SML. Por exemplo, quando o $b = 0$ a taxa de retorno livre de risco R_F é aceitável, o que significa que não há nenhum prêmio. Porém, com o crescimento do b o retorno mínimo cresce devido ao maior prêmio de risco exigido. Os valores dos coeficientes b são geralmente publicados periodicamente pelas próprias empresas atuantes no mercado financeiro em questão (BLANK e TARQUIN, 2005).

Gráfico 3- Retorno esperado de ações ordinárias usando CAPM
 Fonte: adaptado por BLANK e TARQUIN, 2005.

2.3.5 Taxa de desconto ajustada por risco

Uma maneira de tratar do risco em projetos de investimento com risco envolvido, é empregar uma taxa de desconto ajustada por risco no cálculo do VPL do projeto, sendo que este é o método mais usado devido à simplicidade. Na equação (12) seguinte é verificável que o cálculo do VPL permanecerá o mesmo, ajustado apenas com uma taxa de desconto ajustada por risco (TADR).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TADR)^t} - FC_0 \quad (12)$$

A determinação da TADR segue a mesma lógica da determinação de uma taxa de desconto sem ajuste, pois a mesma, é a taxa de retorno mínima que deve ser obtida pelo investimento para renumerar os investidores adequadamente pelos riscos incorridos. Ou seja,

quanto mais elevados os riscos de um projeto, maior será a TADR e consequentemente menor será o valor do VPL de uma série de entradas de caixa (GITMAN, 2007).

A determinação da TADR se baseia no modelo CAPM, partindo da suposição de que os ativos negociados em mercados financeiros podem ser substituídos por ativos reais de empresas, alterando a equação do CAPM para:

$$k_{projeto\ j} = R_f + [b_{projeto\ j} \times (k_m - R_f)] \quad (13)$$

Onde

$k_{projeto\ j}$ = retorno exigido do projeto j

R_f = taxa de desconto livre de risco

$b_{projeto\ j}$ = coeficiente beta do projeto j

k_m = retorno da carteira de mercado

A equação (13) também pode ser representada em relação à SML, apresentado no Gráfico 3. É possível verificar que qualquer projeto com uma TIR acima da linha SML será aceito, já que a TIR será maior que o retorno exigido ($k_{projeto}$). Em termos do VPL, um projeto acima da SML terá um VPL positivo. Um caso de um projeto assim foi representado no gráfico como o Projeto L. Esse projeto tem um beta igual à b_L e gera uma TIR igual a TIR_L , o retorno exigido para um projeto com o mesmo risco b_L seria k_L , portanto temos o caso $TIR_L > k_L$ e o projeto será aceito. Ao contrário, um projeto com uma TIR menor que o retorno exigido ($k_{projeto}$) será rejeitado, pois esse projeto se encontraria abaixo da SML e, portanto teria um VPL negativo. No Gráfico 4 esse cenário foi representado com o Projeto R, esse projeto gera uma TIR inferior à taxa mínimo exigida considerando seu risco ($TIR_R < k_R$) e consequentemente terá um VPL negativo. Portanto deverá ser rejeitado (GITMAN, 2007).

Porém, como o modelo é baseado na suposição do mercado eficiente que não existe no caso de ativos reais, o mesmo não pode ser diretamente aplicado à tomada de decisões de orçamento de capital. Por outro lado, é usado para medir o risco total de um projeto através do uso da TADR, na fórmula modificada do cálculo do VPL. O cálculo da TADR, nesses casos, tem uma grande importância sobre a tomada de decisão nos projetos que envolvem riscos, uma vez que uma TADR demasiadamente alta pode levar a não execução de um projeto que normalmente não seria rejeitado.

Paralelamente, uma TADR baixa poderá aceitar um projeto arriscado demais, o que pode exercer uma influência negativa sobre os investidores da empresa, resultando em um valor de mercado da empresa decrescente. Dessa forma, sabe-se que não existe um mecanismo formal para a determinação correta do cálculo da TADR, senão utilizar uma

estimativa subjetiva. De forma geral, a taxa é determinada em relação aos outros projetos da empresa, onde é calculado se o risco do projeto novo é mais alto ou mais baixo que dos demais projetos executados, e assim gerando uma estimativa do risco para o novo projeto (GITMAN, 2007).

Gráfico 4 – CAPM e SML na tomada de decisão de orçamento de capital

Fonte: GITMAN, 2007, p.371.

Gitman (2007) também afirmou que as TADR's são frequentemente usadas na prática, pois geralmente as empresas criam séries de classes de risco já com TADR associada. Assim os projetos podem ser atribuídos a sua respectiva classe de risco e é usada a TADR correspondente. Essa prática não é tão sofisticada como o cálculo de uma TADR para cada projeto em separado, porém apresenta uma grande vantagem para empresas onde vários projetos precisam ser avaliados em um horizonte de tempo pequeno. Com essa técnica, as grandes empresas conseguem facilmente levar em conta diferenças em termo de riscos de diferentes projetos e ligar os projetos a diferentes classificações. Um exemplo de uma classificação por categorias de riscos é ilustrada no Quadro 2.

Classes de risco e TADRs		
Classe de risco	Descrição	TADR
I	Risco abaixo da média: projetos com baixo risco. Geralmente envolvem substituições rotineiras, sem a modificação das atividades já existentes.	8%
II	Risco médio: projetos semelhantes àqueles atualmente em execução. Costuma envolver a substituição ou a reforma de atividades existentes.	10% ^a
III	Risco acima da média: projetos com risco acima do normal, mas não excessivo. É comum implicarem expansão de atividades já existentes ou semelhantes.	14%
IV	Risco máximo: projetos com risco muito alto. Em geral envolvem expansão em atividades novas ou pouco conhecidas.	20%
^a essa TADR é, na verdade, o custo de capital da empresa. Representa o retorno exigido pela empresa em sua carteira de projetos já existentes, que se supõe não sofrer alteração com a aceitação de um projeto de “risco médio”.		

Quadro 2 – Classes de risco e TADR's

Fonte: GITMAN, 2007, p. 376.

2.3.6 Opções Reais

Luehrman (1998) sugeriu que uma abordagem melhor de avaliação deve incorporar tanto a incerteza (variação) quanto o valor das decisões ativas necessárias para uma boa estratégia de negócios, argumentando com o fato, reconhecido por muitos profissionais, de que opções financeiras e projetos de investimento (por exemplo, em P&D) são semelhantes por gerar novas oportunidades. O conceito das opções reais busca valorar possíveis opções ao longo da vida do projeto, em outras palavras, busca dar um valor para a flexibilidade inerente ao projeto de desenvolvimento. Vários autores afirmaram que a abordagem das opções reais é mais eficiente em tomar decisões em projetos de desenvolvimento de produtos do que, por exemplo, o método tradicional de valor presente líquido (NEWTON et al., 2004).

O conceito das Opções Reais foi desenvolvido a partir dos conceitos e características das Opções tratadas no mercado financeiro. “Opções são contratos que dão ao seu titular o direito de comprar ou vender um determinado ativo (ativo-objeto), a um preço pré-fixado (preço de exercício), numa certa data, ou antes desta (data de vencimento). Após a data de vencimento a opção extingue-se” (MEIRELLES, 2004, p. 37). O direito do titular da opção se reflete na oportunidade de exercer a opção, mas isso não precisa ocorrer.

O contrato de opção refere-se a um determinado ativo (ativo-objeto) a ser vendido ou comprado. Uma opção de compra (*call*) representa o direito de comprar o ativo objeto pelo titular na data de vencimento, ou antes, desta, a um preço predeterminado, também chamado de preço de exercício. Ao contrário, uma opção de venda (*put*) representa o direito de vender o ativo-objeto pelo preço de exercício, na data de vencimento, ou antes. (MEIRELLES, 2004)

O preço de uma opção, para o comprador, é conhecido como o valor da opção (pré-definido) pago para o vendedor. No comércio de opções, as duas partes envolvidas esperam mudanças do preço do ativo-objeto contraditórias. Assim, por meio do comércio de opções, investidores se protegem contra movimentos adversos nos preços de ativos-objeto e vendedores especulam para um desenvolvimento vantajoso do preço.

A teoria das Opções Reais, como análise financeira de projetos, foi desenvolvida a partir da necessidade de gestores de projetos de desenvolvimento a convencer gestores financeiros dos potenciais benefícios inerentes aos projetos de alto risco (FREDBERG, 2007).

Myers (1977) foi um dos primeiros a usar o termo opções reais, destacando que as oportunidades de expansão de uma empresa, representadas pelos novos investimentos, podem ser vistas como sendo análogas às opções de compra, negociadas no mercado financeiro.

Opções agregam valor transformando situações de incerteza em oportunidades, que são então comparadas com opções reais. A combinação de dois fatores precisa estar presente: primeiro a incerteza em relação aos fluxos de caixa futuros do projeto e, segundo, um processo de gestão capaz de responder de maneira flexível conforme as incertezas evoluem (GILBERT, 2005).

Exemplos de opções típicas são as decisões disponíveis no momento do investimento como, por exemplo, manter ou abandonar um projeto ativo, a opção de reduzir ou expandir a capacidade de produção ou a opção de escolher uma determinada tecnologia de produção, produtos ou mercados alvo (QIU; YEO, 2003). Na maioria dos casos há um número infinito

de escolhas, opções disponíveis, cada uma com determinado custo e risco (FREDBERG, 2007). A opção real tem como princípio limitar o risco e maximizar o benefício potencial.

Opções reais é um método que pode ser utilizado por gerentes para maximizar os ganhos em situações favoráveis e minimizar as perdas em situações desfavoráveis (BREALEY; MEYERS, 1992). A diferença da opção real para a teoria de cálculo de investimentos tradicionais é a noção de valor da própria opção. Então, durante tempos incertos, ou em ambientes incertos, calcular as diferentes opções disponíveis, segundo as condições do ambiente, é melhor do que obter uma análise financeira única, conforme empregada em ambientes estáveis.

A teoria é intuitivamente atraente para a aplicação em projetos de desenvolvimento de produtos (FREDBERG, 2007) e o seu uso tem se expandido nos últimos anos para a área de avaliação de projetos, revelando que muitos destes estavam sendo super ou subavaliados (ROCHMAN, 1998). Porém, Rodrigues (2014) ressaltou que em relação ao uso das opções reais, pouca utilização e compreensão da abordagem foram percebidas na prática. A autora relatou na pesquisa realizada que os gerentes entrevistados afirmaram que essa abordagem é mais um exercício acadêmico em vez de ser algo real para as empresas. Além disso, são relatados problemas com a obtenção de dados confiáveis para colocar no modelo e o resultado é difícil de ser interpretado. Esses resultados estão de acordo com Damodaran (2009) que afirmou que as informações necessárias para o uso da abordagem de opções reais são difíceis de obter e podem conter vieses. Por isso, as opções reais não são facilmente avaliadas.

Resumindo o método das Opções Reais é bastante conhecido no ambiente acadêmico, pelo número de informações que podem ser obtidas na aplicação em um projeto de investimento, porém, ele não oferece um único resultado senão um conjunto de indicadores e números o que torna a aplicação e interpretação, fora do ambiente acadêmico bastante difícil.

2.3.7 Valor no Risco

O Valor no risco (VaR) é uma medida estatística de risco com base nas posições atuais. Assume-se que a carteira atual é “congelada” no horizonte, como todas as medidas de risco tradicionais, e combina as posições atuais com as incertezas nos fatores de risco no final do horizonte. Dessa forma, o VaR representa a pior perda possível, dado um nível de significância, em um determinado horizonte de tempo (JORION, 2007). Em geral, essa relação pode ser expressa como sendo a maior perda possível, em valor absoluto de tal modo que: $P(L > VAR) \leq 1 - c$; definindo c como o nível de confiança e L como a perda possível, mensurado como um número positivo.

O cálculo do VaR segue inicialmente cinco passos de procedimento:

- 1.) marcar a posição no mercado atual;
- 2.) medir a variabilidade dos fatores de risco;
- 3.) definir o horizonte temporal;
- 4.) definir o nível de confiança;
- 5.) reportar a pior perda possível processando todas as informações anteriores em uma distribuição de receitas, o que será resumido por um único número, o VaR (JORION, 2007).

Inicialmente, existiam três formas de se calcular o VaR: a simulação histórica, a Variância-Covariância e a simulação de Monte Carlo. A primeira configura uma abordagem não paramétrica, a qual equivale a realizar a simples leitura do quantil esquerdo da distribuição empírica dos retornos.

Uma abordagem deste tipo tem que ser robusta, uma vez que não exige suposições de distribuição. No entanto, o método de simulação histórica é falho porque extrapolações, para além do passado, muitas vezes são necessárias. Além disso, a estimativa das caudas não são confiáveis para o caso de número limitado de observações (WANG et al., 2010 e KHINDANOVA et al., 2001). Somando a isto, uma aplicação de um método de simulação histórica não será possível no ambiente de desenvolvimento de produtos, devido à indisponibilidade de dados disponíveis.

A simulação de Monte Carlo, por sua vez, gera números aleatórios com uma determinada distribuição de probabilidade para os retornos, tornando-o um método paramétrico. Para o cálculo do VaR, por meio da simulação de Monte-Carlo, gera-se, computacionalmente, valores que seguem uma determinada distribuição de probabilidades que será utilizada para o cálculo deste VaR. Consequentemente, a simulação de Monte-Carlo é frágil, porque depende da suposição de qual distribuição deve ser empregada (JORION, 2007).

O método da variância-covariância é uma abordagem paramétrica, e, portanto, pressupõe no cálculo do VaR que a distribuição dos retornos siga distribuição de probabilidade contínua pré-determinada, como a distribuição normal, a qual é a mais utilizada nesse tipo de abordagem a fim de simplificar o cômputo do VaR.

Quando este for o caso, a figura do VaR pode ser derivada diretamente a partir dos parâmetros estimados da distribuição assumida, utilizando um fator multiplicativo que depende do nível de confiança. Assim, estas abordagens são ditas paramétricas porque envolvem a estimativa dos parâmetros ao invés de apenas utilizar o *quantil* esquerdo da distribuição empírica (JORION, 2007).

Dessa maneira o método paramétrico de variância-covariância calcula o VaR assumindo qualquer distribuição paramétrica; já que os dados empíricos, são utilizados apenas para calcular os parâmetros da distribuição proposta. Além disso, o VaR é calculado com base na área da cauda esquerda desta distribuição de probabilidade, a qual contém, por exemplo, 5% de probabilidade, considerando-se, por conseguinte, um nível de confiança de 95%. Sendo assim o VaR pode ser representado da seguinte forma (14):

$$VaR_t(\cdot) = \mu_t + \Phi_t^{-1}(\cdot)\sigma_t \quad (14)$$

Onde, μ e σ são os parâmetros de uma dada probabilidade $\Phi(\cdot)$. Por exemplo, presumindo que os retornos de um ativo seguem uma distribuição normal, o cálculo do VaR é resumido como o $(1-c)$ percentil da distribuição normal o que pode ser visto em (15):

$$1 - c = \int_{-\infty}^{\alpha} \phi(z) dz \quad (15)$$

Onde, α é o fator cuja área esquerda é igual à $(1-c)$ em uma função de densidade acumulada de uma distribuição normal, considerando que os retornos do ativo ou da carteira envolvida sejam normalmente distribuídos. Obviamente $\Phi(z)$ varia entre 0 e 1 e será igual a 0,5 ao passar pelo zero (WANG et al. (2010) e KHINDANOVA et al. (2001)).

Existem ainda os métodos chamados semi-paramétricos, os quais fazem uso da teoria dos valores extremos para calcular o VaR (WANG et al., 2010).

Observa-se que os métodos de cálculo tradicionais do VaR têm fraquezas, especialmente os pressupostos de normalidade, o que torna as estimativas de perdas possíveis não confiáveis, uma vez que os dados financeiros, muitas vezes tendem a apresentar caudas mais pesadas. Além disso, os métodos tradicionais de cálculo do VaR levam em conta toda a distribuição de retornos, quando, na verdade, a estimativa de risco dada pelo VaR depende apenas da cauda esquerda da distribuição de retornos. Portanto, esses métodos de VaR muitas vezes não são capazes de explicar caudas pesadas na distribuição dos retornos, o que subestima a exposição ao risco dada pelo VaR. Assim, uma alternativa mais recente para resolver este problema é a aplicação da teoria do valor extremo (EVT), que reduz a importância do *quantil* central e superior da distribuição de retorno através de uma captura melhor de eventos extremos. Portanto, EVT procura estimar perdas futuras de comportamento menos frequentes ou raras, tais como, por exemplo, a depreciação excessiva (MORALLES e REBELATTO, 2013).

Sendo assim, os modelos atuais EVT, que tratam apenas de caudas de distribuição são mais eficazes do que os métodos tradicionais de cálculo do VaR. Dessa maneira, EVT se concentra no ajuste de distribuições sobre os retornos em valores extremos como uso de duas distribuições de probabilidade, a *Generalized Extreme Value* (GEV) e a *Generalized Pareto Distribution* (GPD).

Existem basicamente duas técnicas principais para o cálculo do valor em risco com base na EVT. O primeiro, conhecido como o *Peaks over Threshold model* (POT), geralmente define a *Generalized Pareto Distribution* dos valores que ultrapassem um determinado limiar. O segundo, chamado *Block Maxima*, ajusta a distribuição generalizada de valores extremos para os montantes mínimos de retorno extraídos de um conjunto ou blocos de observações (MORALLES e REBELATTO, 2013).

Para testar qual será a distribuição correta para os dados no uso de um método não-paramétrico, é aplicado um teste de aderência o que é usado para verificar se, por exemplo, duas amostras pertencem à mesma população ou se uma distribuição de probabilidade de uma série de dados pertence a uma distribuição teórica de probabilidade específica. Isso será importante na aplicação da ferramenta de gerenciamento de risco, dada a importância de saber a distribuição de probabilidade correta.

Muitos testes de aderência são baseados na função de densidade de probabilidade empírica (EDF), que é capaz de medir a adesão de dados empíricos para uma distribuição teórica, e uma distribuição de probabilidade dada, usando como medida as distâncias entre as curvas (MORALLES e REBELATTO, 2013). De acordo com Thadewald e Büning (2007), os principais testes de aderência com base na distância e estatísticas EDF são o teste de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. Nestes testes, a distância entre a função teórica de densidade cumulativa (CDF) e a EDF são comparadas com uma tabela de valores críticos para aceitar ou rejeitar a hipótese nula, testando se os dados da amostra pertencem a uma dada distribuição de probabilidade (a CDF teórica). Portanto, as seguintes hipóteses serão testadas:

$$H_0: F_n(x) = F(x) \quad (16)$$

$$H_1: F_n(x) \neq F(x) \quad (17)$$

Onde, $F_n(x)$ é a distribuição cumulativa de uma amostra e $F(x)$ é uma distribuição teórica de frequência cumulativa sob a H_0 . O teste de Kolmogorov-Smirnov pertence à classe suprema de estatísticas EDF.

Portanto, uma vez que $F(x)$ é a distribuição cumulativa de x , a mesma é uma distribuição de frequência cumulativa teórica sob H_0 . Já $F_n(x)$ é a distribuição de frequência cumulativa de uma amostra aleatória de N observações, em que x é qualquer possível pontuação, $F_n(x) = k/N$, onde k é o número de observações não superior a x .

Assim, sob a hipótese nula, espera-se que as diferenças entre $F(x)$, e $F_n(x)$ sejam pequenas e dentro dos limites aleatórios. Este desvio máximo ($D_{\max}$) é dado pela maior diferença em valor absoluto, caracterizado por $D_{\max} = \text{máximo } |F(X) - F_n(X)|$. A probabilidade bilateral associada à ocorrência, sob H_0 , de valores tão grandes quanto o valor de D observado será determinado de acordo com a tabela de valores críticos. Portanto, se, o valor observado $|D_{\max}| \geq D_{\text{crítico}, \alpha}$, H_0 é rejeitado, o que significa que a amostra tem uma distribuição diferente da distribuição teórica testada (THADEWALD e BÜNING, 2007).

O teste de Anderson-Darling, por sua vez, pertence à classe das estatísticas EDF quadráticas, apresentando caudas de distribuição mais pesadas. Essa característica é interessante neste estudo, uma vez que os retornos sobre o investimento em projetos de inovação, são refletidos nas caudas da distribuição, em vez dos valores fundamentais. Shapiro (1990) apresentou as estatísticas do teste usando a expressão (18):

$$A^2 = \frac{-\{\sum_{i=1}^n (2i-1)[\ln Z_i] + \ln(1-Z_{n+1-i})\}}{n} - n \quad (18)$$

Na equação (18), a variável z é a estatística de ordem normalizada de uma determinada distribuição dos dados da amostra. Isto significa que o teste depende da distribuição a ser testada. O mesmo é verdadeiro para os valores críticos a serem utilizados.

Dessa maneira, o teste de Anderson-Darling é utilizado com menor frequência devido à escassez e dificuldade de encontrar tabelas de valores críticos (MORALLES e REBELATTO, 2013). No entanto, os valores críticos mais utilizados para a distribuição podem ser encontrados em estudos especializados como de Stephens (1974 e 1977).

Por outro lado, existem ferramentas computacionais capazes de criar valores críticos com base em aproximações dependentes dos tamanhos de amostra para esse teste. No entanto, apesar da capacidade dessas ferramentas de testar distribuições de probabilidade, poucos estudos fazem uso de tais técnicas para a computação paramétrica do VaR. Fajardo et al. (2003), utilizou testes de aderência com base na distância, a fim de encontrar uma distribuição teórica adequada para o cálculo do VaR, atribuindo maior peso às caudas. Assim, a escolha da melhor distribuição de probabilidade para os retornos por meio de *goodness-of-fit* testes é realizada para toda a distribuição, atribuindo apenas maior peso à cauda (MORALLES e REBELATTO, 2013).

Em suma, as principais características dos três tipos de métodos, não-paramétrico, paramétrico e semi-paramétrico são as seguintes:

Os métodos não paramétricos (simulação-histórica e *non-parametric density estimation methods*) usam as distribuições empíricas dos dados disponíveis e por isso não fazem nenhuma suposição sobre o comportamento das variáveis. No entanto, com essa suposição, para que seja possível utilizar os dados do passado para prever o risco em um futuro próximo, afirmam que o futuro será semelhante ao passado recente, podendo ser implementados facilmente. Por outro lado, dependem fortemente dos dados disponíveis e eventos especiais, com consequências grandes no risco do portfólio, são previstos lentamente por esses modelos (ABAD et al., 2013).

Os métodos paramétricos calculam o risco através do ajuste de distribuições de probabilidade dos dados do portfólio. Em seguida, o VaR é calculado a partir da curva de probabilidade ajustada. Dessa forma, o método depende fortemente da escolha correta da distribuição de probabilidade para os *inputs*. A maior fraqueza é o uso, muitas vezes, de uma distribuição normal em casos inadequados, onde o *portfólio* apresenta caudas mais pesadas, em vez de ser composto por eventos simétricos. Neste caso o risco será subestimado usando

uma distribuição normal, a qual não consegue cobrir os eventos extremos (ABAD et al., 2013).

Os métodos semi-paramétricos combinam os métodos paramétricos e não-paramétricos e não fazem nenhuma suposição sobre o comportamento dos retornos, no entanto, são muito mais difíceis de serem implementados e calculados (ABAD et al., 2013).

Com relação ao uso do VaR na avaliação e mensuração do risco em projetos de investimento, foi possível encontrar reduzido número de autores, de acordo com os parâmetros de busca *VaR and Investment Project*, nos principais bancos de dados Google Scholar, Scopus, Scielo e Web of Science.

O único autor que têm utilizado técnicas de mensuração de risco baseados no VaR em projetos de investimento foi Mishra (2013). O autor calculou no seu trabalho diversos valores para diferentes períodos de tempo “t” de custos e benefícios, sob uma determinada TMA, para um projeto de PPP na área de transportes por meio da utilização da simulação *Bootstrap*. Para cada simulação, dado certo “t”, foi calculado a TIR. A partir desses resultados foi criado um gráfico com os valores após o número desejado de simulações, onde foi possível obter o VaR.

Em seguida será apresentado o método proposto para a execução deste trabalho, de maneira a atingir o objetivo principal.

CAPÍTULO 3 - MÉTODO DA PESQUISA

O presente trabalho objetiva propor o desenvolvimento de um método de estimação de risco em projetos de investimento para produtos inovadores contemplando, simultaneamente, as fases de desenvolvimento e de comercialização. Cabe, assim, desenvolver um método novo de avaliação econômica que resuma o projeto de investimento no ambiente de risco em um único valor monetário, de fácil interpretação para as empresas, com o fim de facilitar a compreensão e a tomada de decisão em projetos de inovação. Portanto, o valor do resultado obtido pela execução da pesquisa está tanto na contribuição para a academia quanto para a prática (KARLSSON, 2009).

Para tanto, foram estipulados cinco passos de procedimento, relacionados com o objetivo específico definido e as perguntas de pesquisa, conforme apresentado na Tabela 5.

O procedimento, descrito na Tabela 5, é ilustrado em um fluxograma como demonstra a Figura 7.

O Passo I prevê o estudo de temas essenciais para o desenvolvimento da pesquisa por meio da revisão bibliográfica e apresenta a base argumentativa da pesquisa. Karlsson (2009) ressaltou que a revisão da literatura acadêmica existente na área de interesse é fundamental a qualquer pesquisa, porque é essencial para estabelecer a legitimidade da mesma e garantir o conhecimento profundo do tema pesquisado. Além disso, ajuda a limitar a pesquisa a um escopo viável, permitindo ao pesquisador maior controle na condução do estudo.

Os temas estudados, em primeiro plano, foram inovação, tecnologia, e em específico, produtos inovadores e, de acordo com a classificação de projetos de PDP apresentada na revisão bibliográfica, serão considerados apenas projetos do tipo descontínuos/radicais. Em segundo lugar foram explorados os conceitos concernentes aos projetos de investimentos e aos métodos tradicionais de avaliação econômica, que servem de base para introduzir tanto o tema risco e incerteza quanto os métodos para tratar projetos em ambiente de alto risco. Neste

contexto, mostrou-se interessante a aplicação do VaR na avaliação de projetos de investimento em produtos inovadores.

