

**Leonardo Rodrigues Tavares**

Seleção e financiamento de alternativas para o  
desenvolvimento e comercialização de um portfólio  
de novas tecnologias

Departamento de Engenharia de Produção  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
Março de 2011

**Leonardo Rodrigues Tavares**

**Seleção e financiamento de alternativas para o desenvolvimento e comercialização de um portfólio de novas tecnologias**

Dissertação submetida ao curso de Mestrado em Engenharia de Produção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Ph.D. Leonardo Pereira Santiago,  
Departamento de Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Minas Gerais

Departamento de Engenharia de Produção – Escola de Engenharia  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
Março de 2011

## **Agradecimentos**

Agradeço à vida pela oportunidade de conhecer e me relacionar com verdadeiras pessoas, que me inspiram e me incentivam.

Ao Professor Leonardo, verdadeiro mestre, pela confiança, incentivo e ensinamentos que me acompanham desde a graduação.

Ao Nanayoski e à Áurea, verdadeiros pais, pelo amor, dedicação e incentivos.

Ao Rodrigo e ao Simão, verdadeiros irmãos, pessoas que amo e admiro.

Ao Camilo, verdadeiro líder, pela paciência e amizade. Amigo de muitas batalhas.

Ao Roney, verdadeiro companheiro, pelo apoio e amizade. Também amigo de muitas batalhas.

Ao Caio, verdadeiro colega, esteve ao meu lado durante todo esse percurso.

Ao Thiago dos Mares Guia e à Professora Mari Sogayar, verdadeiros empreendedores da ciência.

À Universidade Federal de Minas Gerais, verdadeira escola, pela oportunidade de estudar e aprofundar os meus conhecimentos.

## Resumo

Tavares, Leonardo R. **Seleção e financiamento de alternativas para o desenvolvimento e comercialização de um portfólio de novas tecnologias.** Belo Horizonte, março/2011. 97p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais.

A seleção de um portfólio de desenvolvimento de novos produtos é um dos processos direcionadores do sucesso de médio e longo prazo de grande parte das organizações. Apesar de muitos estudos já terem investigado o tema, a sua complexidade e a falta de uma abordagem predominante, fazem com que os gestores ainda recorram às heurísticas para suportarem as suas decisões. Essa dissertação se insere neste contexto, ao investigar a seleção e o financiamento de alternativas durante o processo de formação de um portfólio de P&D. Nesse trabalho, o processo de P&D é dividido em duas fases distintas, sendo elas a fase de desenvolvimento e a fase de comercialização que, portanto, devem ser gerenciadas de forma diferente. A distinção feita entre as duas fases se deve às suas especificidades, dentre elas as diferentes restrições de orçamento e a assimetria de informações. Em particular, duas regras de decisão são analisadas para a escolha dos produtos que devem ser financiados no estágio de desenvolvimento para maximizar a utilidade da fase de comercialização. O modelo é ilustrado por meio de um exemplo numérico relacionado a uma empresa de biotecnologia.

**PALAVRAS CHAVE:** *Gestão de Portfólio, Desenvolvimento de Novos Produtos, Teoria da Utilidade, Teoria do Valor Extremo.*

## Abstract

Tavares, Leonardo R. **Selecting and financing alternatives for the development and commercialization of a portfolio of new technologies.** Belo Horizonte, March 2011. 97p. MSc. Thesis – Production Engineering Department, Federal University of Minas Gerais.

*The R&D portfolio selection is one of the key drivers of the medium and long term success of most companies. Several studies have already discussed the factors that influence the project selection and budget allocation, and also how the projects should be managed in order to achieve better results. However, considering the complexity of the problem and the lack of a prevalent approach to it, many managers still rely on heuristics to support their decision process. The present work aims to discuss the selection and funding of alternatives during the process of forming a R&D portfolio. It is taken into account the fact that the development and commercialization phases are distinct and, therefore, should be managed appropriately as far as budget implications and information availability are concerned. Two decisions rules are analyzed for choosing products that must be funded in the development stage to maximize the utility of the commercialization stage. The approach is illustrated with a numerical example related with the biotechnology industry.*

**Key words: Portfolio management, New Product Development, Utility Theory, Extreme Value Theory and heuristics**

# Sumário

<b>1. Introdução</b> .....	11
1.1. Considerações Iniciais .....	11
1.2. Definição do Problema e objetivos.....	13
1.3. Organização do Trabalho .....	14
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	15
2.1. O Gerenciamento de Portfólio de Desenvolvimento de Novos Produtos .....	15
2.1.1. Limitações da Literatura Existente e Posicionamento do Trabalho .....	22
2.2. Seleção de portfólio na fase de desenvolvimento.....	29
2.3. Seleção de portfólio da fase de comercialização .....	40
2.3.1. Teoria do Portfólio da Média-variância .....	41
2.3.2. Teoria da Utilidade .....	48
2.3.2.1. Aversão ao risco.....	51
<b>3. Formulação Matemática</b> .....	59
3.1. Primeiro Estágio .....	60
3.2. Segundo Estágio .....	63
<b>4. Aplicação do Modelo em uma Empresa de Biotecnologia</b> .....	67
4.1. Caracterização da Empresa e do Mercado .....	67
4.2. Caracterização do Portfólio de Desenvolvimento de Novos Produtos .....	69
4.3. Caracterização do Processo de Desenvolvimento .....	72
4.4. Aplicação do Modelo.....	76
4.4.1. Fase de Desenvolvimento .....	77
4.4.2. Fase de Comercialização.....	78
4.5. Resultados .....	79
4.5.1. Fase de Comercialização.....	79
4.5.1.1. Função exponencial .....	80
4.5.1.2. Função quadrática.....	82
4.5.2. Fase de Desenvolvimento .....	84
4.5.2.1. Escolha da melhor alternativa .....	85
4.5.2.2. Escolha da alternativa média .....	86
<b>5. Conclusão</b> .....	88
<b>6. Bibliografia</b> .....	92

## Lista de Figuras

**Figura 01:** Gráfico de Bolhas – Risco x Retorno – Adaptado de Cooper *et al.* (1998)

**Figura 02:** Um exemplo de *strategic buckets* – Adaptado de Chao e Kavadias (2008)

**Figura 03:** Principais diferenças entre as fases de desenvolvimento e comercialização – Adaptado de Santiago e Vakili (2009)

**Figura 04:** O foco do gerenciamento do risco na formação de um portfólio de P&D – Adaptado de Santiago e Vakili (2009)

**Figura 05:** Um modelo de *Stage-Gate* – Adaptado de Cooper *et al.* (1998)

**Figura 06:** Estruturação de um fluxo de projetos para desenvolvimento de novos produtos – Adaptado de Ding e Eliashberg (2002)

**Figura 07:** Os quatro fatores relacionados à performance do processo de geração de idéias – Adaptado de Girotra *et al.* (2010)

**Figura 08:** Gráfico das densidades das três distribuições de Valor Extremo ( $\mu = 0$ ,  $\sigma^2 = 1$ ) – Adaptado de Dahan e Mendelson (2001)

**Figura 09:** Curva de performance comparativa entre os grupos de trabalho e o trabalho individual – Adaptado de Kavadias e Sommer (2009)

**Figura 10:** Combinação de dois ativos

**Figura 11:** Retornos e riscos para os diferentes portfólios – Adaptado de Markowitz (1952)

**Figura 12:** O efeito do ativo livre de risco

**Figura 13:** Retorno esperado e risco quando um ativo livre de risco é permitido

**Figura 14:** Investidor neutro ao risco

**Figura 15:** Investidor propenso ao risco

**Figura 16:** Investidor avesso ao risco

**Figura 17:** Certeza Equivalente

**Figura 18:** A função utilidade quadrática

**Figura 19:** O transplante de ilhotas – Material cedido pela Empresa X

**Figura 20:** O uso de ilhotas celulares encapsuladas – Material cedido pela Empresa X

**Figura 21:** Dispositivo para implantação de ilhotas celulares encapsuladas – Material cedido pela Empresa X

**Figura 22:** Processo de desenvolvimento de medicamentos – Adaptado de Girotra *et al.* (2007)



## Lista de Tabelas

**Tabela 01:** Características das decisões de acordo com a unidade de análise – Adaptado de Kavadias e Chao (2007)

**Tabela 02:** Exemplo de *Scoring Model* – Adaptado de Cooper *et al.* (1998)

**Tabela 03:** Aversão ao risco absoluta

**Tabela 04:** Funções Utilidade – Aversão ao risco absoluta

**Tabela 05:** Aversão ao risco relativa

**Tabela 06:** Funções Utilidade – Aversão ao risco relativa

**Tabela 07:** Portfólio de produtos da Empresa X

**Tabela 08:** Resultados da fase de comercialização para uma utilidade exponencial com  $m_a = 1$

**Tabela 09:** Resultados da fase de comercialização para uma utilidade exponencial com  $m_a = 3$

**Tabela 10:** Resultados da fase de comercialização para uma utilidade quadrática com  $m_a = 1,0$

**Tabela 11:** Resultados da fase de comercialização para uma utilidade quadrática com  $m_a = 1,5$

**Tabela 12:** Resultados do segundo estágio para diferentes funções utilidade

**Tabela 13:** Resultado da fase de desenvolvimento considerando a escolha da melhor alternativa

**Tabela 14:** Resultado da fase de desenvolvimento considerando a escolha da alternativa média

**Tabela 15:** Comparação entre as diferentes regras de decisão do primeiro estágio

## Lista de Equações

**Equação 01:** Probabilidade de ocorrência de uma saída  $i$  da fase de desenvolvimento

**Equação 02:** Função objetivo da fase de desenvolvimento

**Equação 03:** Função utilidade quadrática da fase de comercialização

**Equação 04:** Índice de Sharpe

**Equação 05:** Retorno esperado do portfólio

**Equação 06:** Variância do portfólio

**Equação 07:** Função objetivo da fase de comercialização utilizando a utilidade quadrática

**Equação 08:** Função utilidade exponencial da fase de comercialização

**Equação 09:** Função objetivo da fase de comercialização utilizando a utilidade exponencial

## **1. Introdução**

### **1.1. Considerações Iniciais**

Em um contexto em que o desenvolvimento de novos produtos praticamente determina a estratégia de médio e longo prazo de uma empresa, a formação de um portfólio de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), ou seja, de opções, torna-se um fator importante para a sobrevivência e sucesso de uma companhia.

Contudo, o processo de tomada de decisão no desenvolvimento de novos produtos está permeado de incertezas. Não se sabe, antecipadamente, por mais que técnicas avançadas de pesquisa e marketing sejam utilizadas, qual o sucesso e aceitação que esse produto terá do mercado. Além dessa incerteza, o processo de desenvolvimento de um novo produto também pode se deparar com problemas de viabilidade técnica e/ou produtiva, da relação que seu desempenho de mercado tem com outros produtos em desenvolvimento e mesmo, se este produto está alinhado à estratégia da companhia.

Sendo assim, uma motivação central para a formação de um portfólio de projetos de desenvolvimento de novos produtos é a diversificação do risco, baseada na maximização do valor do portfólio – medido, por exemplo, por sua taxa esperada de retorno – e na minimização do seu risco, ou seja, na redução da variância da taxa esperada de retorno (Santiago e Vakili, 2005 e 2009).

Aliado à sua importância, a complexidade do problema de formação e gerenciamento de um portfólio de P&D e a sua clara relevância gerencial levaram muitos pesquisadores e estudiosos a investigarem o assunto. Técnicas de programação matemática e de pesquisa operacional e seus diferentes métodos foram e são empregadas para tratar o problema e subsidiar os tomadores de decisão. Entretanto, os modelos desenvolvidos têm sido pouco adotados na prática pelos gestores devido à sua complexidade (Loch e Kavadias, (2002)), fazendo com que as heurísticas ainda sejam muito comuns

e bastante utilizadas no dia-a-dia na tomada de decisão gerencial (Gino e Pisano, 2006).

A utilização de heurísticas é motivada, em parte, pelo conceito da racionalidade limitada (*bounded rationality*). Esse conceito foi proposto inicialmente por Simon (1957) e está baseado no fato de que a racionalidade dos indivíduos é limitada pelas informações que eles têm no momento, pelas suas limitações cognitivas e pelo tempo finito para a tomada de decisão. Isso faz com que os tomadores de decisão, por não terem habilidades e recursos para chegar a uma decisão ótima, simplifiquem as opções disponíveis e escolham, de modo satisfatório, uma delas.

Devinney e Stewart (1988) listaram importantes diferenças entre a gestão de portfólio para o investimento em ativos financeiros e para o investimento no desenvolvimento de novos produtos, entretanto, Santiago e Vakili (2005 e 2009) afirmaram que, com algum cuidado, os investimentos em novos produtos podem ser analisados utilizando-se abordagens de gerenciamento de risco. Para isso, esses autores propuseram a separação do problema em duas fases, sendo elas a fase de pesquisa e desenvolvimento e a fase de comercialização do produto. De acordo com os autores, essas fases possuem características diferentes e quando tratadas separadamente, os tomadores de decisão podem melhorar a seleção e o gerenciamento do risco do portfólio.

A separação do problema em duas fases permite que as especificidades de cada uma delas possam ser tratadas de forma distinta. Na fase da comercialização, o problema passa a ser como alocar recursos nos produtos que podem ser lançados. Esses produtos são caracterizados por uma taxa de retorno esperada e por uma variância relacionada à incerteza do mercado. A relação de dependência entre os diferentes produtos pode ser tratada por uma matriz de correlação. Dessa forma, essa fase do problema se assemelha a um problema de alocação de recursos financeiros em um portfólio de investimentos. Já na fase de desenvolvimento o objetivo é gerar um conjunto de produtos que possam ser lançadas no mercado. A expansão das opções de investimento aumenta o valor do portfólio na fase de comercialização.

## 1.2. Definição do Problema e objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral investigar a seleção e o financiamento de alternativas para o desenvolvimento e comercialização de um portfólio de novas tecnologias.

Para isso considera-se um processo dividido em duas fases: a fase de desenvolvimento e a fase de comercialização. Cada linha de produto a ser desenvolvida possui um número de alternativas de desenvolvimento. Na fase de desenvolvimento, o gestor pode gerar um determinado número de alternativas, cada uma delas com uma determinada probabilidade de sucesso, para o desenvolvimento de cada produto. Dessa forma ele tem que definir a alocação de recursos como forma de escolher quantas alternativas de cada produto serão geradas para maximizar a utilidade esperada do portfólio na fase de comercialização, baseado em um custo de desenvolvimento de cada alternativa e uma probabilidade de sucesso da alternativa na fase de desenvolvimento.

São investigadas duas regras de decisão, uma em que se escolhe a melhor alternativa de cada produto  $i$ , de forma a maximizar a probabilidade de sucesso do produto  $i$ , ou a alternativa de qualidade média. Já na fase de comercialização, o gestor busca minimizar o seu risco e maximizar o seu retorno, por meio da alocação dos recursos de comercialização nos diferentes produtos gerados pela fase de desenvolvimento, que são caracterizados por um retorno esperado e seu desvio padrão.

Outro objetivo específico é a aplicação de duas diferentes formas de aversão ao risco. Para tal, consideramos duas diferentes funções utilidades: uma que considera a aversão a apenas eventos adversos, ou seja, que possuam um retorno menor que o retorno esperado e outra que penaliza simetricamente o desvio para mais e para menos do valor esperado.

### **1.3. Organização do Trabalho**

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: na seção 2 é feita uma revisão bibliográfica sobre o tema. Essa revisão considera em um primeiro momento a literatura geral relacionada à gestão de portfólio de projetos de P&D. Em seguida são discutidas as estratégias e metodologias comumente utilizadas nas fases de desenvolvimento e de comercialização de novos produtos. Na seção 3 é apresentada a formulação matemática do problema discutido. Na seção 4 ilustramos nossa abordagem, por meio de um exemplo numérico que reflete à indústria de biotecnologia e os resultados são discutidos cuidadosamente. Por fim, na seção 5, são apresentadas as conclusões, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. O Gerenciamento de Portfólio de Desenvolvimento de Novos Produtos

Devido à importância do tema, a literatura referente à alocação de recurso e seleção de projetos de P&D é bastante extensa e diversificada. Os autores a categorizam de diferentes formas. Para Kavadias e Chao (2007) existem duas dimensões: a unidade de análise, ou nível organizacional no qual a decisão é tomada, e o tempo de decisão. Outra categorização agrupa a literatura em abordagens quantitativas e abordagens qualitativas baseadas em ferramentas visuais como diagramas e gráficos, Santiago (2008).

Para Kavadias e Chao (2007), o tempo de decisão é caracterizado como sendo estático ou dinâmico. Já a unidade de análise pode ser dividida em três níveis: o nível da empresa (estratégico), os programas (tático) e o projeto (operacional). A tabela 01 abaixo ilustra as características das decisões de cada um desses níveis.

**Tabela 01:** Características das decisões de acordo com a unidade de análise – Adaptado de Kavadias e Chao (2007)

<b>Unidade de Análise</b>	<b>Desafios da Decisão</b>
Empresa (estratégico)	- A performance é complexa e desconhecida; - Flexibilidade de recursos; - Inovação = distância e direção.
Programas de Desenvolvimento de Novos Produtos (tático)	- Performance = potencial dissociado; - Restrições de orçamento; - Inovação = valor do programa e risco.
Projeto (operacional)	- Performance fixa; - Recursos inflexíveis; - Inovação = mudança de atributos.

#### **Nível Estratégico:**

A maioria dos trabalhos que trata o problema do portfólio de P&D concentra-se nas decisões do nível tático e somente uma parte pequena desses trabalhos considera o nível estratégico. No nível estratégico, as decisões envolvem diversas dimensões e variáveis como os mercados alvos, as tecnologias a



serem adotadas, as estratégias da companhia, a concorrência, dentre outras. As interações e interdependências entre essas variáveis são complexas, pois o gestor ainda não tem um conjunto de informações precisas que permitem otimizar a decisão. Sendo assim, para Kavadias e Chao (2007), a literatura no nível estratégico foi largamente desenvolvida pelos estudos das melhores práticas adotadas pelas empresas. A maior parte desses estudos confirma a tendência geral de que os gestores preferem complementar a sua avaliação financeira dos projetos com ferramentas *ad hoc*.

Algumas das principais ferramentas qualitativas utilizadas no nível estratégico são:

- a) Scoring Models: os projetos são avaliados de acordo com um conjunto de critérios e seus respectivos pesos. A partir daí eles são ranqueados e os *n* melhores projetos são selecionados. Cooper *et al.* (1998) citou um exemplo de aplicação de *scoring model* na Hoechst US e observou que o fator mais importante no uso dessa ferramenta é a escolha dos critérios de avaliação. A tabela 02 ilustra um exemplo de *scoring model* proposto por Cooper *et al.* (1998);
- b) Diagrama de bolhas: nesses diagramas os projetos são avaliados, geralmente, de acordo com o seu risco e o potencial de retorno. Os diagramas são muito utilizados na prática (Cooper *et al.* (1997), Roussel *et al.* (1991)) e ainda permitem a visualização de outras características dos projetos, como o valor a ser investido em cada um (que pode ser representado pelo tamanho da bolha) e o mercado onde cada projeto vai atuar (representado pela cor da bolha). Com o diagrama o gestor tem uma representação gráfica do conjunto de projetos e pode visualizar o que pode ser feito para balancear o *mix*. Ver figura 01;
- c) Strategic buckets<sup>1</sup>: o uso dessa técnica tem como objetivo central o balanceamento da alocação de recursos por meio da divisão do orçamento.

---

<sup>1</sup> *Strategic Buckets*, também conhecido como Cestas Estratégicas, seriam subconjuntos ou subdivisões do orçamento.

A partir daí os projetos são classificados em cada sub-orçamento. Em seguida eles são avaliados (pode se usar o *scoring model*) e os melhores de cada *bucket* são escolhidos. A figura 02 a seguir ilustra o conceito.

Um estudo de Chao e Kavadias (2008) explora o uso dos *strategic buckets* para a gestão de desenvolvimento de novos produtos. A pesquisa mostra que o tamanho ótimo de cada *bucket* depende da complexidade do ambiente de negócios da empresa (definido como o número de interdependências desconhecidas dos parâmetros tecnológicos e mercadológicos que afetam a performance do produto – *i.e.* quanto mais interdependências houverem entre determinadas características de um produto, maior a complexidade do ambiente de negócio da empresa). Dessa forma, quando a complexidade aumenta, os portfólios que possuem programas revolucionários apresentam melhores performances.

São exploradas no texto também, duas condições que criam a necessidade de balanceamento do portfólio de Desenvolvimento de Novos Produtos (DNP): a intensidade de competição (definida como a probabilidade de falência da empresa) e a instabilidade do ambiente de negócios (definido como a probabilidade de mudanças na função de performance. Essa performance pode estar ligada, por exemplo, com as preferências do consumidor. Quando ele tende a mudar constantemente suas preferências, a instabilidade do ambiente é maior). Quanto maior a intensidade de competição e a instabilidade do ambiente, maior a necessidade de balanceamento do portfólio.

Tabela 02: Exemplo de *Scoring Model* – Adaptado de Cooper *et al.* (1998)

Cat	N°	Critérios	Escala				Nota	Comentários
			1	4	7	10		
Probabilidade de Sucesso Técnico	1	Evolução Tecnológica	Grande diferença tecnológica entre a prática atual e a necessária. Demanda nova tecnologia	Mudança proposta na "Ordem de Grandeza"	Pequenas mudanças descontínuas na "Ordem de Grandeza"	Melhoria incremental, foco em engenharia		
	2	Complexidade do Programa	Dificuldade para definir, muitos obstáculos	Fácil para definir, muitos obstáculos	Um desafio, porém, realizável	Vá em frente		
	3	Base Tecnológica Necessária	Nova tecnologia para a organização (quase) nenhuma habilidade	Alguma experiência de P & D mas provavelmente insuficiente	Praticado seletivamente na organização	Largamente praticado na organização		
	4	Disponibilidade das Pessoas e dos Recursos	Sem pessoal/instalações apropriadas; necessidade de contratações / construções	Conhecimento superficial em áreas chave	Recursos disponíveis, porém comprometidos, necessidade de planejamento atencioso	Pessoas / instalações disponíveis imediatamente		
Probabilidade de Sucesso Comercial	5	Necessidade do Mercado	Extensiva necessidade de desenvolvimento do mercado, sem demanda aparente	Demanda precisa ser destacada para os clientes, formatação do produto necessária	Relação clara entre produto e demanda, sem diferenciação entre produtos dos competidores	Produto apresenta resposta imediata à necessidade dos clientes; substituto direto de produto existente da organização		
	6	Maturidade do Mercado	Declinando	Maduro / embrionário	Crescimento moderado	Crescimento rápido		
	7	Intensidade da Competição	Alta	Moderado / alto	Moderado / baixo	Baixo		
	8	Habilidades Comerciais Necessárias	Devem ser desenvolvidas, novas para a organização	Devem ser desenvolvidas além do que existem hoje (limitadas)	Devem ser ajustadas para o programa proposto	Já existentes		
	9	Suposições Comerciais	Baixa probabilidade / baixo impacto	Baixa previsibilidade / baixo impacto	Alta probabilidade / alto impacto	Alta previsibilidade / alto impacto		
	10	Impacto Social/Regulatório	Negativo	Neutro	Relativamente favorável (Ex. redução de dejetos, redução de materiais tóxicos no processo)	Impacto positivo em aspectos importantes (Ex. reciclagem de plástico)		
Retorno	11	VPL	< \$10 milhões	\$50 milhões	\$150 milhões	> \$250 milhões		
	12	Payback	> 10 anos	7 anos	5 anos	< 3 anos		
	13	Tempo para o Início da Comercialização	> 7 anos	5 anos	3 anos	< 1 ano		
Alinhamento Estratégico	14	Congruência	Somente relação periférica com as estratégias de negócio	Modesta relação, porém sem um fator chave da estratégia	Boa relação com um fator chave da estratégia	Forte relação com vários fatores chave da estratégia		
	15	Impacto	Impacto mínimo, sem percepção de danos se o programa for abandonado	Impacto competitivo e financeiro moderado	Impacto significativo; dificuldade de recuperação caso o programa falhe ou seja abandonado	O futuro da unidade de negócio depende do programa		
Avançagem Estratégica	16	Posição do Projeto	Facilmente copiado	Protegido porém não dissuasivo	Bem protegido com patentes, segredos comerciais; atende clientes cativo	Posição protegida por meio de patentes, segredos comerciais, acesso a matéria prima e etc.		
	17	Possibilidade de derivação da Plataforma	Inexistente / única	Outras oportunidades para expansão de mercado	Potencial para diversificação	Abre novos campos técnicos e comerciais		
	18	Durabilidade (Técnica e de Mercado)	Sem vantagem diferencial; rapidamente superado	Pode ter uns bons poucos anos	Ciclo de vida moderado (4-6 anos) mas pequenas oportunidades para melhorias incrementais	Ciclo de vida longo com oportunidades de melhorias incrementais		
	19	Sinergia com outras Operações da Empresa	Limitada a uma única unidade de negócio	Com trabalho, poderia ser aplicada a outra unidade de negócio	Pode ser adotada ou ter aplicação entre várias unidades de negócio	Pode ser aplicada largamente entre a organização		

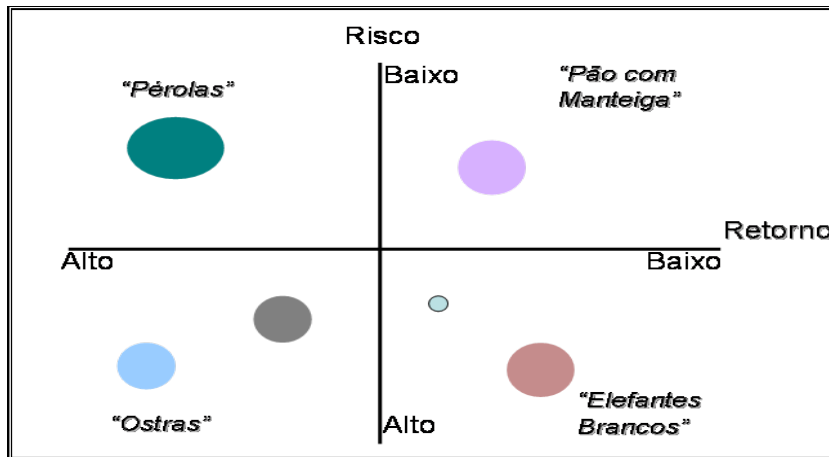


Figura 01: Gráfico de Bolhas – Risco x Retorno – Adaptado de Cooper *et al.* (1998)

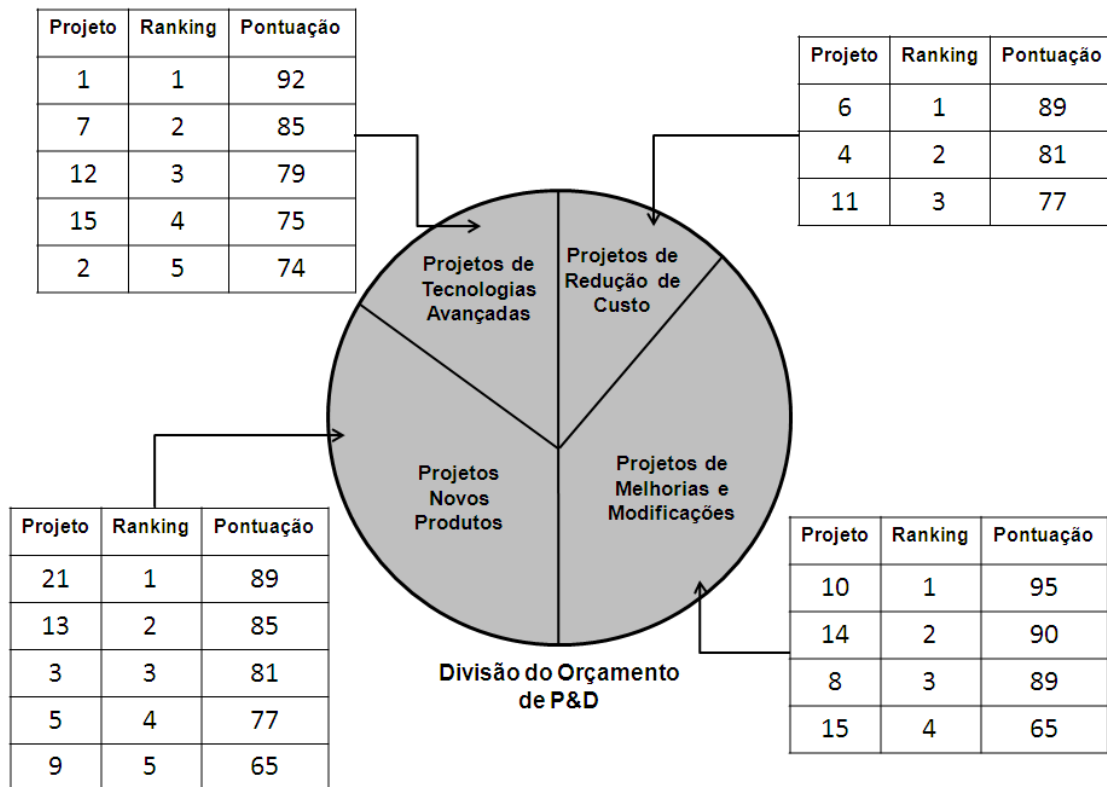


Figura 02: Um exemplo de *strategic buckets* – Adaptado de Chao e Kavadias (2008)

### **Nível Tático:**

No nível tático, muitas das dimensões e variáveis discutidas acima (por exemplo, os mercados alvos) já estão mais claras. A partir de um objetivo de mercado, a equipe de desenvolvimento utiliza uma estratégia de pesquisa e busca para encontrar as soluções e alternativas para atender àquele determinado mercado. Portanto, o gestor de DNP tem um desafio de alcançar um retorno específico na curva de investimento, onde a magnitude da mudança de desempenho é positivamente correlacionada com o grau de inovação da alternativa, mas negativamente correlacionada com o risco do empreendimento.

Eventualmente, o gerente do programa DNP deve escolher como investir um orçamento específico (por isso a disponibilidade de recursos começa a se tornar um problema) em projetos com retornos e perfis de risco potencialmente diferentes. Loch e Kavadias (2002) desenvolveram um modelo dinâmico de alocação de recursos. Eles partiram do pressuposto que no nível tático, a alta administração da empresa não discute as características de cada um dos projetos em análise e sim, aloca recursos para diferentes linhas de produtos. Sendo assim, o investimento em programas de desenvolvimento de produtos não possui decisões do tipo “tudo ou nada”. Essas decisões podem ser ajustadas com o passar do tempo, *i.e.*, a alocação de recursos pode aumentar ou diminuir para uma determinada linha de produtos em um determinado momento de tomada de decisão, aumentando ou diminuindo o benefício esperado dessa linha (o benefício nesse caso pode ser, por exemplo, a qualidade que essa linha terá).

Dessa forma, eles usaram a análise marginal mostrando que o investimento deve seguir a lógica de que o próximo dólar deve ser alocado no programa ou projeto com o maior benefício marginal (isto é, o maior benefício para o período da decisão e para os períodos subsequentes). O modelo inclui múltiplos períodos, múltiplas linhas de produtos que se interagem na disputa por recursos comuns, retornos incertos e interações que as diferentes linhas podem ter entre diferentes mercados.

## Nível Operacional:

O outro tópico apresentado por Kavadias e Chao (2007) é a seleção de projetos de DNP (Desenvolvimento de Novos Produtos) no nível operacional. As decisões tomadas nesse nível partem de um orçamento fixo (restrição forte) a ser alocado nos projetos. O fato de um único projeto possuir um conjunto menor de características de performance implica em uma redução da complexidade do problema, resultando na necessidade de se ter dados e informações mais precisas de cada projeto.

Na literatura alguns modelos orientados por indicadores financeiros são utilizados como o VPL (Valor Presente Líquido) e o Ponto de Equilíbrio (Cooper *et al.*, 1998). Cada projeto recebe o seu índice (financeiro) e em seguida eles são ranqueados. Os  $n$  melhores projetos são selecionados. Entretanto, a limitação desses métodos é que nem sempre a sua saída é ótima<sup>2</sup>.

A seleção de projetos é tratada, predominantemente, por duas maneiras diferentes: ou de acordo com o “problema da mochila” (*knapsack problem*<sup>3</sup>), ou como a alocação dinâmica de recursos (*dynamic scheduling literature*).

A primeira vertente utiliza diferentes modelos de programação matemática baseados em Pesquisa Operacional (PO) usando variáveis inteiras/mistas para a solução (e.g., Beaujon, Marin e McDonald, 2001; Dickinson, Thornton e Graves (2001); Loch *et al.* (2001); Stummer e Heidenberger (2003)). A otimização do problema usando tais técnicas é muito utilizada em problemas específicos, mas (i) sua complexidade, (ii) a dificuldade de aplicar o mesmo modelo para problemas de seleção com características diferentes e (iii) sua natureza estática (isto é, os modelos não consideram a possibilidade de

---

<sup>2</sup> Um simples exemplo apresentado por Kavadias e Chao (2007) mostra isso: considere dois projetos com custos  $c_1$  e  $c_2$  onde  $c_1 + c_2 > B$ .  $B$  é o orçamento.  $c_1 < c_2$  e  $R_1/c_1 >> R_2/c_2$ , onde  $R_i$  é o faturamento de cada projeto. Observe que, do ponto de vista do Retorno sobre o investimento, o projeto 1 é melhor, mas eventualmente o 2 é escolhido.

<sup>3</sup> O problema da mochila é um problema de otimização combinatória. O nome representa um tipo de problema onde se faz necessário preencher uma mochila com objetos de diferentes pesos e valores. O objetivo é preencher a mochila com o maior valor possível, não ultrapassando a sua capacidade máxima (restrição).

abandonar um projeto durante o desenvolvimento e/ou não consideram que os projetos têm tempo de início e/ou final diferentes) não a tornaram “popular”, tendo em vista o não conhecimento por parte dos gestores das técnicas de PO: (Loch *et al.* (2001), Kavadias e Chao (2007), Cabral-Cardoso e Payne (1996), Gupta e Mandakovic (1992)).

Na segunda vertente, a alocação dinâmica de recursos, os tomadores de decisão exploram a criação de políticas ótimas para selecionar portfólios, em detrimento de soluções ótimas via algoritmos. Parâmetros estocásticos são comumente utilizados para caracterizar a natureza incerta dos projetos. Por exemplo, Keisler (2004) discute o valor da informação nas decisões de portfólio. Para isso, ele propõe um modelo que utiliza quatro diferentes estratégias para gerenciar o portfólio. Essas estratégias se diferenciam pelo uso das informações relevantes: de uma estratégia de “valor-mínimo”, onde os recursos são alocados sem o uso de informações relevantes (financiamento aleatório), até a estratégia de “valor-máximo”, onde os projetos são priorizados por meio do uso de informações perfeitas (resolve-se a incerteza, depois prioriza-se). Ele concluiu que, embora não muito robusta, em alguns casos, o uso de abordagens intermediárias, como a utilização de regras de triagem para selecionar quais projetos serão analisados, são muito úteis. Outros exemplos incluem o seqüenciamento apropriado de projetos (*e.g.*, Granot e Zuckerman (1991); Kavadias e Loch (2003)).

### **2.1.1. Limitações da Literatura Existente e Posicionamento do Trabalho**

Ulrich e Shane (2004) alegam que embora vários estudos abordem o tema de gestão de portfólio, a maior parte da literatura não tem uma aplicação prática e apenas poucos artigos trazem abordagens empíricas. Além disso, alguns estudos apresentam limitações como a incapacidade de capturar a natureza dinâmica do processo de tomada de decisão e as informações tácitas disponíveis para os gestores. Outra crítica sobre modelos de programação matemática é que muitas abordagens ao problema de portfólio oferecem soluções “*black box*”, que, de maneira geral, não são muito intuitivas (Santiago e Vakili (2005)).

O presente trabalho posiciona-se no nível estratégico proposto por Kavadias e Chao (2007) e, apesar das limitações citadas acima, alguns estudos procuram superá-las e, em certo sentido, estão mais estreitamente relacionados com a nossa abordagem. Por exemplo, pode-se citar Gino e Pisano (2006), Devinney e Stewart (1988) e Santiago e Vakili (2005 e 2009).

Gino e Pisano (2006) apresentam um modelo que mostra como as flutuações na performance dos projetos são influenciadas pelos processos de tomada de decisão no gerenciamento do portfólio de P&D. Em particular, estudam o impacto causado por dois tipos básicos de heurística: as heurísticas para priorização da alocação de recursos e as heurísticas de terminação de projetos.

As heurísticas na priorização de recursos são divididas em dois tipos básicos direcionadas pelo foco na exploração ou prospecção. Quando uma empresa é focada na prospecção ela tende a financiar projetos que estão nos estágios finais de desenvolvimento e quando estas são focadas na exploração, dedicam seus recursos aos projetos que estão nas fases iniciais.

Já a terminação de projetos é um tema difícil por diversas razões que vão desde a tendência natural das pessoas em procrastinar as decisões e da inércia empresarial até as repercussões que as terminações causam no laboratório. A decisão de terminar um projeto também pode desmoralizar os gestores e a equipe envolvida e aumentar a preocupação com a segurança do emprego (Balachandra *et al.*, 1996). Por essas razões os gestores adiam as decisões de terminar um projeto mesmo que isso impacte na utilização de recursos que poderiam ser melhor aproveitados em projetos com maior potencial. Assim, o modelo apresentado por Gino e Pisano (2006) divide essa heurística em dois tipos básicos: aquele onde a empresa é impaciente e termina um determinado projeto rapidamente no processo de desenvolvimento – Heurística de Terminação Recente – e aquele onde a empresa tende a procrastinar essa decisão – Heurística de Terminação Tardia.



Gino e Pisano (2006) testaram as duas heurísticas em um exemplo numérico aplicado à indústria farmacêutica. Os resultados mostraram que tanto a heurística de priorização de recursos baseada na prospecção, quanto a heurística de terminação recente dos projetos apresentaram melhores resultados, aumentando o número de projetos bem sucedidos no processo de desenvolvimento e diminuindo a volatilidade desse número de projetos.

Devinney e Stewart (1988) apresentaram um modelo geral para tratar o problema de portfólio de produtos baseado nos fatores que determinam o retorno e o risco do portfólio.

Segundo os autores, partindo da premissa que o investimento em produtos é um investimento como outro qualquer, muitos pesquisadores adotaram técnicas utilizadas no mercado financeiro, como o CAPM (*Capital Asset Pricing Model*), para tratar o problema de portfólio de produtos. Entretanto tais técnicas não apresentaram resultados plenamente satisfatórios, pois a estrutura do investimento em produtos pela empresa é muito diferente do investimento no mercado de capitais. Sendo assim as características do risco e do retorno dos produtos se diferenciam das características dos ativos financeiros. Uma das implicações dessas características é que no caso do investimento em um portfólio de produtos, o nível do risco e o nível do retorno de um determinado produto são **dependentes** do volume de investimento realizado no mesmo, diferentemente no que se observa no mercado de capitais.

Em relação ao retorno, essas diferenças seriam:

- (i) Controle gerencial: No mercado financeiro, raramente, o investidor tem controle sobre as características de risco-retorno e isso influencia fortemente os modelos de investimento. Já nos investimentos em produtos, a empresa pode decidir incorrer em mais ou menos risco à medida que concentra seus investimentos em produtos com mais ou menos risco;
- (ii) Relação risco-retorno: Apesar de existir uma associação geral de risco e retorno entre os produtos, não é difícil encontrar exemplos onde o risco

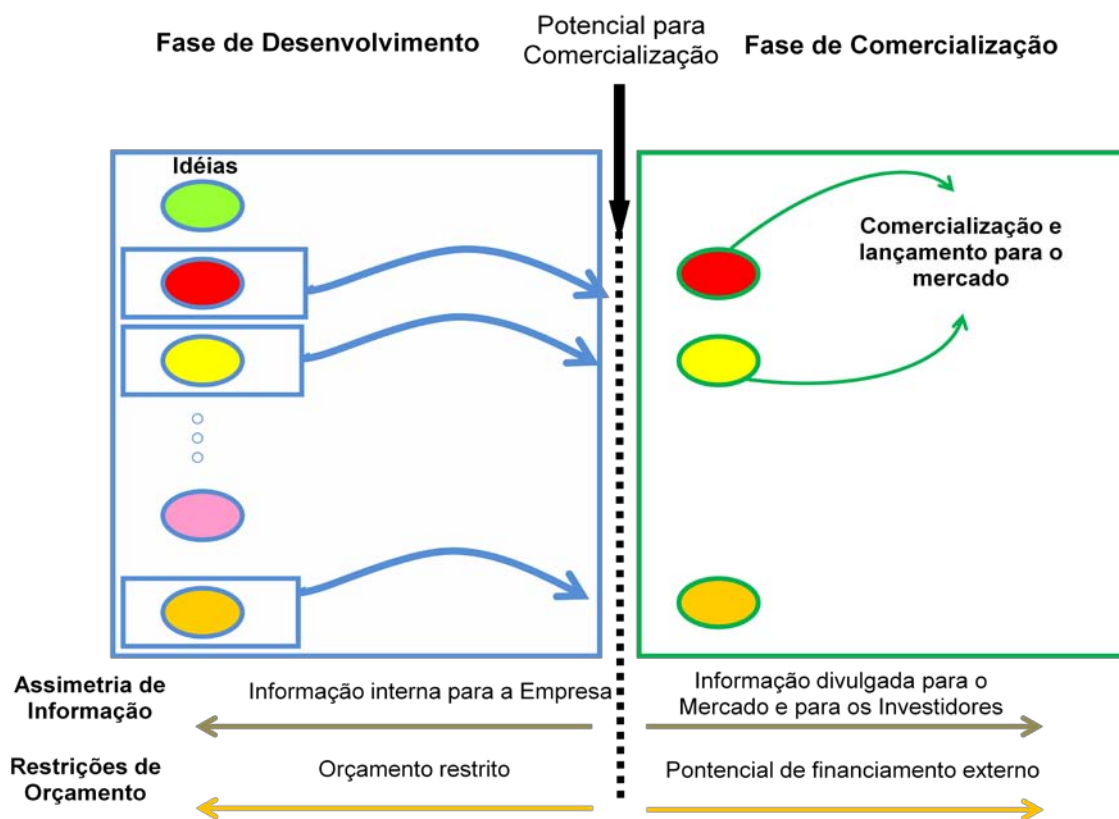
- e o retorno são independentes para o produto em particular em um contexto específico;
- (iii) Alternativas de investimentos externos: Os modelos existentes para gestão de portfólio de produtos, geralmente, só analisam as opções de investimento nos produtos que a empresa está desenvolvendo. Entretanto, investimentos externos devem ser considerados na decisão da alocação dos recursos do orçamento;
  - (iv) Conhecimento específico. Essa quarta característica torna o investimento em produtos menos arriscado e mais lucrativo do que os investimentos externos para um mesmo nível de investimento, pois o conhecimento adquirido pela empresa ao longo da sua trajetória de atuação relacionado aos seus processos e produtos torna mais rápida e/ou precisa a avaliação dos riscos incorridos naquele produto e/ou na sua aceitação pelo mercado;
  - (v) Economia de produção. Esse quinto aspecto é uma dificuldade central associada à gestão de portfólio de produtos e caracteriza a interdependência entre as decisões de portfólio. Existem dois tipos de interdependência. A interdependência de demanda e de fornecimento. Essa interdependência implica que os lucros de um conjunto de projetos estão relacionados. Ou seja, o lucro de um projeto A está relacionado com a quantidade investida em um projeto B. A implicação dos fatores descritos acima é que o retorno ou a lucratividade da empresa não é necessariamente uma função linear do retorno ou da lucratividade dos produtos individuais.

Já em relação ao risco, Devinney e Stewart (1988) afirmam que, embora a teoria de investimento em ativos financeiros considere que para um determinado portfólio só exista um componente de risco que não pode ser diversificado – o risco do mercado – no investimento em um portfólio de produtos, esse risco não diversificável é dividido em dois componentes. Primeiro, existe o risco sistêmico, que seria o risco de mercado (o mesmo da Teoria Financeira Geral). O segundo seria um componente de risco que não se diversifica em relação à empresa. Essa diversificação interna seria impossível,

tendo em vista que a empresa se depara com um conjunto limitado de opções de produtos para investimento.

Os autores concluem que uma das potenciais aplicações da pesquisa é a investigação dos fatores que diferenciam o risco e o retorno do mercado e o risco e o retorno da empresa para assim, tratar essas fases de forma diferente e de forma a verificar os seus efeitos dentro da empresa.

Como mencionado anteriormente, Santiago e Vakili (2005) propuseram uma nova formulação para o problema de seleção de portfólio e alocação de recursos baseada na distinção entre as fases de P&D e de comercialização. Para esses autores, as duas fases possuem características distintas. A figura 03 a seguir ilustra as principais diferenças:



**Figura 03:** Principais diferenças entre as fases de desenvolvimento e comercialização – Adaptado de Santiago e Vakili (2009)

A primeira diferença entre as duas fases, sob uma perspectiva de gerenciamento de risco e valoração, diz-se respeito à visibilidade dessas fases

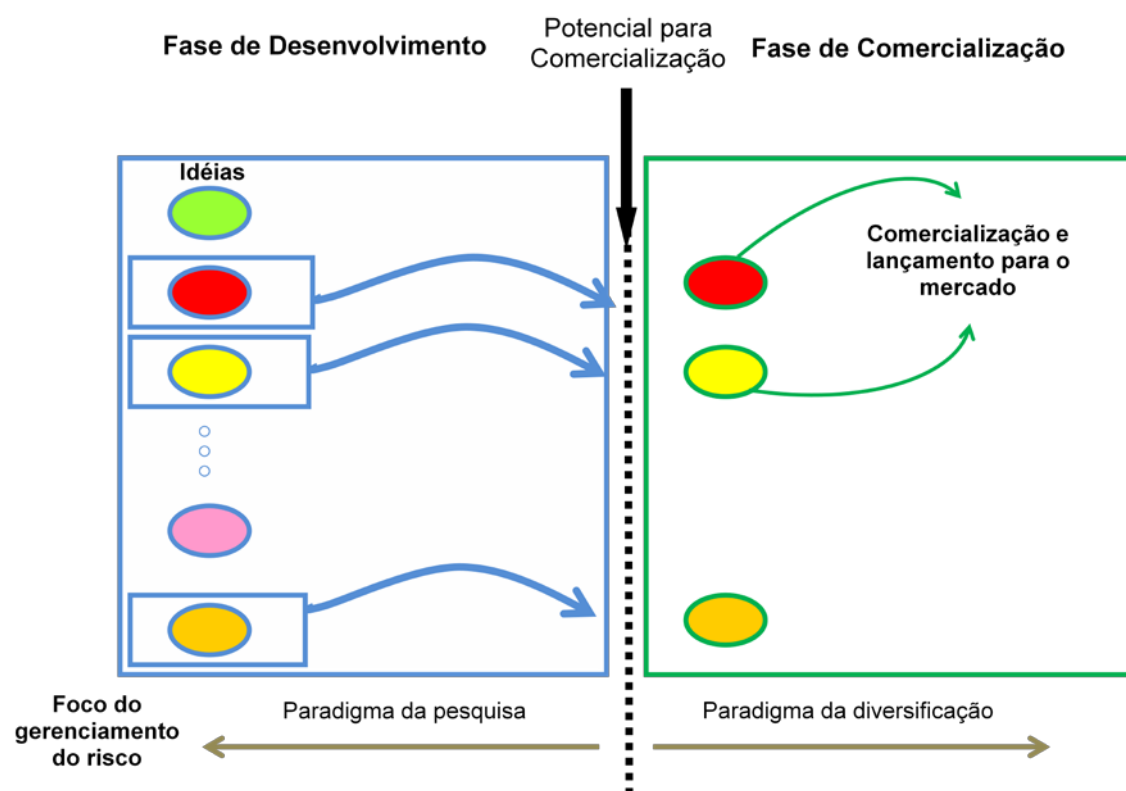
para o mercado, especialmente a assimetria de informação que caracteriza a fase de P&D. Em geral o mercado tem informações limitadas do processo de desenvolvimento, já que nessa fase as empresas evitam a divulgação completa dos resultados, fórmulas e premissas das pesquisas. Na comercialização a empresa investe em publicidade e divulga seus potenciais produtos para o mercado. Essa assimetria existente na etapa de P&D afeta a capacidade da empresa de obter financiamento.