Tabela 4- Passos de procedimento					
Passo de procedimento		Nome do passo	Objetivo	Método	Produto
I.		Estudo de temas essenciais ao desenvolvimento da pesquisa	Obter base e justificativa para o método proposto	Revisão bibliográfica	Base argumentativa para o projeto
II.		Identificação das variáveis	Identificar e relacionar os principais riscos inerentes em projetos inovadores.com variáveis mensuráveis	Revisão bibliográfica	<i>Framework</i> de relação dos principais riscos e variáveis
III.		Validação do <i>Framework</i>	Validar e aprimorar o <i>Framework</i> desenvolvido	Painel de especialista	<i>Framework</i> validado e modificado
IV.	1.	Montagem dos fluxos de caixa	Incluir os riscos associadas aos fluxos de caixas no modelo de cálculo de avaliação do projeto	Compilação de dados de projetos reais	Um fluxo de caixa para o processo de desenvolvimento e um para o mercado (comercialização)
	2.	Simulação	Identificar a influência dos principais riscos sobre as distribuições de VPLs do projeto.	Simulação com dados reais	Distribuição de VPLs do projeto de inovação
	3.	Cálculo do VaR	Identificar o VaR do projeto de inovação	Aplicação do cálculo do VaR	VaR do projeto de inovação
V.		Análise dos resultados	Concluir sobre o método proposto	Revisão dos resultados obtidos	Avaliar a aplicabilidade do método proposto

Fonte: elaboração própria

No Passo II foram identificados os riscos mais importantes a serem considerados na pesquisa, por meio de levantamento na literatura existente. Em seguida foi feito um esforço de associação de variáveis quantificáveis, aos tipos de riscos identificados. Este passo foi feito por

meio de um *framework*⁷, ou seja, uma esquematização da relação dos riscos e as respectivas variáveis quantitativas.

No Passo III, este *framework* de relação passou por validação por meio de um painel de especialistas, tanto atuantes no ambiente acadêmico quanto no mercado profissional. Um painel de especialistas é uma iniciativa de pesquisa com caráter coletivo. O objetivo de realizá-lo é o de reunir diversas pessoas altamente qualificadas no assunto para a avaliação de questões relacionadas a pesquisa. Na maioria dos casos, o painel é realizado quando o tema a ser tratado é complexo ou controverso. A escolha dos especialistas é feita de acordo com os ambientes ou situações de interesses para a pesquisa (BREWER e HUNTER, 2006; SOMMER e SOMMER, 2002). Como resultado, após a análise das respostas do painel, o *framework* foi aprimorado de acordo com as respostas e posteriormente usado para a montagem do modelo quantitativo.

O passo IV, de análise de aplicabilidade, foi dividido em três etapas menores. Primeiro, foram construídos dois fluxos de caixa, um para o mercado e outro para a empresa, para representar os riscos de mercado e os riscos de desenvolvimento do produto em separado. Para esta montagem dos fluxos de caixa, foram usados dados de dois projetos reais. O primeiro projeto real se trata de um produto novo e o segundo projeto real se trata de uma nova tecnologia, podendo ser empregada em diferentes mercados.

Além disso, a utilização de dois fluxos de caixa diferentes para projeto acumula vantagem em relação à escolha da TMA a ser levada em conta no cálculo do VPL, já que podem ser estabelecidas TMAs diferentes para cada fluxo de caixa individual. Ademais, foi feita a simulação do modelo quantitativo obtido anteriormente, com a utilização de um *software* de risco.

⁷ “O termo *framework* se refere a uma coleção de elementos reunidos para algum propósito” (VERNADAT, 1996, pág.32).

Figura 7– Fluxograma do procedimento

Fonte: elaboração própria

A forma adequada para a simulação econométrica está interligada às informações encontradas na literatura existente, feito na primeira etapa, principalmente no que se refere aos riscos de desenvolvimento. Neste caso se optou pela utilização da simulação de Monte Carlo.

O principal fator que determinou a escolha foi a aplicabilidade a caso de projetos de inovação, dado que para cada variável de interesse podem ser aplicadas diferentes distribuições estatísticas, das mais simples como a distribuição normal até o uso de distribuições de valores extremos que podem ser variadas de acordo com a natureza de cada variável.

Para a simulação do estudo de caso optou-se pelo uso do software @Risk, pelo preço especial por estudantes em comparação com o outro software disponível, o CrystalBall.

Como terceiro passo do passo de procedimento III foi calculado o VaR a partir da distribuição de VPLs obtidos pela simulação feita anteriormente. Foi escolhida a aplicação do VaR neste projeto, porque como mostrado na revisão bibliográfica os métodos tradicionais de avaliação econômico não são adequados para o ambiente de alto risco e as abordagens de gestão de riscos mais rigorosas, tais como modelos de opções reais, são promissoras, porém pouco usadas e muitas vezes não entendidos na prática (DAVIS, 2001).

De acordo com Mishra (2013) o algoritmo e a estimação do VaR, passo a passo, são representados na Figura 8 e Figura 9. As mesmas especificam, como foram executadas as simulações, em detalhe, com a finalidade de encontrar o VaR dos projetos simulados.

Por último, no passo de procedimento IV, foram analisados os resultados obtidos pela execução do método proposto e relatadas as principais observações sobre a aplicabilidade e utilidade da técnica, além da comparação entre as simulações para diferentes projetos de PDP.

Figura 8 - Metodologia para estimação do VaR, primeira parte

Fonte: elaboração própria

Figura 9 – Metodologia para estimação do VaR, segunda parte

Fonte: elaboração própria

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS

No presente capítulo serão apresentados os resultados da pesquisa passo a passo. Iniciando com os resultados do passo II de procedimento, o *framework* de relacionamento dos riscos e a validação pelo painel de especialista. Em seguida, será apresentado o modelo conceitual antes de aplicar o *framework* desenvolvido em duas simulações com dados reais. Por fim, serão apresentadas e discutidas as aplicações do modelo proposto nas duas simulações, descritas em seguida.

4.1. – Framework de riscos

Primeiramente, foi executado o Passo II (Identificação das variáveis), por meio da consulta da literatura sobre riscos em PDP e uma taxonomia para cada tipo de risco foi desenvolvida, possibilitando a construção de uma tabela com os principais tipos de riscos citados nos artigos encontrados sobre o assunto. O principal problema encontrado na literatura foi a taxonomia usada para cada tipo de risco, por conta disso as definições usadas por cada autor são apresentadas no Apêndice A, de maneira a permitir o estabelecimento de um padrão, que será utilizado no trabalho.

Os principais riscos encontrados na literatura de acordo com as definições apresentadas no Apêndice A são sistematizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Riscos em projetos de PDP de acordo com a literatura					
Risco/Autor	Sleepe (2010)	Wu et al. (2010)	Halman e Keizer (2007; 2005)	Tatikonda et al. (2000)	Huchzermeier e Loch (2001)
Cronograma	X	X		X	X
Variação dos custos	X	X	X	X	X
Qualidade do produto	X	X		X	
Performance (requisitos técnicos)	X	X	X	X	X
Mercado		X	X		X

Fonte: elaboração própria

De acordo com a classificação desenvolvida na Tabela 5 constou-se que os seguintes riscos devem ser levados em conta em projetos de PDP:

- Cronograma do projeto: incluindo os fatos, *time-to-market*, tempo de desenvolvimento e se os prazos estão sendo cumpridos dentro do cronograma estabelecido. Este risco está fortemente interligado aos riscos de custos, já que um atraso no desenvolvimento ou um *time-to-market* mais tarde podem influenciar significativamente os custos envolvidos no projeto;
- Variação de custos: todos os autores nomearam os custos como um fator de risco importante; os custos incluem o orçamento do projeto (relacionado ao cronograma), os custos de desenvolvimento, os custos de fabricação e, além disso, os custos de capital (próprio e de terceiros);
- *Performance* (requisitos técnicos): inclui o risco de o projeto não conseguir satisfazer os requisitos técnicos (a funcionalidade técnica não ser atingida ou ser atingida somente em partes), com a possibilidade de o projeto não poder ser concluído quando o problema técnico não for resolvido;
- Qualidade: esse risco está fortemente ligado ao sucesso comercial, ou seja, se as necessidades dos clientes foram atingidas e qual é a relação do produto novo com os produtos dos concorrentes;
- Risco de mercado: inclui variáveis ligadas à previsão do mercado, as estimativas de vendas (receitas), a previsão da demanda e eventuais mudanças na legislação. Gitman (2007) resume o risco de mercado da seguinte forma: “A possibilidade de

que o valor de um ativo caia por causa de fatores de mercado independentes do ativo (como eventos econômicos políticos e sociais). Em geral, quanto mais o valor do ativo reage ao comportamento do mercado, maior é seu risco; quanto menos reage, menor é seu risco”.

Segundo Wu et al. (2010), esses riscos podem ser classificados em externos, internos e de resultado. Os riscos externos são aqueles que não podem ser influenciados pela empresa, é o caso do risco de mercado; os riscos internos, por sua vez, são aqueles que podem ser influenciados pela gestão do projeto (risco de cronograma); por fim, os riscos de resultado são aqueles que influenciam o desempenho final do projeto, ou seja, custos, qualidade e *performance* do produto. A escolha de riscos a serem levados em consideração no presente trabalho está de acordo com Chapman (1990), que afirma que os fatores-chave em projetos de inovação são tempo (neste caso, cronograma), dinheiro (neste caso, custos) e qualidade (neste caso, qualidade e *performance*).

A partir dos tipos de riscos definidos anteriormente, os apresentados no Quadro 3, juntamente com suas variáveis, foram sugeridos para a quantificação dos riscos no presente trabalho.

As variáveis sugeridas podem ser descritas de acordo com Rodrigues (2014), da maneira como apresentado no Apêndice B.

Após a caracterização e descrição dos riscos com base na literatura, os cinco tipos de riscos (cronograma, *performance*, qualidade, custo, mercado) encontrados foram associados às duas fases do projeto inovador: desenvolvimento e comercialização e, por fim, foram analisados no modelo de avaliação econômica proposto. Assim foi considerado onde os respectivos riscos teriam mais impacto, a) na fase de desenvolvimento ou na b) na fase de comercialização da tecnologia nova.

O primeiro risco apresentado – (1) cronograma – e suas respectivas variáveis – (a) probabilidade de atraso e (b) tempo de desenvolvimento – foram diretamente associados à fase de desenvolvimento do produto, uma vez que atrasos desse tipo ocorrem apenas na fase de desenvolvimento, não havendo uma sobreposição entre as variáveis. Ulrich e Eppinger (2000, p. 6) também listam a pressão do tempo como uma das características principais no desenvolvimento de produtos, uma vez que o cronograma determina todos os outros desafios presentes no processo como, por exemplo, efeitos de *trade-off* (gestão dos efeitos para

maximizar o sucesso do produto), dinâmicas do mercado, decisões sobre detalhes do produto e os custos de desenvolvimento.

Os riscos e as respectivas variáveis do modelo	
Risco	Variável
Cronograma	Probabilidade de atraso
	Vida útil do projeto (tempo de desenvolvimento)
<i>Performance</i>	Probabilidade de sucesso tecnológico
	Índice de complexidade técnica
	Prêmio de risco
Qualidade	Probabilidade de sucesso comercial
Custos	Receita
	Investimentos
	Custos fixos
	Custos variáveis
	Despesas fixas
	Despesas variáveis
	Taxa de atratividade
	Capital próprio
	Capital de terceiros
	Custos de desenvolvimento
Mercado	Cenários futuros previstos do mercado
	Custos de comercialização
	Expectativa de crescimento
	Expectativa de demanda
	Índice de inflação
	Impostos

Quadro 3 - Os riscos e as respectivas variáveis do modelo

Fonte: elaboração própria.

O segundo risco identificado – (2) *performance* – e suas respectivas variáveis – (a) probabilidade de sucesso tecnológico, (b) índice de complexidade técnica e (c) prêmio de

risco – também seguiram a mesma lógica e foram associados a fase de desenvolvimento do produto. Essas variáveis são determinantes no desenvolvimento de produtos de alto risco e são caracterizadas por Ulrich e Eppinger (2000) como uma categoria onde as incertezas técnicas criam um alto risco de falência antes de o produto ser desenvolvido. A *performance* do produto é definida como o quão bem o produto implementa as suas funções pretendidas. As características típicas de *performance* são velocidade, eficiência, vida útil, exatidão e barulho (ULRICH e EPPINGER, 2000). O sucesso tecnológico ou a falta dele, assim como o grau de complexidade técnica, são fatores que impactam diretamente no sucesso ou insucesso na fase do desenvolvimento da tecnologia ou produto por si só. Porém, se essas variáveis forem superadas na primeira fase, as mesmas possuirão pouca relevância na fase futura de comercialização. Nessa etapa, quanto maior o índice de complexidade técnica, menor a chance de sucesso tecnológico e, conseqüentemente, maior será o prêmio de risco para compensar.

O terceiro risco identificado – (3) qualidade – e sua respectiva variável de probabilidade de sucesso comercial, é a principal variável associada à fase de comercialização do produto. Para que o produto se concretize, é necessário um alto índice de sucesso comercial, por meio da elevação da demanda para que o produto gere retornos satisfatórios aos envolvidos. Para assegurar a demanda e a aceitação por parte dos clientes, é necessário identificar as necessidades dos consumidores, como ressaltam Ulrich e Eppinger (2000), e essa identificação se dá por meio dos seguintes passos:

1. Coletar dados dos clientes;
2. Interpretar os dados em relação às necessidades dos clientes;
3. Organizar as necessidades em uma hierarquia;
4. Estabelecer a importância relativa das necessidades;
5. Refletir sobre os resultados do processo.

Depois dessa investigação, dever ser estabelecida uma lista de especificações-alvo para garantir que as necessidades serão realmente atendidas. Essa lista reflete os objetivos da equipe de desenvolvimento, descrevendo um produto que teria sucesso no mercado. O processo de estabelecimento dessa lista de metas para o sucesso comercial é realizado em quatro passos:

1. Preparar a lista de metas;
2. Coletar informações sobre *benchmarking* competitivo;
3. Definir valores alvos ideais e marginalmente aceitáveis;

4. Refletir sobre os resultados e o processo (ULRICH e EPPINGER, 2000, p. 95).

O quarto risco identificado – (4) custos – e as respectivas variáveis – (a) receita, (b) investimentos (c) custos fixos, (d) custos variáveis, (e) despesas fixas, (f) despesas variáveis – foram associadas à fase de comercialização do produto. As receitas e os custos associados ao produto em questão são a base que determinará o sucesso econômico do produto.

Seguindo a análise do risco “custo”, as variáveis (g) taxa de atratividade, (h) capital próprio e (i) capital de terceiros, foram associadas a fase de comercialização, uma vez que fazem parte do planejamento financeiro do produto no plano de negócios, o qual inclui toda fase de comercialização. No entanto, a variável (j) custos de desenvolvimento foi associada à fase de desenvolvimento do produto, se referindo, por exemplo, a custos com equipamentos, máquinas e possíveis protótipos, além dos custos com a mão-de-obra necessários para o desenvolvimento da tecnologia. Ulrich e Eppinger (2000) afirmam que os custos de desenvolvimento são proporcionais ao número de pessoas na equipe de desenvolvimento e à duração do processo de desenvolvimento.

Melhor explicando, a variável (b) investimento foi associada à fase de comercialização onde incorrerão investimentos em, por exemplo, equipamentos para produção, treinamento de pessoal e no canal de distribuição. Esta variável não foi considerada na fase de desenvolvimento, devido ao fato de que, nessa fase todos os investimentos serão chamados de custos de desenvolvimento, uma vez que estes investimentos não poderão ser reutilizados na próxima fase de comercialização, além da garantia de melhor compreensão das variáveis e das diferentes fases.

Por fim, o quinto e último risco apresentado – (5) mercado – e as respectivas variáveis – (a) cenários futuros do mercado, (b) custos de comercialização, (c) expectativa de crescimento, (d) expectativa de demanda, (e) índice de inflação e (f) impostos – foram associados à fase de comercialização, por serem específicas do mercado e suas características. Ulrich e Eppinger (2000) determinam a interação entre o mercado e o produto também desta maneira e afirmam que o ambiente do mercado alvo do produto é influenciado por três grupos de pessoas:

- Competidores: podem fornecer produtos em competição direta ou produtos que competem indiretamente como substitutos;

- Clientes: as expectativas dos clientes, salários ou gostos podem mudar e essas mudanças podem ser independentes ou podem ser acionados por novas condições no mercado por produtos complementares ou substitutos;
- Fornecedores: os fornecedores de *inputs* para o novo produto estão sujeitos às pressões do próprio mercado, que podem, por meio da cadeia de valor, ter impacto no novo produto.

Todos esses fatores têm forte influência sobre as variáveis (a) cenários futuros do mercado, (b) custos de comercialização e (c) expectativa de demanda e, também, sobre a (d) expectativa de crescimento. Além disso, existem as interações entre o produto e o macro ambiente, determinado pelos seguintes três fatores:

- Grandes mudanças econômicas: mudanças econômicas típicas que impactam o valor de projetos de PDP como, por exemplo, mudanças na taxa de câmbio, nos custos das matérias primas ou custos de mão-de-obra;
- Regulamentações do governo: novas regulamentações podem destruir a oportunidade de desenvolvimento de um novo produto. Por outro lado, uma mudança na estrutura da regulamentação de uma indústria poderá gerar indústrias totalmente novas;
- Tendências sociais: semelhante às regulamentações do governo, novas inseguranças sociais, tais como preocupações econômicas, podem destruir indústrias existentes ou criar indústrias novas (ULRICH e EPPINGER, 2000).

Os fatores citados anteriormente influenciam, de forma significativa, as variáveis explicativas (a) cenários futuros do mercado, (b) custos de comercialização, (c) expectativa de crescimento, (d) expectativa de demanda, (e) índice de inflação e (f) impostos.

A associação das variáveis explicativas de risco com as duas fases analisadas (desenvolvimento e comercialização) está representada no Quadro 4.

Em resumo, a relação e categorização dos riscos, variáveis e suas fases correspondentes, seguem o conceito de que todos os riscos e variáveis, relacionados à execução técnica do projeto, foram categorizados na fase de desenvolvimento e, por sua vez, os riscos e variáveis relacionados ao plano de negócios, foram categorizados na fase de comercialização do produto novo.

Categorização dos riscos e variáveis por fase da nova tecnologia		
Fase	Risco	Variável
Fase I: Desenvolvimento do Produto	Cronograma	Probabilidade de atraso
		Vida útil do projeto (tempo de desenvolvimento)
	Performance	Probabilidade de sucesso tecnológico
		Índice de complexidade técnica
		Prêmio de risco
	Custos	Custos de desenvolvimento
Fase II: Comercialização do Produto	Qualidade	Probabilidade de sucesso comercial
	Custos	Investimentos
		Capital próprio
		Capital de terceiros
		Taxa de atratividade
		Receita
		Custos fixos
		Custos variáveis
		Despesas fixas
		Despesas variáveis
	Mercado	Cenários futuros previstos do mercado
		Custos de comercialização
		Expectativa de crescimento
		Expectativa de demanda
		Índice de inflação
		Impostos

Quadro 4- Categorização de riscos e variáveis por fase da nova tecnologia

Fonte: Elaboração própria

Com base nas discussões apresentadas e na categorização apresentada no Quadro 4, as principais conclusões da fase de Desenvolvimento podem ser resumidas da seguinte forma:

- Os custos na Fase I estão relacionados ao projeto do desenvolvimento do produto, se dividem em custos com a equipe de desenvolvimento e em custos adicionais de desenvolvimento que, posteriormente, se dividem mais uma vez em custos com protótipo, instalações, equipamentos e outros;
- O maior componente de custos da Fase I decorre da equipe de desenvolvimento; considerando que a equipe receba por hora trabalhada, essa componente dos custos varia em função do tempo;
- Quanto maior o tempo total de desenvolvimento do produto, maior será o valor de custo de mão-de-obra. O mesmo ocorre com a probabilidade de sucesso tecnológico e a probabilidade de atraso, em projetos onde essas probabilidades forem respectivamente menores e maiores, maior será o dispêndio na Fase I;
- Existem apenas saídas de capital durante essa fase;
- Quantificando financeiramente a variação dos custos totais na Fase I, obtêm-se a quantificação dos riscos de cronograma e de *performance*;
- Existe uma sobreposição entre os riscos de cronograma e de *performance* e suas respectivas variáveis. A probabilidade de atraso tem relação direta com a probabilidade de sucesso tecnológico, uma vez que dificuldades no desenvolvimento da tecnologia impactarão em atrasos nessa fase, o mesmo ocorre com o índice de complexidade técnica e a vida útil do projeto.

Estas apresentações iniciais sobre a Fase I (Desenvolvimento) estão ilustradas na Figura 10, onde está apresentado o relacionamento entre as variáveis.

De acordo com Ulrich e Eppinger (2000), o sistema de informação mais importante na execução do projeto é o cronograma de projeto, normalmente elaborado por meio de um diagrama do *Program Evaluation and Review Technique* (PERT)⁸ ou o gráfico Gantt.

O gráfico Gantt é a ferramenta tradicional utilizada para representar a sequência de tarefas. Nesse gráfico é mostrada a sequência das tarefas e a data atual, a fim de determinar se

⁸ É importante ressaltar a diferença entre a rede PERT e a distribuição Pert, em seguida a rede será referenciada como PERT e a distribuição como Pert.

uma tarefa está no tempo do cronograma ou atrasada, por exemplo. Porém, por meio desse gráfico não é possível exibir explicitamente as dependências entre as tarefas. Dependências de tarefas restringem, mas não determinam totalmente o cronograma das tarefas, determinam quais tarefas devem ser concluídas antes que outras possam começar (ou terminar, dependendo da natureza da dependência) e quais as tarefas que podem ser concluídas em paralelo.

Figura 10- Apresentação inicial da Fase I de Desenvolvimento

Fonte: elaboração própria

No diagrama PERT, por outro lado, é possível exibir as duas coisas, as dependências e o cronograma das tarefas, em conjunto. Desse modo, a segunda possibilidade de quantificar os custos com a equipe de desenvolvimento e controlar pelo risco de cronograma é a elaboração de uma rede por meio da ferramenta estatística PERT.

O método PERT possibilita a elaboração de uma rede que identifica a sequência lógica das etapas para atingir um determinado objetivo. Para este fim, são dispostas as atividades, suas durações e a ordem das mesmas (HIRSCHFELD; 1978). A rede PERT também é distinta do diagrama Gantt porque emprega conceitos estatísticos e demanda a elaboração de uma rede de atividades, indicando o progresso feito no projeto detalhadamente e, ao mesmo tempo, apresentar potenciais problemas a serem enfrentados durante o projeto (EVARTS, 1972). Os conceitos básicos para a elaboração de uma rede PERT são as seguintes:

- Evento: ponto no tempo onde existe uma tomada de decisão;
- Atividade: execução de uma determinada tarefa a qual envolve a ocupação de recursos e tempo;
- Estimativas de tempo da rede PERT:
 - Tempo otimista: menor tempo possível em que uma atividade pode ser executada;
 - Tempo mais provável: estimativa de tempo mais provável;
 - Tempo pessimista: maior tempo possível em que uma atividade pode ser executada
 - Folga: medida de excesso de tempo disponível para a realização de determinado evento;
 - Caminho crítico: é o caminho na rede PERT que possui folga zero (EVARTS, 1972; HIRSCHFELD, 1978).

As dependências entre as tarefas no diagrama de PERT, algumas das quais podem ser organizadas sequencialmente e outras podem ser organizadas em paralelo, conduzem ao conceito do caminho crítico (*critical path*). O caminho crítico é definido como a maior cadeia de eventos dependentes; é uma sequência de tarefas cujo tempo definido necessário combinado define o tempo possível de conclusão mínimo para todo o conjunto de tarefas. Identificar o caminho crítico é importante porque um atraso em qualquer uma destas tarefas críticas iria resultar em um aumento da duração do projeto inteiro. Além do caminho crítico, todos os outros caminhos contêm alguma folga, o que significa que um atraso em uma das tarefas não críticas não cria necessariamente um atraso para o projeto inteiro (ULRICH e EPPINGER, 2000).

De acordo com Hirschfeld (1978), o cálculo do tempo esperado (19) e da variância (18) do tempo esperado de uma determinada atividade é feita por meio das formulas (20) e (18).

$$t_e = \frac{t_p + 4 \times t_m + t_o}{6} \quad (19)$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2 \quad (20)$$

Onde:

t_e = tempo esperado;

t_p = tempo pessimista;

t_m = tempo mais provável;

t_o = tempo otimista.

O resultado do tempo esperado e da variância por atividade será dado em dias, os pesos na equação (19) podem ser alteradas de acordo com a natureza do projeto e não deverá ultrapassar a soma total de seis.

Para a elaboração da rede, faz-se necessário cumprir as seguintes tarefas listadas a seguir (HIRSCHFELD,1978):

1. Elaborar a rede, que consiste em determinar a relação das atividades, de acordo com o desenvolvimento do projeto, caracterizando as relações de dependência e de sequência entre as atividades; em seguida, deve-se definir as durações das mesmas;
2. Verificar se há atividades que podem ser executadas ao mesmo tempo, possibilitando economia de tempo;
3. O evento é finalizado quando todas as atividades prévias a ele forem concluídas;
4. Uma nova atividade só poderá ser iniciada quando o evento estiver concluído,
5. Entre dois eventos sucessivos, há apenas uma atividade;
6. As atividades que apresentarem atrasos ao projeto merecerão atenção especial;
7. Não deverá criar circuito na rede, isto é, atividades que deem origem a elas mesmas.

Em seu turno, para criar uma estimativa de custos, as atividades e suas respectivas durações devem ser relacionadas aos custos da equipe. Para incorporar os custos na elaboração da rede PERT, foi desenvolvido um trabalho de graduação, Rapucci (2015), agregado ao presente projeto com coorientação da autora, onde são sugeridas as seguintes etapas, ilustradas na Figura 11:

1. O gerente do projeto é responsável por elaborar a rede PERT da forma tradicional, com as atividades, respectivas ordens e suas atividades precedentes;
2. O gerente do projeto, sozinho ou com o auxílio de outros especialistas da área, deverá definir a composição da sua equipe e o prazo do projeto;

3. De acordo com o prazo estabelecido, tamanho e qualidade disponível da equipe, o gerente irá definir a duração de cada atividade e suas respectivas variações possíveis, tentando ser o mais realístico possível;

O gerente deverá compilar uma lista com todos os participantes do projeto e seus respectivos salários em função do tempo.