A segunda característica que sustenta o modelo em dois estágios é o fato de que a remoção da incerteza no processo de P&D tem implicações significantes no financiamento interno dos projetos na fase de comercialização. Como as empresas alocam recursos limitados (geralmente um percentual do faturamento) na fase de P&D, alguns projetos, com potencial de serem bons projetos, podem ser abandonados. A probabilidade do abandono desses projetos na fase de comercialização só é diminuída quando as incertezas são reduzidas na fase de P&D. Projetos com baixos níveis de incerteza, ao chegarem à fase de comercialização, têm recursos praticamente garantidos, visto que a empresa tem maiores chances de conseguir financiamentos e parcerias com outras organizações. Tal fato faz com que as restrições de orçamento na fase de comercialização não sejam obrigatórias no modelo.

A terceira diferença é que os objetivos gerenciais e os riscos são suficientemente diferentes entre as fases. Por exemplo, na fase de comercialização questões como a viabilidade do produto já estão respondidas pela fase de P&D. A incerteza, portanto, está ligada a reação do mercado ao produto. Com a fase de comercialização tendo essa ênfase, o ponto central da fase de P&D é oferecer um conjunto amplo de escolhas para a fase de comercialização. A expansão desse conjunto implica em um aumento do valor do portfólio da fase de comercialização e, conseqüentemente, do valor da empresa.

Essa visão é consistente com o que vem sendo abordado na literatura para cada uma das duas fases (ver itens 2.2 e 2.3). Nesse sentido, na fase de desenvolvimento os gestores se deparam com o paradigma da busca (*search*

*paradigm*). Ou seja, dada uma certa estratégia gerencial da empresa, o processo de P&D tem que buscar/pesquisar alternativas viáveis para explorar uma determinada necessidade do cliente ou oportunidade de mercado. O objetivo central é ter, ao final do processo, pelo menos uma solução capaz de atender àquele mercado de acordo com as características determinadas pela estratégia. Já na fase de comercialização, por outro lado, a empresa se depara com o paradigma da diversificação. Ou seja, a partir de um conjunto de projetos conhecidos e disponíveis para a comercialização, o tomador de decisão precisa selecionar quais deles receberão os recursos para serem lançados no mercado. Nesta fase, o objetivo das empresas é maximizar o retorno da comercialização dos novos produtos, balanceando os seus riscos inerentes. A figura 04 a seguir ilustra esta questão:



**Figura 04:** O foco do gerenciamento do risco na formação de um portfólio de P&D – Adaptado de Santiago e Vakili (2009)

Assim, apesar de não considerar todas as críticas propostas por Devinney e Stewart (1988), como as economias de escala e escopo entre os produtos quando estes são lançados para o mercado, o modelo de Santiago e Vakili (2005) se destaca ao separar as fases de comercialização e desenvolvimento,

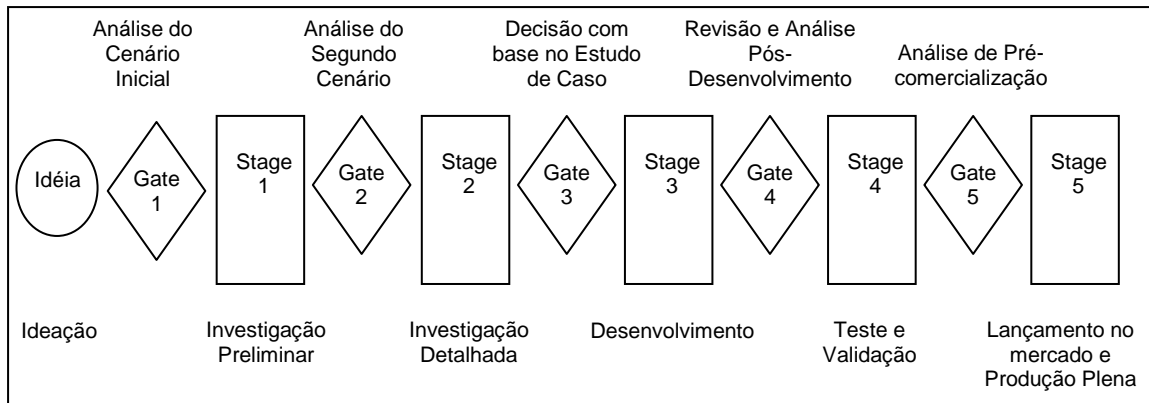
capturando as diferentes características de risco e retorno entre elas e a dependência em relação ao valor investido em cada produto.

Os tópicos a seguir, 2.2 e 2.3, fazem uma revisão da bibliografia relacionada a cada uma das duas fases propostas (fase de desenvolvimento e fase de comercialização) e subsidia o posicionamento do trabalho e o desenvolvimento do modelo proposto no item 3.

## **2.2. Seleção de portfólio na fase de desenvolvimento**

Ao longo dos últimos anos a maioria das empresas estruturou o seu desenvolvimento de novos produtos utilizando-se um processo conhecido como *Stage-Gates*, Terwiesch e Ulrich (2009) e Cooper *et al.* (1998). Esse processo define fases de desenvolvimento (*stages*), geralmente quatro ou cinco, e pontos de tomada de decisão (*gates*), onde a decisão é, normalmente, do tipo continua ou não continua. Isto é, o projeto do produto avança para fase seguinte, ou não. O objetivo central de um processo do tipo *Stage-Gate* é fazer com que uma idéia a ser desenvolvida chegue à fase de lançamento no mercado.

A estrutura do *Stage-Gate* permite que se quebre o projeto de desenvolvimento em estágios. Cada estágio consiste em atividades multifuncionais e paralelas para o desenvolvimento do produto. Esses estágios buscam a diminuição das incertezas relacionadas ao projeto, definindo seus parâmetros e fazendo os testes necessários. Já os *Gates* servem como um controle da qualidade, em seu sentido amplo, dos projetos. Neles os projetos são avaliados, priorizados e selecionados. Para isso podem ser usadas técnicas como o *Scoring Model*, os *Strategic Buckets*, dentre outras descritas no item 2.1. A figura 05 ilustra um exemplo de *Stage-Gate* proposto por Cooper *et al.* (1998):



**Figura 05:** Um modelo de *Stage-Gate*. Adaptado de Cooper *et al.*(1998)

Percebe-se que no Processo de *Stage-Gate* são tomadas decisões onde os projetos são avaliados de acordo com o andamento de suas fases de desenvolvimento. Ou seja, as decisões são tomadas *ex post* (depois do evento) baseadas no conjunto de informações disponíveis.

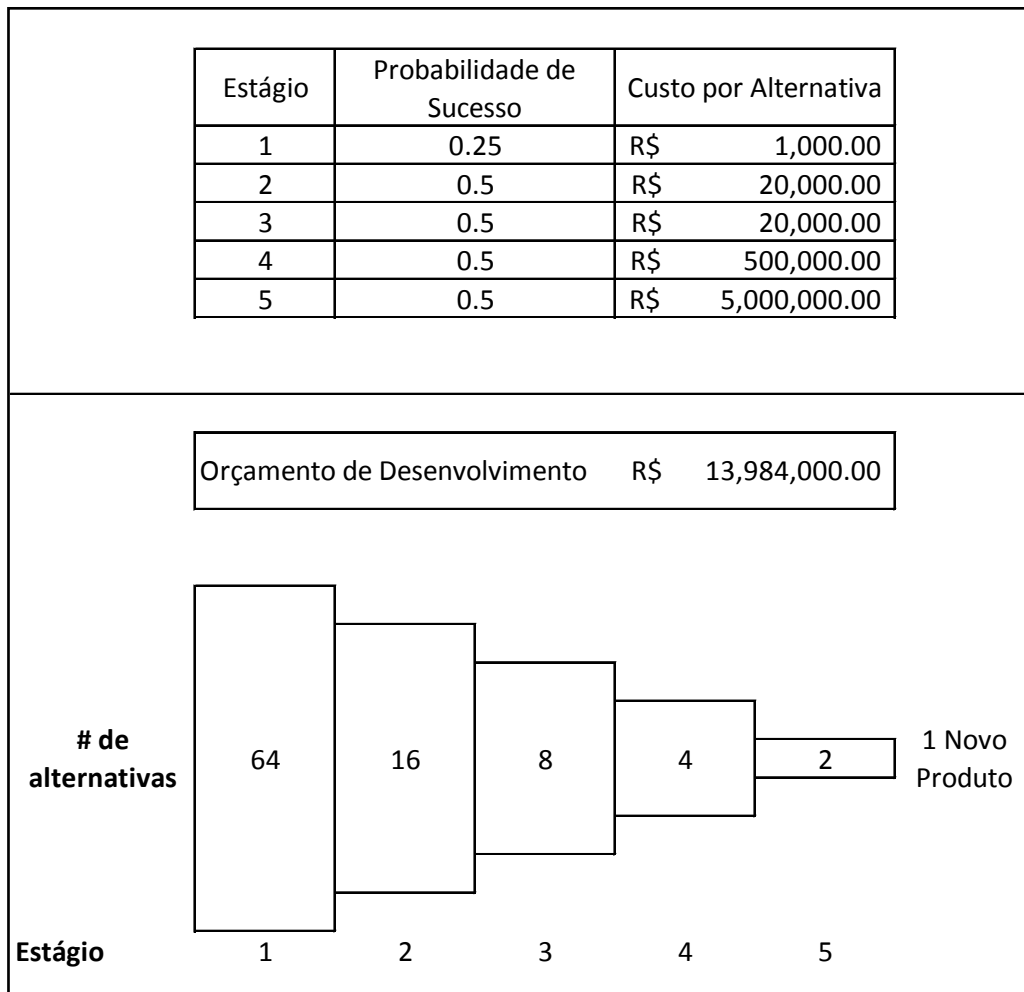
Entretanto, como visto no item 2.1, Santiago e Vakili (2005) caracterizaram o problema na fase de desenvolvimento por sua decisão baseada no paradigma de busca, isto é, uma decisão do tipo *ex ante* (antes do evento).

Esse paradigma de busca parte do princípio que uma determinada oportunidade de mercado pode ser capturada pelo desenvolvimento e lançamento de um produto apropriado. Dado que o desenvolvimento de um novo produto se depara com diversas incertezas, o objetivo do gestor passa a ser aumentar a probabilidade de pelo menos uma das idéias de desenvolvimento ser bem sucedida ao final do processo.

Dessa forma, o gestor busca construir um conjunto ideal de projetos, escolhendo o número apropriado de alternativas de forma a buscar, ao menos uma alternativa, ou a melhor alternativa, capaz de atender àquele mercado, evitando o risco de se investir em uma quantidade grande de alternativas que encareça o processo de P&D.

Essa abordagem foi motivada a partir da visão da estruturação do fluxo de projetos ao longo das diversas fases de desenvolvimento de um produto, dado

que existe uma probabilidade que uma idéia seja bem sucedida em uma determinada fase. A figura 06 abaixo ilustra o conceito:



**Figura 06:** Estruturação de um fluxo ilustrativo de projetos para desenvolvimento de novos produtos. Adaptado de Ding e Eliashberg (2002)

Ding e Eliashberg (2002) desenvolveram um estudo sobre a estruturação do fluxo de projetos no processo de desenvolvimento de novos produtos. Eles mostraram que a estrutura ótima depende do custo de desenvolvimento, da probabilidade de sucesso em cada fase e do retorno esperado. Para isso, aplicaram o modelo em um processo de desenvolvimento de um e de dois estágios, utilizando exemplos ligados à indústria farmacêutica. Os resultados também mostraram que, para esses casos, o fluxo de projetos utilizado pela empresas tem sido mais estreito do que deveria.



O investimento em projetos de desenvolvimento de novos produtos é caracterizado por diversas incertezas. A falta de informações sobre os consumidores e mercado, as novas tecnologias que porventura são utilizadas e os desafios de executar e entregar um projeto são exemplos de fontes dessas incertezas.

Nesse contexto, o processo de desenvolvimento de produtos é uma busca constante por alternativas para o investimento de recursos financeiros. Essas alternativas possuem um conjunto de características e um retorno esperado. Dentro dessas alternativas, o gestor procura o melhor projeto. Para Girotra *et al.* (2010), no mundo da inovação, os extremos são o que importa e não a média ou a norma. Sendo assim, um gestor prefere uma idéia excepcional dentre cem disponíveis, à cem idéias razoáveis, Isto significa que quanto maior a variância da qualidade das idéias, melhor.

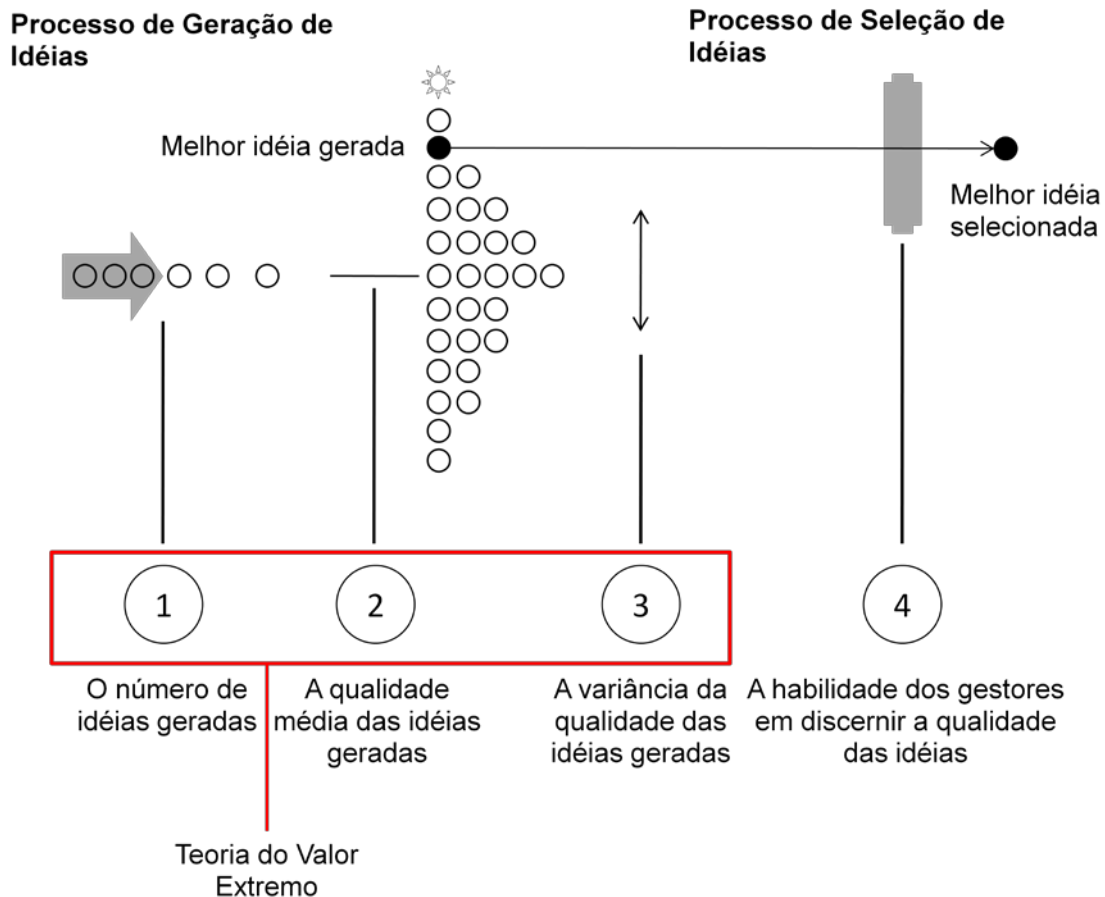
Nesse mesmo sentido, Terwiesch e Ulrich (2009) afirmam que muitos gestores modernos são treinados para eliminar a variabilidade dos processos, utilizando técnicas como o *Seis Sigma*, buscando a padronização das suas saídas. Essa é a lógica do gerenciamento da qualidade moderno. Entretanto, tais critérios de gerenciamento vão, exatamente, no caminho oposto em relação ao que deve ser feito no gerenciamento da inovação.

O trabalho de Girotra *et al.* (2010) é aplicado na geração de idéias para um problema específico. Entretanto, ele pode ser facilmente generalizado para o processo de desenvolvimento de novos produtos, especificamente para a fase de desenvolvimento proposta por Santiago e Vakili (2005), já que o objetivo central dessa fase é encontrar soluções/idéias/produtos com potencial de receberem investimentos para serem comercializados. Visto isso, Girotra *et al.* (2010) afirmaram que a literatura de geração de idéias existente apresenta três lacunas: a primeira está relacionada ao fato de que a maioria das pesquisas foca no número de idéias geradas e não na qualidade delas e na seleção da melhor idéia; a segunda é que os poucos trabalhos realizados que abordam a qualidade das idéias, não tratam da questão da melhor idéia, apenas da média

da qualidade das idéias, e; a literatura existente foca somente no processo de criação de idéias e não no processo de seleção.

Dessa forma, os autores apresentaram um modelo de geração e seleção de idéias baseado em quatro variáveis: (i) a qualidade média das idéias geradas; (ii) o número de idéias geradas; (iii) a variância da qualidade das idéias geradas, e; (iv) a habilidade dos gestores em discernir a qualidade das idéias. Esse modelo busca identificar, baseando-se nessas quatro variáveis, a melhor idéia proposta. Obviamente que, no contexto de um processo de geração de idéias, ou em um processo de desenvolvimento de novos produtos, a qualidade de uma idéia é recheada por incertezas, o que faz com que essa qualidade não seja pensada como uma medida determinística, e sim como um valor esperado baseado em uma alocação ótima de recursos. É essa incerteza que faz com que os gestores, mesmo preferindo uma idéia ótima dentre cem, à cem idéias razoáveis, decida investir em um conjunto de melhores idéias.

Trabalhos anteriores ligados à inovação modelaram o processo de geração de idéias como uma amostragem repetida a partir de uma distribuição de qualidade dessas idéias (Dahan e Mendelson, 2001). Essa literatura se baseia em um ramo da estatística conhecida como a Teoria do Valor Extremo. Essa teoria mostra que o valor máximo de uma amostra que segue uma distribuição  $F(x)$ , pode ser modelado como uma função de três variáveis: o tamanho da amostra; a média da distribuição, e; a variância da distribuição, conforme Figura 07. No contexto deste trabalho, se  $F(x)$  reflete a distribuição da qualidade das idéias/projetos em um processo de desenvolvimento de novos produtos, a escolha da melhor(es) idéia(s) é função do número de idéias disponíveis, da qualidade média dessas idéias e da variância dessa qualidade.



**Figura 07:** Os quatro fatores relacionados à performance do processo de geração de idéias – Adaptado de Girotra *et al.* (2010)

A Teoria do Valor Extremo lida com os desvios extremos da média de distribuições de probabilidades modelando os seus máximos e mínimos. Gumbel (1958) afirma que o objetivo central dessa teoria é analisar os extremos observados e prever os extremos futuros. Seu uso é muito comum na avaliação de riscos para o monitoramento de eventos não usuais, como nos desastres naturais, guerras e quebras de bolsas de valores.

Muitos eventos do nosso cotidiano tendem a seguir uma distribuição Normal. Entretanto, a distribuição Normal não traz previsões realistas quando se trata dos extremos, pois nesses casos a função distribuição, que melhor capta a realidade, apresenta um perfil “*fat-tail*”, cauda pesada.

Quando se trata da indústria financeira, a avaliação de risco utiliza com muita freqüência o conceito do “*Value-at-Risk*” (VAR). O VAR mede a pior perda

possível de um investidor para uma dada probabilidade. Entretanto, de acordo com Bensalah (2000), o método VAR apresenta duas limitações relevantes: (i) os padrões de cálculo do VAR consideram que os dados possuem um comportamento baseado em uma distribuição Normal, o que subestima a ocorrência de eventos extremos; (ii) a segunda limitação se deve ao fato de o método utilizar em seu cálculo todo o conjunto de dados da série. Como, geralmente, a maioria das observações fica próxima à média, os resultados estimados também ficam próximos ao centro, fazendo com que a estimação de valores extremos fique prejudicada. Entretanto, são esses valores extremos que mais interessa ao investidor.

A distribuição Generalizada do Valor Extremo Geral apresenta a seguinte função acumulada de distribuição:

$$F(t; t_0, \beta, \delta) = \exp \left\{ - \left[ 1 + 1/\delta \left( \frac{t - t_0}{\beta} \right) \right]^\delta \right\}$$

Para  $\left[ 1 + 1/\delta \left( \frac{t - t_0}{\beta} \right) \right] > 0$ , onde  $t_0 \in \mathbb{R}$  é o parâmetro de localização,  $\beta > 0$  é o parâmetro de escala da incerteza, o que é uma medida de variância. Quanto maior o parâmetro de escala, mais espalhada será a distribuição. Já  $\delta \in \mathbb{R}$  é o parâmetro de formato da cauda. Quanto maior o índice, mais pesada a cauda. Quando o  $\delta$  for igual a zero, a distribuição  $F$  corresponde a uma distribuição do tipo Gumbel. Quando  $\delta$  for positivo, a distribuição correspondente é a do tipo Frechet. Já para o índice negativo, a distribuição torna-se a Weibull. A distribuição Frechet corresponde às distribuições de caudas grossas e é mais adequada para dados financeiros do tipo cauda pesada (fat-tailed).

As três funções de distribuição acumuladas analisadas por Dahan e Mendelson (2001) são:

I) Frechet:

$$F_I(t) = e^{-\left(\frac{t - t_0}{\beta}\right)^{-\delta}}$$

Para todo  $\delta > 0$ .

II) Weibull:

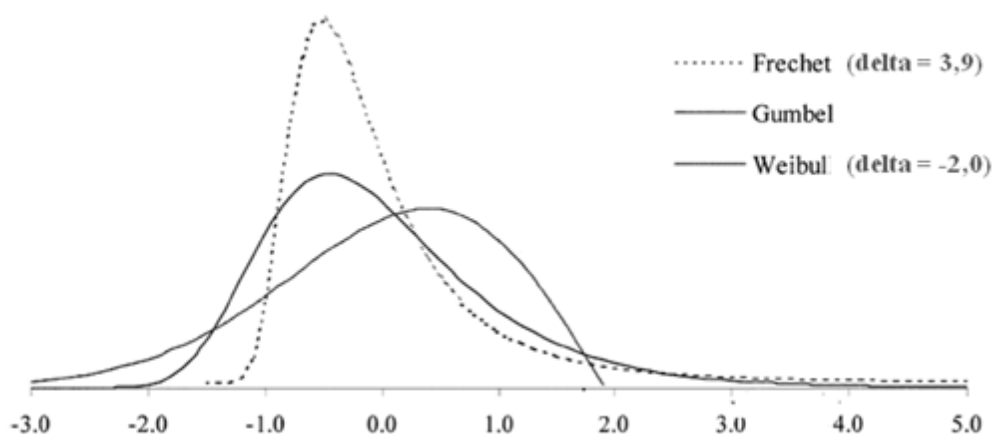
$$F_{II}(t) = e^{-\left(\frac{t_0-t}{\beta}\right)^\delta}$$

Para todo  $\delta > 0$ .

III) Gumbel:

$$F_{III}(t) = e^{-e^{-\frac{t-t_0}{\beta}}}$$

A distribuição do tipo Frechet é melhor aplicada para variáveis com uma parte superior da cauda da distribuição pesada. Em caso de desenvolvimento de novos produtos, essa distribuição se aplicaria em indústrias onde os produtos têm potencial para virar grandes sucessos e representarem boa parte do faturamento da empresa (Dahan e Mendelson, 2001). A distribuição do tipo Weibull se aplica melhor para variáveis com limites finitos para a parte superior da cauda da distribuição, devido a diversos fatores, dentre eles um mercado potencial limitado, contratos de vendas pré-fixados ou limites máximos de preços (Dahan e Mendelson, 2001). Já a distribuição do tipo Gumbel caracteriza melhor variáveis que não têm limites de distribuição especificados, porém os desvios fora de um intervalo esperado central são extremamente raros. No caso do desenvolvimento de novos produtos, essa distribuição é melhor empregada para mercados já estabilizados como o automobilístico e o setor de commodities (Dahan e Mendelson, 2001). A figura 08 ilustra o perfil de cada uma dessas distribuições.



**Figura 08:** Gráfico das densidades das três distribuições de Valor Extremo – Adaptado de Dahan e Mendelson (2001)

Dahan e Mendelson (2001) aplicaram o conceito do Valor Extremo em testes de conceito de projetos de desenvolvimento de novos produtos. O teste de conceitos é uma ferramenta utilizada pelas empresas para avaliar os produtos em desenvolvimento e guiar o gestor de como posicioná-los no mercado. Podem ser avaliadas características como custo *vs* benefício, qualidade percebida, disposição do consumidor em comprar o produto, dentre outras. Essa ferramenta é definida por Dahan e Mendelson (2001) como a busca pelo melhor design, melhor posicionamento, melhor preço e melhores características produtivas de um produto. Sendo assim, a análise reconhece que a seleção de um conceito é uma busca pelo lucro extremo e desenvolve uma solução para o número ideal de testes que maximiza o valor do produto, utilizando a Teoria do Valor Extremo.