Figura 11 – Representação dos itens necessários para uma rede PERT incluindo custos

Fonte: RAPUCCI, 2015, p. 40.

Após a conclusão das primeiras quatro etapas, Rapucci (2015) sugere mais duas etapas finais:

4. A partir do produto entre o tempo destinado para cada atividade e o salário em função do tempo de cada colaborador do projeto, tem-se uma rede PERT em função dos custos em unidades monetárias;
5. A partir do cálculo do caminho crítico da rede PERT, será possível obter uma boa estimativa do custo total com a equipe do projeto e sua respectiva variação (RAPUCCI, 2015).

Uma rede PERT, seguindo as etapas descritas anteriormente, teria a forma apresentada na Figura 12.

Na Figura 12, suponha que o caminho crítico do projeto percorra a orientação 10-20-50, isso significa dizer que as atividades 10-20 e 20-50 determinarão a duração total do

projeto. Dessa forma, o custo total com a equipe de desenvolvimento do projeto se refere à somatória do produto entre atividades e durações, que no caso da Figura 12 seria de $AX + DU$, e suas respectivas variâncias, neste caso $A*V(X) + D*V(U)$ (RAPUCCI, 2015).

Figura 12 – Representação da transformação da rede PERT

Fonte: RAPUCCI, 2015, p. 41.

Por meio da utilização da rede PERT modificada apresentada, é possível quantificar o risco de cronograma, por meio das atividades identificadas no caminho crítico. Quanto mais atividades críticas houver, maior será o risco de cronograma. Além disso, a quantificação do risco tecnológico também pode ser realizada, por meio da indicação do tempo de duração e as respectivas variações de atividades na rede. Quanto maior for a variação calculada por atividade, maior será o risco tecnológico, impactando novamente no risco de cronograma.

As outras variáveis descritas referentes ao custo de capital, custos com instalações, protótipos e equipamentos, compõem a segunda parte dos custos totais de desenvolvimento. Para a quantificação dessas variáveis, é possível considerar uma variação estatística do preço dos componentes para instalações, equipamentos ou possíveis protótipos em função do tempo, podendo ser quantificado usando um fator corretivo como o Índice nacional de preços ao

consumidor amplo (IPCA)⁹. É válido destacar que o fator tempo deve ser considerado, uma vez que com a existência de possíveis atrasos no cronograma do projeto, ocorrerão aumentos dos preços dos componentes por conta da inflação.

Desta maneira, a Figura 13 resume o relacionamento das variáveis completas da Fase I (Desenvolvimento).

Figura 13- *Framework* da Fase I (Desenvolvimento)

Fonte: Elaboração própria.

⁹ Índice nacional de preços ao consumidor amplo, valor para Junho 2015 0,79%, acumulado ao ano 2015 6,17%, disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultinpc.shtm.

Com base nas discussões e no Quadro 4 apresentado anteriormente, as principais conclusões da Fase II (comercialização) são:

- As principais variáveis a serem quantificadas são investimentos, receitas, custos – fixos, variáveis e despesas – e o custo de oportunidade de capital;
- Os investimentos na Fase II correspondem a todo dispêndio monetário relacionado a preparação e adequação para a produção do produto como, por exemplo, compras de máquinas e equipamentos, treinamento de mão-de-obra para a produção, criação e/ou exploração de um canal de vendas, assim como a padronização do produto para eventuais normas de qualidade necessárias;
- A receita do produto, em um dado período, é dada em função da demanda e do preço do produto;
- A demanda do produto engloba dois componentes de risco: o risco de mercado, quantificado pela expectativa de crescimento e a expectativa de demanda e o risco de qualidade, definido pela probabilidade de sucesso comercial e a estratégia de marketing;
- O preço do produto é dado pela estratégia de precificação do produto e influenciado por fatores econômicos externos, como impostos e a situação econômica do mercado como um todo;
- Os custos do produto são divididos em:
 - Custos fixos: custos que a empresa terá de arcar mesmo com produção nula;
 - Custos variáveis: custos de produção que incidem de acordo com a quantidade produzida;
 - Despesas fixas e variáveis: dispêndio monetário que são independentes da produção por si só, como, por exemplo, despesas de comercialização;
- O custo de oportunidade do capital é definido de acordo com os objetivos dos investidores participantes do projeto de inovação. Estes objetivos e exigências serão refletidas pela taxa mínima de atratividade (TMA) estabelecida, representando o custo de oportunidade do projeto.

As conclusões apresentadas estão ilustradas na Figura 14. Em seguida, serão discutidas as quatro maiores categorias e suas variáveis relacionadas em detalhe.

Figura 14- Apresentação inicial da Fase II (Comercialização)

Fonte: Elaboração própria.

Investimentos

Como definido, os investimentos na fase de comercialização do produto novo englobam todos os aspectos da produção do novo produto. Os principais pontos identificados foram: (a) aquisição de equipamentos e máquinas para a produção; (b) treinamento para os funcionários para produzir o novo produto (uso de novas tecnologias, por exemplo); (c) investimento no canal de vendas e distribuição; (d) padronização e adequação às normas de qualidade para aquele dado produto¹⁰. A Figura 15 ilustra a relação das sub variáveis da variável principal de investimentos.

As sub variáveis (a) equipamentos e máquinas e (d) padronização e adequação às normas, podem ser quantificadas com maior precisão uma vez que se conhecem os preços praticados no mercado. Para quantificação estatística dessas variáveis, dados históricos sobre os preços dos produtos e serviços podem ser utilizados.

Já as variáveis (b) treinamento para funcionários e (c) canal de distribuição e vendas são mais difíceis de serem estimadas com maior acuidade, uma análise e comparação com outros projetos semelhantes podem ser utilizados para a estimação desses custos. Com o uso

¹⁰ Informações sobre regulamentação e de normas de qualidade podem ser certificadas no site do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro): www.inmetro.gov.br ; guia disponível para certificação de novos produtos e os passos necessários: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/iaac/certifique-seu-produto.asp>.

de dados de outros projetos, uma distribuição dos custos pode ser gerada com o desvio-padrão relacionado, com objetivo de controlar as incertezas nestas duas variáveis, por exemplo.

Figura 15- Variável Investimento e sub- variáveis

Fonte: Elaboração própria.

Receitas

As receitas são as únicas entradas de capital na fase de comercialização do produto. Como apresentado anteriormente, essa variável é subdividida nas sub variáveis a) demanda (quantidade vendida) que é função do tamanho do mercado alvo e da porcentagem do mercado que será atendido com o produto novo e b) preço.

Normalmente, a demanda e o preço são inversamente relacionados, ou seja, quanto maior o preço, menor a quantidade vendida. Em casos de bens de prestígio, essa relação pode mudar para uma curva ascendente. Na curva de demanda, podem ser identificados o volume de compra a diferentes preços estabelecidos, além do grau de reação de uma mudança de preço na quantidade vendida, informando sobre a elasticidade da curva de demanda.

Se a demanda for inelástica, uma mudança no preço resulta apenas em uma mudança marginal na quantidade vendida; a demanda é, então, inelástica em relação ao preço. No caso de uma demanda elástica, mudança igual no preço resulta em mudança significativa na quantidade. Kottler (1998) lista algumas razões para a demanda ser menos elástica, por exemplo, quando não existem bens substitutos ou não haja concorrentes; quando os consumidores têm dificuldade em perceber o preço maior; quando os consumidores são lentos na mudança dos seus hábitos de compra e na procura por preços menores e, por fim, quando os consumidores consideram que preços maiores refletem melhor qualidade, condições inflacionárias etc.

A porcentagem do mercado alvo a ser atendida depende, por outro lado, das variáveis a) probabilidade de sucesso comercial, b) estratégia de marketing e c) diferencial competitivo do produto. A estratégia de marketing é definida pelas quatro questões listadas a seguir:

1. Quando (*timing*): o momento em que a empresa lança o novo produto no mercado pode ser crítico e, em geral, existem três opções:
 - a. Entrar primeiro no mercado: geralmente apresenta as vantagens para a empresa que chega primeiro no mercado, podendo conquistar distribuidores, clientes-chaves e, além disso, ganhar reputação de liderança no mercado. Porém, o lançamento de um produto não totalmente testado também pode resultar na geração de uma imagem negativa.
 - b. Entrar paralelamente no mercado: neste caso, é possível entrar no mercado no mesmo momento que o concorrente. Se o concorrente adiantar o lançamento, pode acontecer de não conseguir acompanhá-lo; por outro lado, se o concorrente adiar o lançamento, a empresa pode fazer o mesmo e usar o tempo extra para o aperfeiçoamento do produto.
 - c. Entrar posteriormente no mercado: a empresa, neste caso, adia o lançamento até após o lançamento do concorrente. Nessa estratégia, existem três vantagens. Primeiro, o concorrente terá que assumir os custos de preparação do mercado; segundo, podem ser percebidos falhas no produto do concorrente que podem ser evitadas por melhorias no produto lançado depois e, por último, depois do lançamento do concorrente, o tamanho do mercado alvo já é conhecido e oferece boas informações sobre a demanda para a empresa.
2. Onde (estratégia geográfica): depois de decidir quando, a empresa precisa decidir onde o produto será lançado, se será em uma única localidade, em várias regiões, no mercado nacional ou no mercado internacional. A maioria das empresas opta por vender, primeiramente, no mercado doméstico (KOTTLER, 1998). Para determinar em qual mercado ocorrerá o lançamento, deve ser feita uma avaliação dos mercados alternativos, conforme os graus de atratividade de cada um. Os critérios de avaliação devem conter informações como a avaliação do potencial do mercado, a reputação local da empresa, o custo de abastecimento do mercado, o custo das mídias de comunicação, a influência de uma área sobre outras e a

penetração de concorrentes, uma vez que um fator de destaque é a análise dos concorrentes.

3. Para quem (consumidores potenciais do mercado): após a escolha do mercado (ou dos mercados, se foram mais que um), a empresa deve focar sua atenção nos melhores grupos de consumidores potenciais. No cenário ideal, os principais consumidores potenciais para o novo produto devem ter as seguintes características: a) ser adotantes imediatos, b) ser grandes usuários, c) ser líderes de opinião e d) podendo ser atingidos a baixo custo. Poucos grupos de consumidores vão ter todas essas características, no entanto, após uma avaliação, de acordo com as características definidas, o melhor grupo pode ser escolhido sempre com o propósito final de gerar grande volume de vendas o mais rápido possível, para motivar a força de vendas e atrair o maior número possível de consumidores potenciais.
4. Como (estratégias de lançamento no mercado): o como envolve um plano de ação por parte da empresa de como o produto será lançado. Isto envolve campanhas, por exemplo, de propagando, pré-venda e contratos exclusivos com centros de distribuição (KOTTLER, 1998).

O peso e a influência destas variáveis variam de acordo com a natureza da inovação e das características do mercado alvo. A precisão em prever a demanda do produto novo é a variável mais difícil de todas as variáveis do *framework* a ser estimado, uma vez que a sua definição depende de muitas incertezas do mercado alvo, dos clientes, do mercado como um todo e da situação econômica em geral.

A definição do preço do produto, por sua vez, é dado pela estratégia de precificação do produto. Além disso, para o estabelecimento do preço a empresa precisa definir o objetivo a ser atingido com o produto novo. É possível a escolha entre seis objetivos maiores: a) sobrevivência, b) maximização de lucro, d) maximização do faturamento, e) maximização do crescimento de vendas, f) maximização da desnatação de mercado ou g) liderança de produto-qualidade. Após a definição do objetivo, o procedimento da escolha da política de precificação é determinado por mais quatro passos, até chegar na seleção do preço final, como ilustra a Figura 16 (KOTTLER, 1998).

Figura 16 – Estabelecimento de uma política de preço

Fonte: KOTTLER, 1998, p. 437.

Existem sete possibilidades de posicionamento do produto no mercado, segundo Kottler (1998), que estão resumidas no Quadro 5. No esquema apresentado, é definida uma marca como padrão, chamada de marca definitiva, neste caso a Mercedes-Benz, as outras marcas são categorizadas de acordo com este padrão.

Segmentos de mercado com exemplos	
Segmento	Exemplo (automóveis)
Definitivo	Mercedes- Benz
Luxo	Audi
Necessidades especiais	Volvo
Médio	Volkswagen
Facilidade/ conveniência	Fort Escort
Convencional e mais barato	Hyundai
Orientado para preço	Daihatsu

Quadro 5 – Segmentos de mercado com exemplos

Fonte: Adaptado segundo Kottler, 1998, p; 436.

Este esquema sugere que os produtos só concorrem dentro das suas categorias, mas na realidade pode, também, haver concorrência entre os segmentos preço e qualidade, as estratégias que combinam preço e qualidade, são ilustradas na Figura 17.

		Preço		
		Alto	Médio	Baixo
Qualidade do produto	Alta	1. Estratégia Premium	2. Estratégia de alto valor	3. Estratégia de valor supremo
	Média	4. Estratégia de preço alto	5. Estratégia de preço médio	6. Estratégia de valor médio
	Baixa	7. Estratégia de desconto	8. Estratégia de falsa economia	9. Estratégia de economia

Figura 17 – Nove estratégias de preço/qualidade

Fonte: KOTTLER, 1998, p. 437.

De acordo com a Figura 17, as estratégias diagonais, 1, 5 e 9, podem existir juntos no mesmo mercado. Neste cenário, uma empresa oferece um produto de alta qualidade a um preço alto, outra empresa oferece um produto de qualidade média com preço médio e a última empresa oferece um produto de baixa qualidade a um preço baixo. As três empresas podem coexistir no mesmo mercado devido as preferências dos consumidores. Já as estratégias 2, 3 e 6, têm como objetivo atacar as posições das estratégias diagonais. As estratégias 2 e 3 atacam diretamente o produto posicionado na categoria 1, indicando que o produto possui a mesma qualidade, porém vendido a um preço menor. Em especial, os consumidores sensíveis à qualidade são o grupo alvo dessas estratégias. Já as estratégias 4, 7 e 8 tem como objetivo a fixação de um preço alto em relação a sua qualidade. Nessas estratégias, a reputação da empresa pode estar em perigo quando os consumidores percebem a qualidade menor e, por conta disso, devem ser evitadas (KOTTLER, 1998).

Em síntese, a principal variável receita e suas sub variáveis, são ilustradas na Figura 18.

Figura 18- Variável Receita e sub- variáveis

Fonte: Elaboração própria

Custos

Os custos representam todas as saídas de capital durante a fase de comercialização do produto, após a realização dos investimentos. A variável principal custos é dividida nas sub variáveis a) custos diretos, b) custos indiretos e c) despesas.

Primeiro, na variável (a) custos diretos tem-se todos os custos que podem ser atribuídos direto à produção do produto, os quais podem ser mensuráveis de forma objetiva. Já a segunda variável (b) custos indiretos, são custos que não podem ser apropriados diretamente. Por isso, geralmente utiliza-se técnicas de rateios para a contabilização desses custos. Como terceira variável, as (c) Despesas, saídas de capital decorrentes de atividades não relacionadas a produção, variam de acordo com o tipo de indústria e produto.

Para estimar a sub variável (a) custos diretos, podem ser usados dados, por exemplo, de matéria-prima, mão-de-obra e energia, visto que geralmente influenciam significativamente o custo total do produto, podendo variar de projeto para projeto. Na sub variável (b) custos indiretos, indica-se o rateio de custos por meio do método ABC, método que apresenta maior eficácia na contabilização. A sub variável (c) despesas é dividida em

despesas com distribuição e marketing, fatores não diretamente associados à produção do produto, mas ligados ao processo de comercialização como um todo.

Para quantificação estatística das sub variáveis listadas anteriormente, são considerados os seguintes pontos:

(a) Custos diretos: devem ser utilizadas distribuições únicas para cada um de seus componentes. Como dito anteriormente, cada indústria terá seus próprios componentes de custos direto. A seguir estão exemplificados os componentes apresentados no presente trabalho:

- **Matéria-prima:** como primeiro passo, deve-se identificar quais são as matérias-primas que têm maior impacto no custo de matéria-prima do produto. Para isso, Rapucci (2015) indica uma análise de Pareto. Após essa identificação, deve-se estudar como o preço dessas matérias-primas se comportou historicamente e, diante disso, calcular a variância. Na sequência, deve-se considerar que essa variância ocorre de forma geral para as demais matérias-primas. Por exemplo, um produto tem 80% do seu custo em função da matéria prima aço. A partir disso, considera-se que a variância do custo direto de matéria-prima segue a mesma variação do preço do aço nos últimos anos.
- **Mão de obra:** é importante notar que as variações nesse custo são sujeitas às mudanças políticas e dos sindicatos. Novamente, deve-se analisar como esses custos se comportaram historicamente e atribuir variação estatística mediante a isso. Deve-se considerar, também, em que contexto a empresa está inserida e como os reajustes salariais são aplicados.
- **Energia:** deve-se considerar o histórico do reajuste das tarifas e com isso deverá ser calculada a variância atribuída ao preço da energia.

(b) Custos indiretos: acredita-se que a variância associada a esses custos deve seguir a mesma lógica atribuída aos custos diretos;

(c) Despesas: deve-se analisar historicamente como se comportaram as despesas de marketing e as despesas de distribuição no mesmo mercado alvo ou em projetos semelhantes já executados. Mediante essa variação, deve-se calcular a variância desses componentes.

A relação entre as variáveis de custos apresentadas está esquematizada na Figura 19.

Figura 19- Variável Custos e sub- variáveis

Elaboração própria

Custo de oportunidade de capital

O termo custo de oportunidade de capital se refere ao fato de que os recursos financeiros investidos em um negócio poderiam ter sido direcionados para outro negócio (chamado de oportunidade) ou, até mesmo, aplicados no mercado financeiro. Portanto, o lucro final de um determinado investimento deverá ser confrontado e comparado com a expectativa de lucro de outras oportunidades de investimentos, com o mesmo nível de risco. O custo de oportunidade vem da ideia de que se uma pessoa está empregando seu trabalho, por exemplo, em uma aplicação, ele perde, ao mesmo tempo, a oportunidade de o empregar em outra parte. Desta maneira os salários perdidos também fazem parte dos custos da produção (VARIAN, 2012).

Desse modo, os custos de oportunidade do projeto de inovação também devem ser considerados no modelo quantitativo, uma vez que os investidores poderiam investir em outro negócio (projeto de investimento ou também no mercado financeiro). Neste caso, o custo de oportunidade será incluído no cálculo da TMA a ser aplicada no projeto de inovação. A composição sugerida da TMA, no caso de investimentos com alto risco, é de que não seja baseada somente no custo de oportunidade de capital (embora represente a maior parte), mas incluir o custo de capital e uma porcentagem adicional por risco percebido do projeto (BLANK e TARQUIN, 2005). Assim, o custo de oportunidade de capital será incluído, mas não é o único fator determinante, devido às altas incertezas envolvidas neste tipo de projeto. A TMA a ser usada no *framework* deverá, então, ser composta pelas seguintes partes:

- Custo de capital: referente ao investimento seguro disponível no mercado, geralmente títulos do tesouro nacional do país onde o investimento ocorre, no caso brasileiro títulos do Governo Federal ou Caderneta de Poupança;
- Custo de oportunidade de capital: a determinação desse custo deverá ser realizada por meio do modelo CAPM, apresentado anteriormente, utilizando um coeficiente β de uma empresa que atua no mesmo segmento de mercado com um portfólio de produtos semelhantes, por exemplo;
- Prêmio pelo risco: porcentagem extra a ser incluída no cálculo da TMA por investimentos com alto risco, como no caso de desenvolvimento de novos produtos. (circa. 1% - 4%).

Framework completo

Para o presente projeto, como apresentado no início, o *framework* tem como objetivo sistematizar o conhecimento necessário para a construção de um modelo de quantificação de riscos em desenvolvimento e comercialização de novos produtos. Dessa maneira, as relações entre as variáveis discutidas anteriormente servem como base para a modelagem do modelo quantitativo e sua posterior aplicação em estudos de casos reais, usando os conceitos discutidos. As principais seções do *framework* já foram apresentadas anteriormente e estão sintetizadas na Figura 20. Vale ressaltar que cada indústria apresenta singularidades próprias e, por isso, o modelo deve ser suficientemente flexível para se adaptar às diferentes situações.

Figura 20- Framework completo de relacionamento das variáveis

Fonte: Elaboração própria.

4.2 - Painel de especialistas

No presente trabalho, o painel de especialistas foi usado para validar o *framework* desenvolvido para que pudesse ser utilizado na avaliação econômica de projetos reais em seguida. Além disso, foi aberta a oportunidade para os especialistas sugerirem melhorias e ideias para o aprimoramento do mesmo.

O instrumento de pesquisa, na forma de questionário¹¹ foi enviado para 35 profissionais, selecionados por meio de indicação de especialistas na área. No entanto, obteve-se apenas nove respostas; acredita-se que isso pode ter ocorrido devido a longa extensão do questionário. Cinco dos especialistas são professores doutores de renomadas universidades brasileiras, os demais são profissionais de grandes empresas nacionais e multinacionais, a Tabela 7 apresenta a atuação profissional dos especialistas.

Tabela 6- Atuação profissional dos especialistas		
Atuação profissional	Número total	Porcentagem
Professor Doutor	5	0,55
Gerente de Projetos	1	0,11
Analista de investimentos corporativos	1	0,11
Diretor de marketing	1	0,11
Especialista de vendas e aplicações	1	0,11

Fonte: elaboração própria

A análise das respostas dos especialistas foi realizada de acordo com a divisão do questionário, tendo início na parte do desenvolvimento do produto, seguida pela parte de comercialização e, por último, uma parte sobre as experiências específicas do especialista.

No primeiro bloco de questões sobre a Fase I (desenvolvimento do produto), notou-se divergência em importantes pontos, entre os especialistas. Além disso, notou-se que algumas das técnicas sugeridas não são amplamente conhecidas pelos especialistas. Outra particularidade observada é o uso de alguns termos que podem gerar confusão na

¹¹ O questionário em português se encontra no Apêndice C e o questionário em inglês no Apêndice D:

interpretação do *framework*. Em seguida, cada uma das sete questões da primeira parte do questionário será discutida em detalhe.

Na questão 1.1, relacionada à suposição que no fluxo de caixa de desenvolvimento só existam saídas de capital, a grande maioria dos especialistas concordou com a afirmação. Um ponto importante mencionado por um dos especialistas é a diferença entre as palavras custos e investimento. O especialista acredita que, durante o desenvolvimento, toda saída de capital deve ser classificada como investimento e não como custo, conforme foi realizado. Para esse especialista, o termo custos deverá ser utilizado somente na fase de comercialização. Outro ponto a ser mencionado foi que, além das saídas de capital nesta fase, também poderão ocorrer entradas de capital, no caso, por exemplo, do desenvolvimento de uma nova tecnologia, onde pode ocorrer um procedimento de licenciamento durante a fase de desenvolvimento que pode gerar receitas.

Na questão 1.2, relacionada à divisão das variáveis entre custos com a equipe de desenvolvimento e custos de capital, a maioria dos especialistas achou adequada a divisão proposta, mas foram sugeridas alterações. Um dos especialistas considerou o termo custo de capital ambíguo, uma vez que poderia ser interpretado como a taxa de juros a ser descontada no fluxo de caixa. Outro ponto levantado foi a ausência do tratamento de investimentos em pesquisas por parte de terceiros e de investimentos com consultorias. Por fim, outro especialista apontou que o risco tecnológico não deve fazer parte do desenvolvimento de um produto. Ele alega que o conceito tecnológico deve ser desenvolvido de forma separada, evitando, dessa forma, possíveis atrasos. Além disso, foi sugerida a inclusão, na análise, dos custos com tentativas de desenvolvimento não sucedidas. Sobre a questão de tratamento dos custos, um especialista considerou que depende muito da cultura da empresa e do projeto, se tornando difícil encaixar todos os custos de um determinado projeto nesta divisão. Uma sugestão foi a inclusão de mais componentes na parte de custos de capital, podendo ser chamado de custos diretos de desenvolvimento, variáveis como viagens, custos de informação, custos de insumos, custos de licenciamento, certificações de produtos, ensaios de validação e confiabilidade e gastos com terceiros. Além disso, deveria ser incluída uma terceira categoria chamada de custos indiretos, incluindo os custos de gerenciamento do projeto.

A questão 1.3, sobre previsibilidade e acuidade de estimativas de investimentos, teve diferentes respostas. Cerca 78% dos participantes acreditam que é impossível prever investimentos com desenvolvimento, sendo considerada uma estimativa com pouca precisão,

uma vez que o projeto de desenvolvimento de um produto inovador possui diversas fases de incerteza.

Outro ponto levantado, relacionado a questão 1.3 foi que, geralmente, é possível estimar um teto, um limite de custos a não ser ultrapassado e encontrar uma solução aceitável dentro dessa limitação monetária. Esse ponto de limitação monetária foi mencionado mais de uma vez; geralmente um projeto de inovação sempre tem limitações de dinheiro, tempo e recursos humanos dentre quais uma solução precisa ser encontrada. Outros pontos que influenciam a estimativa são a quantidade de etapas inéditas no desenvolvimento e a flexibilidade do plano do projeto. Além disso, há outros fatores impactantes que determinam a exatidão da estimativa, como, por exemplo, fatores externos de mercado, concorrentes, o grau de novidade do produto e se a empresa já tem prática no desenvolvimento de novos produtos, ou seja, a experiência neste caso pode ser um grande diferencial. Por fim, um dos participantes acredita que essa estimativa possui alta acuidade, contanto que a empresa tenha desenvolvido outros projetos com etapas similares. Por fim, outro participante acredita não ser possível estimar os custos de desenvolvimento.

A questão 1.4, que trata dos fatores que podem inviabilizar a previsão dos custos na fase de desenvolvimento, extensão da pergunta 1.3, teve como principal ponto levantado o fato do projeto envolver muitas incertezas, com destaque para as fases iniciais, as quais mudam ao longo do processo e, por isso, novas ocorrências sempre podem acontecer. No entanto, essas incertezas, ao contrário do risco, não podem ser mensuradas. Estes fatores elevam também o risco de cronograma que, por sua vez, torna difícil a previsão de tais investimentos. O risco de cronograma foi levantado como a principal variável impactante por um dos especialistas e, portanto, o modelo sugerido deve considerar esse risco, por exemplo, por meio de um cenário pessimista.

Na questão 1.5, que trata do uso do PERT para estimativas de investimentos com o tempo do projeto, cerca de 33% dos participantes tinham conhecimento suficiente do método para responder à pergunta. Dos demais, cerca 55% consideraram a prática recomendada, mas ressaltaram que imprevistos devem ser considerados e que o sucesso será maior se a equipe já teve experiências anteriores. Três desses especialistas ressaltaram o uso de uma *Work Breakdown Structure* (WBS), uma vez que projetos de desenvolvimento geralmente têm um fluxo grande no time de desenvolvimento e por isso uma visibilidade e organização se torna bastante importante. Além disso, foi indicado que construir uma rede PERT a partir de micro atividades, e suas respectivas durações, é algo bastante improvável e apresentará baixa

precisão. O especialista sugeriu que a quebra por atividades deveria ser por entregas de pacotes principais do produto, como, por exemplo, a entrega do projeto informacional. A partir de uma WBS, o especialista sugeriu identificar os riscos nos primeiros níveis e listar os riscos qualitativamente, para depois transformar os impactos dos mesmos em unidades monetárias. Um dos especialistas concordou apenas parcialmente com a questão, ressaltando o ponto já mencionado sobre quebrar o projeto em entregas muitas pequenas ser um problema em projetos PDP. O uso de uma técnica como a PERT facilitaria o planejamento, a execução e o controle do projeto, mas depende do grau de informação disponível.

Sobre a questão 1.6, diretamente relacionada à questão anterior, tratando dos fatores que podem inviabilizar uma estimativa sobre o cronograma, o custo total da equipe de desenvolvimento e o risco tecnológico, os especialistas mencionaram a falta de previsibilidade de tarefas durante um projeto de desenvolvimento de um produto inovador. Dessa forma, é difícil mensurar quanto tempo e recursos serão necessários para a realização da tarefa específica. Então, os métodos sugeridos de WBS e PERT podem ser só um relatório, sem resultados previstos nele. Sobre isso, um especialista enfatizou a necessidade de não pensar nas atividades específicas, mas sim nos riscos e nos impactos nos níveis iniciais de desenvolvimento.

A questão 1.7 é a última questão da série de perguntas da Fase I. Nessa questão, perguntou-se qual é o custo de maior impacto e os especialistas consideraram que isso depende do tipo de projeto a ser realizado. No entanto, a maioria dos especialistas apontou o custo com mão-de-obra como o mais elevado; em alguns casos, os custos com equipamentos e o protótipo tiveram destaque. Em relação aos riscos, o mais mencionado foi o risco de tecnologia, por se tratar de algo inovador existe uma grande chance de que essa variável altere o tempo de desenvolvimento proposto.

O segundo bloco de questões trata da Fase II (comercialização do produto). Os principais pontos encontrados se referem à demanda e ao preço do novo produto. Conforme esperado, notou-se grande dificuldade em prever a demanda de um produto inovador, uma vez que a mesma é função de diversos fatores e o fato do produto ser inovador dificulta ainda mais essa mensuração. Já o preço, de acordo com os especialistas, pode ser estimado com mais precisão. Na sequência, cada uma das questões, e suas respectivas respostas, serão discutidas.

Na primeira questão desse bloco, que trata da divisão das variáveis entre investimentos, receitas, custos e o custo de oportunidade de capital, foi observado consenso

entre os especialistas. Além disso, houve considerações sobre a contabilização de depreciação de investimentos e variações cambiais, caso esse produto fosse direcionado para exportação, e foi sugerida a inclusão de receitas advindas de licenças, pagamento de *royalty* e *spin-offs*.

Foi observada bastante divergência entre os especialistas na questão 2.2, relacionada a natureza continua dos investimentos necessários na fase de comercialização, onde 3/9 concordaram com a afirmativa e mencionaram que não existe variabilidade durante essa fase. Mas foi sugerida a alteração do nome da variável canal de venda/distribuição para canal de distribuição/marketing. No entanto, 6/9 discordaram e o principal ponto levantado foi a fase do ciclo de vida em que o produto se encontra, já que os investimentos dependem fortemente disso, apresentando variações ao longo do tempo. Outro ponto mencionado foi que os investimentos ocorrem em apenas um momento na linha de tempo.

A questão 2.3, que questiona sobre a previsibilidade da demanda de um produto inovador, gerou mais discussão, como já havia sido previsto na descrição do *framework*. Primeiramente, é importante considerar o tipo de inovação; os especialistas afirmaram que para inovações usando tecnologias semelhantes às já existentes, a demanda pode ser estimada via uma pesquisa de mercado. No entanto, se a inovação ainda não possui um mercado específico, é impossível prever um mercado não existente, afirmou um especialista. Dois dos consultados acreditam ser possível estimar a demanda, porém com diferentes indicações para a precisão, uma vez que essa estimativa vai depender de fatores de difícil mensuração como aceitação pelo mercado, ciclo de vida do produto e o preço de comercialização, além de fatores como o tipo de inovação (radical ou incremental), o grau de novidade para a empresa e, por fim, os fatores exógenos, como a situação econômica e fatores socioculturais. Apesar do destaque dado a esses fatores, dois dos especialistas do grupo acreditam que a demanda pode ser prevista com exatidão e, o mesmo número respondeu que acredita ser impossível prever a demanda de um novo produto, uma vez que não há conhecimento de variáveis como elasticidade de substituição, elasticidade de renda, inviabilizando, assim, a estimativa. Outro ponto levantado pelos especialistas se refere à aceitação pelos clientes, o que em produtos novos muitas vezes se torna impossível apurar. Para a resolução do problema de previsão da demanda, um dos especialistas sugeriu o planejamento de testes pilotos com consumidores para a realização da previsão da demanda. Desse modo, seria possível prever uma demanda, testar o produto em consumidores e, finalmente, verificar a estimativa inicial.

Na questão 2.4 foi perguntado sobre a previsibilidade de preço do produto inovador. Houve consenso entre os especialistas nessa pergunta; 8/9 consideraram que é possível

estimar o preço. Alguns métodos citados foram: a) pesquisas de mercado (inclusive testes com consumidores), b) comparação com produtos semelhantes, c) análise da curva preço e demanda, d) baseamento nos custos de desenvolvimento e produção, baseamento nas negociações sobre a propriedade intelectual. Outros fatores impactantes para a definição do preço são o tipo de mercado no qual o produto será introduzido e os possíveis concorrentes. Um especialista, além disso, afirma que ajustes posteriores sempre serão necessários e um único especialista afirmou ser possível prever essa variável, mas com baixa precisão (20% - 30%), devido a fatores sociais e culturais.

A questão 2.5 trata da divisão de custos entre os custos diretos e indiretos e as despesas. Todos os especialistas concordaram com a divisão proposta. Algumas sugestões apresentadas foram relacionadas a considerar depreciação e contabilizar áreas de *backoffice* como custo indireto. Um especialista desse grupo sugeriu a inclusão de custos para melhoria constante do produto novo e sua qualidade. A questão seguinte, interligada à questão 2.5, trata do método ABC de contabilização, 6/9 especialistas indicaram esse método como o mais eficiente e mais usado nas empresas em que trabalham com produtos inovadores. Um especialista não respondeu a essa pergunta por não ter conhecimentos de contabilidade, e outro especialista mencionou que o método de contabilização pouco importa para a ferramenta de análise financeira proposta e afirmou que o melhor método depende da empresa, e será sempre o que mais se aproxima da realidade. Por fim, um especialista argumentou que o método ABC não é aceito pelo fisco e, além disso, apresenta outras fraquezas como altos níveis de controle necessários e altos custos de implementação envolvidos. Por isso, o especialista sugeriu alternativas como, por exemplo, o custeio por absorção (mencionado também como alternativa por um dos especialistas do primeiro grupo)) ou o custeio variável.

Para finalizar o segundo bloco, foi questionado aos especialistas sobre a previsibilidade do horizonte de planejamento. Todos especialistas concordaram que é possível estimar o horizonte de planejamento, no entanto, a precisão dessa estimativa é moderada, sendo influenciado por fatores como o tipo de inovação, mercado, fatores macroeconômicos, entre outros. Os especialistas apresentaram, também, que comparações com outros produtos e analogias históricas são boas práticas para a estimativa. Um dos especialistas afirmou que o horizonte de planejamento pode ser associado ao ciclo de vida previsto do produto e, no caso de patente, pela validade da mesma.

O terceiro bloco do questionário conta com três perguntas finais que têm como objetivo concluir a discussão proposta com a inclusão dos *inputs* adicionais sugeridos pelos especialistas.

Na primeira pergunta, os especialistas foram questionados sobre quais foram os projetos de inovação que eles usaram para embasar suas respostas; 2/9 nunca estiveram envolvidos em um projeto de desenvolvimento, mas são professores da área; 7/9 já participaram em projetos de inovação, de diferentes tipos e com sucesso variado.

A partir da segunda questão, que perguntou sobre a existência de variáveis adicionais ao *framework*, foi possível obter importantes respostas. Os especialistas mencionaram que a maturidade da tecnologia, taxa de financiamento do projeto, custos fabris, ajustamento de uma inovação para produção (passo intermediário entre desenvolvimento e comercialização), riscos de saúde, risco ambiental, risco de segurança e a probabilidade dos recursos técnicos terem competências necessárias para o desenvolvimento do produto, são fatores chaves para que essa avaliação esteja completa.

A segunda questão objetivou classificar as variáveis sugeridas no *framework* de acordo com seu nível de impacto. O risco tecnológico foi citado como a variável com maior impacto nestes projetos, seguido pelo risco de cronograma. Era de se esperar que esses dois componentes se destacassem pela falta de previsibilidade. Além disso, o risco econômico (ou de mercado) foi mencionado como impactante e, também, os gastos com mão-de-obra. As respostas obtidas nesta questão estão resumidas no Quadro 6.

Ranking das variáveis mais impactantes segundo os especialistas					
Posição no ranking	Variável/Risco mencionado (número de respostas)				
1.	Risco tecnológico (4)	Risco de mercado	Cultura de inovação		
2.	Risco de cronograma (2)	Protótipo	Risco tecnológico	Tempo gasto por funcionário	Restrição monetária
3.	Risco de cronograma (2)	Instalações	Custo de mão- de obra	Pesquisa & Desenvolvimento	
4.	Custo de capital	Fornecedor	Custo de mão- de obra	Produtividade	Risco de mercado (comercialização)
5.	Risco econômico	Mão- de- obra	Equipamento (2)	Custo de capital	

Quadro 6 – Ranking das variáveis mais impactantes segundo os especialistas

Fonte: elaboração própria

Conforme esperado, nem tudo o que foi proposto no presente trabalho teve respaldo positivo, de acordo com os especialistas. Entre os motivos apresentados, encontra-se a dificuldade em estimar algumas variáveis, a grande diferença entre os projetos de inovação e variabilidade cultural nas empresas, um fator que torna a generalização e a previsão muitas vezes difícil e, até mesmo, impossível. Além disso, teve desconhecimento de alguns conceitos abordados. A Figura 21 sintetiza os principais pontos levantados pelos especialistas.

Os principais pontos levantados pelos especialistas foram:

Principais pontos levantados no Painei de Especialistas

Figura 21 – Os principais pontos levantados pelos especialistas

Fonte: elaboração própria

O primeiro ponto a ser mencionado, se refere ao uso do termo custos na Fase I (desenvolvimento). O uso desse termo gerou confusão entre os especialistas, sugerindo que a alteração da nomenclatura de custos para investimentos. Além disso, o termo custo de capital também gerou dúvidas e talvez deveria ser substituído por outro termo.

Além dos termos usados primeira fase de desenvolvimento, a ideia de se usar a rede PERT como forma de quantificar os riscos tecnológicos e o risco de cronograma não foi amplamente aceita. O primeiro motivo para isso se refere à dificuldade em se construir a rede PERT com todas as micro atividades necessárias para a realização do projeto, uma vez que é muito difícil saber quais serão essas atividades em projetos de produtos inovadores. Além disso, estimar o tempo dessas atividades, que não são conhecidas, é ainda mais difícil. Por

fim, o tempo gasto para elaboração dessa rede e as durações das atividades seria bastante elevado, resultando em um método de avaliação longo, complexo e de utilidade duvidosa.

Outro ponto mencionado na Fase I foi a ausência de investimentos adicionais como, por exemplo, investimentos em consultoria. Para solucionar esse problema, decidiu-se a Fase I do projeto em duas variáveis. A primeira, já existente, os custos com equipe de desenvolvimento permaneceria da mesma forma, mas o nome seria alterado para investimentos com time de desenvolvimento. Já a segunda variável, passaria a ser nomeada como investimentos adicionais não relacionadas à equipe de desenvolvimento, substituindo o termo custo de capital. Essa variável seria dividida em componentes menores que variariam de acordo com cada tipo de projeto. Fazendo essa divisão dessa forma, as duas variáveis seriam mutuamente exclusivas, o que é uma boa prática em um *framework*. A Figura 22 ilustra a primeira fase após as alterações sugeridas pelos especialistas.

Figura 22 – Fase I de desenvolvimento reformulado

Fonte: elaboração própria

A Fase II do projeto (comercialização do produto), contou com bastante discussão sobre a previsão das variáveis. Na seção que trata das receitas, conforme foi esperado, notou-se grande dificuldade em se prever a demanda de um novo produto. E mesmo que fosse possível prever, a taxa de precisão dessa estimativa seria bastante limitada. Certamente, esse fato ocorre porque o produto em questão nunca foi comercializado anteriormente no mercado

e não se conhece a aceitação do produto pelo mercado. Então, na modelagem quantitativa deve-se prestar muita atenção na exatidão dessa variável.

Na parte de custos, foi explicitado que o método de contabilização seria o método ABC. Porém, alguns especialistas apontaram que isso seria irrelevante para a avaliação econômica, uma vez que cada empresa utiliza o método que melhor se adequa a ela, ou seja, a seleção do método de custeio seria realizada de acordo com a preferência de cada empresa.

Em seguida está apresentado o modelo conceitual que será utilizado para a posterior aplicação do *framework* nas simulações com dados reais.

4.3 Modelo conceitual

A Figura 23 apresenta como será feita a construção dos dois fluxos de caixa, a simulação dos mesmos, a integração e, por fim, o cálculo do VaR do projeto de inovação.

A Etapa 1 apresenta o fluxo de caixa de comercialização do produto com o investimento inicial, as receitas e os custos, considerando os riscos inerentes a este processo, neste caso, os riscos de custos e os do mercado. O resultado final será uma distribuição de VPLs, representada pela Etapa 2, obtido por meio da simulação de Monte Carlo via o software @Risk.

A Etapa 3 apresenta o fluxo de caixa de desenvolvimento, considerando os riscos inerentes a este processo específico, tendo como prêmio a distribuição de VPLs obtida na Etapa 2; essa integração também ocorre no software @Risk. O resultado deverá ser uma nova distribuição de VPLs, apresentada na Etapa 4, com riscos de desenvolvimento e comercialização já agregados, pelos movimentos anteriores. Em seguida, será calculado o VaR do projeto a partir da distribuição de VPLs obtida na Etapa 4.

De acordo com a necessidade do projeto, podem ser utilizados diferentes níveis de confiança. Por meio do cálculo proposto, será possível resumir o projeto, incluindo os riscos de mercado e de desenvolvimento, em um único valor, o VaR do projeto, que servirá como um indicador na tomada de decisão na análise econômica do projeto e que, por conseguinte, permitirá a comparação de riscos em projetos mutuamente exclusivos.

Figura 23 - Modelo conceitual dos fluxos de caixas independentes para cálculo do VaR - Tecnologia

Fonte: elaboração própria

O modelo conceitual básico aplicado para produtos novos pode ser estendido, também, para a utilização em projetos de inovação de desenvolvimento de novas tecnologias e, neste caso, não terá apenas um mercado de destino, mas vários mercados onde a tecnologia nova pode ser aplicada, conforme a dinâmica representada na Figura 24.

A Etapa 1 apresenta as possíveis aplicações da nova tecnologia no mercado. Os fluxos de caixas de comercialização da tecnologia incluem o investimento inicial, as receitas e custos, além dos riscos inerentes a esse processo. Além disso, podem ser levados em conta fatores como, qual é o seu diferencial em relação ao estado da arte, possibilidades de propriedade intelectual, as possíveis restrições e os interessados na tecnologia (segmentos). Então, para cada possibilidade de cenário de mercado haverá um fluxo de caixa de comercialização diferente, incluindo os riscos específicos para cada aplicação.

O resultado final será uma distribuição (não necessariamente normal como representado) de VPLs para cada cenário, representada pela Etapa 2, obtida por meio de simulação econométrica, com dados disponíveis para cada cenário.

A Etapa 3 apresenta o fluxo de caixa de desenvolvimento, considerando os riscos inerentes a este processo específico e tendo, como prêmio, no primeiro momento, a soma de todas as distribuições de VPLs das possíveis aplicações no mercado, proveniente da Etapa 2. No segundo momento, o prêmio a ser incluído no fluxo de caixa de desenvolvimento poderá ser composto por possíveis combinações diferentes de opções de aplicação no mercado, em agrupações variadas. Assim, será possível, por exemplo, identificar mercados chaves a serem atendidos e mercados menos importantes, ou seja, identificar um *ranking* de importância das possíveis aplicações.

O resultado será uma nova distribuição de VPLs para cada combinação desejada de aplicações, apresentada na Etapa 4, com riscos de desenvolvimento e comercialização já agregados pelas etapas anteriores.

Em seguida, baseado nas etapas apresentadas, será calculado o VaR do projeto, a partir da distribuição de VPLs, obtida na etapa 4. O VAR, a ser calculado como base nessa distribuição, permitirá além da valoração da tecnologia, indicar o quanto o projeto estará exposto ao risco, ou seja, representa uma quantificação dos riscos envolvidos no projeto.

O método proposto de avaliação econômica para novas tecnologias e produtos apresenta as seguintes vantagens em comparação tanto como os métodos tradicionais e como os métodos mais sofisticados já apresentados anteriormente.

Primeiramente, com a utilização de dois fluxos de caixa, é possível identificar e quantificar a influência dos riscos de mercado e de desenvolvimento em separado, oferecendo assim uma análise mais detalhada.

Em segundo lugar, é possível aplicar uma taxa de atratividade diferente para os dois fluxos de caixa. Com a aplicação de taxas diferentes há a possibilidade de incorporar as naturezas diferentes dos dois ambientes - de desenvolvimento e do mercado.

Como terceira vantagem, o método apresenta o resultado em um único valor, expresso em unidades monetárias, indicando a maior perda possível a que estarão sujeitos os investidores, o que pode auxiliar a tomada de decisão na empresa.

Por fim, o método pode ser utilizado em conjunto com outros métodos já existentes e utilizados nas empresas. Assim, servirá de apoio apresentando uma informação a mais para o processo de tomada de decisão.

Figura 24 - Modelo conceitual dos fluxos de caixas independentes para cálculo do VaR - Tecnologia

Fonte: elaboração própria

4.4 Simulações com dados reais

As simulações em questão tratam de dois projetos de investimentos, o primeiro referente ao desenvolvimento de um *software* novo e o segundo referente ao desenvolvimento de uma tecnologia nova de soldagem, importante para o setor automotivo e aéreo, por exemplo.

4.4.1 Simulação com dados reais – *software* setor alcooleiro

Primeiramente são apresentados no Quadro 7 os dados-chaves do primeiro projeto real utilizados na simulação. Todas as informações apresentadas a seguir são do Plano de negócio disponibilizado pela empresa (ATENATEC SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS LTDA., 2009). A empresa, fundada em 2007, desenvolveu um *software* para a utilização em usinas de cana-de-açúcar. O desenvolvimento do *software* se iniciou em 2009 e a comercialização teve início em 2011.

Indicadores do projeto real – <i>software</i> setor alcooleiro	
Mercado de atuação	Setor Tecnológico
Tipo do produto	Software – segundo o Manual de Oslo categorizado como inovação de produto
Grau de inovação	Radical
Tempo de desenvolvimento	2009 – 2011
Horizonte de planejamento	20 anos
Taxa de desconto	27%

Quadro 7 – Indicadores do projeto real – *software* setor alcooleiro

Fonte: elaboração própria

O modelo de negócio adotado pela empresa é a oferta de solução tecnológica própria, denominado comercialmente por BdME, combinada com a prestação de serviço especializada para o mercado sucroalcooleiro na área de otimização e controle avançado aplicado a destilarias de álcool. Neste modelo, a inovação e personalização são consubstanciadas, pois

envolve o desenvolvimento de solução de *software* empregando tecnologias que estão no estado da arte nas áreas de Engenharia Química, Engenharia de Controle, Engenharia Mecatrônica e Inteligência Computacional.

A oportunidade de negócio foi desenvolvida a partir do fato que as usinas de cana-de-açúcar, em território nacional, operam de maneira ineficiente, ou seja, gastam mais energia do que o necessário e produzem aquém do que poderiam. Uma das principais causas identificadas pela pesquisa de mercado realizada pela empresa se refere ao fato da ausência de solução adequada de controle de processos, principalmente porque não se encontram, no mercado, empresas que ofereçam as soluções e serviços especializados necessários.

Em análises técnicas realizadas em usinas, verificou-se um potencial médio de ganho de 3% na produção e de 10% de economia de energia (KW/h) produzido por tonelada de bagaço utilizado e um aumento de 0,1% a 1% na eficiência industrial relativa.

O *software* inovador visa agregar valor para as empresas do setor proporcionando os seguintes benefícios: aumento de previsibilidade dos resultados, visão sistêmica da planta industrial, auxílio à tomada de decisão, otimização na operação do processo, detecção de gargalos e ineficiências, planejamento diário da produção, projetos de melhoria e expansão e padronização de balanços de massa e energia. Na Figura 25 está ilustrada a interface do software BdME.

Figura 25 – Interface do software BdME

Fonte: ATENATEC SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS LTDA., 2009.

- Maiores riscos identificados do negócio

Os três maiores riscos apontados no plano de negócios foram o risco de cronograma, risco tecnológico e o risco de mercado. O processo de desenvolvimento no caso de *software* depende completamente de mão-de-obra qualificada para encontrar uma solução satisfatória para o problema em questão. Neste caso, o risco de cronograma é alto devido à relação com a qualidade de mão-de-obra e possíveis atrasos no cronograma resultam em custos maiores. Interligado com a mão-de-obra também está o risco tecnológico por conta da possibilidade de não encontrar uma solução satisfatória; no pior cenário possível, se nenhuma solução satisfatória for encontrada, o projeto acabará sem resultados, gerando prejuízo para a empresa. Além disso, há o risco de mercado referente à fase de comercialização e os maiores impactos identificados são a aceitação do produto pelo setor sucroenergético e as expectativas de taxa de crescimento do setor sucroenergético projetadas para o futuro.

- Variáveis de *input* para o modelo quantitativo

As variáveis do modelo foram divididas em cinco categorias para a modelagem no *software*: investimento inicial, custos e despesas, receitas, variáveis de risco, índices de reajuste. Essas áreas se inter-relacionam a fim de criar o fluxo de caixa que será descontado para obter-se a distribuição de VPL's do projeto e, posteriormente, o VaR. Primeiramente será explicado quais variáveis estão atribuídas a cada grupo, quais são os respectivos valores de *input* para o modelo e, também, a distribuição probabilística atribuída a cada uma, posteriormente serão explicadas as relações entre elas.

- Investimento inicial

Essa área compreende os desembolsos que ocorrerão somente no primeiro ano, para que a empresa possa iniciar suas atividades:

- 1) Móvel: refere-se principalmente a cadeiras e mesas para escritórios. Seu valor foi estimado no ano de 2009 entre R\$2000,00 a R\$4000,00, sendo o valor mais provável R\$2500,00. Com isso, a distribuição atribuída a essa variável foi a Pert¹²;

¹² No site do software utilizado @Risk tem uma explicação das diferentes distribuições que podem ser empregadas: http://www.palisade-br.com/risk/risk_analysis.asp.

2) Computadores: refere-se a compra de quatro computadores para que o trabalho de desenvolvimento do *software* seja iniciado. A distribuição escolhida foi a Pert, com o menor valor em R\$10.000,00, o mais provável em R\$15.000,00 e o maior em 22.000,00;

3) Licenças: compreende o valor gasto para obter a licença dos *softwares* necessários para o desenvolvimento. São eles: MATLAB; Historiador de dados da planta (Industrial SQL, iHistorian, PI System); Borland Builder C++. O preço orçado para isso foi de no mínimo R\$5.000,00, no máximo R\$7.300,00 e o mais provável em R\$6.000,00;

4) Capital de giro inicial: orçado no valor de R\$3.600,00 o capital de giro visa cobrir gastos com material de escritório, cópias, despesas extras no desenvolvimento.

A soma desses quatro itens entra no fluxo de caixa apenas no ano 1(2009).