O modelo desenvolvido por esses autores é baseado nas seguintes premissas: os retornos esperados dos conceitos são independentes e identicamente distribuídos; os melhores subconceitos são considerados antes de serem propostos; os parâmetros da distribuição são únicos para a empresa e para a categoria do produto, pois dependem de fatores tais como a capacidade da empresa na realização dos testes; o custo por conceito é constante; o número de conceitos é decidido independentemente dos resultados observados; e o conceito mais lucrativo é lançado. Os autores aplicam o conceito em um estudo de caso ligado à indústria farmacêutica, um inalador terapêutico. O produto é

divido em três subprodutos caracterizados pelas distribuições Frechet, Weibull e Gumbel.

Os resultados do trabalho de Dahan e Mendelson (2001) mostram que dois fatores direcionam e determinam a política de investimento em testes de conceito: (i) a relação entre a escala de incerteza do lucro potencial de um teste dada por  $\beta$  e o custo unitário  $d$  do teste, ou seja, quanto maior a incerteza e/ou quanto menor o custo, maior a necessidade de se fazerem testes. (ii) o segundo fator é a natureza do peso da parte superior da cauda da distribuição, dada por  $\delta$ . Diferentes  $\delta$ , *i.e.*, as diferentes distribuições aplicadas aos três subprodutos, leva a um resultado de gasto total investido nos testes de conceito diferente

Os autores concluem afirmando que as empresas, para melhorar o seu processo de desenvolvimento de novos produtos, devem avaliar os seus produtos potenciais não apenas em relação ao seu lucro esperado e sua variância, mas também em relação ao formato da parte superior da cauda de distribuição. Além disso, devem buscar diminuir os custos dos testes de conceito para aplicar mais recursos nos produtos caracterizados por distribuições com caudas mais pesadas na parte superior e menos recursos com potencial de retorno limitado.

Kornish e Ulrich (2011) também investigaram o processo de geração de idéias para projetos de inovação. O trabalho focou em três questões principais: a redundância da geração de idéias em um processo conduzido em paralelo, o tamanho do espaço de oportunidade, isto é, quantas idéias únicas podem ser geradas por um grupo de trabalho, e a comparação do valor das idéias, ou seja, qual idéia é melhor, uma que, apesar de ser única, apresenta similaridades com outras, ou uma que não tem relação com as outras idéias geradas.

O trabalho chegou a conclusão de que apesar de existir certa redundância no processo paralelo de geração de idéia, essa redundância é relativamente pequena em termos do total de idéias geradas. Para analisar o potencial de

geração de idéias, os autores propuseram um método para estimar quantas idéias únicas podem ser geradas em um processo de identificação de oportunidades na área da inovação. Eles partiram de um modelo comumente utilizado para a estimação de populações de animais selvagem por cientistas ligados à área. Esse modelo, conhecido como método de captura e recaptura, é um processo seqüencial onde a probabilidade da próxima idéia ser única é uma função decrescente do número de idéias geradas. Essa probabilidade é representada por uma função exponencial:

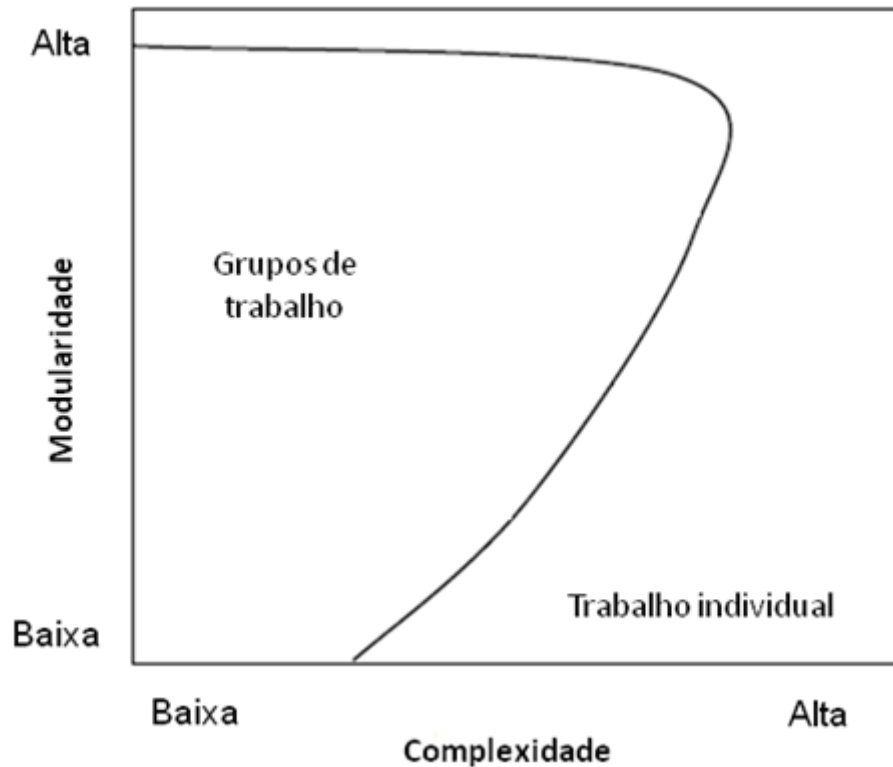
$$p(n) = -e^{an}$$

Onde,  $p(n)$  é a probabilidade de a próxima idéia ser única.  $n$ , neste caso, é o número de idéias já geradas e  $a$  é o inverso do total de idéias.

Por fim, o trabalho chegou à conclusão de que existe uma relação positiva entre a similaridade que uma idéia apresenta com outras e o seu valor. As idéias que são menos similares às outras são, geralmente, menos valiosas. Isso porque a existência de idéias semelhantes pode indicar uma necessidade amplamente requerida e a aceitação dessa inovação pelo mercado, indicando que os gestores devem prestar mais atenção à mensagem que a repetição na geração de idéias pode estar sinalizando.

Já Kavadias e Sommer (2009) estudaram como a estrutura dos grupos de trabalho e a complexidade do problema podem afetar a efetividade do processo de geração de idéias. Eles compararam a atuação de grupos de trabalho onde os participantes trabalham conjuntamente com a atuação do mesmo número de participantes trabalhando separadamente. A conclusão do trabalho é que quando os participantes trabalham separadamente, os resultados são melhores para problemas mais complexos, onde muitos fatores se interagem e criam várias soluções viáveis. Entretanto, o trabalho em grupo apresenta melhores resultados para problemas multifuncionais e de média complexidade. A figura 09 ilustra os resultados:





**Figura 09:** Curva de performance comparativa entre os grupos de trabalho e o trabalho individual – Adaptado de Kavadias e Sommer (2009)

O foco desta dissertação não está em analisar qual dessas estruturas apresenta melhores resultados na geração de idéias, mas sim, em como o processo de geração de idéias impacta no valor de um portfólio de produtos.

### **2.3. Seleção de portfólio da fase de comercialização**

Como discutido anteriormente, a separação do problema em duas fases tem como objetivo tratar as suas especificidades de forma diferente. A gestão de portfólio de produtos na fase de comercialização tem características semelhantes ao problema de alocação de recursos em um portfólio de ativos financeiros. Assumimos que na fase de comercialização, os produtos já foram desenvolvidos e a questão central do tomador de decisão é definir como alocar os recursos do orçamento de comercialização. Nessa fase, os produtos possuem um retorno esperado, uma variância (risco) e se correlacionam por meio de uma matriz de covariância. Assim como no problema de ativos financeiros, o gestor tem recursos a sua disposição para investir. Nessa fase é

mais fácil conseguir recursos no mercado para financiar as vendas dos produtos, quando se comparado à fase de desenvolvimento, visto que estes não são mais caracterizados pelas incertezas que dominam a fase de desenvolvimento.

Dessa forma, é apresentada a seguir uma breve revisão da literatura existente de gestão de portfólio financeiro como forma de subsidiar o desenvolvimento da formulação matemática para tratamento do problema.

### 2.3.1. Teoria do Portfólio da Média-variância

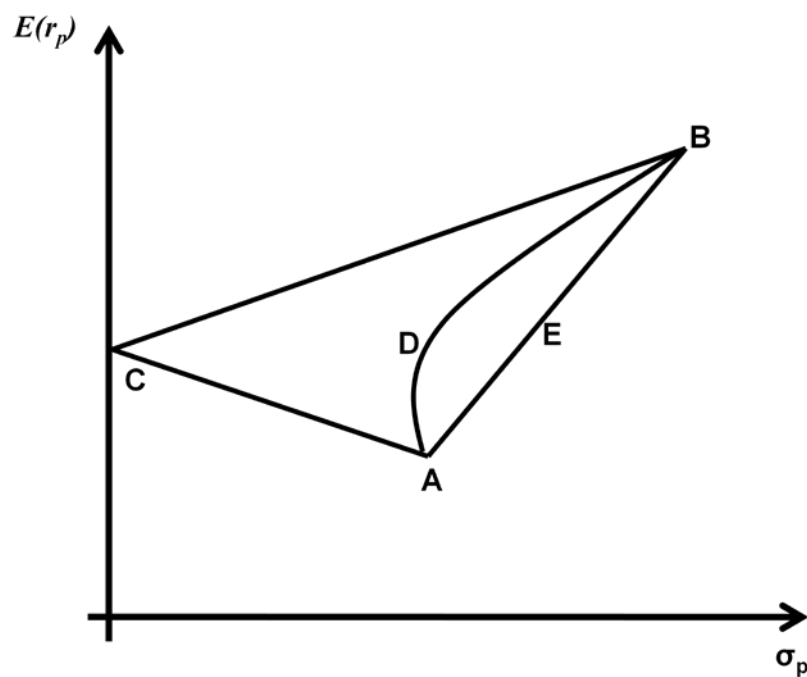
A teoria da seleção de portfólio de ativos financeiros iniciou-se com o trabalho de Markowitz (1952) baseado na análise de média-variância. Essa análise permitiu explicitar os *trade-offs* existentes entre o retorno e a variância (risco), auxiliando o gestor em sua tomada de decisão. O modelo parte do princípio que um investidor tem a sua disposição  $n$  ativos financeiros para investir. Seja  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)'$  o vetor que representa a fração investida no ativo  $i$  do portfólio, onde  $\sum_i^n \theta_i = 1$ . Seja também  $r = (r_1, \dots, r_n)'$  o vetor aleatório do retorno do ativo  $i$  e seu valor esperado definido por  $E(r) = (\mu_1, \dots, \mu_n)' = \mu_p$  e  $Q$  a matriz de covariância de  $r$ ;

O retorno do portfólio é dado por  $r_p = \theta_1 r_1 + \theta_2 r_2 + \dots + \theta_n r_n$  e seu valor esperado dado por  $\mu_p = \theta_1 \mu_1 + \theta_2 \mu_2 + \dots + \theta_n \mu_n$ .

A variância do portfólio é dada por  $\sigma_p^2 = E[(r_p - \mu_p)^2]$ , isto é:

$$\begin{aligned}
&= E \left[ \left( \sum_{i=1}^n \theta_i r_i - \sum_{i=1}^n \theta_i \mu_i \right)^2 \right] \\
&= E \left[ \left( \sum_{i=1}^n \theta_i (r_i - \mu_i) \right) \left( \sum_{j=1}^n \theta_j (r_j - \mu_j) \right) \right] \\
&= E \left[ \sum_{i,j=1}^n \theta_i \theta_j (r_i - \mu_i) (r_j - \mu_j) \right] \\
&= \sum_{i,j=1}^n \theta_i \theta_j \sigma_{ij}
\end{aligned}$$

Para ilustrar como um conjunto de ativos se interrelaciona (portfólio) e como são definidos seu retorno esperado e sua variância, Markowitz (1952) apresentou o caso particular dado pela combinação de dois ativos, de acordo com o  $\theta$  investido em cada um deles. Essa combinação dá origem a um novo ativo que, de acordo com a alocação de recursos, tem um retorno e desvio padrão variando como se vê na figura 10:



**Figura 10:** Combinação de dois ativos

O gráfico da figura 10 é construído da seguinte forma: o retorno do portfólio é dado por  $r_p = (1-\theta)r_1 + \theta r_2$  e o retorno esperado desse portfólio é dado por  $\mu_p = (1-\theta)\mu_1 + \theta\mu_2$ .

Já o desvio padrão do portfólio, de acordo com a definição de variância vista acima, é igual a  $\sigma_p = \sqrt{(1-\theta)^2\sigma_1^2 + 2\theta(1-\theta)\sigma_{12} + \theta^2\sigma_2^2}$ .

Dado que o coeficiente de correlação é definido por:

$$\rho = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1\sigma_2}$$

O desvio padrão passar a ser então:

$$\sigma_p = \sqrt{(1-\theta)^2\sigma_1^2 + 2\rho\theta(1-\theta)\sigma_1\sigma_2 + \theta^2\sigma_2^2}$$

A partir daí, define-se os limites dessa equação de acordo com  $\rho$ , sabendo que, por definição, este pode variar de  $-1 \leq \rho \leq 1$ .

### Para $\rho = 1$

Nesse caso, os dois ativos possuem uma perfeita relação positiva.

$$\begin{aligned}\sigma_p &= \sqrt{(1-\theta)^2\sigma_1^2 + 2\theta(1-\theta)\sigma_1\sigma_2 + \theta^2\sigma_2^2} \\ &= \sqrt{[(1-\theta)\sigma_1 + \theta\sigma_2]^2} \\ &= (1-\theta)\sigma_1 + \theta\sigma_2\end{aligned}$$

Resolvendo a equação acima para  $\theta$  tem-se:

$$\theta = \frac{\sigma_p - \sigma_1}{\sigma_2 - \sigma_1}$$

Substituindo  $\theta$  na equação  $\mu_p = (1-\theta)\mu_1 + \theta\mu_2$  tem-se a reta AB da figura 10.

Nota-se que a equação da reta é linear. Isso significa que o retorno esperado e o desvio padrão se comportam proporcionalmente de acordo com  $\theta$  que, no exemplo, varia de 0 a 1.

**Para  $\rho = -1$**

Nesse caso, os dois ativos possuem uma perfeita relação negativa.

$$\begin{aligned}\sigma_p &= \sqrt{(1-\theta)^2\sigma_1^2 - 2\theta(1-\theta)\sigma_1\sigma_2 + \theta^2\sigma_2^2} \\ &= \sqrt{[(1-\theta)\sigma_1 - \theta\sigma_2]^2} \\ &= (1-\theta)\sigma_1 - \theta\sigma_2 \text{ ou } -(1-\theta)\sigma_1 + \theta\sigma_2\end{aligned}$$

Visto que, por definição  $\sigma_p \geq 0$  e que cada uma das duas equações acima pode ser obtida multiplicando-se -1 pela outra, tem-se dois valores de  $\theta$ :

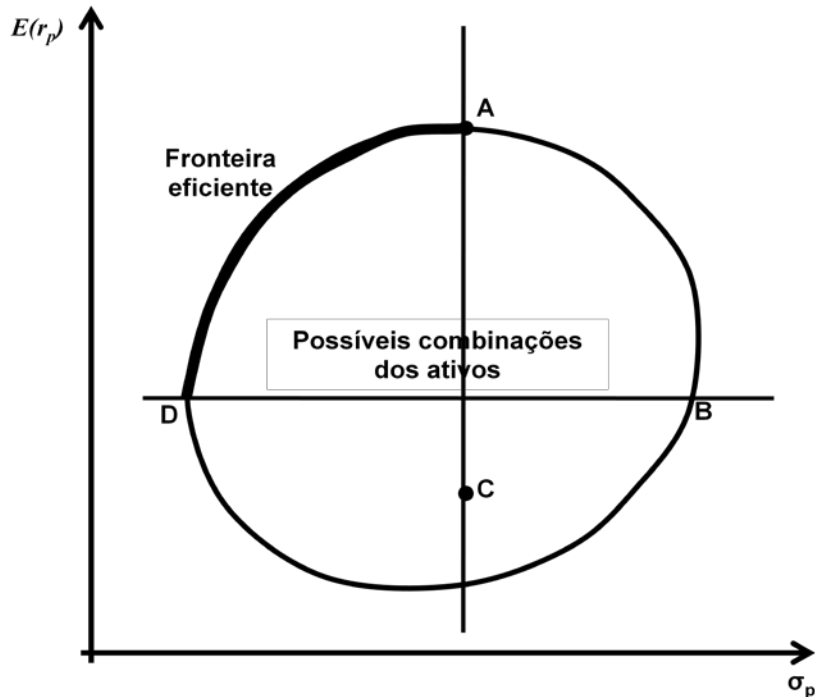
$$\theta = \frac{\sigma_p - \sigma_1}{-(\sigma_2\sigma_1)} \text{ ou } \theta = \frac{\sigma_p + \sigma_1}{\sigma_2 + \sigma_1}$$

Substituindo  $\theta$  em  $\mu_p = (1-\theta)\mu_1 + \theta\mu_2$  geram-se as retas AC e CB. A curva ADB<sup>4</sup> indica os valores intermediários para o coeficiente  $\rho$ .

Em um caso geral onde o portfólio pode ser formado por um número  $n$  de ativos, o gráfico do retorno esperado vs desvio padrão pode ser ilustrado de acordo com a figura 11:

---

<sup>4</sup> Para maiores detalhes, ver Elton *et al.*, [13], capítulo 5.



**Figura 11:** Retornos e riscos para os diferentes portfólios – adaptado de Markowitz (1952)

A figura 11 mostra como a fronteira eficiente do portfólio pode ser determinada graficamente. Visto que um investidor atua de acordo com as preferências abaixo:

- prefere um maior retorno do portfólio para um determinado risco, e;
- prefere um menor risco do portfólio para um determinado retorno.

Sendo assim, o investidor sempre vai preferir o portfólio destacado na figura como a Fronteira Eficiente. Veja por exemplo, a comparação dos portfólios C e A que têm o mesmo risco, qualquer investidor vai preferir o portfólio A, que apresenta um maior retorno. Já a comparação entre os portfólios B e D vai levar o investidor a preferir o portfólio D que, para um mesmo retorno, apresenta um risco relativamente inferior. Dessa forma a Fronteira Eficiente é determinada pela curva entre o mínimo global da variância até o máximo retorno do portfólio.

Na decisão de um investimento em uma carteira, o investidor pode ainda contar com a possibilidade de emprestar ou pegar dinheiro emprestado. Na discussão

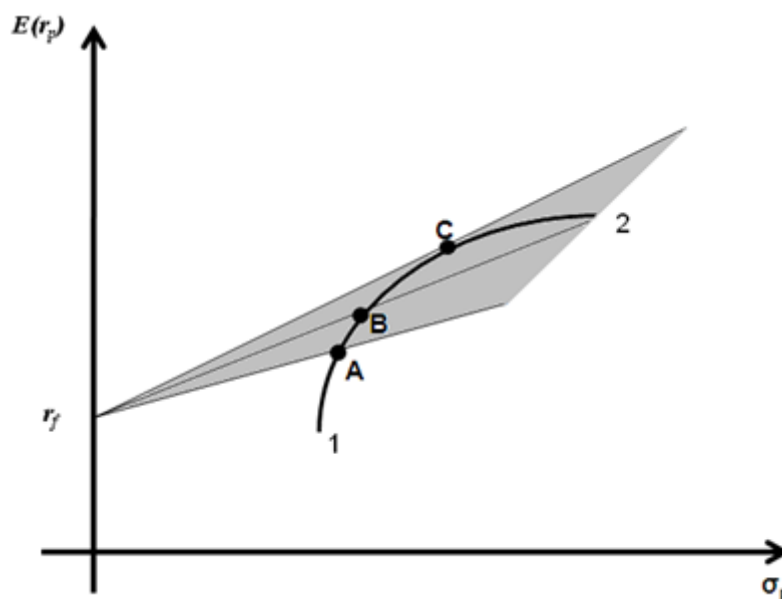
a seguir, considera-se que esse investidor pode emprestar e pegar dinheiro emprestado a uma mesma taxa  $r_f$  livre de risco, ou seja,  $\sigma_r = 0$ . Dessa forma, o portfólio passa a ter o retorno esperado e seu desvio padrão da seguinte forma:

$$\begin{aligned}\mu_Q &= r_f + (1 - \alpha)\mu_p \\ \sigma_Q &= (1 - \alpha)\sigma_p\end{aligned}$$

Onde  $\alpha$  é a fração de recursos alocada ao ativo livre de risco.

O desvio padrão não depende do ativo livre de risco porque este tem variância igual a 0 e não possui covariância com os outros ativos.

Assim, percebe-se que a média e o desvio padrão do portfólio varia linearmente de acordo com  $\alpha$ . O portfólio passa a contar com um novo número de possibilidades como se vê nas figuras abaixo:



**Figura 12:** O efeito do ativo livre de risco

Na figura 12, a curva 12 seria a fronteira eficiente definida na figura 11, e a região definida em cinza uma nova região viável para o problema. Entretanto percebe-se que todos os possíveis portfólios da reta  $r_f$ B são preferíveis em

relação aos portfólios da reta  $r_fA$ , visto as condições descritas acima para a tomada de decisão de um investidor:

- prefere um maior retorno do portfólio para um determinado risco, e;
- prefere um menor risco do portfólio para um determinado retorno.

A reta  $r_fC$  ainda é preferível à reta  $r_fB$ . O investidor não pode variar a reta  $r_fC$  no sentido anti-horário, pois por definição, não existe opções de portfólio além da Fronteira Eficiente. Dessa forma, o ponto C que determina o portfólio eficiente é determinado pelo ângulo  $\omega$  máximo da reta que corta a fronteira eficiente. A escolha do portfólio passa a ser então um problema de maximização de  $\omega$  na região viável definida pela fronteira eficiente:

$$\max \tan \omega = \frac{\mu_p - r_f}{\sigma_p}$$

Assim, conclui-se que só existe uma combinação de ativos de risco, dada pela figura 3 como C, onde qualquer portfólio eficiente pode ser gerado a partir de uma fração investida em C e outra em um ativo livre de risco. Ver figura 13 abaixo.

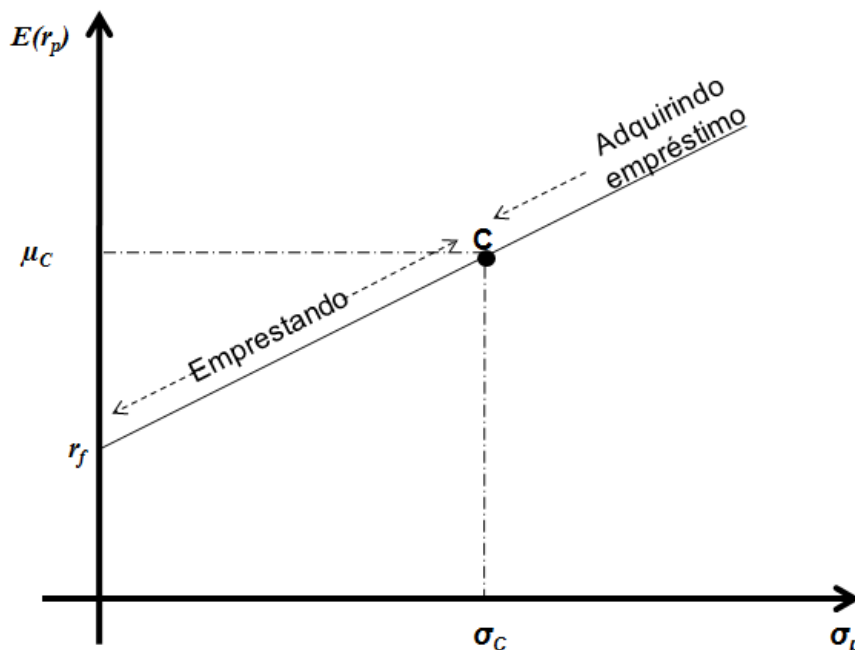


Figura 13: Retorno esperado e risco quando um ativo livre de risco é permitido



### 2.3.2. Teoria da Utilidade

De acordo com Santiago e Vakili (2005 e 2009), a motivação central para o problema da formação de um portfólio de projetos de desenvolvimento de novos produtos é a diversificação do risco baseada na maximização do valor do portfólio e na minimização do seu risco. Para isso o gestor deve decidir quais projetos serão selecionados e o montante de recursos que cada um receberá. Visto isso, torna-se fundamental a utilização de um critério que avalie os projetos e forneça um ranking das melhores opções.

A elaboração de um ranking de projetos torna-se mais complexa em um cenário estocástico, onde o retorno de cada projeto é uma variável aleatória sujeita a um retorno esperado e uma variância. O conjunto de projetos, geralmente se inter-relaciona, fazendo com que o retorno de um determinado projeto seja influenciado pelo sucesso de outro projeto.

Para tratar tal questão, von Neumann e Morgenstern (1947) propuseram o princípio da “utilidade esperada” que permite mensurar todas as possibilidades de escolha de um portfólio em termos de uma função utilidade  $U$ . A função utilidade leva em consideração o retorno e o risco de cada possibilidade de carteira e mensura a sua utilidade em termos do valor esperado da função  $U$ . Assim, a função objetivo da decisão passa a ser a maximização da utilidade esperada.

A partir dos estudos de von Neumann e Morgenstern (1947), diversos autores começaram a investigar e aplicar a Teoria da Utilidade em diversos campos de conhecimento dentre os quais pode-se citar a avaliação e precificação de ativos e a tomada de decisão em um ambiente incerto. A comparação das diversas funções utilidade também é tema, ainda hoje, de estudos de pesquisadores e profissionais do mercado financeiro (ver, *e.g.* Kallberg e Ziemba (1983), Buccola (1982) e Yu *et al.* (2008)).

As funções utilidade caracterizam o perfil de risco do tomador de decisão. Dessa forma, o gestor pode ser avesso ao risco, neutro ao risco ou propenso ao risco. Os diferentes perfis de risco são demonstrados nas figuras 14, 15 e 16 a seguir, onde  $x$ , neste capítulo pode representar o retorno do investimento em um determinado ativo, ou o nível de riqueza do investidor.

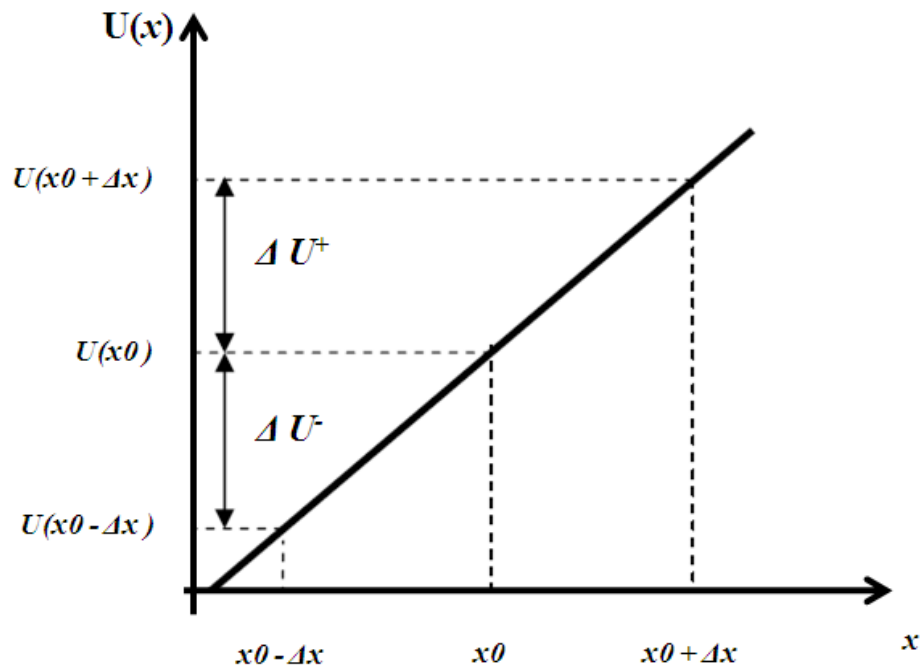


Figura 14: Investidor neutro ao risco

Para o investidor neutro ao risco, sua função utilidade varia da mesma forma quando o retorno fica acima de  $x_0$ , como quando fica abaixo de  $x_0$ .

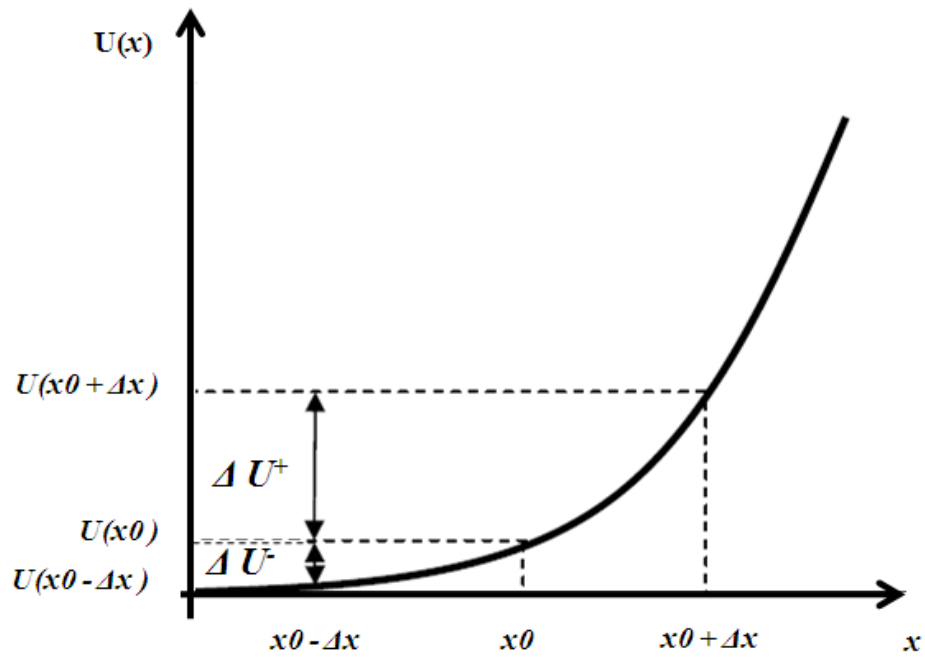


Figura 15: Investidor propenso ao risco

Na função utilidade de um investidor propenso ao risco as variações acima de um determinado valor são mais valorizadas do que as variações abaixo de um determinado valor, isto é,  $\Delta U^+ > \Delta U^-$ .

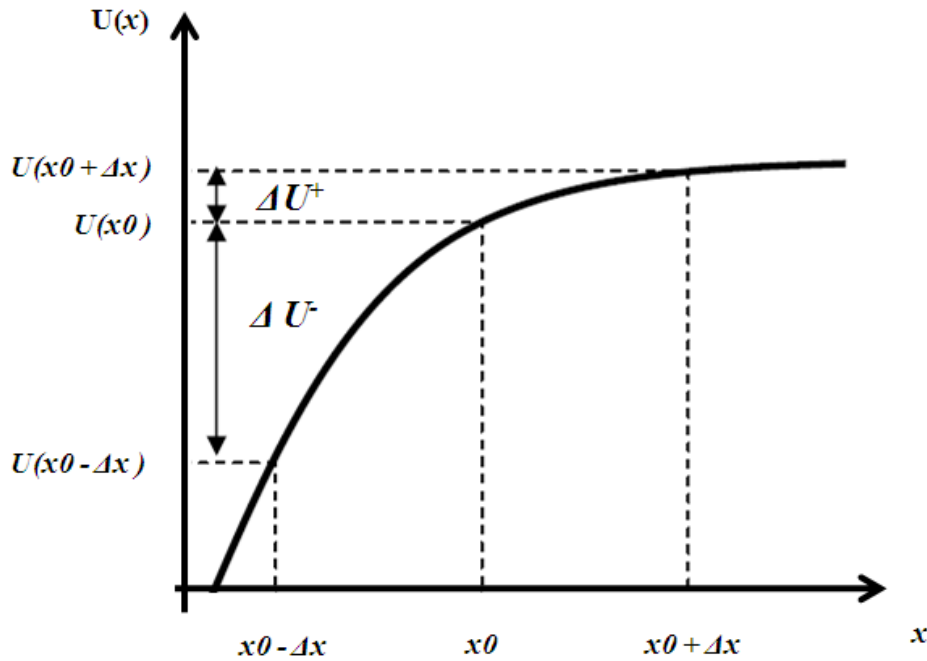


Figura 16: Investidor avesso ao risco

A função utilidade que caracteriza o investidor avesso ao risco é oposta à função propensa ao risco. Ou seja, a aversão ao risco é equivalente à concavidade da função  $U$ . A concavidade da função  $U$  significa que a utilidade marginal do retorno é decrescente, isto é, essa função mostra que a utilidade esperada é mais penalizada quando o retorno fica abaixo de um  $x_0$  do que quando o retorno fica acima de  $x_0$ , *i.e.*  $\Delta U^+ < \Delta U$ .

### 2.3.2.1. Aversão ao risco

A aversão ao risco pode ser caracterizada pela relutância de um investidor em aceitar um negócio (investimento) com um retorno incerto em detrimento de outro investimento com um retorno certo, mas de valor menor. Como descrito acima, o principal objetivo de uma função utilidade é sistematizar e elaborar um ranking de alternativas de investimento que captura o princípio de aversão ao risco (Luenberger, 1988), o que acontece quando a função utilidade é côncava.

A Certeza Equivalente é um conceito importante dentro do entendimento da aversão ao risco. A Certeza Equivalente é o valor que um determinado investidor aceitaria para trocar o investimento incerto em um ativo  $x$  por um

valor  $C$  livre de risco. Esse conceito parte de uma propriedade da função côncava e pode ser chamado de Desigualdade de Jensen:

$$\int u(x)dF(x) \leq u\left(\int x dF(x)\right) \text{ para todo } F(.)$$

A figura 17 abaixo ilustra o conceito:

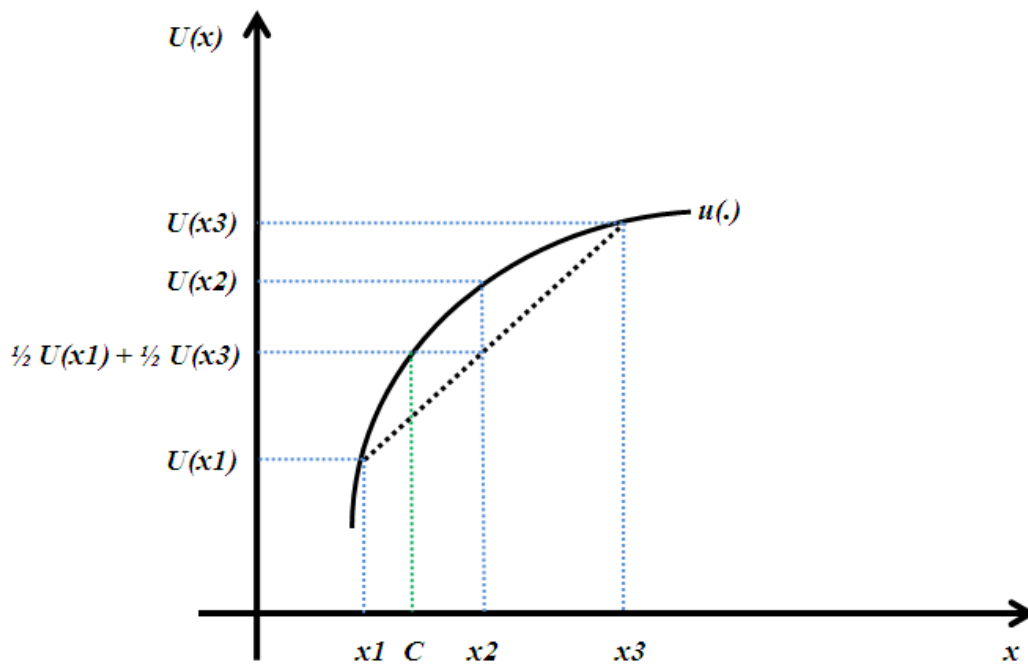


Figura 17: Certeza Equivalente

Suponha que um investidor faça uma aposta em um jogo de cara ( $x_1$ ) e coroa ( $x_3$ ) onde a probabilidade de sair cara ou coroa é de 50% cada. Sua decisão de investimento é caracterizada pela função utilidade  $u(.)$ . Se der cara ele ganha \$ 10,00 e se der coroa ele ganha \$ 30,00. Sendo assim, o retorno esperado do jogo é de \$ 20,00 ( $x_2$ ). Entretanto, nota-se na figura 8 que a utilidade de  $U(x_2) > \frac{1}{2} U(x_1) + \frac{1}{2} U(x_3)$ , o que está de acordo com a Desigualdade de Jensen e para o valor de utilidade  $\frac{1}{2} U(x_1) + \frac{1}{2} U(x_3)$ , existe um valor  $C$ , onde  $U(C) = \frac{1}{2} U(x_1) + \frac{1}{2} U(x_3)$ . Esse valor  $C$ , livre de risco (Certeza Equivalente), é um valor que o investidor aceitaria para não participar do jogo.

A preferência de um gestor por alternativas de investimentos de risco é influenciada pela magnitude dessa preferência em relação às conseqüências da decisão e pela atitude do investidor em relação ao risco, (Dyer e Sarin, 1982). Esse conceito permite a definição de duas medidas de aversão ao risco: a aversão ao risco absoluta (ARA – *absolut risk aversion*), que está relacionada ao valor absoluto do investimento em um ativo de risco, e a aversão ao risco relativa (RRA – *relative risk aversion*) que está relacionada ao percentual de exposição do nível de riqueza do investidor em um ativo de risco.

O grau de aversão ao risco de um gestor caracterizado por uma função utilidade está relacionado com a magnitude da curvatura dessa função, ou seja, quanto maior a curvatura, maior a aversão ao risco. A aversão ao risco pode ser quantificada pela segunda derivada da função utilidade. Esse grau de aversão é definido pelo coeficiente de Arrow-Pratt (ver Pratt, 1964). Sendo assim, o  $a(x)$  define a aversão ao risco absoluta (ARA).

$$a(x) = - \frac{U''(x)}{U'(x)}$$

Onde  $U''(x)$  é a segunda derivada da função utilidade e  $U'(x)$  e a primeira derivada da função utilidade. O uso da segunda derivada para medir a concavidade e a curvatura não tem o significado esperado quando se trata da função utilidade. Por exemplo, quando se multiplica uma função  $u$  por uma constante  $c$ , não se altera  $U''(x)$  e sua curvatura. Outro exemplo pode ser visto na função utilidade exponencial  $u(x) = -e^{-x}$ . Quando  $x$  aumenta,  $u$  tende a zero e o gráfico fica cada vez menos côncavo, parecendo uma reta horizontal, sendo que tanto  $u'(x) = e^{-x}$  quanto  $u''(x) = -e^{-x}$  tendem a zero para  $x$  grande. Entretanto, a função utilidade,  $u(x)$  não perde o significado para o crescimento do valor de  $x$ , ou seja, o comportamento de  $u(x)$  é o mesmo para todos os níveis de  $x$ , pois  $u(k+x) = -e^{-k-x} \sim u(x)$ .

Dessa forma, o denominador da função acima,  $U'(x)$ , tem como objetivo normalizar o coeficiente fazendo com que este seja igual para todas as funções utilidade equivalentes.

**Tabela 03:** Aversão ao risco absoluta

Definição <sup>5</sup>	Condição	Consequência
Aversão ao risco absoluta crescente (IARA)	$a'(x_0) > 0$	Se $x$ aumenta, investe-se menos em ativos de risco
Aversão ao risco absoluta constante (CARA)	$a'(x_0) = 0$	Se $x$ aumenta, investe-se o mesmo valor em ativos de risco
Aversão ao risco absoluta decrescente (DARA)	$a'(x_0) < 0$	Se $x$ aumenta, investe-se mais em ativos de risco

Existem diversos tipos de função utilidade dentre as quais algumas são mais comumente utilizadas pelos gestores.

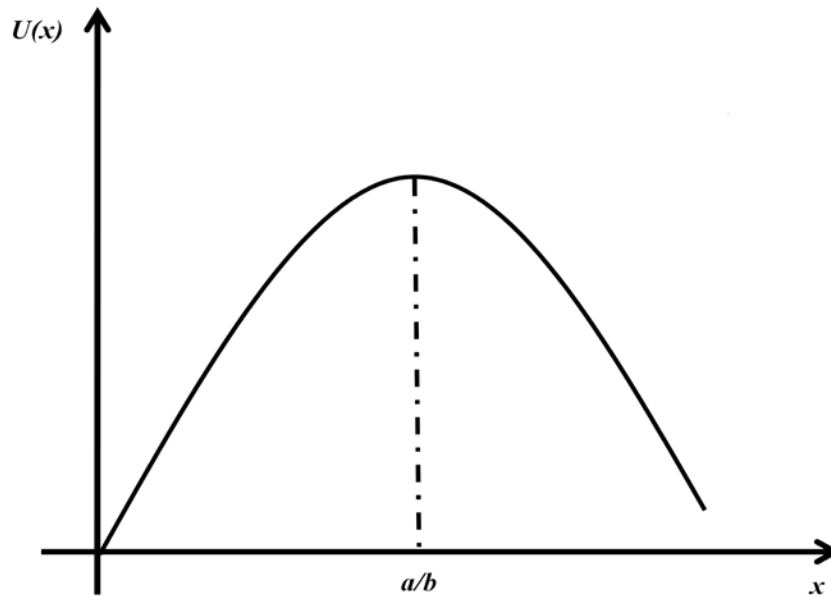
Um exemplo de função utilidade é a função quadrática definida por:  $U(x) = ax - \frac{1}{2}bx^2$ . Sendo assim, para uma variável  $x$  aleatória:

$$\begin{aligned} E[U(x)] &= E\left(ax - \frac{1}{2}bx^2\right) \\ &= aE(x) - \frac{1}{2}bE(x^2) \\ &= aE(x) - \frac{1}{2}b[E(x)]^2 - \frac{1}{2}bvar(x) \end{aligned}$$

A função utilidade quadrática foi bastante utilizada nas décadas de 50 e 60, pois é uma função que está relacionada somente com o retorno e a variância do portfólio. Além disso, esta função está diretamente relacionada à abordagem de média-variância de Markowitz (citada no item 2.3.1).

Entretanto, a função quadrática apresenta um comportamento em que valores de  $x$  com resultados maiores do que  $a/b$  terão uma função utilidade menor do que um valor, por exemplo, de  $x=a/b$ , ou seja, a função decresce para valores maiores do que  $a/b$ . A figura 18 abaixo ilustra essa questão:

<sup>5</sup> As siglas IARA, CARA e DARA estão em inglês, pois são comumente utilizadas dessa forma e significam, respectivamente, *increasing absolute risk aversion*, *constant absolute risk aversion* e *decreasing absolute risk aversion*.



**Figura 18:** A função utilidade quadrática

Isso significa que, o investidor, ao usar a função utilidade quadrática para sua tomada de decisão, pune (apresenta um menor valor para a utilidade) tanto os desvios para baixo em relação ao retorno esperado, quanto os desvios para cima que forem maiores do que  $a/b$  do retorno esperado. Esse problema poderia ser resolvido adotando a regra de que os valores de  $x$  deveriam ser menores ou iguais a  $a/b$ . Entretanto, como mostrado na tabela 3, essa função apresenta um coeficiente de aversão absoluta ao risco crescente, o que, para vários autores, não está alinhado ao comportamento dos investidores, Pratt (1964), Venter (1983) e Huang e Lintzenberger (1988).

Outro exemplo de função utilidade comumente utilizada na literatura é a função exponencial:

$$U(Q) = -e^{-sx}$$

As vantagens da utilização da função exponencial estão relacionadas à facilidade do seu uso computacional e ao fato desta não apresentar um coeficiente de aversão ao risco crescente.



Segundo Venter (1983) embora a função utilidade exponencial não apresente um coeficiente de relação ao risco decrescente (a função exponencial possui um ARA constante. Ver tabela 04), os seus efeitos podem ser alcançados por uma mudança no parâmetro  $s$  da função acima. Isso torna a função exponencial mais capaz de descrever as atitudes do investidor frente ao risco.

A tabela 04, a seguir, apresenta o valor de aversão ao risco absoluta para diferentes funções utilidades:

**Tabela 04:** Funções Utilidade – Aversão ao risco absoluta

Nome	Função	Coeficiente de Arrow-Pratt $a(x)$	Perfil do Coeficiente de Arrow-Pratt
Função Utilidade Quadrática	$U(x) = x - bx^2$	$\frac{2b}{1 - 2bx}$	Crescente (IARA)
Função Utilidade Exponencial	$U(x) = -e^{-sx}$	$s$	Constante (CARA)
Função Utilidade Logarítmica	$U(x) = \ln(x)$	$\frac{1}{x}$	Decrescente (DARA)

As implicações do uso de uma função utilidade que tem como perfil o coeficiente de Arrow-Pratt crescente ou decrescente são mais visíveis nas tomadas de decisão que envolvem a formação de um portfólio com ativos de risco e ativos livres de risco. Um investidor tende, com o aumento do seu nível de riqueza ( $x$ ), manter constante ou aumentar sua exposição ao risco, alocando o mesmo montante ou mais recursos nos ativos de risco. As funções que possuem essa característica são as que possuem aversão ao risco constante (CARA), ou decrescente (DARA).

Suponha dois investidores com níveis de riquezas  $x_1$  e  $x_2$ , respectivamente, onde  $x_1 > x_2$ , que estão investindo em um ativo que pode ter um retorno de mais ou menos  $k$ . Suponha ainda que os investidores utilizem uma mesma função utilidade para avaliação do investimento. Assim  $u_1(k) = u(x_1 + k)$  e  $u_2(k) =$

$u(x_2 + k)$ . Se a função  $U(x)$  apresentar uma aversão absoluta ao risco decrescente,  $a(z, u_2) \geq a(z, u_1)$ . Para maiores detalhes ver Mas-Colell *et al.* (1995).

Foi definida acima a aversão absoluta ao risco. Isto é, o resultado de  $a(x)$  caracteriza se o investidor vai aumentar ou diminuir o volume de recursos nos ativos de risco. Entretanto, o aumento de recurso no ativo de risco  $x$ , não necessariamente determina se o investidor está se expondo mais ou menos, em termos relativos, ao risco. Para isso surge o conceito da aversão relativa ao risco (RRA). A aversão ao risco relativa pode ser definida da seguinte forma:

$$w(x) = -x \frac{U''(x)}{U'(x)}$$

O RRA é uma medida de aversão ao risco que informa se o investidor aumentou ou não o valor investido em ativos de risco, entretanto, esse informação é dada em termos relativos, *i.e.*, o aumento pode ser, ou não, proporcional ao aumento do investimento  $x$ . O  $w(x)$  atua justamente neste ponto. O comportamento de um investidor dado pelo seu coeficiente de aversão ao risco relativo pode ser caracterizado da seguinte forma:

**Tabela 5:** Aversão ao risco relativa

<b>Definição</b>	<b>Condição</b>	<b>Consequência</b>
Aversão ao risco relativa crescente (IRRA) <sup>6</sup>	$w'(x_0) > 0$	Se $x$ aumenta, o % investido em ativos de risco diminui
Aversão ao risco relativa constante (CRRA)	$w'(x_0) = 0$	Se $x$ aumenta, o % investido em ativos de risco não se altera
Aversão ao risco relativa decrescente (DRRA)	$w'(x_0) < 0$	Se $x$ aumenta, o % investido em ativos de risco aumenta

<sup>6</sup> As siglas IRRA, CRRA e DRRA estão em inglês, pois são comumente utilizadas dessa forma e significam, respectivamente, *increasing relative risk aversion*, *constant relative risk aversion* e *decreasing relative risk aversion*.

**Tabela 6:** Funções Utilidade – Aversão ao risco relativa

Nome	Função	RRA $w(x)$	Perfil do RRA
Função Utilidade Quadrática	$U(x) = x - bx^2$	$\frac{2bx}{1 - 2bx}$	Crescente (IRRA)
Função Utilidade Exponencial	$U(x) = -e^{-sx}$	$sx$	Crescente (IRRA)
Função Utilidade Logarítmica	$U(x) = \ln(x)$	1	Constante (CRRA)

Para Mas-Colell *et al.* (1995) o conceito de aversão relativa é mais abrangente do que o conceito de aversão absoluta ao risco. Sendo assim, esses autores afirmam que o investidor se caracteriza por uma aversão relativa ao risco não crescente. Essa característica faz com que uma função com um risco relativo decrescente tenha, sempre, uma aversão ao risco absoluta decrescente, mas o contrário não é, necessariamente, verdadeiro.