- Custos e Despesas

Essa área contém todos os custos e despesas do projeto, durante todo o horizonte de planejamento. As variáveis contidas nessa área são:

1) Salários: refere-se aos salários pagos a todos os funcionários e, também aos sócios. Para cada um dos dois sócios foi estipulado um salário bruto fixo de R\$8.000,00 e esse valor multiplicado por 13,3 para chegar-se ao valor anual de R\$ 212.800,00, tanto para a fase de desenvolvimento, quanto na fase de comercialização. Além disso, foram incluídos os auxiliares, que recebem o salário de R\$1.000,00 por mês. Na fase de desenvolvimento existem quatro auxiliares que são estudantes de mestrado e recebem bolsas da FAPESP. Já na etapa de comercialização serão auxiliares administrativos, e a quantidade de pessoas desempenhando esse papel é de um para cada 10 clientes. Na fase de comercialização, serão contratados engenheiros para atender os clientes, considerando que cada engenheiro consegue atender três clientes por ano, divide-se o número de clientes no ano por 3 e arredonda-se para cima para se ter o número de engenheiros empregados, recebendo um salário de R\$46.650,00 anual. Os valores desses salários são atualizados utilizando o IPCA;

2) Consultorias: valores gastos com consultorias a vários profissionais no auxílio do desenvolvimento do *software*. Para isso, foi orçado um valor mais provável de R\$35.000,00 ao ano, podendo variar R\$10.000,00 para mais ou para menos, até que o *software* esteja pronto. Ou seja, se o desenvolvimento do *software* levar quatro anos, em cada um dos quatro primeiros anos haverá um desembolso de aproximadamente R\$35.000,00. Essa variável está relacionada com a variável tempo de desenvolvimento;

3) Diárias: referente ao pagamento de diárias aos sócios quando estes vão a algum evento, *workshop* ou palestra que possa auxiliar no desenvolvimento, melhoria ou venda do

produto. O valor orçado para isso varia entre R\$1.500,00 e R\$5.500,00, ao ano. As diárias ocorrem só na fase de desenvolvimento;

4) Despesas fixas: referente aos gastos com água e energia (R\$100,00/mês), assinaturas de revistas especializadas (R\$50,00/mês), internet e telefone (R\$250,00/mês). O total anual será cerca de R\$4.800,00. Esse valor será corrigido todo ano pelo IPCA (é usada uma taxa de 4,5% considerando o comportamento da variável neste ano 2015)¹³ e ocorre tanto na fase de desenvolvimento quanto na comercialização;

5) Aluguel: durante o tempo de desenvolvimento do *software* será alugado um espaço na incubadora de empresa no valor de R\$350,00 e, posteriormente, quando a empresa estiver funcionando e vendendo, será alocado uma sala em um prédio comercial por um valor orçado de R\$2.000,00, aproximadamente. Com isso, o total previsto de aluguel para o desenvolvimento do software é de R\$4.200,00 ao ano. Já para a etapa de comercialização o aluguel totalizará cerca de R\$24.000,00 ao ano. Esse valor será reajustado pelo IGP-M.¹⁴, no modelo será usada uma taxa de 3% conforme o comportamento do IGP-M acumulado anual no ano 2015;

6) *Marketing*: gastos relativos a folders, *website*, palestras, minicursos, visitas diretas e participações em eventos. Este custo só estará presente na etapa de comercialização; no primeiro ano será de R\$7.500,00 e nos anos seguintes de R\$30.000,00;

7) Comissões: desembolsos relativos ao pagamento de comissão aos vendedores, de 5% sobre a venda, ou seja, em todos os anos o desembolso com comissões é de 5% da receita.

- Receitas

Este grupo contém as variáveis que influenciam a receita estimada do produto durante toda a fase de comercialização.

1) Número de vendas ano 1: número de vendas que ocorrerão no ano que o produto for lançado. O mais provável é que ocorra apenas uma venda com caráter de um protótipo a ser testado na usina de um dos clientes para um teste final. Existe um acordo informal com uma usina para essa adequação do BdME em sua planta;

2) Número de vendas ano 2: é previsto que no ano 2 ocorram entre uma e seis vendas. Dessa maneira, seria difícil atribuir uma taxa de crescimento constante a partir do

¹³ Todos os valores anuais acumulados são disponíveis em: <http://www.portalbrasil.net/ipca.htm>.

¹⁴ Índice geral de preços do mercado (IGP- M), índice acumulado no ano em Junho 2015 de 5,05%, disponível em: <http://www.portalbrasil.net/igpm.htm>.

primeiro ano, já que nos próximos anos a taxa de crescimento será menor que nos primeiros três anos. Por isso, optou-se por atribuir valores ao invés de um percentual de crescimento para os três primeiros anos de comercialização;

3) Número de vendas ano 3: nesse ano a meta estabelecida pelo plano de negócios da empresa é a venda de oito *softwares*, porém o mais provável é que sejam vendidos cinco, devido ao crescimento do mercado sucroenergético desacelerado. No pior cenário, espera-se a venda de apenas dois produtos. Aqui segue o mesmo princípio explicado no “número de vendas ano 2” e é importante mencionar que após esse período será considerada uma taxa de crescimento constante para os anos seguintes. Essa taxa de crescimento depende da taxa de desemprego (como variável *proxy*¹⁵ para situação econômica) e da paridade do etanol/gasolina (como medida da situação do setor sucroenergético).

Os valores atribuídos estão ilustrados na Tabela 8. Se a paridade se encontrar em 65% e o desemprego em 6%, o crescimento no número de clientes do *software* BdME, a partir do ano 3, será de 14% a.a. e assim por diante, conforme os valores estabelecidos na tabela controlando tanto pela situação econômica quanto pela situação do setor do mercado alvo;

4) Valor médio do produto: refere-se ao preço médio de venda do produto para um cliente, que será de R\$150.000,00 no primeiro ano de venda. Posteriormente, esse valor será corrigido ano por ano pelo IGP-M.

Tabela 7 – Crescimento comercial determinado pelas relações das variáveis <i>proxy</i>					
		Desemprego(Situação da Economia)			
		<5%	5%-8%	8%-12%	>12%
Paridade Etanol/Gasolina(Situação do Setor)	<62%	20%	18%	15%	10%
	62%-67%	16%	14%	10%	5%
	68%-72%	10%	7%	3%	0%
	>73%	5%	2%	-1%	-4%

Fonte: elaboração própria.

¹⁵ Em estatística, uma *proxy* ou variável *proxy* é uma variável que não é em si diretamente relevante, mas que pode ser usado em vez de uma variável não observável ou imensurável. Para que uma variável serve como uma boa *proxy*, ela ser correlacionada, não necessariamente linear ou positivo, com a variável de interesse (UPTON e COOK, 2008).

- Variáveis refletindo os riscos do negócio

As variáveis deste grupo se referem aos riscos identificados, específicos ao processo de desenvolvimento e comercialização do produto, apresentados anteriormente.

1) Tempo de desenvolvimento (risco de cronograma): na entrevista com os sócios, eles afirmaram que o desenvolvimento do *software* é previsto com uma duração de dois anos (começando em 2009), com início da comercialização 2011. Porém, foi apontada a existência de risco de cronograma elevado devido ao fato de o desenvolvimento depender significativamente da mão-de-obra qualificada para encontrar uma solução para o problema em questão. Devido a esse fator, essa variável assume valores entre dois e cinco anos. É importante ressaltar que essa variável possui grande influência no resultado final, já que só a partir do encerramento da fase de desenvolvimento é que se iniciarão as vendas, ou seja, as entradas de fluxo de caixa no modelo;

2) Crescimento do número de clientes (risco de mercado): A taxa de crescimento do número de clientes foi definida pela relação entre a paridade Etanol/Gasolina e a taxa de desemprego da economia, conforme apresentado na Tabela 8. Assim, o risco de mercado é refletido pela situação econômica geral e a situação especial do mercado alvo;

3) Ano de parada do crescimento (risco de mercado): Essa variável está intimamente ligada ao ciclo de vida do produto e assume valores entre 8 e 18 anos, sendo 12 anos o mais provável. Caso seu valor seja, por exemplo, 10 anos, quer dizer que, após o início de sua comercialização, as vendas (em números de clientes) crescerão durante 10 anos para que, então, seja iniciado o declínio. Esta variável está relacionada ao ciclo de vida do produto, inicialmente estimado com uma duração de 20 anos no plano de negócios da empresa;

4) Declínio no número de clientes (risco de mercado): refere-se à taxa de decínio do número de clientes.

- Fluxo de caixa completo no modelo

A seguir, a composição do modelo quantitativo no *software* é explicada e a relação entre as variáveis é apresentada. Para cada variável, discutida anteriormente, é indicado o valor mínimo, mais provável e máximo. Na caixa em cinza ao lado de cada variável, encontra-se o valor após a simulação, a partir dos valores mínimos, mais prováveis e máximos, utilizando a distribuição relacionada a ela. Neste caso, usou-se a distribuição Pert para todas as variáveis porque se trata de uma distribuição em que, quando existem

informações sobre os parâmetros, como neste caso (valores mínimos, mais prováveis e máximos), reflete bem a realidade. As variáveis e seus respectivos valores estão apresentados nas Figuras 26. Os valores simulados das variáveis de *input* são usadas posteriormente para a composição do fluxo de caixa do projeto como um todo. O fluxo de caixa do projeto está ilustrado nas Figuras 27 e 28. A fase de desenvolvimento neste fluxo de caixa são os primeiros 3 anos e a fase de comercialização é composta pelos anos restantes.

Modelo Pentágono									
		Min	Médio	Max			Min	Médio	Max
Investimento inicial	27650,00				Variáveis de risco				
Mobília	2666,67	2000,00	2500,00	4000,00	Tempo de desenvolvimento(anos)	3,17	2,00	3,00	5,00
Computadores	15333,33	10000,00	15000,00	22000,00	Ano de parada no crescimento	12,33	8,00	12,00	18,00
Licenças	6050,00	5000,00	6000,00	7300,00	Crescimento Número de Clientes	0,18			
Capital de giro	3600,00	3600,00	3600,00	3600,00	Declínio Número de Clientes	0,078333333	0,05	0,08	0,1
Custos e Despesas					Índices de reajuste				
Salário Sócios Bruto	8000,00				IPCA	0,05	0,03	0,05	0,07
Salário Engenheiros Bruto	3800,00				IGP-M	0,03			
Salário Auxiliares Bruto	1000,00				Taxa de desemprego	0,05			
Consultorias	35000,00	25000,00	35000,00	45000,00					
Diárias	3166,67	1500,00	3000,00	5500,00	Receita				
Despesas fixas	4816,67	4500,00	4800,00	5200,00	Número de vendas Ano 1	0,83	0,00	1,00	1,00
Aluguel	30000,00	24000,00	30000,00	36000,00	Número de vendas Ano 2	3,83	1,00	4,00	6,00
Marketing	30000,00	25000,00	30000,00	35000,00	Número de vendas Ano 3	5,00	2,00	5,00	8,00
Comissões	5% do faturamento(já esta no modelo)				Valor médio produto	150000,00			

Figura 26 – Variáveis de *input* do modelo primeira parte- *software* setor sucroalcooleiro

Fonte: @Risk

Fluxo de caixa													
Comercializa?	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2020
IGP-M	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%
IPCA	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%
Custos e Despesas													
Investimento Inicial	27.650,0												
Consultoria	35.000,0	35.000,0	35.000,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Salários(IPCA)	266.000,0	277.970,0	290.478,7	315.692,2	390.168,2	407.725,8	426.073,5	514.024,7	537.155,8	636.435,1	685.729,2	798.606,0	
Sócios(quantidade)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Engenheiros(quantidade)	-	-	-	1,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0
Auxiliares(quantidade)	4,0	4,0	4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0
Diárias	3.166,7	3.166,7	3.166,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Despesas fixas(IPCA)	4.816,7	5.033,4	5.259,9	5.496,6	5.744,0	6.002,4	6.272,6	6.554,8	6.849,8	7.158,0	7.480,1	7.816,7	
Aluguel(IGP-M)	4.202,4	4.328,5	4.458,3	30.000,0	30.900,0	31.827,0	32.781,8	33.765,3	34.778,2	35.821,6	36.896,2	38.003,1	
Marketing	-	-	-	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	
Comissões	-	-	-	7.500,0	30.900,0	39.783,8	49.172,7	59.089,2	69.556,4	89.553,9	101.464,6	123.510,1	
Impostos	-	-	-	25.065,0	103.267,8	132.957,3	164.335,2	197.476,1	232.457,6	299.289,2	339.094,7	412.770,7	
Impostos Federais (11,33%)	-	-	-	16.995,0	70.019,4	90.150,0	111.425,4	133.896,2	157.614,9	202.929,2	229.918,8	279.873,8	
ISS sobre venda (2%)	-	-	-	3.000,0	12.360,0	15.913,5	19.669,1	23.635,7	27.822,6	35.821,6	40.585,8	49.404,0	
Financeiros (3,38%)	-	-	-	5.070,0	20.888,4	26.893,8	33.240,8	39.944,3	47.020,2	60.538,5	68.590,1	83.492,8	
IRJ													
Total	340.841,7	325.504,6	338.369,6	413.757,8	590.985,0	648.301,3	708.640,8	840.916,2	910.803,9	1.098.264,8	1.200.672,8	1.410.715,6	
Cliente Cresce?	Não Cresce	Não Cresce	Não Cresce	Não Cresce	Cresce	Cresce	Cresce	Cresce	Cresce	Cresce	Cresce	Cresce	Cresce
RECEITAS													
Taxa Clientes	0	0	0	0	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Numero de Cliente	-	-	-	0,8	3,8	5,0	5,9	7,0	8,2	9,7	11,4	13,5	
Preço Médio	-	-	-	150.000,0	154.500,0	159.135,0	163.909,1	168.826,3	173.891,1	179.107,8	184.481,1	190.015,5	
Receita Total	-	-	-	150.000,0	618.000,0	795.675,0	983.454,3	1.181.784,3	1.391.128,9	1.791.078,4	2.029.291,9	2.470.201,7	
Líquido	-	340.841,7	-	325.504,6	-	338.369,6	-	263.757,8	27.015,0	147.373,7	274.813,5	340.868,1	480.325,0
Output													
TMA	27%												
VPL	R\$ 60.699,40												
E (VPL Desenvolvimento)					-R\$ 635.381,17				E (VPL Comercialização)				R\$ 1.425.839,59 E (VPL total)
													R\$ 60.699,40

Figura 27 – Fluxo de caixa do modelo primeira parte- *software* setor sucroalcooleiro

Fonte: @Risk

Fluxo de caixa													
Comercializa?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Ano	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2032
IGP-M	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%	103%
IPCA	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%	105%
Custos e Despesas													
Investimento Inicial													
Consultoria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Salários(IPCA)	920.253,1	1.051.231,3	1.192.134,0	1.343.589,2	1.404.050,7	1.360.422,9	1.310.025,4	1.368.976,6	1.308.692,5	1.367.583,7	1.296.020,2	1.354.341,1	
Sócios(quantidade)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Engenheiros(quantidade)	6,0	7,0	8,0	9,0	9,0	8,0	7,0	7,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0
Auxiliares(quantidade)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Diárias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Despesas fixas(IPCA)	8.168,5	8.536,1	8.920,2	9.321,6	9.741,1	10.179,4	10.637,5	11.116,2	11.616,4	12.139,2	12.685,4	13.256,3	
Aluguel(IGP-M)	39.143,2	40.317,5	41.527,0	42.772,8	44.056,0	45.377,7	46.739,0	48.141,2	49.585,4	51.073,0	52.605,2	54.183,3	
Marketing	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	30.000,0	
Comissões	156.572,8	191.508,1	228.398,6	278.023,4	264.336,1	249.577,3	233.695,1	228.670,7	210.738,1	204.292,0	197.269,4	189.641,7	
Impostos	523.266,2	640.020,0	763.308,1	929.154,1	883.411,1	834.087,4	781.009,1	764.217,4	704.286,6	682.743,8	659.274,4	633.782,5	
Impostos Federais (11,33%)	354.793,9	433.957,3	517.551,2	630.001,0	598.985,5	565.542,2	529.553,1	518.167,7	477.532,5	462.925,6	447.012,5	429.728,0	
ISS sobre venda (2%)	62.629,1	76.603,2	91.359,4	111.209,3	105.734,4	99.830,9	93.478,0	91.468,3	84.295,2	81.716,8	78.907,8	75.856,7	
Financeiros (3,38%)	105.843,2	129.459,5	154.397,4	187.943,8	178.691,2	168.714,3	157.977,9	154.581,4	142.458,9	138.101,4	133.354,1	128.197,8	
IRJ													
Total	1.677.413,8	1.961.624,0	2.264.299,9	2.632.874,1	2.635.608,0	2.529.656,7	2.412.117,1	2.451.133,0	2.314.929,1	2.347.841,5	2.247.863,6	2.275.213,8	
Cliente Cresce?	Cresce	Cresce	Cresce	Cresce	Declínio	Declínio	Declínio	Declínio	Declínio	Declínio	Declínio	Declínio	Declínio
RECEITAS													
Taxa Clientes	1,18	1,18	1,18	1,18	0,921666667	0,921666667	0,921666667	0,921666667	0,921666667	0,921666667	0,921666667	0,921666667	0,921666667
Numero de Cliente	15,9	18,8	22,2	26,2	24,1	22,2	20,5	18,9	17,4	16,0	14,8	13,6	
Preço Médio	195.716,0	201.587,5	207.635,1	213.864,1	220.280,1	226.888,5	233.695,1	240.706,0	247.927,1	255.365,0	263.025,9	270.916,7	
Receita Total	3.131.455,6	3.830.161,7	4.567.971,8	5.560.467,5	5.286.721,4	4.991.546,1	4.673.902,2	4.573.413,4	4.214.761,5	4.085.839,3	3.945.388,6	3.792.833,6	
Liquido	1.454.041,8	1.868.537,7	2.303.671,9	2.927.593,3	2.651.113,4	2.461.889,4	2.261.785,1	2.122.280,3	1.899.832,4	1.737.997,8	1.697.525,0	1.517.619,8	

Figura 28 – Fluxo de caixa do modelo segunda parte – *software* setor sucroalcooleiro

Fonte: @Risk

- 1) Comercialização: essa linha é definida pela variável tempo de desenvolvimento. Quando a resposta for não, quer dizer que o *software* ainda encontra-se na fase de desenvolvimento e, portanto, não haverá entradas de capital no fluxo de caixa;
- 2) Ano: Contém os anos em ordem cronológica do início do projeto (2009) até o final do horizonte de planejamento (2032);
- 3) IGP-M: contém a taxa estimada do IGP-M pela qual serão reajustadas as variáveis aluguel e preço médio, valor considerado de 3% a.a.;
- 4) IPCA: contém a taxa estimada do IPCA pela qual serão reajustadas as variáveis salários e custo fixo, valor considerado de 4,5% a.a.;
- 5) Investimento inicial: compreende os desembolsos que ocorrerão somente no primeiro ano (2009), para que a empresa possa começar a funcionar;
- 6) Consultoria: os custos de consultoria estão apenas presentes na fase de desenvolvimento do produto. A consultoria, neste caso, serve de apoio para solucionar o problema de desenvolvimento tecnológico até o desenvolvimento completo do produto. Nesse caso, seu valor é de R\$25.000,00, por ano de desenvolvimento;
- 7) Salários: Os salários são separados em três grupos:
 - a) Sócios: Existem dois sócios atualmente e não existe a intenção de acrescentar mais. Para eles foi definido um salário de R\$8.000,00, por mês, ajustado anualmente pelo IPCA;
 - b) Engenheiros: o número de engenheiros está ligado ao número de clientes que a empresa terá em determinado ano pela relação 1:3 (um engenheiro consegue atender até três usinas no ano). Caso essa relação não seja inteira, será arredondado para cima. Para esses funcionários foi definido um salário mensal de R\$3.500,00, também reajustado pelo IPCA;
 - c) Auxiliares/Secretária: durante os anos de desenvolvimento, auxiliares são mestrandos que possuem bolsas (FAPESP) para trabalhar no projeto de desenvolvimento. Após o início da comercialização, não haverá mais auxiliares, mas uma secretária, seguindo a relação de 1:10 (uma secretária para cada 10 clientes). Para esses dois grupos de profissionais, definiu-se um salário de R\$1.000,00, também reajustado pelo IPCA.

A Figura 29 ilustra a lógica dos salários. No caso do ano 1 (2009), temos dois sócios recebendo ao ano $R\$8.000,00 \times 13,33 \times 2 = R\212.800 ; quatro auxiliares recebendo anualmente $R\$1.000,00 \times 13,3 \times 4 = R\53.200 e nenhum engenheiro, pois o *software* ainda está em fase de desenvolvimento. O total de desembolso com salários no ano 1 é, portanto,

$R\$212.800 + R\$53.200 = 266.000$. No caso do ano 2, ocorre a mesma equação, mas ajustada pelo IPCA (para esse caso, 4,5%): $R\$266.000 \times 1,045^1 = R\277.970 .

34	Salários(IPCA)		266.000,0	277.970,0	297.740,6	311.138,9		380.651,9	455.791,0	
35	Sócios(quantidade)		2,0	2,0	2,0	2,0		2,0	2,0	
36	Engenheiros(quantidade)		-	-	1,0	1,0		2,0	3,0	
37	Auxiliares(quantidade)		4,0	4,0	1,0	1,0		1,0	1,0	

Figura 29 – Ilustração da evolução dos salários no modelo

Fonte: elaboração própria

8) Diárias: os desembolsos com diária ocorrem enquanto o produto está em fase de desenvolvimento. Na etapa de comercialização, a parte de diárias está compreendida nos gastos com Marketing, que prevê a participação dos sócios em feiras, palestras e workshops, a fim de divulgar o BdME;

9) Despesas fixas: com valor de R\$4.800,00, ocorrem desde o primeiro momento e permanecem até o final do horizonte de planejamento como, por exemplo, energia elétrica, água, internet, telefone, etc, ajustadas pelo IPCA;

10) Aluguel: nos anos de desenvolvimento o local de trabalho será a incubadora de empresas CEDIN, que cobra um aluguel de cerca de R\$4.200,00 anuais. Já na etapa de comercialização, será alugado um escritório comercial, ambos atualizados pelo IGP-M;

11) Comissões: comissões são pagas a partir do momento em que existe a venda do produto, com o valor de 5% do valor da venda;

12) Impostos: considerou-se duas tributações sobre a receita: Impostos Federais (11,33%) e ISS sobre venda (2%).

- Resultados

Os *outputs* do fluxo de caixa é a distribuição estimada de VPLs para o período de desenvolvimento e a distribuição estimada de VPLs para a comercialização. Para a integração das duas distribuições, o resultado da comercialização precisará ser descontado pela duração da fase de desenvolvimento, para que seja possível somar as duas distribuições. Após a realização deste passo, a integração dos dois fluxos de caixa tem a distribuição integrada estimada dos VPLs do processo como um todo, para 10000 interações. A partir dessa distribuição final, o VaR do projeto pode ser calculado. Na Figura 30 é ilustrado o resultado da simulação, ou seja, a distribuição de VPLs esperados após a integração dos dois fluxos de caixa. No modelo este *output* foi chamado de VPL (VaR).

Figura 30 – Distribuição de VPL – *software* setor sucroalcooleiro
Fonte: @Risk

Na Figura 31 são ilustrados os efeitos dos *inputs* sobre o *output* na média; observa-se que o número de vendas no ano três tem o maior impacto no valor médio esperado do VPL do projeto. Como segunda variável mais impactante, o tempo de desenvolvimento é nomeado.

Figura 31 – Análise de sensibilidade dos *inputs* – *software* setor sucroalcooleiro
Fonte: @Risk

Na Figura 32 o sumário estatístico da simulação da variável de *output* é resumido; indicando os valores do VaR para os determinados níveis de confiança, observa-se que entre o percentil de 35 e 40% o valor médio esperado do VPL começa a tornar-se positivo.

Sumário Estatístico para VPLVaR			
Estatísticas		Percentil	
Mínimo	-R\$ 865.821,43	5%	-R\$ 432.840,25
Máximo	R\$ 1.229.528,96	10%	-R\$ 331.421,34
Média	R\$ 109.666,08	15%	-R\$ 254.935,21
Desv Pad	R\$ 341.102,35	20%	-R\$ 194.089,33
Variância	1,16351E+11	25%	-R\$ 138.532,55
Assimetria	0,137969322	30%	-R\$ 88.906,65
Curtose	2,629957804	35%	-R\$ 37.081,98
Mediana	R\$ 102.970,31	40%	R\$ 9.280,66
Moda	R\$ 217.696,57	45%	R\$ 54.415,11
X Esquerda	-R\$ 432.840,25	50%	R\$ 102.970,31
P Esquerda	5%	55%	R\$ 147.270,89
X Direito	R\$ 696.640,03	60%	R\$ 193.714,79
P Direito	95%	65%	R\$ 241.439,36
Dif X	R\$ 1.129.480,28	70%	R\$ 291.678,19
Dif P	90%	75%	R\$ 346.685,96
Erros	0	80%	R\$ 401.622,05
Filtrar Min	Desligado	85%	R\$ 476.782,53
Filtrar Max	Desligado	90%	R\$ 564.997,52
Filtrados	0	95%	R\$ 696.640,03

Figura 32 – Sumário estatístico da simulação – *software* setor sucroalcooleiro

Fonte: @Risk.

Resumindo, o projeto possui valores negativos de VaR nos intervalos de confiança de 95% e 90%; no valor de -435.840,25 Reais e -331.421,34 Reais respectivamente, portanto, em 5% dos casos (ou 10% respectivamente) o projeto poderá apresentar uma perda no valor indicado. Apenas entre o intervalo de 35%-40% os valores do VPL esperado tornam-se positivos, ou seja, em 35% até 40% dos casos possíveis o projeto apresentará perda para os investidores. Porém em 60%-65% dos cenários possíveis o projeto de investimento apresentará um ganho para os investidores, considerando a TMA estabelecida. Portanto, pode-se resumir que o projeto apresenta uma possível perda de dinheiro significativa para os investidores em 35% dos cenários possíveis. Um ponto a ser levado em conta, nesta simulação, é que a TMA foi estabelecida, pelos sócios, com um valor relativamente alto em comparação com outros projetos. A simulação foi realizada em 2015, porém, com dados do início do projeto de PDP em 2009. Na entrevista com um dos sócios, constatou que o modelo de venda do *software* não tornou-se viável como esperado, porque a taxa de crescimento de clientes foi bem menor que a estabelecida. O crescimento menor da taxa de aumento dos clientes aconteceu devido ao menor desenvolvimento no setor sucroalcooleiro e da economia mundial; os dois ambientes não atingiram as expectativas de crescimento consideradas. Para

controlar as diferentes expectativas de crescimento, para o setor sucroalcooleiro e da economia como um todo, podem ser usadas informações da Tabela 8 apresentada anteriormente. Desta maneira é possível simular o modelo com taxas diferentes de crescimento de clientes, de maneira a refletir melhor as variações do mercado. Além disso, para criar um fluxo de entradas de capital mais constante, a empresa passou a mudar o modelo de negócio da venda do *software* para a locação do *software* em combinação com a prestação de serviço de consultoria, constante, para os clientes. Esta alteração também pode ser incorporada no modelo, alterando os valores das receitas.

4.4.2 Simulação com dados reais – nova tecnologia de soldagem

A seguir estão apresentadas as informações-chave do projeto de inovação utilizado na simulação. Pelo Manual de Oslo, a tecnologia de soldagem desenvolvida e patenteada pelo Helmholtz-Zentrum-Geesthacht (HZG) pode ser categorizada como tecnologia nova. O Quadro 8 resume os indicadores do projeto de inovação.

Indicadores do projeto real – tecnologia nova	
Mercado de atuação	Setor de soldagem
Tipo do produto	Técnica de soldagem– segundo o Manual de Oslo categorizado como inovação de tecnologia
Grau de inovação	Radical
Tempo de desenvolvimento	1 ano (custos acumulados no modelo)
Horizonte de planejamento	15 anos
Taxa de desconto	20%

Quadro 8 – Indicadores do projeto real – tecnologia nova

Fonte: elaboração própria

A técnica de *Friction Spot Welding* (FSpW) é um processo que tem a propriedade de juntar materiais em estados sólidos com a utilização de uma ferramenta não consumível para soldar dois ou mais materiais. Este processo tem a possibilidade de unir materiais semelhantes

e diferentes, sem fechaduras residuais e foi desenvolvido pela HZG, *Centre for Materials and Coastal Research*¹⁶, em 1999 e patenteada em 2000.

Esta técnica de soldagem pode ser aplicada em diferentes mercados. No entanto, a análise realizada teve como foco o mercado automobilístico, pelo fato de o processo de soldagem por pontos ainda ser predominante na indústria automobilística, para a montagem das carrocerias de automóveis e grandes componentes e, além disso, a indústria automotiva é hoje o mais importante cliente de robôs industriais.

A pesquisa de mercado para a realização do estudo de viabilidade econômica, por meio da técnica sugerida no presente trabalho, contou com a cooperação entre a HZG e o Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) da Universidade Federal de São Carlos, com financiamento da FAPESP. A pesquisa de mercado para determinar os *inputs* do modelo de validação foi realizada pelo DEMa e a HZG em conjunto.

Dado a relevância da nova tecnologia, foi construído o fluxo de caixa do projeto com os seguintes valores:

- Inputs conhecidos (fixos)

A literatura existente tende a estimar a taxa de retorno para projetos de P&D em 30% (FRONTIER ECONOMICS, 2014). Haskel et al (2014) usaram dados das indústrias para determinar o quanto (até que grau) as indústrias diferentes se envolvem com a ciência, financiadas por fundos públicos. Além disso, os autores agregaram medidas sobre projetos de P&D realizados por institutos de pesquisa, universidades e o governo. Como resultado, encontraram uma taxa de retorno (chamada de taxa social de retorno) em torno de 20%, representando o impacto sobre a produtividade do setor privado da indústria (FRONTIER ECONOMICS, 2014). Dado que, a tecnologia em questão foi financiada pelo governo alemão considerou-se, então, como sugerido na literatura consultada, uma TMA de 20% para o projeto de inovação.

Além disso, há a taxa de licença no primeiro ano da comercialização da tecnologia no valor de € 2000 e auxílio público para Pesquisa e Desenvolvimento no valor de € 200.000, por ano.

¹⁶ Página do centro de pesquisa HZG com maiores informações: <http://www.hzg.de/index.php.en>.

Além disso, todos os custos e receitas do modelo crescem pela taxa de inflação de 2,13% a.a., uma média da inflação da zona do Euro entre 1991 e 2015 (TRADING ECONOMICS, 2015).

- Parâmetros críticos

A patente é válida por cinco anos (até novembro de 2020), com a opção de prorrogação por mais dez anos até 2030. Por conta disso, foram realizadas três análises: uma considerando o horizonte de tempo como um todo (15 anos), outro considerando um horizonte de tempo de cinco anos (no caso de a patente não ser prorrogada) e, por último, um horizonte de tempo de 10 anos para mostrar o valor da patente em separado. Dados esses fatos, a vida útil do projeto como um todo é de 15 anos.

Devido ao surgimento de tecnologias competitivas e limitações estruturais do mercado, apenas 30% da produção global de veículos leves usando FSpW foi considerada na composição do mercado alvo; portanto, o número estimado de equipamentos a serem vendidos é de 26,7 milhões de unidades ($\pm 5\%$) em 2015 e de 31 milhões de unidades ($\pm 10\%$) em 2020. Para cada equipamento, a receita é de 5% de *royalties*.

- Inputs variáveis

- Investimento inicial: € 1,2 milhões com a variação de -3% ou +3% para a determinação dos valores mínimos e máximos da variável.

- Custos de desenvolvimento da segunda etapa: € 250.000, também variando com -3% ou +3%. Estes custos são incluídos no fluxo de caixa no investimento inicial, uma vez que a fase de desenvolvimento da tecnologia é limitada por um ano neste caso e por isso todos os custos de desenvolvimento são considerados acumulados em 2015, ano de desenvolvimento da nova tecnologia.

- Custos:

- a) Custos de pesquisa e desenvolvimento € 300.000 por ano, com uma variação de -20% e +20%.

b) Custo do registro da patente: € 100.000, ocorre no primeiro ano de comercialização e no final do quinto ano, quando a renovação da patente ocorre. Este valor é considerado fixo, uma vez que é conhecido pelo mercado.

c) Custo da manutenção da patente: todos em os anos, com um valor de € 2.000 e uma variação de -3% e +3%.

- Receitas: são compostas pelo preço do equipamento, estimado de € 50.000 (com -3% e +3%), o tamanho do mercado automotivo como um todo de 34.398 unidades em 2015, variando -50% para baixo e +20% para cima; a variação maior para baixo é devido a dificuldade de previsão deste mercado. O mercado alvo é estimado em 30% do mercado total de automóveis, devido à dificuldade de aceitação da tecnologia nova e possíveis tecnologias concorrentes. A variação para baixo foi estimada em 25% e em 50% para cima, uma vez que a tecnologia nova permite ganhos significativos para a indústria e, com isso, acredita-se que a aceitação da tecnologia será maior que esperado. Para atingir os 30% da quota desejada do mercado alvo, o crescimento nos primeiros anos de comercialização foi considerado de 2% no primeiro ano, 10% no segundo ano, 20% no terceiro ano e 30% no quarto ano. Considerou-se que 5% do valor obtido por venda de cada equipamento de soldagem representa a receita do projeto - *royalties*.

Estes *inputs* do modelo estão apresentados na Figura 34. Para cada variável, é indicado o valor estimado na coluna mais provável (*most likely*), com os parâmetros estimados para os valores extremos de cada um, indicados nas colunas, minimum e maximum. Na coluna cinza, o valor real simulado para cada input é indicado, obtido por meio da simulação de cada variável de *input* separadamente. Para a simulação, foi utilizada a distribuição de Pert para todas as variáveis de *input* do modelo, devido à disponibilidade de dados. A distribuição de probabilidade Pert recebe este nome porque ele usa a mesma suposição sobre a média como as redes PERT, ela é uma versão da distribuição Beta e demanda três parâmetros, o mínimo, o mais provável e o máximo (VOSE SOFTWARE, 2015). A Figura 33 ilustra três formas de distribuições Pert diferentes.

Figura 33 – Exemplos de diferentes distribuições Pert

Fonte: VOSE SOFTWARE, 2015.

O fluxo de caixa completo é mostrado nas Figuras 35 e 36. Na Figura 35 é apresentado o fluxo de caixa até o vencimento da patente em 2020 e na Figura 36 apresenta-se o fluxo de caixa dos 10 anos restantes, caso a patente seja renovada. Abaixo do fluxo de caixa da Figura 35, estão apresentados os indicadores dos valores médios esperados das distribuições de VPLs para cada horizonte de tempo e o valor do VaR para os intervalos de confiança de 95% e 90%. A distribuição final dos VPLs esperados do projeto pelo horizonte de tempo total de 15 anos está ilustrada na Figura 37.

FSpW - Automotive Industry								
Known inputs								
Discount rate	20%							
License fee (first year only)	\$2.000							
Public R&D funding	\$200.000							
Annual increase in prices	2,13%							
Uncertain inputs	Actual	Min	Most likely	Max				
HZG Investments								
Initial investment	1200000	97%	1200000,00	103%				
Second stage	250000	97%	250000,00	103%				
Costs								
New R&D	\$300.000	80%	\$300.000	120%				
Patent registration	\$100.000	100%	\$100.000	100%				
Patent maintenance	\$2.000	97%	\$2.000	103%				
Automotive Market								
Year first produced	2015,0	2014	2015	2016				
Product lifetime	13,3	5	15	15				
Market share target	33%	25%	30%	50%	First three years	2016	2017	2018
Total market demand for FSpW	see next table					2%	10%	20%
Revenues								
Initial unit price	\$49.583,33	70%	\$50.000	125%				
Initial demand	32678,1	50%	34398	120%				
Company share of demand	30,00%	10%	30%	50%				
HZG Royalty	5,00%	4%	5%	6%				

Figura 34 – Inputs do modelo (Pert) – tecnologia

Fonte: @Risk

Financial model						
Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Producing product?	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Costs	\$ -1.450.000,00	\$ -402.000,00	\$ -308.432,60	\$ -315.002,21	\$ -321.711,76	\$ -428.564,22
Initial Investment	\$ -1.450.000,00					
Patent Registration		\$100.000				\$100.000
New R&D	\$ 300.000,00	\$ 306.390,00	\$ 312.916,11	\$ 319.581,22	\$ 326.388,30	
Patent Maintenance	\$ 2.000,00	\$ 2.042,60	\$ 2.086,11	\$ 2.130,54	\$ 2.175,92	
Demand	687,96	3852,58	8629,77	14498,01	16237,78	
Total demand for product		34398	38526	43149	48327	54126
Company share of demand	2%	10%	20%	30%	30%	
Revenue	\$ 1.907.567,50	\$ 9.958.878,09	\$ 22.524.367,60	\$ 38.502.072,72	\$ 44.014.715,83	
Company demand		687,96	3852,58	8629,77	14498,01	16237,78
License fee	\$ 2.000,00					
Public R&D funding	\$ 200.000,00	\$ 204.260,00	\$ 208.610,74	\$ 213.054,15	\$ 217.592,20	
Unit price	\$ 49.583,33	\$50.639,46	\$51.718,08	\$52.819,67	\$53.944,73	
HZG Royalty	\$ 1.705.567,50	\$ 9.754.618,09	\$ 22.315.756,86	\$ 38.289.018,57	\$ 43.797.123,63	
Net profit = Revenue- Costs						
Net profit	\$ -1.450.000,00	\$ 1.505.567,50	\$ 9.650.445,49	\$ 22.209.365,39	\$ 38.180.360,96	\$ 43.586.151,61
Outputs						
		Confidence Interval		95%	90%	
NPV of profit (total)	\$ 191.694.620,06	VaR	\$ 151.459.241,08	\$ 159.255.966,92		
NPV (first 5 years)	\$ 55.287.873,54	VaR	\$ 43.421.547,13	\$ 45.714.722,42		
NPV (last 10 years)	\$ 383.009.787,10	VaR	\$ 303.382.729,09	\$ 318.752.044,59		

Figura 35 – Fluxo de caixa primeiros cinco anos (Pert) – tecnologia

Fonte: @Risk

Financial model										
Year	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Producing product?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Costs	\$ -335.562,64	\$ -342.710,12	\$ -350.009,85	\$ -357.465,06	\$ -365.079,07	\$ -372.855,25	\$ -380.797,07	\$ -2.575,55	\$ -4.630,41	\$ -4.729,04
Initial Investment										
Patent Registration										
New R&D	\$ 333.340,37	\$ 340.440,52	\$ 347.691,90	\$ 355.097,74	\$ 362.661,32	\$ 370.386,01	\$ 378.275,23	\$ -	\$ 2.000,00	\$ 2.042,60
Patent Maintenance	\$ 2.222,27	\$ 2.269,60	\$ 2.317,95	\$ 2.367,32	\$ 2.417,74	\$ 2.469,24	\$ 2.521,83	\$ 2.575,55	\$ 2.630,41	\$ 2.686,44
Demand	18186,31	20368,67	22812,91	25550,45	28616,51	32050,49	35896,55	40204,13	45028,63	50432,07
Total demand for product	60621	67896	76043	85168	95388	106835	119655	134014	150095	168107
Company share of demand	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Revenue	\$ 50.319.829,56	\$ 57.531.403,72	\$ 65.779.825,98	\$ 75.214.240,81	\$ 86.005.247,73	\$ 98.347.987,76	\$ 112.465.673,87	\$ 128.613.629,25	\$ 147.083.906,59	\$ 168.210.571,82
Company demand	18186,31	20368,67	22812,91	25550,45	28616,51	32050,49	35896,55	40204,13	45028,63	50432,07
License fee										
Public R&D funding	\$ 222.226,91	\$ 226.960,35	\$ 231.794,60	\$ 236.731,83	\$ 241.774,22	\$ 246.924,01	\$ 252.183,49	\$ 257.555,00	\$ 263.040,92	\$ 268.643,69
Unit price	\$55.093,76	\$56.267,25	\$57.465,75	\$58.689,77	\$59.939,86	\$61.216,58	\$62.520,49	\$63.852,18	\$65.212,23	\$66.601,25
HZG Royalty	\$ 50.097.602,65	\$ 57.304.443,37	\$ 65.548.031,38	\$ 74.977.508,98	\$ 85.763.473,51	\$ 98.101.063,76	\$ 112.213.490,39	\$ 128.356.074,26	\$ 146.820.865,68	\$ 167.941.928,13
Net profit = Revenue- Costs										
Net profit	\$ 49.984.266,92	\$ 57.188.693,60	\$ 65.429.816,13	\$ 74.856.775,75	\$ 85.640.168,66	\$ 97.975.132,51	\$ 112.084.876,81	\$ 128.611.053,70	\$ 147.079.276,19	\$ 168.205.842,78

Figura 36 – Fluxo de caixa últimos dez anos (Pert) – tecnologia

Fonte: @Risk

Figura 37 – Distribuição de VPLs esperados (Pert) – tecnologia

Fonte: @Risk

Com base na análise dos resultados, é possível observar que o VPL médio esperado é extremamente alto e o VaR nunca fica negativo, para a simulação realizada. Ou seja, em nenhum caso possível, a oportunidade de negócio, considerando todos os riscos, apresentará uma perda, considerando a TMA, para o investidor. Então, neste caso específico de negócio, o VaR não apresenta a pior perda possível, dado um certo nível de confiança e horizonte de tempo, senão o ganho mínimo a ser obtido pelo investimento.

Outro ponto que merece destaque é o fato de o valor do VPL médio esperado, para o horizonte de tempo total de 15 anos, ser menor que o valor para o horizonte de tempo de 10 anos. O caso de 10 anos prevê a renovação da patente, considerando apenas os custos da renovação, sem custos de desenvolvimento, e, com isso, o valor do *output* fica maior que o valor do *output* total.

Na análise de sensibilidade dos *inputs*, observa-se que o preço unitário por equipamento gera o maior impacto no resultado, seguido pelo valor dos royalties. Estas são evidências óbvias, já que toda a receita do negócio depende do valor dos royalties, a qual é calculada a partir do preço de venda do equipamento (Figura 38).

Figura 38 – Análise de sensibilidade dos *inputs* (Pert)- tecnologia

Fonte: @Risk

A Figura 39 ilustra que em nenhum caso o valor esperado médio do VPL atinge valor inferior a zero e, sendo assim, o VaR neste caso sempre apresenta um número positivo. Para o nível de confiança de 95% e o horizonte de tempo total de 15 anos o valor do VaR é de \$151.459.241,08.

Summary Statistics for NPV of profit				
Statistics			Percentile	
Minimum	\$	119.871.766,73	5%	\$ 151.459.241,08
Maximum	\$	273.018.738,37	10%	\$ 159.255.966,92
Mean	\$	191.702.093,58	15%	\$ 165.024.554,32
Std Dev	\$	25.185.926,88	20%	\$ 169.409.165,81
Variance	6,34331E+14		25%	\$ 173.678.900,26
Skewness	0,159211396		30%	\$ 177.358.831,81
Kurtosis	2,660251961		35%	\$ 180.684.362,42
Median	\$	190.837.430,93	40%	\$ 184.283.093,94
Mode	\$	186.353.689,17	45%	\$ 187.355.420,81
Left X	\$	151.459.241,08	50%	\$ 190.837.430,93
Left P	5%		55%	\$ 194.245.170,27
Right X	\$	234.676.716,05	60%	\$ 197.751.038,59
Right P	95%		65%	\$ 201.283.956,66
Diff X	\$	83.217.474,97	70%	\$ 204.986.522,26
Diff P	90%		75%	\$ 209.095.694,86
#Errors	0		80%	\$ 213.385.211,60
Filter Min	Off		85%	\$ 218.692.758,73
Filter Max	Off		90%	\$ 225.342.157,73
#Filtered	0		95%	\$ 234.676.716,05

Figura 39 – Sumário estatístico do *Output* (Pert) – tecnologia

Fonte: @Risk

Por conta dos resultados positivos da simulação, foi realizada uma segunda simulação com a aplicação de valores extremos, estabelecendo um cenário pessimista, variando as variáveis chaves mais para cima (no caso de custos) e mais para baixo (no caso de receitas). Para cada variável foi indicada a distribuição indicada na última coluna da Figura 41. Observa-se que os valores simulados para cada variável, na coluna em azul claro, se diferenciam dos valores apresentados anteriormente no modelo, empregando apenas a distribuição Pert.

Distribuições de valores extremos são muitas vezes utilizados para modelar o menor ou o maior valor entre um grande conjunto de valores aleatórios independentes e identicamente distribuídos, representando medições ou observações. A distribuição de valores extremos é adequada para modelar o menor valor de uma distribuição, cujas caudas decrescem exponencialmente rápidas com o tempo, por exemplo, como ilustrado na Figura 40 (MATHWORKS, 2015).

Figura 40 – Exemplo de distribuição de valores extremos

Fonte: MATHWORKS, 2015.

FSpW - Automotive Industry									
Known inputs									
Discount rate	20%								
License fee (first year only)	\$2.000								
Public R&D funding	\$200.000								
Annual increase in prices	2,13%								
Uncertain inputs									
	Actual	Min	Most likely	Max					
HZG Investments									
Initial investment	1200000	97%	1200000,00	103% Normal					
Second stage	252610,118	97%	250000,00	103% Extreme Value					
Costs									
New R&D	\$317.054	80%	\$300.000	120% Extreme Value					
Patent registration	\$100.000	100%	\$100.000	100%					
Patent maintenance	\$2.000	97%	\$2.000	103% Pert					
Automotive Market									
Year first produced	2015,0	2014	2015	2016 Pert					
Product lifetime	13,3	5	15	15 Pert					
Market share target	25%	25%	30%	50% Erlang	First three years	2016	2017	2018	
Total market demand for FSpW	see next table					2%	10%	20%	
Revenues									
Initial unit price	\$46.444,31	70%	\$50.000	125% Extreme Value					
Initial demand	32678,1	50%	34398	120% Pert					
Company share of demand	30,00%	10%	30%	50% Pert					
HZG Royalty	5,00%	4%	5%	6% Pert					

Figura 41 – *Inputs* com valores extremos – tecnologia

Fonte: @Risk

Na Figura 42 está ilustrado o fluxo de caixa, considerando os resultados das simulações com valores extremos dos inputs para os primeiros cinco anos, até o vencimento da patente em 2020. Os resultados do VPL esperado e os valores do VaR para o intervalos de confiança estão indicados embaixo do fluxo de caixa. Os restantes 10 anos, da renovação da patente estão ilustrados na Figura 43.

A distribuição dos VPLs esperados do tempo de horizonte total está ilustrado na Figura 44. No caso desse cenário pessimista, empregando valores extremos, observou-se uma forma diferente da distribuição final da simulação dos VPLs esperados do projeto. A distribuição apresenta-se com uma cauda mais gorda pelo lado dos valores menores, devido às distribuições de valores extremos empregados nos *inputs*.

Financial model						
Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Producing product?	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Costs	\$ -1.452.610,12	\$ -419.053,63	\$ -325.849,48	\$ -332.790,07	\$ -339.878,50	\$ -447.117,91
Initial Investment	\$ -1.452.610,12					
Patent Registration		\$ 100.000,00				\$ 100.000,00
New R&D		\$ 317.053,63	\$ 323.807	\$ 330.704	\$ 337.748	\$ 344.942
Patent Maintenance		\$ 2.000,00	\$ 2.042,60	\$ 2.086,11	\$ 2.130,54	\$ 2.175,92
Demand		687,96	3852,58	8629,77	14498,01	16237,78
Total demand for product		34398	38526	43149	48327	54126
Company share of demand		2%	10%	20%	30%	30%
Revenue	\$ 1.799.591,49	\$ 9.341.333,05	\$ 21.111.602,40	\$ 36.078.072,79	\$ 41.242.008,97	
Company demand		\$ 687,96	3852,576	8629,77024	14498,014	16237,77568
License fee		\$ 2.000,00				
Public R&D funding		\$ 200.000,00	204260,00	208610,74	213054,15	217592,20
Unit price		\$ 46.444,31	\$ 47.433,58	\$ 48.443,91	\$ 49.475,77	\$ 50.529,60
HZG Royalty		\$ 1.597.591,49	\$ 9.137.073,05	\$ 20.902.991,66	\$ 35.865.018,65	\$ 41.024.416,77
Net profit = Revenue- Costs						
Net profit	\$ -1.452.610,12	\$ 1.380.537,86	\$ 9.015.483,57	\$ 20.778.812,33	\$ 35.738.194,29	\$ 40.794.891,06
Outputs						
			Confidence Interval	95%	90%	
NPV of profit (total)		\$ 179.348.005,11	VaR	\$ 48.366.124,42	\$ 68.361.014,61	
NPV (first 5 years)		\$ 51.612.772,50	VaR	\$ 12.936.634,11	\$ 18.837.562,84	
NPV (last 10 years)		\$ 358.641.025,06	VaR	\$ 99.345.051,40	\$ 138.959.141,01	

Figura 42 - Fluxo de caixa primeiros cinco anos valores extremos – tecnologia

Fonte: @Risk

Financial model										
Year	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Producing product?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Costs	\$ -354.511,52	\$ -362.062,62	\$ -369.774,55	\$ -377.650,75	\$ -385.694,71	\$ -393.910,01	\$ -402.300,29	\$ -2.575,55	\$ -4.630,41	\$ -4.729,04
Initial Investment										
Patent Registration										
New R&D	\$352.289	\$359.793	\$367.457	\$375.283	\$383.277	\$391.441	\$399.778	\$0	\$2.000	\$2.043
Patent Maintenance	\$ 2.222,27	\$ 2.269,60	\$ 2.317,95	\$ 2.367,32	\$ 2.417,74	\$ 2.469,24	\$ 2.521,83	\$ 2.575,55	\$ 2.630,41	\$ 2.686,44
Demand	18186,31	20368,67	22812,91	25550,45	28616,51	32050,49	35896,55	40204,13	45028,63	50432,07
Total demand for product	60621	67896	76043	85168	95388	106835	119655	134014	150095	168107
Company share of demand	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Revenue	\$ 47.148.252,18	\$ 53.903.575,90	\$ 61.630.113,37	\$ 70.467.567,14	\$ 80.575.736,57	\$ 92.137.408,85	\$ 105.361.665,92	\$ 120.487.667,13	\$ 137.788.976,06	\$ 157.578.509,76
Company demand	18186,30877	20368,66582	22812,90572	25550,4544	28616,50893	32050,49	35896,5488	40204,13466	45028,63082	50432,06651
License fee										
Public R&D funding	222226,91	226960,35	231794,60	236731,83	241774,22	246924,01	252183,49	257555,00	263040,92	268643,69
Unit price	\$51.605,88	\$52.705,09	\$53.827,71	\$54.974,24	\$56.145,19	\$57.341,08	\$58.562,44	\$59.809,82	\$61.083,77	\$62.384,86
HZG Royalty	\$ 46.926.025,27	\$ 53.676.615,56	\$ 61.398.318,76	\$ 70.230.835,31	\$ 80.333.962,35	\$ 91.890.484,84	\$ 105.109.482,43	\$ 120.230.112,13	\$ 137.525.935,14	\$ 157.309.866,07
Net profit = Revenue- Costs										
Net profit	\$ 46.793.740,66	\$ 53.541.513,29	\$ 61.260.338,82	\$ 70.089.916,39	\$ 80.190.041,86	\$ 91.743.498,84	\$ 104.959.365,63	\$ 120.485.091,58	\$ 137.784.345,65	\$ 157.573.780,72

Figura 43 - Fluxo de caixa últimos dez anos valores extremos – tecnologia

Fonte: @Risk

Figura 44 - Distribuição de VPLs esperados valores extremos – tecnologia

Fonte: @Risk

A análise de sensibilidade para a análise empregando valores extremos está ilustrada na Figura 45. Aqui não houve uma alteração no *ranking* da influencia dos parâmetros de *input* sobre o *output* comparado com a análise anterior empregando a distribuição Pert. Porém, observa-se que a influência do valor do royalty está significativamente menor que na análise feita anteriormente.

Figura 45 – Análise de sensibilidade dos inputs valores extremos – tecnologia

Fonte: @Risk

Na Figura 46 está representado o sumário estatístico da simulação empregando valores extremos.