### 3. Formulação Matemática

Como se viu no item 2.1, os trabalhos da bibliografia existente não apresentam uma resposta conclusiva para o melhor gerenciamento de um portfólio. Dessa forma, muitos gestores acabam usando regras *ad hoc* como, por exemplo, a maximização da probabilidade de sucesso na fase de desenvolvimento, a maximização do retorno comercial e/ou a minimização do risco comercial (para mais detalhes, ver Tavares, Santiago e Vakili, 2010).

Assim como Santiago e Vakili (2005), o modelo matemático proposto nesta dissertação considera uma empresa que possui o seu processo de desenvolvimento de novos produtos dividido em duas fases. A primeira trata da fase de desenvolvimento e a segunda trata da fase de comercialização, quando os produtos são lançados para o mercado.

O resultado da fase de desenvolvimento e a performance do produto no mercado são variáveis aleatórias que são modeladas da seguinte forma: Para um portfólio de  $n$  produtos, onde cada projeto é definido pelo índice  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ), a performance do produto no mercado é captada por um retorno aleatório  $r_i$  e a chance de sucesso na fase de desenvolvimento é caracterizada por uma probabilidade  $p_i$ . O sucesso na fase de desenvolvimento é representada pela probabilidade que um determinado produto  $i$  terá de se tornar apto a, no momento da comercialização, obter um retorno  $r_i$ . Considera-se ainda que a probabilidade de sucesso na fase de desenvolvimento  $p_i$  é independente do retorno do produto  $r_i$ .

O orçamento total para a fase de desenvolvimento é fixo e igual a  $B$ . Além do mais, considera-se que a chance de sucesso no desenvolvimento do produto  $i$  depende da fração  $\xi_i$  do total do orçamento alocado para ele, *i.e.*,  $p_i = f_i(\xi_i)$ . O retorno aleatório do produto  $i$ ,  $r_i$ , tem média  $\mu_i$  e desvio padrão  $\sigma_i$ , onde esse desvio padrão do retorno é a medida do risco de mercado do produto.

A formação do portfólio e o problema da alocação do orçamento são resolvidos em dois estágios. No primeiro estágio a empresa determina qual a fração do investimento deve ser alocada em cada produto com o objetivo de maximizar a utilidade esperada que permita o alcance do valor de portfólio ótimo na fase de comercialização. Na segunda etapa, a empresa aloca o orçamento da fase de comercialização para garantir a maximização do retorno e a minimização do risco do portfólio.

### 3.1. Primeiro Estágio

**Objetivo: Definir a fração do investimento em cada projeto para maximizar a utilidade esperada que permita aos decisores alcançar o valor de portfólio ótimo na fase de comercialização**

A fase de desenvolvimento proposta neste trabalho caracteriza-se por uma geração de alternativas (idéias ou conceitos) para atender um determinado mercado, desenvolvendo um produto. Sendo assim, a geração de cada alternativa de um produto tem um custo  $d$ , onde  $d_i$  representa o custo de cada alternativa dos projetos  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ). O custo de cada alternativa  $d_i$  é uma fração do orçamento total de desenvolvimento  $B$ .

Assim, o número de alternativas ( $n_{alt_i}$ ) que a Empresa investe para desenvolver um produto  $i$ , é definido pela divisão entre  $\xi_i$ , o percentual do orçamento alocado a um produto  $i$ , e o custo de cada alternativa  $d_i$ .

Cada alternativa do produto  $i$  possui uma probabilidade de sucesso dada por  $p_{alt_i}$  (o gestor, então, escolhe o número de alternativas de cada produto, com probabilidade de sucesso total  $p_i$ , que receberá os investimentos de desenvolvimento). Neste trabalho, investiga-se duas regras de decisão (heurísticas) para a escolha dessa alternativa. Uma baseada na seleção da melhor alternativa dada pela maximização de  $p_{alt_i}$  e outra dada pela média de  $p_{alt_i}$  das alternativas.

A saída da fase de desenvolvimento  $\underline{i}$  é simbolizada por um vetor binário  $n$  dimensional, onde 0 significa que o projeto fracassou (seja por razões técnicas, mercadológicas, ou pelo não recebimento de investimento) e, por isto, não será lançado no mercado, e 1 significa que ele está apto para ser lançado no mercado. Por exemplo, o vetor de 4 dimensões (0, 1, 0, 1) corresponde ao sucesso do desenvolvimento dos projetos 2 e 4. Além disso, os zeros no primeiro e no terceiro componentes do vetor indicam que nenhum deles recebeu recursos e, portanto, não foram desenvolvidos, ou o seu desenvolvimento não obteve sucesso.

Para cada um desses vetores, a sua probabilidade de ocorrência é definida da seguinte forma:

$$\underline{p} = p(\underline{i}) = p(i_1, \dots, i_n) = \prod_{j=1}^n p_j^{i_j} (1 - p_j)^{1-i_j} \quad (1)$$

Como  $p_i$  é uma função da fração do orçamento de desenvolvimento alocada no projeto  $i$ ,  $\underline{p}$  é uma função de  $\underline{\xi} = (\xi_1, \dots, \xi_n)$ .

Para cada possível saída da fase de desenvolvimento  $\underline{i}$ , existe uma utilidade ótima (a ser definida a seguir na fase de comercialização),  $U^*(\underline{i})$ , que pode ser alcançada pela alocação ótima dos recursos na fase comercialização. Nota-se que existem  $2^n$  vetores para os quais uma função utilidade  $U^*(\underline{i})$  precisa ser determinada.

Assuma que, para cada resultado  $\underline{i}$ , a utilidade ótima  $U^*(\underline{i})$  é determinada. Considere que o vetor aleatório  $I(\underline{\xi})$  corresponda à incerteza do resultado da fase de desenvolvimento assumindo que a alocação do orçamento na fase de desenvolvimento é dada pelo vetor  $\underline{\xi}$ . Essa incerteza é gerada porque o gestor não sabe *a priori*, se aqueles projetos que receberam o orçamento de desenvolvimento serão bem sucedidos. Por exemplo, quando se investe no desenvolvimento dos projetos 2 e 4, pode-se chegar ao final do processo com somente o projeto 2 bem sucedido, ou somente o projeto 4 bem sucedido, ou os projetos 2 e 4 bem sucedidos, ou ainda, nenhum deles bem sucedidos.

Dessa forma, o valor esperado do primeiro estágio, é uma binomial  $I(\underline{\xi})$  em função de cada resultado possível, atrelado à utilidade,  $U^*(i)$ , que capta o resultado da alocação de recursos na fase de comercialização. No exemplo dos projetos 2 e 4, esse valor seria  $(p_2).(p_4).[U(0,1,0,1)] + (p_2).(1-p_4).[U(0,1,0,0)] + (1-p_2).(p_4).[U(0,0,0,1)] + (1-p_2).(1-p_4).[U(0,0,0,0)]$ , onde o primeiro termo indica que o desenvolvimento dos dois foram bem sucedidos, o segundo termo indica que apenas o desenvolvimento do segundo produto foi bem sucedido, o terceiro termo apenas o quarto foi bem sucedido; e o quarto termo não teve nenhum projeto bem sucedido e o investidor não poderá colocar dinheiro na comercialização de produtos.

Sendo assim, a fase de desenvolvimento aqui proposta é uma busca (*search paradigm*) pelo portfólio que maximiza a utilidade esperada da fase de comercialização. Para isso o gestor deve avaliar quanto do recurso disponível ele vai aplicar à geração de alternativas para o desenvolvimento de cada produto.

Assim, o objetivo da fase de desenvolvimento é resolver:

$$\max_{\underline{\xi}} E[U^*(I(\underline{\xi}))]$$

Mais precisamente, a otimização a seguir precisa ser resolvida:

$$\begin{aligned} \max \quad & E[U^*(I(\underline{\xi}))] \\ \text{s.a.} \quad & \sum_{i=1}^n \xi_i = 1 \\ & \xi_i \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

### 3.2. Segundo Estágio

**Objetivo: Otimizar a alocação do orçamento da fase de comercialização para que o retorno do portfólio dos  $m$  produtos<sup>7</sup> possa ser maximizado e o risco minimizado.**

Nesse trabalho são consideradas duas funções utilidades diferentes para alocação dos recursos do orçamento comercial. A primeira função utilidade, que captura a atitude de risco da empresa, é baseada em Elton *et al.* (2010), Capítulo 11:

$$U(Q) = E[r_Q] - \frac{1}{2} m_a \sigma_Q^2$$

onde  $r_Q$ ,  $\sigma_Q$  representam o retorno do portfólio  $Q$  e a sua variância, respectivamente.  $m_a$  é a medida de aversão ao risco. A empresa define sua estratégia como sendo:

$$r_Q = (1-\alpha)r_f + \alpha r_p$$

Onde  $\alpha$  representa a quantidade a ser investida na configuração ótima do portfólio de projetos ( $P$ ) na região viável dos projetos de risco e  $(1-\alpha)$  o total a ser investido em um ativo livre de risco com retorno  $r_f$ . Veja que essa formulação é equivalente à formulação tradicional do portfólio financeiro de Markowitz (1952). A empresa precisa maximizar sua utilidade:

$$U(Q) = (1-\alpha)r_f + \alpha E[r_p] - \frac{1}{2} \alpha^2 m_a \sigma_p^2 \quad (3)$$

---

<sup>7</sup> Os  $m$  produtos definido na fase de comercialização é um subconjunto do  $n$  produtos da fase de desenvolvimento, onde  $m \leq n$ , tendo em vista a probabilidade de fracasso de um projeto  $i$  na fase de desenvolvimento.



Assuma que a empresa tenha  $C$  reais para comercializar seu portfólio de produtos que corresponde a uma fração de seu faturamento. A empresa pode ainda contratar empréstimos em um valor de  $b$  no Mercado. Assim, o valor  $\alpha$  pode variar da seguinte forma:

$$-\frac{b}{C} \leq \alpha \leq \frac{C+b}{C}$$

Se a empresa não possui crédito disponível no mercado, ou seja,  $b = 0$ ,  $\alpha$  passa a ser definido como a seguir:

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

onde  $\alpha$  representa a fração total do capital  $C$  a ser investido na comercialização dos novos produtos desenvolvidos e  $(1-\alpha)$  a quantidade de recursos a ser empregada em um ativo livre de risco  $r_f$ .

Pode ser demonstrado que a maximização de  $U(Q)$  é equivalente à maximização do Índice de Sharpe<sup>8</sup> (IS) (ver, e.g., Luenberger (1988) para mais detalhes):

$$IS = \left( \frac{\mu_p - r_f}{\sigma_p} \right) \quad (4)$$

Veja que a configuração do portfólio na fase de comercialização é independente da medida de aversão ao risco ( $m_a$ ). Por outro lado, essa medida passa a ter um papel importante na seleção de projeto na fase de desenvolvimento.

---

<sup>8</sup> Sharpe (1964)

O retorno esperado do portfólio é dado por:

$$\mu_p = \sum_{i=1}^m \theta_i \mu_i \quad (5)$$

onde  $\theta_i$  é a fração do orçamento da fase de comercialização ( $\alpha$ ) alocada no projeto  $i$ . A variância do portfólio é dada por:

$$\begin{aligned} \sigma_p^2 &= E \left[ \sum_{i=1}^m \theta_i (r_i - \mu_i) \right]^2 \\ &= E \left\{ \left[ \sum_{i=1}^m \theta_i (r_i - \mu_i) \right] \left[ \sum_{j=1}^m \theta_j (r_j - \mu_j) \right] \right\} \\ &= \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m \theta_i \theta_j \sigma_{ij} \end{aligned} \quad (6)$$

Assim o problema de maximização torna-se:

$$\begin{aligned} \max U(Q) &= \max \frac{\sum_i \theta_i \mu_i - r_f}{\sqrt{\sum_i \sum_j \theta_i \theta_j \sigma_{ij}}} \\ \text{s.a.} &\quad \sum_{i=1}^m \theta_i = 1 \\ &\quad \theta_i \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

A segunda função utilidade considerada é uma função exponencial definida da seguinte forma:

$$U(r) = 1 - e^{(-m_a \mu_p)} \quad (8)$$

Onde  $m_a$  é a medida de aversão ao risco e  $\mu_p$  é definido como na equação (4). O problema de maximização torna-se então:

$$\begin{aligned} \max U(r) &= \max [1 - e^{(-m_a \mu_p)}] \\ \text{s.a.} &\quad \sum_1^m \theta_i = 1 \\ &\quad \theta_i \geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Essas duas funções foram escolhidas por apresentarem diferentes comportamentos de aversão ao risco. A função quadrática apresenta uma aversão simétrica ao risco, ou seja, os desvios em relação ao valor esperado da função são penalizados simetricamente (ver item 2.3.2.1). Já a função exponencial penaliza com maior intensidade os desvios para baixo do valor esperado da função, caracterizando um investidor mais averso a esse tipo de desvio (*dowside risk aversion*). Além do mais, como discutido no item 2.3.2.1, as duas funções utilidades propostas apresentam coeficientes de aversão absoluta ao risco diferentes (ARA), refletindo diferentes tipos de comportamento do investidor. A função quadrática possui um coeficiente crescente e a exponencial possui um coeficiente constante. A análise dessas diferenças será explorada no item 4.5.1.

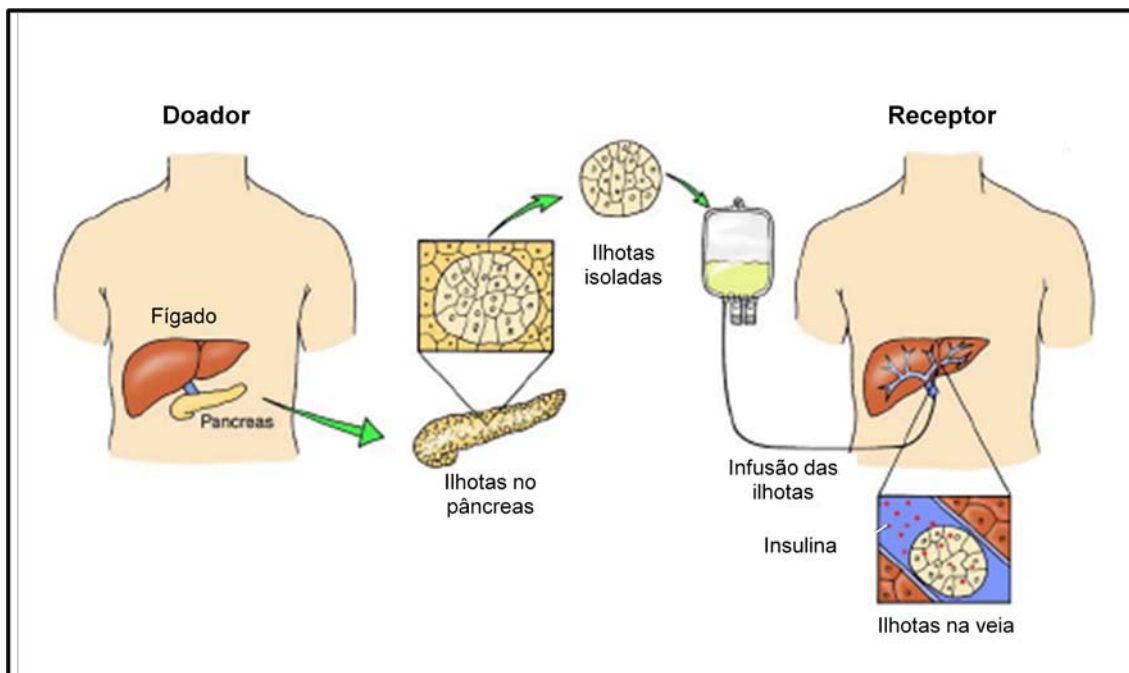
## **4. Aplicação do Modelo em uma Empresa de Biotecnologia**

A partir da exposição teórica realizada nos capítulos anteriores, o objetivo deste capítulo é ilustrar os conceitos apresentados no modelo matemático proposto no item 3 em um exemplo numérico relacionado a uma empresa de biotecnologia.

### **4.1. Caracterização da Empresa e do Mercado**

A empresa objeto do estudo está identificada ao longo desse trabalho como Empresa X. A Empresa X foi criada em 2008 no município de São Paulo. Os seus fundadores foram os responsáveis por ter realizado o primeiro transplante de ilhotas pancreáticas (células responsáveis pela secreção de hormônios que regulam os níveis de glicose sanguíneos e correspondem a aproximadamente 2% da massa do pâncreas) em pacientes com diabetes Tipo 1 na América Latina e, a partir daí, surgiu a idéia de criação da Empresa.

O transplante de ilhotas pancreáticas possui diversas vantagens em relação ao tratamento a base de insulina, dentre elas se destacam a secreção fisiológica de insulina, a secreção de glucagon (é um hormônio muito importante no metabolismo dos hidratos de carbono. O seu papel mais conhecido é aumentar a glicemia – nível de glicose no sangue, contrapondo-se aos efeitos da insulina) e outros hormônios das ilhotas, a efetiva regulação da normoglicemia (taxa normal de glicose no sangue) e a melhoria geral do controle metabólico. O processo convencional de transplante dessas células é ilustrado na figura 19 a seguir:



**Figura 19:** O transplante de ilhotas – Material cedido pela Empresa X

Entretanto, a baixa viabilidade (fontes limitadas de ilhotas), as limitações funcionais desse tipo de transplante (baixo tempo de vida útil das células transplantadas), e a necessidade de terapia imunossupressora<sup>9</sup>, após a realização do mesmo, têm estimulado em todo o mundo o investimento e o desenvolvimento de biomateriais para microencapsulação de ilhotas, o que poderia eliminar a necessidade de imunossupressão e permitir ao paciente permanecer livre de terapia a base de insulina.

Assim, a empresa definiu seu foco no desenvolvimento de biomateriais com propriedades inovadoras capazes de microencapsular células utilizadas para terapia celular. O negócio é desenvolvido por meio de estratégias focadas no desenvolvimento de formulações de biomateriais capazes de melhorar a viabilidade e as funções das células microencapsuladas, da descoberta e do desenvolvimento de moléculas bioativas inovadoras para melhorarem as formulações dos biomateriais e da realização de testes de conceito que, hoje, vêm sendo desenvolvidos com ilhotas humanas microencapsuladas.

<sup>9</sup> Terapia imunossupressora é a supressão artificial da resposta imunológica, geralmente com a utilização de medicamentos, para que o corpo não rejeite, por exemplo, um novo órgão, através do seu sistema imune.

Para isso, a Empresa X conta com um corpo de pesquisadores formado por pós-doutores, doutores e mestres e possui parcerias com diversas fundações e núcleos de pesquisa, dentre eles um centro de pesquisa ligado à Universidade de São Paulo, uma instituição de pesquisa líder no Brasil na área de terapia celular.

A Empresa X se caracteriza por ser uma *startup*, termo usado para definir empresas recém-criadas, geralmente orientadas para o desenvolvimento de tecnologias. Atualmente ela possui um portfólio de produtos em fase de pesquisa e desenvolvimento alinhado à sua estratégia, descrita anteriormente. No item 4.2 a seguir são apresentadas as principais características desse portfólio.

#### 4.2. Caracterização do Portfólio de Desenvolvimento de Novos Produtos

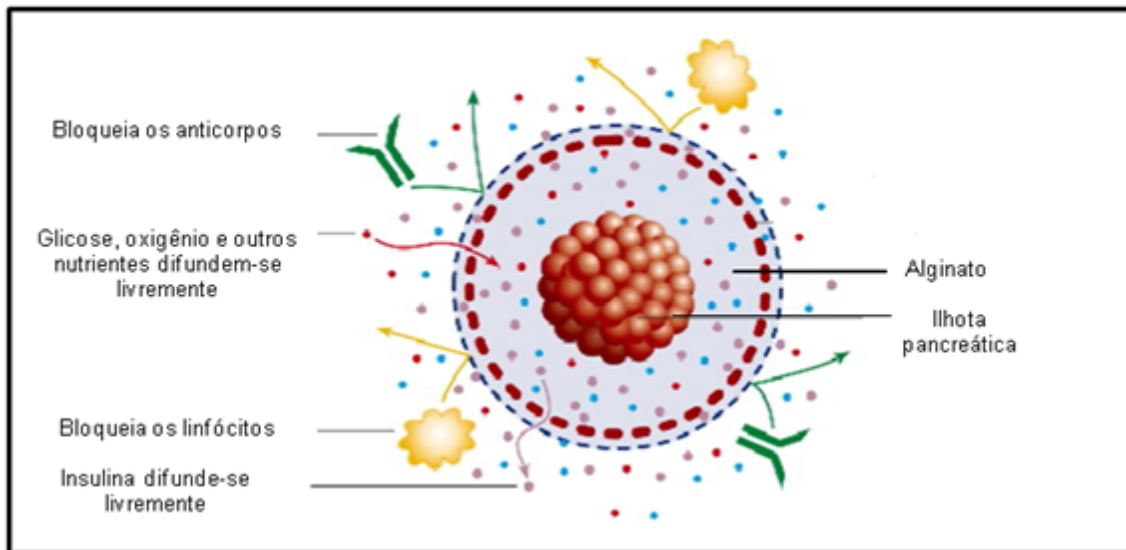
O portfólio da Empresa X apresenta um conjunto de produtos em fase de desenvolvimento com características distintas. A tabela 07 abaixo sintetiza essas informações:

**Tabela 07:** Portfólio de produtos da Empresa X

Produto	Descrição	Mercado
1	Biomaterial para encapsulamento celular	Tratamento de diabetes e outras doenças
2	Dispositivo implantável para tratamento celular	Tratamento de diabetes e outras doenças
3	Alginato: principal componente utilizado na composição do biomaterial	Composição do biomaterial, próteses e dispositivos médicos implantáveis
4	Serviços de consultoria como foco no setor de biotecnologia	Indústrias farmacêutica, química e de biotecnologia

O Produto 1 tem sido o principal foco de investimento da Empresa X. Apesar do mercado alvo desse produto ser o tratamento de doenças, especialmente a diabetes, ele também pode ser empregado em diversas indústrias como a de

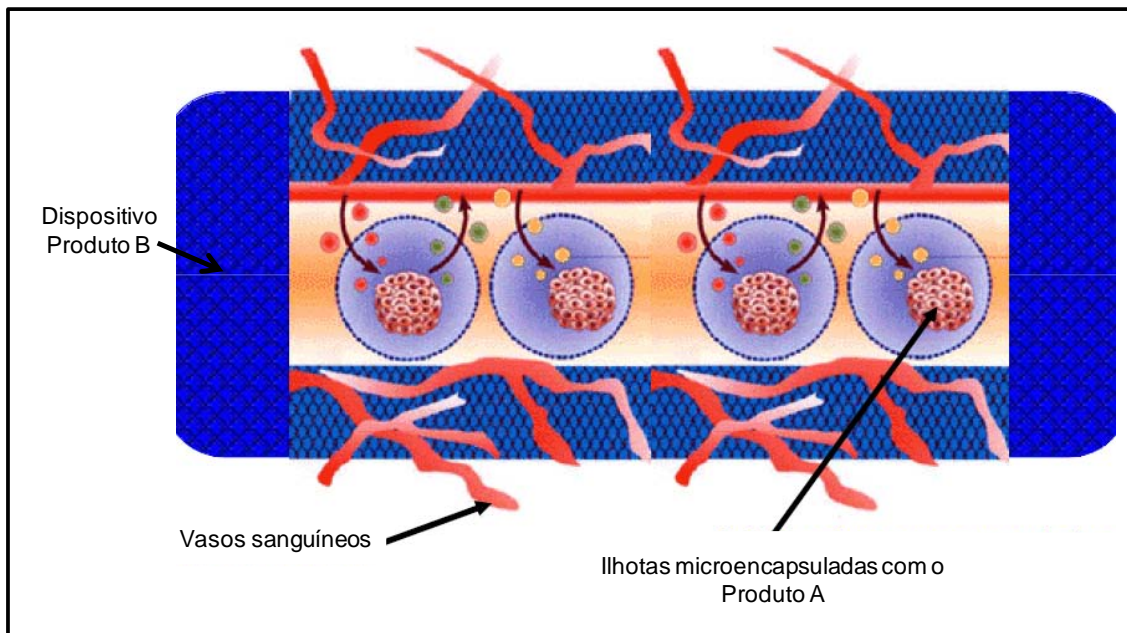
bebidas e a de biofertilizantes. A figura 20 abaixo ilustra o conceito do encapsulamento celular:



**Figura 20:** O uso de ilhotas celulares encapsuladas – Material cedido pela Empresa X

Como dito acima, o Produto 1 pode ser aplicado em diversos mercados que representam bilhões de dólares. Somente o mercado de tratamento de diabetes movimentou no mundo em 2009, 26,3 bilhões de dólares. Além disso, a sua complexidade tecnológica, a ausência de concorrentes que já estejam operando no mercado, faz com que o potencial do retorno esperado do produto seja muito alto.