Summary Statistics for NPV of profit			
Statistics		Percentile	
Minimum	\$ -49.872.821,46	5%	\$ 48.366.124,42
Maximum	\$ 870.938.574,94	10%	\$ 68.361.014,61
Mean	\$ 179.368.347,89	15%	\$ 83.601.019,58
Std Dev	\$ 101.522.956,25	20%	\$ 95.764.288,58
Variance	1,03069E+16	25%	\$ 107.776.124,12
Skewness	1,180587452	30%	\$ 119.331.698,40
Kurtosis	5,534967492	35%	\$ 129.639.825,44
Median	\$ 162.100.439,09	40%	\$ 140.981.897,71
Mode	\$ 120.195.310,13	45%	\$ 150.756.778,17
Left X	\$ 48.366.124,42	50%	\$ 162.100.439,09
Left P	5%	55%	\$ 174.093.143,56
Right X	\$ 368.871.598,97	60%	\$ 185.805.952,59
Right P	95%	65%	\$ 199.861.319,34
Diff X	\$ 320.505.474,55	70%	\$ 214.276.805,92
Diff P	90%	75%	\$ 231.426.312,94
#Errors	0	80%	\$ 251.823.553,59
Filter Min	Off	85%	\$ 277.152.782,69
Filter Max	Off	90%	\$ 311.294.391,43
#Filtered	0	95%	\$ 368.871.598,97

Figura 46 – Sumário estatístico valores extremos – tecnologia

Fonte: @Risk

Entretanto, mesmo empregando valores extremos no modelo o VaR, para os intervalos de confiança de 95% e 90%, não se torna negativo. O valor do VaR para o nível de confiança de 95% e o horizonte de tempo de 15 anos utilizando valores extremos é \$ 48.366.124,42. Os valores do VaR tanto para o modelo empregando a distribuição Pert quanto para a simulação empregando valores extremos estão resumidas na Figura 47, para o níveis de significância 5% e 10%, marcados em amarelo e laranja respectivamente. Neste modelo, apenas o valor mínimo da distribuição apresenta um valor negativo. A técnica de soldagem citada, considerada como uma tecnologia nova, pode ser aplicada, além do mercado automotivo, por exemplo, no mercado aeronáutico. No entanto, devido à escassez de informações sobre o mercado aeronáutico, não foi possível realizar tal análise, podendo ser sugerida como proposta de pesquisas futuras.

Description Cell	Output/ FSpW- Automotive Industry_Pert.xlsx FSpW- Automotive Industry Pert NPV Total	Output/ FSpW- Automotive Industry_Pert.xlsx FSpW- Automotive Industry Pert NPV 5 years	Output/ FSpW- Automotive Industry_Pert.xlsx FSpW- Automotive Industry Pert NPV 10 years	Output/ FSpW- Automotive Industry_Variado.xlsx FSpW- Automotive Industry Variado NPV Total	Output/ FSpW- Automotive Industry_Variado.xlsx FSpW- Automotive Industry Variado NPV 5 years	Output/ FSpW- Automotive Industry_Variado.xlsx FSpW- Automotive Industry Variado NPV 10 years
Minimum	\$ 119.871.766,73	\$ 34.082.085,81	\$ 240.824.951,51	\$ -49.872.821,46	\$ -16.285.005,33	\$ -94.724.766,44
Maximum	\$ 273.018.738,37	\$ 79.399.575,53	\$ 543.776.144,57	\$ 870.938.574,94	\$ 255.809.013,01	\$ 1.727.811.023,85
Mean	\$ 191.702.093,58	\$ 55.291.902,77	\$ 383.021.444,42	\$ 179.368.347,89	\$ 51.620.663,54	\$ 358.678.086,60
Std Deviation	\$ 25.185.926,88	\$ 7.435.244,23	\$ 49.864.696,97	\$ 101.522.956,25	\$ 29.969.270,18	\$ 201.005.675,58
Variance	6,34331E+14	5,52829E+13	2,48649E+15	1,03069E+16	8,98157E+14	4,04033E+16
Skewness	0,1592114	0,1594698	0,1591313	1,180587	1,180294	1,180659
Kurtosis	2,660252	2,660637	2,660085	5,534967	5,535452	5,534686
Errors	0	0	0	0	0	0
Mode	\$ 186.353.689,17	\$ 53.366.744,27	\$ 372.422.848,05	\$ 120.195.310,13	\$ 42.282.899,96	\$ 296.104.042,19
5% Perc	\$ 151.459.241,08	\$ 43.421.547,13	\$ 303.382.729,09	\$ 48.366.124,42	\$ 12.936.634,11	\$ 99.345.051,40
10% Perc	\$ 159.255.966,92	\$ 45.714.722,42	\$ 318.752.044,59	\$ 68.361.014,61	\$ 18.837.562,84	\$ 138.959.141,01
15% Perc	\$ 165.024.554,32	\$ 47.401.806,46	\$ 330.198.607,58	\$ 83.601.019,58	\$ 23.371.443,88	\$ 168.930.024,88
20% Perc	\$ 169.409.165,81	\$ 48.710.947,64	\$ 338.930.967,45	\$ 95.764.288,58	\$ 27.006.773,00	\$ 193.118.766,07
25% Perc	\$ 173.678.900,26	\$ 49.967.967,37	\$ 347.314.895,64	\$ 107.776.124,12	\$ 30.488.964,64	\$ 216.833.732,77
30% Perc	\$ 177.358.831,81	\$ 51.076.010,22	\$ 354.601.620,05	\$ 119.331.698,40	\$ 33.875.953,91	\$ 239.589.919,57

Figura 47 – Valores do VaR para as duas simulações – tecnologia

Fonte: @Risk

5 CAPÍTULO 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi apresentada, primeiramente, a relevância do problema sugerido, por meio de estudo, na literatura, dos temas-chave inovação tecnológica, projetos de investimentos e métodos de avaliação econômica. Este estudo permitiu identificar trabalhos que dispenderam esforços na busca pelo equacionamento dos riscos em desenvolvimento de produtos, tanto de maneira qualitativa como quantitativa. Porém, não foram encontrados, nas principais bases de dados, estudos que tratassem o tema proposto pela integração dos riscos de desenvolvimento e comercialização, mensurados por meio do *Value at Risk* (VaR).

Além disso, constatou-se que no ambiente dinâmico dos negócios, na atualidade, o desenvolvimento de novos produtos enfrenta pressões, seja pela complexidade crescente deles próprios, seja pela redução dos ciclos de desenvolvimento. Estas características agregam importância para o processo de avaliação de viabilidade desta categoria de negócios por um lado, para a própria sobrevivência das empresas e, por outro lado, para a economia das nações onde estão inseridas.

Os métodos tradicionais de avaliação econômica têm sido considerados como não adequados para uso em ambientes incertos e, por conta disso, novas ferramentas de apoio a decisão têm sido desenvolvidas, apresentando elevado grau de complexidade o que dificulta a aplicação prática nas empresas. Este é o caso, por exemplo, do conceito das Opções Reais, de difícil aplicação e pouco conhecido pelos profissionais no mercado.

Diante disso, surgiu a motivação para a proposição de um método que considerasse os riscos em projetos de investimentos, mas que, ao mesmo tempo fosse de simples aplicação no ambiente das empresas. O conceito do VaR atende a essas exigências e o objetivo principal para o presente trabalho foi declarado como **propor um modelo de análise de investimento**

que integre as etapas de desenvolvimento e comercialização para projetos inovadores, com utilização do VaR como medida de risco.

Para nortear o processo de atingimento do objetivo proposto, oito pergunta de pesquisa foram elaboradas.

Pergunta de pesquisa um: Quais são os principais tipos de risco inerentes a projetos de produtos inovadores, classificados nas categorias riscos de comercialização e riscos de desenvolvimento, encontrados na literatura existente e apontados pelo mercado?

Pergunta de pesquisa dois: Quais são as variáveis utilizadas para quantificar os principais tipos dos riscos encontrados na literatura e apontados pelo mercado?

Pergunta de pesquisa três: Como os principais riscos encontrados e as variáveis para mensurá-los podem ser relacionados em um *framework*?

Pergunta de pesquisa quatro: O *framework* desenvolvido representa de uma maneira completa e compreensível os relacionamentos dos riscos e das variáveis relacionadas?

Pergunta de pesquisa cinco: Qual é o modelo conceitual para conceber, a partir do *framework* desenvolvido, o modelo quantitativo?

Pergunta de pesquisa seis: A técnica de simulação e posterior cálculo de VaR é aplicável em diferentes estudos de casos de projetos de inovação?

Pergunta de pesquisa sete: Os resultados da aplicação em estudos de casos são realísticos e preenchem os requisitos pré- estabelecidos?

Pergunta de pesquisa oito: Existem diferenças na aplicação em diferentes estudos de casos?

Primeiramente, foram identificados, na literatura, os principais tipos de riscos presentes em projetos de inovação. Para isso, foi necessário comparar as definições utilizadas pelos autores e estabelecer uma taxonomia a ser empregada no presente trabalho. Em seguida, na busca por respostas à segunda pergunta de pesquisa, os tipos de riscos identificados foram relacionados a variáveis quantificáveis, de maneira a possibilitar o cálculo dos riscos. Este processo resultou na composição de um *framework*, explicitando o relacionamento entre riscos e variáveis, avaliado e aprimorado por um painel de especialistas. A partir do *framework* desenvolvido e validado, o modelo conceitual de apoio ao método proposto foi desenvolvido, apresentando duas variações, uma para aplicação em produtos novos e outra

para aplicação em tecnologias novas. A partir destes passos de procedimento, o objetivo de propor um modelo de análise de investimento que integre as etapas de desenvolvimento e comercialização para projetos inovadores, com utilização do VaR como medida de risco foi alcançado.

Além disso, as respostas obtidas do painel de especialistas, por meio da ferramenta de consulta, permitiram constatar o interesse sobre o assunto, tanto de profissionais da ciência quanto de profissionais do mercado, refletido pelas extensas respostas às questões propostas. Por outro lado, o instrumento de pesquisa, na forma de questionário foi enviado para trinta e cinco profissionais e obteve-se apenas nove respostas; acredita-se que isso pode ter ocorrido devido a longa extensão do questionário ou a dificuldades de entendimento de conceitos, por parte dos consultados. Mesmo com o número reduzido, considera-se que as respostas obtidas trouxeram informações relevantes para as questões de pesquisa.

Por fim, o modelo foi aplicado a dois casos reais, um de desenvolvimento de produto novo e outro de desenvolvimento de tecnologia nova. Em síntese, é possível afirmar que as duas aplicações do modelo conceitual proposto forneceram resultados consistentes e interessantes, tanto do ponto de vista de avaliação da aplicabilidade, por esta pesquisadora, como do ponto de vista de análise dos resultados, pelas empresas envolvidas. Na primeira aplicação, foi possível calcular a possibilidade de perda financeira para o projeto, em percentual e em unidades monetárias (VaR), dados os riscos considerados. Na segunda aplicação, devido a alta qualidade da tecnologia desenvolvida e provável sucesso decorrente, o valor do VaR não apresentou a pior perda possível, senão o ganho mínimo do projeto, já que os resultados, diferentemente da primeira aplicação, apresentaram somente valores positivos.

Os projetos de diferentes naturezas, com suas peculiaridades, permitiram verificar e constatar a aplicabilidade do modelo proposto. Além disso, após a montagem dos fluxos de caixa, os parâmetros considerados poderão ser facilmente alterados para responder a mudanças no ambiente do projeto, significando a possibilidade de análise de viabilidade continuada, durante todo o processo de desenvolvimento e uma possível integração com o conceito de Opções Reais.

É válido ressaltar, portanto, que os resultados obtidos com a técnica VaR poderão ser utilizados, tanto como complementação de resultados obtidos com outras técnicas tradicionais de análises de investimentos adotadas pelas empresas, como em associação com técnicas sofisticadas e ainda pouco difundidas no ambiente empresarial, como as Opções Reais.

Os resultados finais das simulações, apresentados em um único valor de VaR, para certo nível de significância, é de fácil interpretação, o que foi corroborado pelos especialistas participantes da pesquisa, podendo ser de grande auxílio aos gestores, no processo de tomada de decisão.

Como propostas de pesquisas futuras, sugere-se a aplicação do modelo conceitual, proposto no presente trabalho, em avaliações de projetos reais de diferentes naturezas, em setores diversos, como o objetivo de identificar dificuldades de aplicação no ambiente empresarial e consequentemente propor melhorias. Outra possibilidade de continuidade de desenvolvimento para o modelo proposto está relacionada com a forma de cálculo do VaR, quando métodos não paramétricos, paramétricos ou até semi-paramétricos, poderiam ser aplicados e os resultados, comparados com os obtidos pelo método utilizado neste trabalho. Além disso, o painel de especialistas poderá ser ampliado para um maior número de participantes, com o objetivo de refinamento dos resultados e, também, de melhorar a integração entre o meio empresarial e o meio científico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, P.; BENITO, S.; LÓPEZ, C. (2013). A comprehensive review of Value at Risk methodologies. **The Spanish Review of Financial Economics**.

AHN, J.; CHOI, H.-G. (2010). Risk analysis models and risk degree determination in new product development: A case study. **Journal of Engineering and Technology Management** 27, p. 110–124.

ANTONIK, L. R. (2004). Análise de projetos de investimento sob condições de risco. **Revista Fae** (7)1, p. 67-76, Curitiba.

ATENATEC SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS LTDA. (2009). **Plano de negócios: Sistema de Simulação Online de Balanço de Massa e Energia para Usinas de Açúcar e Álcool**. Documento não publicado.

BARREIROS, F.A.M. (2003). **Projeto de investimento: uma análise estratégica a partir do conceito de cadeia de suprimentos**. Dissertação (Mestrado), São Carlos: Universidade de São Paulo- Escola de Engenharia de São Carlos, 221p.

BLANK, L; TARQUIN, A. (2005). **Engineering Economy**. 6^a edição. New York: McGraw-Hill.

BOARDMAN, A.E.; GREENBERG, D.H.; VINNING, A.; WEIMER, D. (2005). **Cost-benefit analysis: Concepts and practice**. NJ: Upper Saddle River.

BODIE, Z.; KANE, A.; MARCUS, A. J. (2000). **Fundamentos de Investimentos**. 3^a edição. Porto Alegre: Bookman.

BREALEY, R.; MYERS, S.C. (1992). **Princípios de finanças empresariais**. Portugal: McGraw- Hill.

BREWER, J.; HUNTER, A. (2006). **Foundations of multimethod research: synthesizing styles**. Thousand Oaks, California: Sage.

BRUNI, A.L; FAMÁ, R.; SIQUEIRA, J.O. (1998). **Análise do risco na avaliação de projetos de investimentos: uma aplicação do método de Monte Carlo**. Caderno de Pesquisas em Administração, São Paulo, v.1, n.6, p. 62-74.

BUARQUE, C. (1991). **Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática**. Rio de Janeiro: Campus.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B.H. (1987). **Análise de investimentos**. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais.

CHAPMAN, C.B. (1990). A risk engineer approach to project risk management. **International Journal of Project Management** 8 (1), p. 5–16.

CHESBROUGH, H. (2004). Managing Open Innovation. **Journal of Research in Technology Management** 47 (1), p. 23- 26.

CONTADOR, C. R. (1997). **Projetos sociais: Avaliação e prática**. 3ª edição. São Paulo: Editora Atlas S.A.

COOPER, D. F.; GREY, S.; RAYMOND, G.; WALKER, P. (2005). **Project Risk Management Guidelines: managing risk in large projects and complex procurements**. West Sussex: John Wiley & Sons.

COOPER, L.P (2003). A research agenda to reduce risk in new product development through knowledge management: a practitioner perspective. **Journal of Engineering and Technology Management** 20, p. 117–140.

COOPER, R.; EDGETT, S.; KLEINSCHMIDT, E. (1999). New product portfolio management: Practices and performance. **Journal of Product Innovation Management** 16 (4), p. 333-51.

COOPER, R.; EDGETT, S.; KLEINSCHMIDT, E. (2001). Portfolio management for new product development: results of an industry practices study. **R&D Management** 31 (4), p. 361–380.

COOPER, R.; EDGETT, S.; KLEINSCHMIDT, E. (2003). **Best Practices in Product Innovation. What Distinguishes Top Performers**. Ancaster: Stage- Gate.

COOPER, R. (2008). The Stage- Gate Idea-to-launch process- update, What's new, and NexGen Systems. **Journal of Product Innovation Management**, p.213- 232.

CORAL, E.; OGLIARI, A.; DE ABREU, A. F. (2009). **Gestão integrada da inovação: estratégia, organização e desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Editora Atlas S.A.

CRAWFORD, M.; DI BENEDETTO, A. (2006). **New Products Management**. 8ª edição. New York: McGraw- Hill.

CROCKFORD, G. N. (1982). The Bibliography and History of Risk Management: Some Preliminary Observations. **The Geneva Papers on Risk and Insurance** (7), p. 169-179.

DAMODORAN, A. (2009). **A Gestão estratégica do risco: uma referência para a tomada de riscos empresariais**. Porto Alegre: Bookman.

DAVIS, C. (2002). Calculated Risk: A Framwork for Evaluating Product Development. **MIT Sloan Management Review**, Magazine: Summer 2002 Research Feature.

EVARTS, H. F. (1972). **Introdução ao PERT**. São Paulo: Atlas.

FAJARDO J.; FARIAS A.R.; ORNELAS, J.R.H. (2003). **Goodness- of- fit tests focus on VaR Estimation**. São Paulo: Finance Lab Ibmecc.

FILHO, E. R.; FERREIRA, C. V.; MIGUEL, P. A. C.; GOUVINHAS, R. P.; NAVEIRO, RICARDO M. (2010). **Projeto do Produto**. Rio de Janeiro: Elsevier.

FINK, A.; MARR, B.; KUHLE, J. (2005). The future scorecard: combining external and internal scenarios to create strategic foresight. **Management Decision** 43 (3), p.360- 381.

FREDBERG, T. (2007). Real options for innovation management. **International Journal of Technology Management**, n. 39, p. 72–84.

FRONTIER ECONOMICS (2014). **Rates of Return to Investment in Science and Innovation**. Disponível em:
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/333006/bis-14-990-rates-of-return-to-investment-in-science-and-innovation-revised-final-report.pdf
(acessado 03/09/2015).

GAUSEMEIER, J.; FINK, A.; SCHLAKE, O. (1998). Scenario management: An approach to develop future potentials. **Technological Forecasting and Social Change** **59** (2), p. 111-130.

GILBERT, E. (2004). Investment Basics XLIX. An introduction to real options. **Investment Analysts Journal**, n.60, p. 49–52.

GITMAN, L. J. (2007). **Princípios de administração financeira**. 10 ed. São Paulo: Pearson Addisson Wesley.

GREENE, W. H. (2008). **Econometric Analysis**. 6a edição. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall.

HALMAN, J. I.M; KEIZER, J. A. (2007). Diagnosing Risk in Radical Innovation Projects. **Research Technology Management** **50** (5), p. 30–36.

HALMAN, J. I.M; KEIZER, J. A.; VOS, J.-P. (2005). Risks in New Product Development. Devising a reference tool. **R and D Management** **35** (3), p. 297–309.

HARRINGTON, S.; NIEHAUS, G. R. (2003). **Risk Management and Insurance**. USA: New York: Irwin/McGraw-Hill.

HASKEL, J.; HUGHES, A.; BASCAVUSOGLU-MOREAU, E. (2014). **The Economic Significance of the UK Science Base**. Disponível em: <http://www.sciencecampaign.org.uk/UKScienceBase.pdf> (acessado 03/09/2015).

HIRSCHFELD, H. (1978). **Planejamento com PERT/CPM e análise do desempenho: método manual e por computadores eletrônicos aplicados a todos os fins**. São Paulo: Atlas.

HICKS, J.R. (1969). **A theory of economic history**. Oxford: Clarendon Press.

HONGFANG, L.; HONGFENG, P.; MIN, L. (2008). Real Options and Process Management of R& D Projects. **International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering**. Taipei, Taiwan, 19.- 21.12.2008.

HOUSE, C. H.; PRICE, R. L. (1991). The return map: tracking product teams. **Harvard Business Review**, janeiro- fevereiro 1991, p.92-100.

HUCHZERMEIER, A.; LOCH, C. H. (2001). Project Management Under Risk: Using the Real Options Approach to Evaluate Flexibility in R&D. **Management Science** **47** (1), p. 85–101.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2013). Pintec: Pesquisa industrial inovação tecnológica 2011. Rio de Janeiro.

JORION, P. (2007). **Value at risk: the new benchmark for managing financial risk**. 3ª edição. New York: McGraw- Hill.

KARLSSON, C. (2009). **Researching in Operations Management**. New York: Routledge.

KHINDANOVA, I.; RACHEV, S.; SCHWARTZ, E. (2001). Stable modeling of value at risk. **Mathematical and Computer Modelling** **34**, p. 1223–1259.

KOTLER, P. (1998). **Administração de marketing: Análise, planejamento, implementação e controle**. São Paulo: Atlas.

LUEHRMAN, T. A. (1998). Investment opportunities as real options: getting started on the numbers. **Harvard Business Review**, n.76 (4), p.3-14.

MANKIW, N.G. (2009). Introdução à Economia. 3ª edição. São Paulo: Cengage Learning.

MATHWORKS (2015). **Extreme Value Distribution**. Disponível em: <http://www.mathworks.com/help/stats/extreme-value-distribution.html> (acessado 04/09/2015).

MARKHAM S.K.; LEE, H. (2013). Product Development and Management Association's 2012 Comparative Performance Assessment Study. **Journal of Product Innovation Management**, n.30(3), p.408-429.

MEIRELLES, J. L. F. (2004). **A teoria de Opções Reais como instrumento de avaliação de projetos de investimento**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MERRIT, G. M.; SMITH, P. G. (2002). **Proactive risk management: Controlling uncertainty in product development**. St. Peter Port, Guernsey: New York Productivity Press.

MISHRA, S.; KHASNABIS, S.; DHINGA, S.L. (2013). A simulation approach for estimating value at risk in transportation infrastructure investment decisions. **Research in Transportation Economics** **38**, p. 128- 138.

MORAES C.A.; WEINBERG, G. M. L.(2001). Seleção de projetos de P&D: uma abordagem prática. **XXI Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica**.

MORALLES, H.; REBELATTO, D. (2013). Parametric VaR with goodness-of-fit tests based on EDF statistics for extreme returns. **Mathematical and Computer Modelling** **58**, p. 1648-1658.

MUESER, R. (1958): Identifying technical innovation. **IEEE Transactions on Engineering Management**, n.EM- 32(4), 1985, p. 158- 176.

MYERS, S.C. (1977). Determinants of corporate borrowing. **Journal of financial economics**, n.5 (2), p. 147–175.

NEWTON, D.P.; PAXON, D.A.; WIDDICKS, M. (2004). Real R& D options. **International Journal of Management Review**, n.5-6 (2), p. 113–130.

NORONHA, J.C.; PEREIRA MELLO, C.H.; SANCHES DA SILVA, C.E.; NORONHA, J.C.C. (2014). Opções reais aplicadas à gestão do processo de desenvolvimento de produtos em uma indústria de autopeças. **Gestão & Produção**, n.21 (1), p. 77-94.

OECD –ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (2003). **Oslo manual: guidelines for collecting interpreting innovation data**. 3ª edição. European comission: OECD. Disponível em: www.oecd.org. Acesso em: 13/08/2014.

OLIVEIRA, M.H.F. (2008). **A avaliação econômico-financeira de investimentos sob condição de incerteza: uma comparação entre o método de Monte Carlo e o VPL Fuzzy**. Dissertação de Mestrado, São Carlos: Universidade de São Paulo- Escola de Engenharia de São Carlos.

PEREIRA, E. J. S.; PINHO, J. T.; GALHARDO, M. A. B.; MACÊDO, W. N. (2014). Methodology of risk analysis by Monte Carlo Method applied to power generation with renewable energy. **Renewable Energy** **68**, p.347- 355.

QUEIROZ, J. A. (2001). **Aplicação do Valor no Risco (VaR), do modelo de precificação dos ativos de capital (CAPM) e da teoria de precificação por arbitragem (APT) na avaliação econômica dos projetos de investimento em condições de risco**. Dissertação de Mestrado, São Carlos: Universidade de São Paulo- Escola de Engenharia de São Carlos.

QIU, F.; YEO, K.T. (2003). The value of management flexibility- a real option approach to investment evaluation. **International Journal of Project Management** 21, p. 243–250.

RAPUCCI, G. H. (2015). **Riscos no desenvolvimento e comercialização de produtos inovadores – parametrização de variáveis e desenvolvimento de um *framework* auxiliar**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

REBELATTO, D. (2004). **Projeto de investimento. com estudo de caso completo na área de serviços**. Barueri (SP): Editora Manole Ltda.

REIS, D.R. (2008). **Gestão da inovação tecnológica**. Editora Manole Ltda, Barueri/SP.

ROCHMAN, R.R.(1998). **Análise de métodos numéricos para precificação de opções**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

RODRIGUES, KÊNIA F.C. (2014). **Sistematização e análise da avaliação econômica de projetos de desenvolvimento de produtos e serviços**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo- Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

ROMER, P.M (1990). Endogenous technological change. **Journal of Political Economy** 98 (5), p. 71–102.

ROZENFELD H.; FORCELLINE, F. A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. (2006). **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva.

RUBINSTEIN, R. Y. (1981). **Simulation and the Monte Carlo Method**. New York:John Wiley & Sons. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics.

SCHUMPETER, J. (2002). New Translations from Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. **American Journal of Economics and Sociology** 61 (2), p. 405- 437.

SHAPIRO, S. S. (1990). **How to test normality and other distributional assumptions**. American Society for Quality Control, University of Michigan.

SLEEFE, G. E. (2010). Quantification of Technology Innovation Using a Risk- Based Framework. **World Academy of Science, Engineering and Technology** 42, p. 576–580.

SOLOW, R. (1957). Technical change and the aggregate production function. **Review of Economics and Statistics** **39** (3), p. 312–320.

SOMMER, R.; SOMMER, B. (2002). **A practical guide to behavioral research**. 5a ed. Nova York: Oxford University Press.

STEPHENS, M.A. (1974). EDF Statistics for Goodness of Fit and some comparisons. **Journal of the American Statistical Association** (69), p. 730- 737.

STEPHENS, M.A. (1977). Goodness of Fit for the extreme value distribution. **Biometrika** (64), p. 583- 588.

TATIKONDA, M. V.; ROSENTHAL, S. R. (2000). Technology Novelty, Project Complexity, and Product Development Project Execution Success: A Deeper Look at Task Uncertainty in Product Innovation. **IEEE Transactions on Engineering Management** **47** (1), p. 74–87.