O Produto 2 é um dispositivo que permite o uso seguro e eficiente de outras partes do corpo humano para a realização do implante das células encapsuladas, é seguro e de fácil recuperação em caso de substituição de ilhotas transplantadas. A figura 21 ilustra o conceito do dispositivo:



**Figura 21:** Dispositivo para implantação de ilhotas celulares encapsuladas – Material cedido pela Empresa X

O Produto 2 apresenta uma complexidade tecnológica menor do que o Produto 1. Além disso, o seu mercado em potencial também é menor, pois ele está focado em ser um dispositivo para o implante de células usadas em tratamento celular.

O Produto 3, o alginato ultra-puro, é uma das principais matérias primas para a produção do Produto 1. Este produto é extraído de algas marinhas. Atualmente o mercado de alginato ultra-puro é altamente concentrado e possui apenas uma empresa no mundo capaz de vender esta substância em larga escala. Tendo em vista esta concentração, torna-se uma questão estratégica para a Empresa X desenvolver tal produto para ter independência no processo de produção do Produto 1. Tal concentração faz com que a expectativa de retorno do produto seja baixa e o seu risco alto, tendo em vista medidas que o concorrente pode tomar para resguardar o seu mercado (*e.g.*, guerra de preços, acesso privilegiado à matéria primas, dentre outras).

Já o Produto 4 representa a venda de serviços e consultorias relacionados às expertises da equipe que compõe a Empresa X. Essa equipe possui uma profunda qualificação na área de Biotecnologia e a prestação de serviços torna-



se fonte de recursos de curto prazo. O retorno é baixo e o risco atrelado ao mesmo também é baixo.

A partir dessas informações, foi estruturado o retorno esperado do portfólio e o seu risco. O retorno esperado no estágio 2 é dado pelo seguinte vetor:

$$\mu_i = \begin{bmatrix} 7,5 \\ 2,0 \\ 3,5 \\ 1,0 \end{bmatrix}$$

Já  $\Sigma$ , a matriz de covariância, ( $\Sigma = [ \sigma_{ij} ]$ ), é dada por:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 9,0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,05 \end{bmatrix}$$

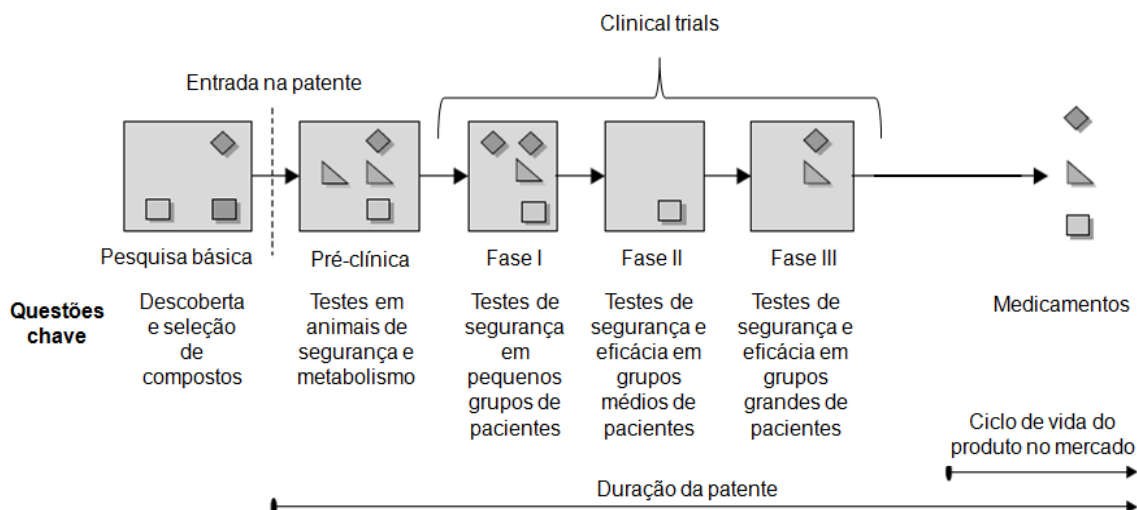
No item 4.3 a seguir é apresentada a descrição das principais características do processo de desenvolvimento da Empresa X.

### 4.3. Caracterização do Processo de Desenvolvimento

Os produtos do portfólio de desenvolvimento da Empresa X estão relacionados à indústria farmacêutica. O processo de desenvolvimento neste tipo de indústria é altamente regulado e estruturado em uma série de etapas bem definidas<sup>10</sup>. A figura 22 ilustra cada uma dessas etapas e representa um conjunto mínimo de etapas que tal processo deve seguir.

---

<sup>10</sup> Para maiores detalhes ver: Cancer Clinical Trials: The Basic Workbook – National Institutes of Health, National Cancer Institute/USA



**Figura 22:** Processo de desenvolvimento de medicamentos – Adaptado de Girotra *et al.* (2007)

O processo de desenvolvimento de novos medicamentos começa com a pesquisa, em laboratórios, de novas propriedades químicas e/ou biológicas de novas moléculas, substâncias e compostos (Pesquisa básica). A partir daí são feitos testes com animais (testes pré-clínicos) e em seguida com seres humanos (*Clinical trials* – fases I, II e III).

Os *Clinical trials* são estudos e pesquisas envolvendo seres humanos. Eles representam a etapa final em um longo processo de desenvolvimento. Os *clinical trials* buscam responder perguntas científicas específicas para obter melhores soluções para prevenir, detectar e tratar doenças ou melhorar o atendimento às pessoas com algum tipo de doença. Os *clinical trials* são divididos, comumente, em três fases:

### Fase I: Foco na segurança

A partir do momento que os estudos de laboratório mostram que a pesquisa é promissora e que são realizados os testes pré-clínicos, a Fase I pode começar. Essa fase é a primeira etapa nos testes de desenvolvimento de novas drogas em seres humanos. Nessa fase, os pesquisadores analisam a melhor maneira de aplicar um medicamento em humanos (e.g. por meio de pílulas, injeção dentre outros), qual a frequência dessa aplicação e qual a dosagem mais segura. Os estudos também incluem testes laboratoriais para avaliar como o

novo medicamento age no corpo dos pacientes. Participam da Fase I pequenos grupos de pacientes (entre 20 e 100 pessoas, dependendo do tipo de estudo).

### Fase 2: Quão eficiente o novo medicamento funciona

Na Fase II, a segurança do novo medicamento continua sendo testada e iniciam-se os testes para avaliar a eficiência dessa droga para combater uma doença específica (entre 20 e 300 pessoas, dependendo do tipo de estudo)..

### Fase 3: Compara-se o novo tratamento com os padrões de tratamento pré-existent

A Fase III foca no estudo, aprendizado e comparação da nova droga em relação às outras drogas de referência existentes. Os pesquisadores buscam investigar como o novo tratamento é melhor ou pior do que os padrões. Para isso, na Fase III participam um grande número de pacientes (entre 300 e 3000 ou mais pessoas, dependendo do tipo de estudo), que são divididos em dois ou mais grupos. A partir dessa etapa, o medicamento já pode ser lançado no mercado. Em caso de dois grupos, os pacientes são divididos em:

- Um grupo recebe o tratamento padrão de mercado (para determinados testes, pode ser, também, placebo);
- Outro recebe o novo tratamento.

### **Estratégia de Desenvolvimento da Empresa X:**

Três dos produtos do portfólio da Empresa X possuem o seu processo de desenvolvimento estruturado como as etapas descritas acima. O Produto 1, os biomateriais para encapsulamento celular, o Produto 2, o dispositivo para implantar as células para terapia celular, e o Produto 3, o alginato ultra-puro. Já o Produto 4, os serviços, não possui um processo de desenvolvimento específico.

O Produto 1 é o que está com o processo de desenvolvimento mais avançado. Tal produto já realizou parte dos testes pré-clínicos e foi dada entrada em sua patente. Já os produtos 2 e 3 estão na fase de pesquisa.

O processo de desenvolvimento da Empresa X é financiado por meio de recursos advindos de fundos de pesquisa governamentais como a FINEP (Financiadora de Estudos e Programas) e a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), além de parcerias com instituições privadas e grupos de investimento.

As pesquisas são realizadas em parceria com núcleos e centros de pesquisa, geralmente ligados à universidades, por meio de seus pesquisadores. Percebe-se assim, que cada produto compete com os outros pelos recursos e mão de obra disponíveis, tornando-se essas, as principais restrições para o desenvolvimento dos medicamentos.

O desenvolvimento de cada produto é feito com base em pesquisas, geração e testes de diferentes alternativas para atacar a necessidade de mercado de cada produto. Por exemplo, para o Produto 3 (o alginato ultra-puro) a Empresa X testa diferentes fontes de alginato para chegar a uma formulação (ultra-pura) que atenda às necessidades do mercado. Para isso são testados alginatos oriundos de diferentes tipos de algas marinhas, de bactérias e até substâncias sintéticas com as mesmas características do alginato. Sendo assim, o estudo de cada uma dessas alternativas tem um custo. Para a aplicação do modelo, foram estimados os seguintes custos de desenvolvimento por alternativa, por produto:

$$d_i = \begin{bmatrix} 0,33 \\ 0,07 \\ 0,05 \\ 0,01 \end{bmatrix}$$

Os custos descritos no vetor  $d_i$  representam o percentual do orçamento de desenvolvimento mínimo para gerar uma alternativa, por cada produto  $i$ .

A estimação de tais custos levou em consideração fatores como custo de patente (necessários nos produtos 1,2 e 3), mão de obra para desenvolvimento (maior custo para o Produto 1, devido à sua complexidade tecnológica), necessidade de matéria prima e insumos para os testes (o Produto 1 utiliza materiais caros como as ilhotas pancreáticas e o alginato ultra-puro importado. O Produto 2 está sendo desenvolvido com material de titânio e o Produto 3 necessita de estudar algas com características ainda desconhecidas da comunidade científica internacional) e infraestrutura de laboratório necessária (necessidade de equipamentos avançados para o desenvolvimento do Produto).

#### **4.4. Aplicação do Modelo**

A escolha da Empresa X, para a aplicação do modelo proposto nesta dissertação, levou em conta as seguintes características: Os produtos do portfólio da empresa possuem fases bem definidas, que vão desde as pesquisas científicas básicas até a fase de lançamento do produto no mercado; a empresa possui restrições de recursos (orçamento e mão de obra) que fazem com que seus gestores tenham que priorizar o desenvolvimento de um determinado produto; além do mais, por se tratar de uma *startup*, a Empresa X tem uma necessidade de sobrevivência de curto prazo, visto que os produtos farmacêuticos objeto dos seus investimentos, possuem tempo de desenvolvimento muito longo.

Tais características vão ao encontro da necessidade de diversificação do portfólio da empresa, diversificação essa que é a motivação básica para a gestão de portfólio (Santiago e Vakili, 2005 e 2009). Ressaltamos que o exemplo utilizado para apresentar o modelo é meramente ilustrativo, ou seja, o foco é apresentar a aplicabilidade do modelo e não a validação dos parâmetros de entrada.

Apesar do processo de desenvolvimento da Empresa X ser subdividido em, pelo menos, cinco fases de desenvolvimento, conforme ilustrado na figura 22, o modelo proposto foi aplicado considerando duas fases, uma de desenvolvimento que congrega todas as fases de desenvolvimento da figura 22 (pesquisa básica, teste pré-clínicos, Fase I, Fase II e Fase II) e a fase de comercialização. A junção das cinco fases em uma fase geral não trás prejuízos para a análise do modelo, que pode ser facilmente expandido para um modelo multi-fases.

#### 4.4.1. Fase de Desenvolvimento

A fase de desenvolvimento é caracterizada pela geração de alternativas que possam ser selecionadas para obter sucesso na fase de desenvolvimento e serem comercializadas no mercado.

Dado que  $d_i$  representa o custo percentual mínimo sobre o orçamento total de desenvolvimento para geração de uma alternativa por cada produto  $i$ , tem-se que o número máximo de alternativas para cada produto é dado por  $n_{alt_i}$ :

$$d_i = \begin{bmatrix} 0,33 \\ 0,07 \\ 0,05 \\ 0,01 \end{bmatrix}$$

$$n_{alt_i} = \begin{bmatrix} 3 \\ 14 \\ 20 \\ 100 \end{bmatrix}$$

Por exemplo, a Empresa X gera 3 alternativas de desenvolvimento para o Produto 1 quando  $\xi_1 = 1$ , ou seja, quando todo o orçamento de desenvolvimento  $B$ , é investido nele.

Cada alternativa tem uma probabilidade de sucesso  $p_{alt_i}$  que segue uma distribuição. As distribuições adotadas nesse trabalho seguiram modelo apresentado por Dahan e Mendelson (2001), que foi aplicado no desenvolvimento de um sistema de inalação de drogas. Esse sistema é dividido em três produtos, sendo o primeiro a formulação para que a droga torne-se inalável, o segundo o processo de embalagem e o terceiro o dispositivo de inalação. Cada um desses produtos seguiu uma distribuição de valor extremo sendo elas: Frechet (1,8 3,9 2,3), Weibull (2,2 - 2 1,9) e Gumbel (0,78 0 - 0,45), respectivamente, para os parâmetros de escala, forma e localização. Os valores do parâmetro de escala foram definidos usando-se diferentes métodos para os diferentes produtos, como os métodos de Reiss e Thomas (1997) para o Produto 1, que utiliza os valores máximo observados, simulação dos dados de retorno para o Produto 2 e a utilização de especialistas para definição do lucro máximo, no caso do Produto 3.

No caso da Empresa X, o Produto 1 seguiu uma distribuição Frechet (1,8 3,9 2,3). Este é o produto mais representativo da empresa (não existe concorrente no mundo) e que, tornando-se viável, apresenta um alto retorno esperado. Os Produtos 2 e 3 seguiram uma distribuição Gumbel (0,78 0 -0,45), pois são produtos com um tamanho de mercado mais bem definidos. Já o Produto 4 seguiu uma distribuição Weibull (2,2 -2 1,9), pois é uma prestação de serviços e possui um mercado potencial limitado.

Dessa forma, foram simuladas todas as possibilidades de alocação de recursos na fase de desenvolvimento (ver algoritmo no Anexo 1). Para cada uma dessas possibilidades foram analisados dois cenários. A escolha da melhor alternativa de cada produto  $i$ , de forma a maximizar a probabilidade de sucesso do produto  $i$ , ou a alternativa de qualidade média.

#### **4.4.2. Fase de Comercialização**

Para a fase de comercialização foi investigada a aplicação de duas funções utilidades diferentes:

- Função utilidade quadrática dada pela equação 3:

$$U(Q) = (1 - \alpha)r_f + \alpha E[r_p] - \frac{1}{2}\alpha^2 m_a \sigma_p^2$$

Onde foi considerada uma taxa de investimento em ativos livre de risco de  $r_f = 0,5$ . Considerou-se também que a empresa não tem limite de crédito no mercado, ou seja ( $-\infty < \alpha < \infty$ ).

- Função utilidade exponencial dada pela equação 8:

$$U(r) = 1 - e^{(-m_a \mu_p)}$$

Para as duas funções utilidades considerou-se dois valores para o coeficiente de aversão ao risco. No caso da exponencial, os valores foram  $m_a = 1$  e  $m_a = 3$ . Já a quadrática, os coeficientes foram  $m_a = 1$  e  $m_a = 1,5$ . Tais valores de aversão ao risco foram escolhidos como forma de ilustrar o uso das funções utilidade. A comparação entre os resultados numéricos de diferentes funções utilidades perde o sentido, na medida em que elas utilizam parâmetros diferentes. O ponto central entre elas é avaliar o ranking de alternativas que elas fornecem. Essa investigação permite entender como se comporta, para o portfólio da Empresa X, um investidor menos averso ao risco ( $m_a = 1$ ) e outro mais averso ao risco ( $m_a = 3$  ou  $1,5$  no caso da função quadrática).

## 4.5. Resultados

### 4.5.1. Fase de Comercialização

Como mencionado, para a solução do problema apresentado nesse trabalho, primeiro se resolve o problema do segundo estágio maximizando a função utilidade. Sendo assim, considera-se todas as  $2^n$  possibilidades, que no exemplo da Empresa X são 16, de resultados bem sucedidos representados pelos vetores  $i$ .



#### 4.5.1.1. Função exponencial

##### Para $m_a = 1$

A tabela 08 apresenta os resultados da fase de comercialização utilizando uma utilidade exponencial com  $m_a = 1$ :

**Tabela 08:** Resultados da fase de comercialização para uma utilidade exponencial com  $m_a = 1$

$i$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$U^*(i)$	$E(r_p)$
(1,1,1,1)	0,7000	0,0000	0,3000	0,0000	0,9826	6,2915
(1,1,1,0)	0,7100	0,0000	0,2900	0,0000	0,9826	6,3308
(1,1,0,1)	0,9400	0,0600	0,0000	0,0000	0,9781	7,1677
(1,1,0,0)	0,9600	0,0400	0,0000	0,0000	0,9786	7,2784
(1,0,1,1)	0,7000	0,0000	0,3000	0,0000	0,9822	6,3074
(1,0,1,0)	0,7000	0,0000	0,3000	0,0000	0,9826	6,2561
(1,0,0,1)	0,9900	0,0000	0,0000	0,0100	0,9786	7,4414
(1,0,0,0)	0,9900	0,0000	0,0000	0,0000	0,9779	7,4190
(0,1,1,1)	0,0000	0,5000	0,5000	0,0000	0,8816	2,7500
(0,1,1,0)	0,0000	0,5000	0,5000	0,0000	0,8816	2,7592
(0,1,0,1)	0,0000	0,9900	0,0000	0,0100	0,8035	1,9904
(0,1,0,0)	0,0000	0,9900	0,0000	0,0000	0,8011	1,9810
(0,0,1,1)	0,0000	0,0000	0,9900	0,0100	0,8582	3,4754
(0,0,1,0)	0,0000	0,0000	0,9900	0,0000	0,8590	3,4775
(0,0,0,1)	0,0000	0,0000	0,0000	0,9900	0,6198	0,9913
(0,0,0,0)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3935	0,5000

##### Para $m_a = 3$

A tabela 09 apresenta os resultados da fase de comercialização utilizando uma utilidade exponencial com  $m_a = 3$ :

**Tabela 09:** Resultados da fase de comercialização para uma utilidade exponencial com  $m_a = 3$

$\underline{i}$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$U^*(i)$	$E(r_p)$
(1,1,1,1)	0,2900	0,4900	0,2200	0,0000	0,9989	3,9301
(1,1,1,0)	0,2900	0,4700	0,2400	0,0000	0,9989	3,9467
(1,1,0,1)	0,3100	0,5100	0,0000	0,1800	0,9979	3,5300
(1,1,0,0)	0,3400	0,6600	0,0000	0,0000	0,9976	3,8618
(1,0,1,1)	0,3000	0,0000	0,2400	0,4600	0,9978	3,5552
(1,0,1,0)	0,5500	0,0000	0,4500	0,0000	0,9974	0,7173
(1,0,0,1)	0,3100	0,0000	0,0000	0,6900	0,9951	3,0228
(1,0,0,0)	0,9900	0,0000	0,0000	0,0000	0,9921	7,4345
(0,1,1,1)	0,0000	0,4900	0,2000	0,3100	0,9866	1,9885
(0,1,1,0)	0,0000	0,7200	0,2800	0,0000	0,9846	2,4247
(0,1,0,1)	0,0000	0,4700	0,0000	0,5300	0,9717	1,4730
(0,1,0,0)	0,0000	0,9900	0,0000	0,0000	0,9580	1,9919
(0,0,1,1)	0,0000	0,0000	0,2100	0,7900	0,9716	1,5251
(0,0,1,0)	0,0000	0,0000	0,9900	0,0000	0,9300	3,4534
(0,0,0,1)	0,0000	0,0000	0,0000	0,9900	0,9360	0,9899
(0,0,0,0)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7769	0,5000

As tabelas 08 e 09 mostram que, se o investidor tivesse essas 16 opções de investimento dadas pelo vetor  $\underline{i}$ , ele iria investir nos produtos (1 0 1 0) no caso de um coeficiente de aversão ao risco,  $m_a$ , igual a 1,. Os recursos de comercialização seriam alocados da seguinte forma:  $\theta_i = (0,7 \ 0 \ 0,3 \ 0)$ . No caso de um coeficiente de aversão ao risco igual a 3, os produtos (1 1 1 0) seriam escolhidos com o seguinte investimento:  $\theta_i = (0,29 \ 0,47 \ 0,24 \ 0)$ .

Esse resultado mostra que no caso de um investidor menos averso ao risco ao risco, 70% dos recursos para a comercialização seriam investidos no Produto 1 (o biomaterial para encapsulamento celular) e 30% no Produto 3 (o alginato ultrapuro), gerando uma Utilidade de 0,9989 e um retorno esperado do portfólio de 6,25.

Já o investidor mais averso ao risco, prefere diversificar o seu investimento em três produtos, o Produto 1, o Produto 2 (dispositivo para implantação das células) e o Produto 3, alocando 29,0%, 47,0% e 24,0% do orçamento de comercialização respectivamente.

Esse resultado mostra como um investidor mais averso ao risco, busca diversificar seu investimento em produtos (ativos) fomentando a comercialização de mais produtos.

#### 4.5.1.2. Função quadrática

##### Para $m_a = 1$

A tabela 10 apresenta os resultados da fase de comercialização utilizando uma utilidade quadrática com  $m_a = 1$ :

**Tabela 10:** Resultados da fase de comercialização para uma utilidade quadrática com  $m_a = 1,0$

$i$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$U^*(i)$	$E(r_p)$
(1,1,1,1)	0,0600	0,1400	0,0600	0,7400	8,0955	1,6800
(1,1,1,0)	0,2300	0,5700	0,2000	0,0000	5,6277	3,5650
(1,1,0,1)	0,0600	0,1400	0,0000	0,8000	7,1240	1,5300
(1,1,0,0)	0,2900	0,7100	0,0000	0,0000	4,6282	3,5950
(1,0,1,1)	0,0800	0,0000	0,0600	0,8600	6,6785	1,6700
(1,0,1,0)	0,5400	0,0000	0,4600	0,0000	4,2222	5,6600
(1,0,0,1)	0,0700	0,0000	0,0000	0,9300	5,7208	1,4550
(1,0,0,0)	0,9900	0,0000	0,0000	0,0000	3,2262	7,4350
(0,1,1,1)	0,0000	0,1500	0,0500	0,8000	5,4031	1,2750
(0,1,1,0)	0,0000	0,7400	0,2600	0,0000	2,9062	2,3900
(0,1,0,1)	0,0000	0,1600	0,0000	0,8400	4,4060	1,1600
(0,1,0,0)	0,0000	0,9900	0,0000	0,0000	1,9157	1,9900
(0,0,1,1)	0,0000	0,0000	0,0600	0,9400	3,9987	1,1500
(0,0,1,0)	0,0000	0,0000	0,9900	0,0000	1,5034	3,4750
(0,0,0,1)	0,0000	0,0000	0,0000	0,9900	3,0000	1,0000
(0,0,0,0)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,5000

##### Para $m_a = 1,5$

A tabela 11 apresenta os resultados da fase de comercialização utilizando-se uma utilidade quadrática com  $m_a = 1,5$ :

**Tabela 11:** Resultados da fase de comercialização para uma utilidade quadrática com  $m_a = 1,5$

$\underline{i}$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$U^*(i)$	$E(r_p)$
(1,1,1,1)	0,0600	0,1400	0,0600	0,7400	4,2977	1,6800
(1,1,1,0)	0,2300	0,5700	0,2000	0,0000	3,0639	3,5650
(1,1,0,1)	0,0600	0,1400	0,0000	0,8000	3,8120	1,5300
(1,1,0,0)	0,2900	0,7100	0,0000	0,0000	2,5641	3,5950
(1,0,1,1)	0,0800	0,0000	0,0600	0,8600	3,5892	1,6700
(1,0,1,0)	0,5400	0,0000	0,4600	0,0000	2,3611	5,6600
(1,0,0,1)	0,0700	0,0000	0,0000	0,9300	3,1104	1,4550
(1,0,0,0)	0,9900	0,0000	0,0000	0,0000	1,8631	7,4350
(0,1,1,1)	0,0000	0,1500	0,0500	0,8000	2,9515	1,2750
(0,1,1,0)	0,0000	0,7400	0,2600	0,0000	1,7031	2,3900
(0,1,0,1)	0,0000	0,1600	0,0000	0,8400	2,4530	1,1600
(0,1,0,0)	0,0000	0,9900	0,0000	0,0000	1,2079	1,9900
(0,0,1,1)	0,0000	0,0000	0,0600	0,9400	2,2493	1,1500
(0,0,1,0)	0,0000	0,0000	0,9900	0,0000	1,0017	3,4750
(0,0,0,1)	0,0000	0,0000	0,0000	0,9900	1,7500	1,0000
(0,0,0,0)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,5000

Como pode ser visto nas tabelas 10 e 11, o resultado para os dois diferentes coeficientes de aversão ao risco apresentam a mesma seleção de portfólio, com o mesmo percentual investido em cada produto:  $\theta_i = (0,06 \ 0,14 \ 0,06 \ 0,74)$ . Isso porque, como mostrado no item 3.2, a solução da função quadrática se dá pela maximização do Índice de Sharpe  $\left( \frac{\mu_p - r_f}{\sigma_p} \right)$  visto na equação 4, o que torna a alocação de recursos no segundo estágio, independente do coeficiente de aversão ao risco  $m_a$ . Entretanto, como o modelo proposto está dividido em dois estágios, esse coeficiente terá implicações na solução do primeiro estágio, como poderá ser visto no item 4.5.2.