THADEWALD, T.; H. BÜNING (2007). Jarque-Bera Test and its Competitors for Testing Normality- A Power Comparison. **Journal of Applied Statistics** **34** (1), p. 87 - 105.

TRADING ECONOMICS (2015). **Euro area inflation rate 1991-2015**. Disponível em: <http://www.tradingeconomics.com/euro-area/inflation-cpi>. (acessado 03/09/2015).

TONI, D.; SCHULER, M. (2003): A gestão de novos produtos: um estudo de caso na indústria plástica. **Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos-CBGDP, Gramado**, 4ª ed.

ULRICH, K.T; EPPINGER, S.D (2000). **Product design and development**. International Edition. Boston: McGraw- Hill.

UPTON, G.; COOK, I. (2008). **Oxford Dictionary of Statistics**. Oxford: Oxford University Press.

VARIAN, H. R. (2012). **Microeconomia: Uma abordagem moderna**. Rio de Janeiro: Elsevier.

VERNADAT, F. (1996). **Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications**. Springer.

VERZUH, E. (2000) **Gestão de Projetos**. Rio de Janeiro: Campus.

VOSE, D. (2008). **Risk analysis: a quantitative guide**. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons Ltd.

VOSE SOFTWARE (2015). **Distributions used in modeling expert opinion- Non-parametric and parametric distributions**. Disponível em: http://www.vosesoftware.com/ModelRiskHelp/index.htm#Modeling_expert_opinion/Distributions_used_in_modeling_expert_opinion.htm (acessado 04/09/2015).

WANG, Z.; WU, W.; CHEN, C.; ZHOU, Y. (2010). The exchange rate risk of Chinese Yuan: Using VaR and ES based on extreme value theory. **Journal of Applied Statistics** 37, p. 265–282.

WESTON, J.F., BRIGHAM, E.F. (1976). **Managerial Finance**. Dryden Press.

WILLIAMS, C. A.; YOUNG, P. C; SMITH, M. L. (1997). **Risk Management & Insurance**. New York: McGraw Hill.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. (2011) **Projetos**. 2^a. ed. São Paulo: Atlas.

WU, D. D.; KEFAN, X.; GANG, C.; PING (2010). A Risk Analysis Model in Concurrent Engineering Product Development. **Risk Analysis** 30 (9), p. 1440–1453.

WRIGHT, P.L.; KROLL, M.J.; PARNELL, J. (2000). **Administração estratégica: conceitos**. São Paulo: Atlas.

YANG, Z. (2010). Simulation for Risk Assessment in Product Development. **ICCMS 2010 - 2010 International Conference on Computer Modeling and Simulation** 3, p. 58–62.

YAO, T.; JIANG, B.; LIU, H. (2013). Impact of Economic and Technical Uncertainties on Dynamic New Product Development. **IEEE Transactions on Engineering Management** 60 (1), p.157 – 168.

APÊNDICES

Apêndice A- Taxonomia de variáveis encontradas na literatura

Sleeve (2010) critica que, anteriormente, os riscos de custos, risco de custo de cronograma e o risco de *performance* (requisitos técnicos não alcançados) eram levados em conta de maneira independente. O autor desenvolveu o conceito de risco de desenvolvimento do produto como função das variáveis de custos, cronograma, *performance* e inovação. Os quatro tipos de riscos que compõe o risco de desenvolvimento, definido pelo autor, podem ser expressos nas equações 18, 19, 20, 21.

$$R_C = L_C \sum_{i=1}^{N_C} c_i p_i \quad (18)$$

$$R_S = L_S \sum_{i=1}^{N_S} c_i p_i \quad (19)$$

$$R_P = L_P \sum_{i=1}^{N_P} c_i p_i \quad (20)$$

$$R_I = L_I \sum_{i=1}^{N_I} c_i p_i \quad (21)$$

O R_C se refere ao risco de que os custos excedam os custos estimados do projeto, R_E é o risco de o projeto não cumprir os prazos estabelecidos no cronograma, R_P é o risco de não alcançar os requisitos técnicos exigidos e, por fim, R_I se refere ao risco de os esforços de PDP não atingirem os objetivos de inovação institucionais, expressado como uma métrica de inovação quantitativa.

Desse modo, a função do risco de PDP pode ser expressa conforme a equação 22 do apêndice.

$$R_{PD} = f(R_C R_S R_P R_I) \quad (22)$$

Onde, f representa a função probabilística das variáveis de custos, cronograma, *performance* e inovação, devido ao fato, de acordo com Sleaf (2010), de que os riscos incluídos na função geralmente são variáveis aleatórias dependentes estatisticamente.

Halman e Keizer (2005) fizeram entrevistas com equipes participantes (114 pessoas) e pesquisadores (dois) de projetos de PDP, o objetivo do estudo era identificar os riscos mais citados. Como resultado, os autores conseguiram juntar os riscos citados na literatura e os riscos percebidos no mercado, totalizando 10 riscos mais citados, como ilustrado no Quadro 9.

Os riscos citados com mais frequências e suas categorias			
Número no ranking	Categoria	Risco percebido	Frequência
1	Aceitação pelo consumidor & riscos de marketing	Garantia que o novo produto atenda às necessidades dos consumidores-alvo	26
2	Organização & riscos de gestão	Organização e gestão do projeto	23
3	Tecnologia do produto	A estabilidade do produto, durante o armazenamento na fábrica, na loja, durante o transporte, ou em casa	22
4	Tecnologia de manufatura	Requisitos de qualidade e segurança do sistema de produção (instalações e pessoal)	18
5	Cadeia de suprimentos	Qualidade constante e previsível da oferta por parte dos fornecedores	16
6	Risco externo	Possíveis reações externas negativas por formadores de opinião chave ou grupos de interesse	15
7	Tecnologia de manufatura	Meios de produção adequados (equipamentos e ferramentas) disponíveis quando necessários	15
8	Tecnologia do produto	Novo produto cumpre funções pretendidas	13
9	Viabilidade comercial	Novo produto atende às normas e exigências dos consumidores	13
10	Aceitação pelo consumidor	Habilidade do produto de combinar valores amplamente aceitos (saúde, segurança, natureza, questões ambientais)	12

Quadro 9 - Os riscos citados com mais frequências e suas categorias

Fonte: adaptado segundo Halman e Keizer (2005), p. 13.

Na pesquisa desenvolvida por Halman e Keizer (2007), os autores continuaram, a partir do Quadro 9, a construir um fator de impacto para os riscos identificados. Desse modo, para cada possível risco identificado, os entrevistados foram solicitados a classificar o nível de incerteza, a capacidade de chegar a uma solução satisfatória no prazo de tempo e recursos e o impacto do fator de risco no sucesso do projeto. Em seguida, para cada declaração de risco, a pontuação para os três parâmetros foi resumida e expressa com uma pontuação de risco, de acordo com a distribuição das respostas dos entrevistados, numa escala de cinco pontos de classificação. Os riscos com a classificação mais alta, ou seja, com maior impacto nos três parâmetros, são listados a seguir.

1. Problemas de projetos de PDP radicais percebidos como altamente incertos: questões relacionadas ao desempenho do novo produto e a perspectiva de vendas realistas estão entre os mais arriscados (mais especificamente, por exemplo, desempenho em relação a outros produtos, estimativas de volume de produção claras e confiáveis, perspectiva de vendas realista, opções de contingência para cada fornecedor selecionado e conhecimento das questões de patentes relevantes).

2. Problemas de projetos de PDP radicais percebidos como controláveis minimamente: capacidade de prever os futuros desafios com os concorrentes e vantagens de uso em comparação com os produtos concorrentes.

3. Problemas de projetos de PDP radicais percebidos com de maior impacto no sucesso do projeto: são os riscos mais ligados às lacunas entre os conhecimentos e experiências disponíveis e necessários para o sucesso do projeto (mais especificamente, por exemplo, a satisfação das necessidades do consumidor, a perspectiva realista de vendas e o potencial de mercado a longo prazo).

Em síntese, os riscos que estão associados com o desempenho (*performance*) do produto e os que se referem aos riscos ligados à previsão do mercado (como previsão de vendas e satisfação do cliente) são os mais observados em projetos de PDP do tipo radical (HALMAN e KEIZER, 2005 e 2007).

Para Wu (2010), os principais riscos que devem ser considerados em projetos de PDP são os riscos de cronograma, qualidade e custos, uma vez que estes estão relacionados com todos os outros tipos de riscos, como pode ser observado no Gráfico 6.

Gráfico 5 - A relação causal entre diversos riscos

Fonte: adaptado segundo WU et al., 2010, p. 1442.

A partir do Gráfico 6, Wu et al. (2010) argumentam que os três tipos de riscos escolhidos por eles, cronograma, qualidade e custos, denotam a convergência de todos os outros tipos de riscos e, por conta disso, os autores utilizam uma abordagem tridimensional.

Por sua vez, Tatikonda et al. (2000) levam em conta os riscos que se orientam no resultado total do projeto, ou seja, o grau em que o projeto individual alcança seus objetivos originais. Os objetivos centrais definidos pelos autores são o desempenho técnico (funcionalidade técnica e qualidade do produto), os custos unitários do produto e o *time-to-market*. Estes objetivos estão definidos desde o início da execução do projeto e sua realização pode ser avaliada no final da execução do projeto. Por conta disso, os autores argumentaram, que estes objetivos devem ser levados em conta quando o sucesso de projetos de PDP tem que ser analisado.

Huchzermeier e Loch (2001) definem que um projeto de PDP é caracterizado pelo seu tempo de desenvolvimento, custo ao longo do projeto e o desempenho resultante do

produto. Por sua vez, o mercado é caracterizado pelo retorno do projeto, determinado pelo tamanho do mercado e a atratividade dele, e por seus requisitos de desempenho, indicando como o retorno aumenta com o desempenho do produto. As características do projeto e do mercado, em conjunto, determinam o valor do projeto. Formalmente, pode ser expresso na Equação 23 do apêndice da seguinte forma: o valor do projeto V é função de cinco geradores de valor.

$$V = f \left(\begin{array}{c} \text{desempenho, custo, tempo, exigência do mercado,} \\ \text{retorno do mercado} \end{array} \right) \quad (23)$$

Mais especificamente, os cinco tipos de riscos-chave são definidos da seguinte maneira por Huchzermeier e Loch (2001):

- Variabilidade de retorno do mercado: o retorno do mercado (previsão de preço e vendas, por exemplo) depende de fatores incontroláveis, como movimentos de concorrentes, mudanças demográficas, produtos substitutos, etc. e, p conta disso, é composto por uma variável aleatória significativa;
- Variabilidade de custos: refere-se ao fato de que os custos de desenvolvimento do projeto não são inteiramente previsíveis. Desacertos orçamentais são comuns nesses tipos de projetos, conclusões dentro do orçamento também ocorrem, mas são menos frequentes;
- Variabilidade do desempenho: corresponde à incerteza sobre o desempenho do produto que está sendo desenvolvido. Inicialmente, o desempenho determinado no começo do projeto muitas vezes não é alcançado plenamente, já que *trade-offs* precisam ser resolvidos entre vários critérios técnicos, que juntos determinam o desempenho do produto do ponto de vista do cliente. Quanto maior a novidade técnica do produto, maior a incerteza;
- Exigência do mercado: corresponde à incerteza sobre o nível de desempenho exigido pelo mercado. As metas de desempenho para um produto são, muitas vezes, imperfeitamente conhecidos, especialmente porque os produtos são conceitualmente novos;
- Variabilidade no cronograma: O projeto pode terminar de forma imprevisível antes ou depois da programação do cronograma do projeto. No caso de ser finalizado após a

programação do cronograma, a redução dos retornos do mercado, em termos de quota de mercado ou preço, é um impacto possível.

Apêndice B- Descrição das variáveis do modelo

Descrições das variáveis do modelo	
Variável	Descrição
Continua...	
Mercado	Normas, concorrentes, aspectos legislativos e regulatórios, etc.
Demanda	Volume de vendas, projeção da demanda e market-share
Receita	Compreende as informações sobre o faturamento previsto
Investimentos	Gastos referentes à aquisição de direitos, implantação, ampliação, melhorias, reposição ou substituição de bens e necessidade de capital de giro no empreendimento
Custos fixo	Custos que, em determinado período de tempo e em certa capacidade instalada, não variam, qualquer que seja o volume de atividade da empresa, como, por exemplo, gastos com aluguéis e depreciação
Custos variáveis	Custos cujo valor total altera-se diretamente em função do volume de produção da empresa, como, por exemplo, matérias-primas, embalagens, dentre outros
Despesas fixas	Gastos que não repercutem, diretamente, na elaboração dos produtos ou serviços prestados. Não variam em função do volume de vendas, como por exemplo, aluguel, seguro de lojas, dentre outros
Despesas variáveis	Despesas que variam de acordo com as vendas, como por exemplo, comissão de vendedores, gastos com fretes, dentre outros
Impostos	Definição dos tributos incidentes sobre a operação, como por exemplo, o Imposto sobre Produtos

Descrições das variáveis do modelo	
Variável	Descrição
	Industrializados (IPI), o imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), dentre outros
Índice de Inflação	Representa a inflação de preços variados, desde matérias-primas agrícolas e industriais, até bens e serviços finais, medido, por exemplo, pelo Índice Geral de Preços do Mercado (IGP- M)
Probabilidade de atraso	A probabilidade de o projeto não ser concluído no cronograma determinado resultando, por exemplo, em um time-to-market atrasado
Custos de desenvolvimento	Custos referentes à fase de desenvolvimento do projeto, como, por exemplo, os relacionados com pesquisa e desenvolvimento (custos de não produção)
Custos de comercialização	Custos referentes à fase de desenvolvimento do produto, como custos com publicidade e vendas, expedição e entrega e administração comercial
Capital próprio	Patrimônio líquido da empresa
Capital de terceiros	Recursos originários de terceiros utilizados para a aquisição de ativos de propriedade da entidade
Prêmio de risco	Adicional taxa de juros em relação à taxa de juros livre de risco, necessária para remunerar o risco do projeto
Complexidade técnica	Complexidade da arquitetura do produto, como, por exemplo, número de componentes, elementos e sistemas
Probabilidade de sucesso técnico	Valor da probabilidade de sucesso técnico do projeto, sendo calculada baseada em vários critérios técnicos
Probabilidade de sucesso comercial	Valor da probabilidade de sucesso comercial do projeto, sendo calculada baseada em vários critérios comerciais
Cenários futuros	Possíveis situações futuras que possam descrever uma variedade de oportunidades a fim, de melhorar a tomada de decisão

Descrições das variáveis do modelo	
Variável	Descrição

Quadro 10 – Descrições das variáveis do modelo

Fonte: adaptado segundo Rodrigues (2014), p. 121- 123 do apêndice.

Apêndice C- Questionário para Painel português

Questionário da Pesquisa

Universidade de São Paulo- Escola de Engenharia de São Carlos

Programa de Pós- graduação em Engenharia de Produção

Título da dissertação de mestrado:

Modelo integrado de análise de investimento para produtos inovadores: uma aplicação do VaR paramétrico

Título do trabalho de conclusão de curso:

**Riscos no desenvolvimento e comercialização de produtos inovadores –
parametrização de variáveis e desenvolvimento de um *framework* auxiliar**

Orientador: Prof^{fa} Assoc^a. Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto

Mestrando: Carolin Debertin

Trabalho de conclusão de curso: Guilherme Henrique Marques Rapucci

Nome da instituição ou empresa: _____

Entrevistado: _____

Cargo/ função: _____

O objetivo deste questionário é **identificar e/ou validar os principais tipos de riscos, e suas características, inerentes a projetos de desenvolvimento de produtos (PDP)**. As informações serão utilizadas na dissertação de mestrado e, também, no trabalho de conclusão de curso de graduação acima referidos.

A equipe compromete-se em preservar a identidade do entrevistado, assim como a da instituição ou da empresa.

Questões:

Questionário para o painel de especialistas: Para calcular o Value at Risk(VaR), é necessário dois fluxos de caixa que abranjam o projeto de desenvolvimento do produto (PDP) e a futura comercialização do produto desenvolvido. Com base nessa afirmação, o questionário foi dividido em duas frentes:

- 1- Questões relacionadas ao desenvolvimento de produtos inovadores e os respectivos riscos;
- 2- Questões relacionadas à comercialização de produtos inovadores e respectivos riscos.

1- Questões relacionadas ao desenvolvimento e os respectivos riscos

1.1 No estudo em questão, considerou-se que, durante o período do projeto de desenvolvimento de produto inovador, as entradas do fluxo de caixa seriam sempre negativos, uma vez que só custos ocorrerão nessa fase. Você concorda com essa afirmação? Se não, por quê?

1.2.1 A primeira fase, o desenvolvimento do produto inovador, foi dividida em duas partes: 1- Custos com a equipe de desenvolvimento; 2- Custos de capital. Na primeira frente, foram considerados todos os custos com pessoas internas à organização relacionadas ao desenvolvimento de produtos. Esse investimento é calculado pelo custo de cada pessoa e o tempo gasto por cada pessoa com o PDP, adicionalmente foi considerado o risco de cronograma (de atraso do PDP) e o risco tecnológico, o qual pode resultar em uma maior probabilidade de ocorrer um atraso no cronograma. Na segunda frente foram considerados os custos ligados a instalações e equipamentos necessários para o desenvolvimento do produto e o protótipo. Com base no que foi descrito acima, qual sua opinião sobre essa forma de se dividir os custos?

1.2.2 Você acredita que essa divisão abranja todos os custos relacionados a PDP? Se não, quais custos estão faltando? (Obs.: Para facilidade de compreensão, o framework na Figura 1 do apêndice, ilustra a divisão descrita nessa questão)

Figura 1 do apêndice- Framework Desenvolvimento Português

Fonte: elaboração própria

- 1.3 Você acredita ser possível estimar o total de custos para um projeto de desenvolvimento de um produto inovador, antes de se iniciar o projeto? Se sim, com que precisão? Quais fatores influenciam nessa estimativa?
- 1.4 Se você respondeu não à pergunta anterior, cite os principais motivos que inviabilizam uma estimativa precisa dos custos necessários para um PDP.
- 1.5 Você acha válida a ideia de utilizar a técnica de WBS ou rede PERT para estimar o risco de cronograma, o custo total da equipe e o risco tecnológico? Se sim, você acredita ser possível estimar todas as atividades, e suas respectivas durações, presentes em um projeto de desenvolvimento de um produto inovador?
- 1.6 Se você respondeu não à pergunta anterior, cite os principais motivos que inviabilizam uma estimativa sobre o cronograma, custo total da equipe e o risco tecnológico do PDP.
- 1.7 Na sua percepção, qual dos custos do Framework representa o maior gasto e qual possui o maior risco? Justifique]

2 Questões relacionadas à comercialização de produtos inovadores e respectivos riscos

- 2.1 No estudo em questão, considerou-se que para realizar o fluxo de caixa referente à comercialização é necessário calcular os investimentos referentes às instalações produtivas, receitas das vendas e os custos da operação. Você concorda com essa divisão? Você tem alguma sugestão/adição a essa divisão?
- 2.2 Os investimentos referentes incluindo as instalações produtivas, treinamento de mão- de- obra, canal de distribuição/vendas e homologação/padronização foram considerados como contínuos, uma vez que todo o processo de comercialização se trata de uma estimativa para o futuro. Você concorda com essa afirmação? Se não, por quê? E quais fatores influenciam nessa estimativa?
 - 2.3.1 Sabe-se que as receitas advindas de um produto – inovador ou não – são funções do preço e da demanda. Com base nessa afirmação, responda: Você acredita ser possível estimar a demanda futura de um produto inovador? Se sim, com que precisão? Quais fatores influenciam nessa estimativa?
 - 2.3.2 Você acredita ser possível estimar o preço que o mercado estaria disposto a pagar por um produto inovador? Se sim, com que precisão? Quais fatores influenciam nessa estimativa?

2.4.1 Custos de comercialização

- No presente estudo, considerou-se que os custos de um produto inovador podem ser divididos entre custos de produção e despesas. Os custos de produção foram divididos entre diretos e indiretos, enquanto que as despesas incluem apenas as despesas de comercialização. Você concorda com essa divisão? Você tem alguma sugestão/adição a essa divisão?
- Para o rateio dos custos indiretos, foi considerado o uso do método de custeio ABC. O que você acha desse método? Alguma sugestão de algum outro método com maior eficácia?

2.5 Horizonte de planejamento

- Você acredita ser possível estimar o horizonte de planejamento total de um projeto de desenvolvimento e comercialização de um produto inovador? Se sim, com que precisão? Quais fatores influenciam nessa estimativa?

3 Por favor especifique com quais tipos de projetos já houve contato e em qual baseou suas respostas (Tipo de projeto, nível tecnológico/nível de inovação, indústria, tempo de duração, horizonte de tempo, sucesso final)

3.1 Está faltando alguma variável, que influencia nas etapas de desenvolvimento e comercialização do produto inovador que não foi mencionada no framework? Se sim qual, por favor justifique

3.2 Considerando a parametrização das variáveis determinantes de um projeto de produto inovador representado no framework, quais foram as principais variáveis que influenciam (em um Ranking de 1 a 5, sendo 1 a que mais influencia) nos projetos de inovação da sua experiência?

Apêndice D- Questionário para Painel inglês**Questionnaire Expert Panel**

University of São Paulo- São Carlos School of Engineering

Master's Program in Production Engineering

Title of the Master's thesis:

**Integrated model of investment analysis for innovative products: an application of the
parametric VaR**

Title of the Bachelor thesis:

**Risks in development and commercialization of innovative products-
Parameterization of variables and development of an auxiliary framework**

Supervising professor: Prof. Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto

Master's student: Carolin Debertin

Bachelor student: Guilherme Henrique Marques Rapucci

Name of Institution of Company: _____

Interviewee: _____

Position/Function: _____

The purpose of this questionnaire is to identify and / or validate the main types of risks, and their characteristics inherent in product development projects (PDP) and the commercialization of innovative products. The information will be used in the Master's thesis and also in the Bachelor thesis referred to above.

The research team is committed to preserve the identity of the interviewee, as well as the institution or company.

Questions:

Questionnaire for an expert panel to calculate the Value at Risk (VaR) of innovation projects: Firstly, we assume one needs two cash flows covering both the product development project (PDP) and the future commercialization of the innovative product. Based on this statement, the questionnaire was divided into two fronts:

- 1. Issues related to the development of innovative products and their risks;**
- 2. Issues related to the commercialization of innovative products and their risks.**

1. Issues related to the development of innovative products and their risks

1.1 In this study, it is assumed that during the period of the innovative product development project, the entries of the cash flow would always be negative, since only costs occur in this phase. Do you agree with this statement? If not, why?

1.2.1 The first phase, the development of the innovative product, was divided into two parts: 1- Labor costs; 2- Capital costs. In the first part, all costs of the people internal to the organization were considered. This investment is calculated by the cost of each person and the time spent by each person on the PDP. Further the schedule risk (PDP delay) was considered as well as the technological risk, which may result in a higher probability of a delay in the schedule. In the second part, the costs associated with facilities and equipment needed for the product development and the possible prototype were considered. Based on what was described above, what is your opinion on this way to divide the costs?

1.2.2 Do you believe that this division covers all costs related to the PDP process? If not, what costs are missing? (Obs.: For a better understanding, the framework (Figura 2 do apêndice) illustrates the division described in this issue)

Figura 2 do apêndice: Development Framework

Fonte: elaboração própria

- 1.3 You believe it is possible to estimate the total costs for the development of an innovative product, before starting the project? If so, how accurately? What factors influence this estimate?
- 1.4 If you answered no to the previous question, cite the main reasons that turn an accurate estimate of the costs required for a PDP invalid.
- 1.5 Do you think the use of the WBS technique or a PERT network to estimate the schedule risk, the total labor costs and the technological risk, is a valid method? If yes, do you believe that it is possible to estimate all the activities, and their durations, present in a development project of an innovative product?

-
- 1.6 If you answered no to the previous question, cite the main reasons that invalidate an estimate of the schedule risk, the total labor costs and the technological risk in a PDP.
 - 1.7 In your view, which of the costs in the Framework represents the largest expense and which possess the greatest risk? Please justify

2 Issues related to the commercialization of innovative products and their risks

- 2.1 In this study, it is considered that in order to create the cash flow of the commercialization phase it is necessary to calculate the investments related to the production facilities, sales revenues and the operation costs. Do you agree with this division? Do you have any suggestions / additions to this division?
- 2.2 The investments related to the commercialization process include investments in production facilities, workforce training, distribution and sales channels and a possible standardization (of quality). These were considered as continuous, since the entire commercialization process is an estimate for the future. Do you agree with this statement? If not, why? And what factors influence this estimate?
 - 2.2.1 It is known that the revenues of a product - innovative or not - are functions of the price and the demand. Based on this statement, answer: Do you believe it to be possible to estimate the future demand of an innovative product? If so, how accurately? What factors influence this estimate?
 - 2.2.2 Do you believe that it is possible to estimate the price the market would be willing to pay for an innovative product? If so, how accurately? What factors influence this estimate?
- 2.3 Commercialization costs
 - In the present study, it is considered that the costs of an innovative product can be divided between production and expenditure costs. Production costs were divided between direct and indirect, while the expenses only include marketing expenses. Do you agree with this division? Do you have any suggestions / additions to this division?
 - For the apportionment of the indirect costs, the use of the ABC costing method was considered. What do you think of this method? Any suggestions for some other method more effective?
- 2.4 Planning Horizon

- You believe that it is possible to estimate the total planning horizon of a development project and the commercialization of an innovative product? If so, how accurately? What factors influence this estimate?
3. Please specify with which types of projects you had/have contact, on which you based your answers (project type, technological level/ degree of innovation, industry, duration, time horizon, success).
- 3.1 Is there some variable missing that influences in the phases of development and commercialization of an innovative product that was not mentioned in the framework? If so, which? Please justify.
- 3.2 Considering the parameterization of the determinant variables of an innovative product project represented in the framework, what are the main variables that have the greatest influence (in a rank from 1 to 5, with 1 being the most important) in innovation projects of your experience?