A seguir, a tabela 12 apresenta a solução ótima do segundo estágio para todas as alternativas investigadas:

**Tabela 12:** Resultados do segundo estágio para diferentes funções utilidade

Função	$i$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$U^*(i)$	$E(r_p)$
Exponencial (1.0)	(1,0,1,0)	0,7000	0,0000	0,3000	0,0000	0,9826	6,2561
Exponencial (3.0)	(1,1,1,0)	0,2900	0,4700	0,2400	0,0000	0,9989	3,9467
Quadrática (1.0)	(1,1,1,1)	0,0600	0,1400	0,0600	0,7400	8,0955	1,6800
Quadrática (1.5)	(1,1,1,1)	0,0600	0,1400	0,0600	0,7400	4,2977	1,6800

O resultado da função quadrática para os produtos do portfólio da Empresa X são bem diferentes dos resultados da função exponencial. O tomador de decisão, utilizando uma utilidade que segue a função quadrática prefere investir parte expressiva dos seus recursos no Produto 4 do portfólio, os serviços de consultoria.

Isso se deve ao fato de que a utilidade quadrática utilizada penaliza, igualmente, os desvios para mais (+ $\sigma$ ) do valor esperado do retorno ( $E[r_p]$ ), quanto os desvios para menos (- $\sigma$ ), como pode ser observado na equação 3 definida no item 3.2:

$$U(Q) = (1 - \alpha)r_f + \alpha E[r_p] - \frac{1}{2}\alpha^2 m_a \sigma_p^2$$

Já a função exponencial, penaliza os desvios ( $\sigma$ ) em relação ao retorno esperado de forma diferente, *i.e.*,  $|U(E[r_p]) - U(E[r_p] - \sigma)| > |U(E[r_p]) - U(E[r_p] + \sigma)|$ . Ou seja, essa função considera que o gestor tem mais aversão ao risco que diminui o retorno, do que em relação ao risco que aumenta o retorno (*downside risk aversion*).

#### 4.5.2. Fase de Desenvolvimento

O estudo da fase de desenvolvimento da Empresa X considerou dois tipos de regra de decisão do gestor:

A escolha da melhor alternativa de desenvolvimento de cada produto, ou a escolha da alternativa média de forma a maximizar o valor global de  $U^*(I(\xi))$ .

#### 4.5.2.1. Escolha da melhor alternativa

Essa regra de decisão considera que a partir da alocação do percentual de orçamento  $\xi$  em um produto  $i$ , será possível gerar um número  $n_{alt_i}$  de alternativas para o produto  $i$ . A partir daí o gestor escolhe a melhor alternativa de forma a maximizar  $U^*(I(\xi))$ . Percebe-se que, como o orçamento da fase de desenvolvimento é limitado, o gestor tem que definir até que ponto financiar mais alternativas para o produto  $i$  é melhor que financiar o desenvolvimento de um outro produto  $j$ , investindo mais em  $i$  do que em  $j$ .

Os resultados gerados para as quatro funções utilidades analisadas no problema estão descritos na tabela 13:

**Tabela 13:** Resultado da fase de desenvolvimento considerando a escolha da melhor alternativa

Função Utilidade	$E[U^*(I(\xi))]$	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	$\xi_4$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$
Exponencial (1,0)	0,94	0,70	0,16	0,12	0,02	0,71	0,73	0,72	0,70
Exponencial (3,0)	0,99	0,38	0,38	0,12	0,12	0,59	0,84	0,69	0,93
Quadrática (1,0)	6,35	0,36	0,30	0,16	0,18	0,56	0,84	0,80	0,95
Quadrática (1,5)	3,39	0,34	0,28	0,20	0,18	0,54	0,81	0,80	0,95

Dessa forma, para um investidor que utiliza uma função utilidade exponencial com aversão ao risco igual a 1, o seu portfólio de desenvolvimento seria  $\xi = (0,7 \ 0,16 \ 0,12 \ 0,02)$ .

Cabe ressaltar que a decisão na fase de comercialização considera que os produtos 1 e 3 foram bem sucedidos na fase de desenvolvimento e aloca os seus recursos da seguinte forma:  $\theta_i = (0,7 \ 0 \ 0,3 \ 0)$ . Entretanto, a decisão da fase de desenvolvimento considera todas as utilidades ótimas de cada opção de investimento dada por  $\underline{i}$  e maximiza  $U^*(I(\xi))$ . Sendo assim, o investimento de 70% e 12% nos projetos 1 e 3, respectivamente, gera 2 duas alternativas para cada produto. O investidor, portanto, não conseguiria gerar novas alternativas para o produto 1, visto que o custo de cada alternativa é de 33%, e prefere

distribuir o restante dos recursos, 18%, entre os produtos 2 (16%) e 4 (02%), contribuindo para a diversificação do risco.

A mesma análise pode ser feita para as outras três funções utilidades.

#### 4.5.2.2. Escolha da alternativa média

Assim como na regra de decisão anterior, a partir da alocação do percentual de orçamento  $\xi$  em um produto  $i$ , será possível gerar um número  $n_{alt_i}$  de alternativas para o produto  $i$ . Entretanto, nesse caso, o gestor escolhe a alternativa média de forma a maximizar  $E[U^*(I(\xi))]$ .

Os resultados gerados para as quatro funções utilidades analisadas no problema estão descritos na tabela 14:

**Tabela 14:** Resultado da fase de desenvolvimento considerando a escolha da alternativa média

Função Utilidade	$E[U^*(I(\xi))]$	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	$\xi_4$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$
Exponencial (1,0)	0,92	0,78	0,08	0,12	0,02	0,70	0,54	0,58	0,49
Exponencial (3,0)	0,98	0,76	0,10	0,12	0,02	0,68	0,52	0,53	0,52
Quadrática (1,0)	4,99	0,68	0,16	0,14	0,02	0,69	0,53	0,55	0,53
Quadrática (1,5)	2,76	0,66	0,18	0,14	0,02	0,66	0,55	0,56	0,55

A comparação entre os resultados da primeira e segunda regras de decisão mostram resultados diferentes para a alocação de recursos. Quando se compara os resultados da utilidade quadrática (1,0) para as duas regras de decisão percebe-se que há uma grande diferença nas alocações de recursos. Para a regra da escolha da melhor alternativa tem-se  $\xi_i = (0,36 \ 0,30 \ 0,16 \ 0,18)$  e quando se escolhe a ideia média, o investimento do orçamento de desenvolvimento é  $\xi_i = (0,68 \ 0,16 \ 0,14 \ 0,02)$ .

A análise do resultado permite afirmar que, como a decisão é tomada pela média, a geração de um número grande de alternativas não tem grandes efeitos sobre o valor de  $p_i$ . Como os produtos 2, 3 e 4 são o que apresentam

menor custo de desenvolvimento e, portanto uma possibilidade maior de gerar alternativas, o decisor busca “recuperar” a sua utilidade  $U^*(I(\xi))$ , investindo no Produto 1. Assim ele passa a investir nesse produto, 68% do orçamento ao invés de 36%, gerando duas idéias e escolhendo o valor médio entre elas. Tal decisão faz com que a probabilidade do Produto 1 ser bem sucedido na fase de desenvolvimento passe de 0,56 para 0,69, como pode ser visto nas tabelas 13 e 14.

Essa análise se comprova quando analisamos o caso da exponencial (1,0). Nesse caso, o decisor já previa, na regra de decisão da escolha da melhor alternativa, um investimento de 70% no Produto 1, gerando duas alternativas. Quando a decisão muda para a escolha da idéia média, o percentual investido em cada produto não se altera muito e o investidor mantém a geração de duas alternativas para o Produto 1, com 78% do recursos investidos nesse produto.

**Tabela 15:** Comparação entre as diferentes regras de decisão do primeiro estágio

<b>Função Utilidade</b>	<b><math>E[U^*(I(\xi))]</math> 1ª regra de decisão</b>	<b><math>E[U^*(I(\xi))]</math> 2ª regra de decisão</b>
Exponencial (1,0)	0,94	0,92
Exponencial (3,0)	0,99	0,98
Quadrática (1,0)	6,35	4,99
Quadrática (1,5)	3,39	2,76

Independentemente da regra de decisão usada, ambas trabalham no sentido de maximizar a utilidade esperada da fase de comercialização, por meio de  $U^*(I(\xi))$ . De modo geral, ouve uma redução de  $E[U^*(I(\xi))]$ , na segunda regra de decisão, o que mostra que a primeira regra apresenta resultados melhores como pode ser visto na tabela 15.



## 5. Conclusão

Essa dissertação apresentou um modelo para a gestão de um portfólio de desenvolvimento de novos produtos que se baseia no trabalho de Santiago e Vakili (2005). O modelo proposto por esses autores classifica e divide as decisões envolvidas no processo de gerenciamento do portfólio em dois estágios: o desenvolvimento e a comercialização. Essa divisão, como pôde ser observada nessa dissertação, permite uma melhor identificação e gestão das características individuais de risco e retorno de cada uma das fases, como discutido por Devinney e Stewart (1988).

O paradigma da diversificação, citado por Santiago e Vakili (2005), foi tratado por meio da utilização das funções utilidade, em especial a função exponencial. Dessa forma, percebe-se como a separação do processo em dois estágios facilita a utilização de teorias mais avançadas para cada uma delas. A decisão de comercialização se assemelha muito ao portfólio de ativos financeiros que possui uma teoria mais desenvolvida. O modelo proposto é facilmente adaptável a outros tipos de função utilidade.

Na fase de comercialização, o orçamento para o lançamento dos produtos (por exemplo, financiamento do custo operacional, verba publicitária, estruturação do inventário, dentre outros investimentos necessários) não é uma restrição tão forte quanto na fase de desenvolvimento, visto que a empresa tem maiores possibilidades de conseguir financiamentos externos, pois o produto já pode ser apresentado ao mercado e os segredos do laboratório já se tornaram públicos. No caso da Empresa X, essa possibilidade se dá por meio de parcerias com indústrias farmacêuticas multinacionais e fundos de investimento de risco. No modelo proposto, essa restrição é relaxada por meio da possibilidade de o gestor utilizar recursos externos. Na utilidade quadrática essa possibilidade de relaxamento é captada por  $\alpha$ .

Já na fase de desenvolvimento, o modelo proposto vai ao encontro do paradigma da busca (Santiago e Vakili (2005), Ding e Eliashberg (2002) e

Terwiesch e Ulrich (2009)) a medida que gera alternativas de desenvolvimento no sentido de maximizar a utilidade esperada da fase comercial.

Dahan e Mendelson (2001) propuseram um modelo que identifica o número ótimo de testes de conceito de forma a maximizar o retorno esperado do produto baseado no *trade-off* entre os benefícios de se fazer mais testes de conceito (o que pode ser relacionado às alternativas propostas no modelo dessa dissertação) e os custos gerados por eles. O retorno esperado de cada alternativa segue uma distribuição de valor extremo. Eles analisam os parâmetros das distribuições e chegam a conclusão que o número ótimo depende da relação entre o parâmetro de escala da distribuição do valor extremo e o custo de cada teste. Entretanto, o modelo aqui apresentado vai além, na medida em que insere uma restrição de orçamento para a geração de alternativas fazendo com que o gestor não possa gerar o número de alternativas que ele desejar e ainda, esse orçamento é dividido entre todos os produtos do portfólio. Essas restrições propostas estão mais alinhadas à realidade encontrada nas corporações, como pôde ser visto no exemplo da Empresa X. Tais restrições fazem com que o gestor tenha que priorizar em qual(is) produto(s) vai investir o orçamento tornando a decisão mais complexa.

O modelo proposto nessa dissertação, assim como o de Santiago e Vakili (2005), traz importantes contribuições para a teoria de gestão de portfólio de desenvolvimento de novos produtos, na medida em que aborda o problema a partir de uma perspectiva diferente. Como discutido no item 2.1, geralmente, o decisor gerencia o portfólio de acordo com o “problema da mochila” (*knapsack problem*). Isto é, a partir de um conjunto de opções disponíveis para investimento e de uma restrição de recursos, o gestor escolhe as  $n$  melhores alternativas. Nessa abordagem as decisões são tomadas *ex post* (depois do evento) baseadas no conjunto de informações disponíveis. No nosso modelo, caracterizado pelo paradigma da busca, a decisão é do tipo *ex ante* (antes do evento). Ou seja, o gestor busca tomar a decisão na entrada do processo, no caso, decidindo qual o número de alternativas a serem geradas, como forma de maximizar a utilidade esperada da fase de comercialização, influenciando a saída final – o resultado do portfólio.

Percebe-se também que o modelo busca preencher uma lacuna da teoria de portfólio identificada por Girotra *et al.* (2010), que afirmou que a literatura de geração de idéias existente apresenta três lacunas: a primeira está relacionada ao fato de que a maioria das pesquisas foca no número de idéias geradas e não na qualidade delas e na seleção da melhor idéia; a segunda é que os poucos trabalhos realizados que abordam a qualidade das idéias, não tratam da questão da melhor idéia, apenas da média da qualidade das idéias, e; a literatura existente foca somente no processo de criação de idéias e não no processo de seleção. Essa lacuna é preenchida pelo estudo de como a quantidade de idéias a serem geradas influencia o valor final do portfólio, por meio de duas diferentes heurísticas de decisão: a escolha da melhor idéia, ou da idéia de valor médio. O modelo utiliza critérios de seleção com o emprego de funções utilidade na fase de comercialização e de uma função binomial  $I(\xi)$ , da probabilidade de sucesso na fase de desenvolvimento.

O modelo proposto, aplicado à Empresa X, mostrou que essa decisão, independentemente da função utilidade utilizada na fase de comercialização, deve ser pela alternativa de valor máximo na fase de desenvolvimento. Tal escolha maximiza a utilidade da fase de comercialização.

Neste trabalho, não foram consideradas as interdependências entre os produtos, tanto na fase de comercialização, como na fase de desenvolvimento. Tais interdependências foram citadas no trabalho de Devinney e Stewart (1988), mas podem ser implantadas no modelo, por meio da matriz de covariância do segundo estágio  $\Sigma = [ \sigma_{ij} ]$ , ou mesmo pela adaptação das distribuições de probabilidade do primeiro estágio.

Além disso, cabe um estudo mais aprofundado das técnicas para estimação dos parâmetros considerados nesse modelo, como os parâmetros das funções de distribuição do valor extremo.

Outro ponto é a consideração da variável tempo na decisão de portfólio. Os produtos do portfólio da Empresa X apresentam perfis de vida útil distintos. Os

produtos com maior investimento em pesquisa e avanços tecnológicos, como o Produto 1, poderão ter fases de desenvolvimento que duram anos. Já o Produto 4, pode começar a gerar receitas no curto prazo. É necessário um estudo para entender como essa variável e o perfil do investidor altera a decisão de portfólio.

## 6. Bibliografia

Balachandra, R., Brockhoff, K. K. e Pearson, A. W. "R&D project termination decisions: Processes, communication, and personnel changes". *Journal of Product Innovation Management*. 13(3), 245-256, May 1996.

Beaujon, G.J., Marin, S.P. e McDonald, G.C. "Balancing and optimizing a portfolio of R&D projects", *Naval Research Logistics*, vol. 48, pp.18–40, 2001

Bensalah, Y "Steps in Applying Extreme Value Theory to Finance: A Review". Working paper, 2000.

Bertsekas, D. P. *Nonlinear Programming*. Belmont, MA: Athena Scientific, 2nd edition, 1999.

Buccola, S. T., "Portfolio Selection Under Exponential and Quadratic Utility". *Western Journal of Agricultural Economics*", July 1982.

Cabral-Cardoso C., e Payne, R. L. "Instrument and supportive use of formal selection methods in R&D project selection". *IEEE Transactions on Engineering Management* 43 (4), 402-410, 1996

Chao, R. O. e Kavadias, S. "A theoretical framework for managing the NPD portfolio: When and how to use strategic buckets". *Management Science* 53(4) 667-682, 2008

Cooper, R. G., Edgett, S. J., e E. J. Kleinschmidt. *Portfolio Management for New Products*. Perseus Books, New York, NY, 1997.

Cooper, R. G., Edgett, S. J., e E. J. Kleinschmidt. *Portfolio Management for New Products*. Reading, MA: Perseus Books, 1998.

Dahan, E e Mendelson, H “An Extreme-value model of Concept Testing”. *Management Science*, Vol. 47, n. 1, pp.102-116, January 2001

Devinney, T. M. e D. W. Stewart. “Rethinking the product portfolio: A generalized investment model”. *Management Science*, vol. 34, n. 9, pp. 1080-1095, September 1988.

Dickinson, M.W., Thornton, A.C. e Graves, S. ‘Technology portfolio management: optimizing interdependent projects over multiple time periods’, *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 48, pp.518–527, 2001

Ding, M. e Eliashberg, J., “Structuring the new product development pipeline”. *Management Science*, Vol. 48, No. 3, pp. 518-527, 2002

Dyer, J. S. e Rakesh, S. K. “Relative Risk Aversion”, *Management Science*, Vol. 28, No. 8, August, 1982, pp. 875-886

Elton, E. J., Gruber, M. J., Brown, S. J. e Goetzmann, W. N. *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*. New York, NY: John Wiley and Sons, 8th edition, 2010.

Gino, F. e G. Pisano “Do managers’ heuristics affect R&D performance volatility? A simulation informed by the pharmaceutical industry”. *Harvard Business School Working Paper*. 05-015. Draft: February 12 2006

Girotra, K., Terwiesch, C. e Ulrich, K. T., “Valuing R&D Projects in a Portfolio: Evidence from the Pharmaceutical Industry”. *Management Science*, Vol. 53, No. 9, September 2007, pp. 1452–1466

Girotra, K., Terwiesch, C. e Ulrich, K. T., “Idea Generation and the Quality of the Best Idea”. *Management Science*, Vol. 56, No. 4, April 2010, pp. 591–605

Granot, D. e Zuckerman, D. "Optimal sequencing and resource allocation in research and development projects", *Management Science*, vol. 37, pp.140–156, 1991

Gumbel, E. J.. "Statistics of Extremes". Columbia University Press, New York, 1958.

Gupta, D. K., e Mandakovik, T. "Contemporary approaches to R&D project selection, a literature survey". D. F. Kocaogly, (ed.) *Management of R&D and Engineering*. Elsevier Publishers, 67-86, 1992

Huang, C. e Lintzenberger, R. H., "Foundations for financial economics". Prentice-Hall, hc., New York, 1988

Huchzermeier, A e Loch, C. H., "Project Management Under Risk: Using the Real Options Approach to Evaluate Flexibility in R&D". *Management Science*, Vol. 47, No. 1, January 2001 pp. 85–101

Kallberg, J. G. e Ziemba, W. T., "Comparison of alternative utility functions in portfolio selection problems". *Management Science*, Vol. 29, No. 11, November 1983, PP. 1257-1276

Kavadias, S. e Chao, R. O. "Resource Allocation and New Product Portfolio Management", in C. H. Loch and S, Kavadias (eds.) *Handbook of Research in New Product Development Management*, Butterworth/Heinemann (Elsevier), Oxford UK, ch.6, pp. 135-163, 2007

Kavadias, S. e Loch, C.H. 'Optimal project sequencing with recourse at a scare resource', *Production and Operation Management*, vol. 12, pp.433–444, 2003

Kavadias, S. e Sommer, S. C., "The Effects of Problem Structure and Team Diversity on Brainstorming Effectiveness". *Management Science*, Vol. 55, No. 12, December 2009, pp. 1899–1913

Keisler, J. "Value of information in portfolio decision analyses". *Decision Analyses*, vol. 1, n. 3, pp. 177-189, September 2004.

Kornish, L. J. e Ulrich, K. T., "Opportunity Spaces in Innovation: Empirical Analysis of Large Samples of Ideas". *Management Science*, Vol. 57, No. 1, January 2011, pp. 107–128

Loch, C. H. e S. Kavadias. "Dynamic portfolio selection of NPD programs using marginal returns". *Management Science*, vol. 48, n. 10, pp.1227-1241, October 2002.

Loch, C. H., Pich, M.T. Terwiesch, C. e Urbschat, M., "Selecting R&D projects at BMW: A case study of adopting mathematical programming models". *IEEE Trans. Eng. Management*, vol. 48, n. 1, pp.70-80, February 2001.

Luenberger, D.G. *Investment Science*. New York, NY: Oxford University Press, 1998.

Mas-Colell, A., Whinston, M. D. e Gree, J. R., "Microeconomic Theory". Oxford University Press, USA, June 1995

Markowitz, H. "Portfolio selection". *Journal of Finance*, vol. 7, n. 1, pp.77-91, March 1952

Pratt, J. W., "Risk Aversion in the Small and in the Large," *Econometrica*, Vol. 32 (1964), pp. 122-136

Reiss, Rolf-Dieter, Michael Thomas. "Statistical Analysis of Extreme Values", Birkhauser Verlag, 52-58, 1997

Ross, S. A. "Some Stronger Measures of Risk Aversion in the Small and the Large with Applications", *Econometrica*, Vol. 49, No. 3, May, 1981, pp. 621-638



Roussel, P.A., K.N. Saad, e T.J. Erickson. *Third Generation R&D: Managing the Link to Corporate Strategy*. Boston, MA: Harvard Business School Press, 1991

Santiago, L. P., Pirooz Vakili. "Optimal Project Selection and Budget Allocation for R&D Portfolios". In: Timothy R. Anderson; Tugrul U. Daim; Dundar F. Kocaoglu; Dragan Z. Milosevic; Charles M. Weber. (ed.). *Technology Management: A Unifying Discipline for Melting the Boundaries*. Piscataway, NJ: IEEE & PICMET, vol. 1, p. 275-281, 2005.

Santiago, L. P. e Pirooz Vakili. "Forming Optimal R&D Portfolios: a risk management perspective". Working paper. 2009

Santiago, L. P., "An empirical investigation on the appropriateness of flexibility approach to the product portfolio selection". *Int. J. Technology Management*, vol. 44, n. ½, p. 251-268, 2008

Sharpe, W.F. "Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk". *Journal of Finance*, vol. 19, n. 3, pp.425-442, September 1964.

Simon, Herbert A. *Models of Man: Social and Rational*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1957, 279 pp.

Stummer, C. e Heidenberger, K."Interactive R&D portfolio analysis with project interdependencies and time profiles of multiple objectives", *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 50, pp.175–183, 2003

Tavares, L. T., Santiago, L. P., Pirooz Vakili. "Portfolio Management of New Products and the Impact of Manager's Heuristic during the Development Process". In: *Technology Management for Global Economic Growth*. PICMET, 2010.

Terwiesch, C e Ulrich, K. T., "Innovation Tournaments: Creating and Selecting Exceptional Opportunities". Harvard Business School Press, May 2009

Ulrich, K. T. e Shane, S. A. "Technological Innovation, Product Development, and Entrepreneurship in Management Science". *Management Science*, vol. 50, No. 2, pp. 133–144, February 2004

Venter, G. G., "Utility with decreasing risk aversion". *PCAS LXX* 1983, pp.144-155

von Neumann, J. e Morgenstern, O. "Theory of Games and Economic Behavior", Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., 1947.

Yu, B. W., Pang, W. K., Troutt, M. D. e Hou, S. H., "Objective comparisons of the optimal portfolios corresponding to different utility functions". *European Journal of Operational Research*, December 2008.